Gouvernement du Québec
Conseil exécutif

Commission d'enquête
sur les conditions de santé
et de sécurité
des établissements
de la compagnie
Les produits chimiques
Expro Inc.

A11E8
A29/
C65
1983
QL
P. Gouv

la santé et la sécurité à l'usine Expro

ASSEMBLÉE NATIONALE
DU QUÉBEC
BIBLIOTHÈQUE

Commission d'enquête
sur les conditions de santé et de sécurité
des établissements de la compagnie
« Les Produits Chimiques Expro inc. »

Rapport final sur les conditions de santé et de sécurité des établissements de la compagnie « Les Produits Chimiques Expro inc. »

Août 1983

A11E3
F29/
C65
1983
2c
Gouv

Graphisme
Jacques DesRosiers

Composition
Les Entreprises Précigraphes ltée

Impression
Pierre Des Marais inc.

© Gouvernement du Québec, 1983
Dépôt légal — 4e trimestre 1983
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada
ISBN 2-551-05948-8

Me Raynald Fréchette,
Ministre du Travail,
Gouvernement du Québec,
Hôtel du gouvernement,
Québec, QC

Monsieur le Ministre,

Les soussignés, membres de la Commission d'enquête sur les conditions de santé et de sécurité des établissements de la compagnie « Les produits chimiques Expro inc. », ont l'honneur de vous présenter leur rapport sur les causes des événements qui ont affecté ou qui étaient de nature à affecter la santé ou la sécurité de travailleurs de cette entreprise, depuis 1977, sur les circonstances de ces événements et les conditions qui les ont précédés, sur les mesures à prendre pour éviter la répétition de tels événements et pour assurer la santé et la sécurité des travailleurs de ces établissements, conformément au décret numéro 358-83 du 2 mars 1983.

La Commission vous prie de transmettre ce rapport du résultat de son enquête au gouvernement du Québec en application de l'article 6 de la Loi sur les commissions d'enquête (Lois refondues du Québec, chapitre C-37).

Président

Commissaire

Commissaire

Secrétaire

Août 1983

Plan du rapport

PARTIE INTRODUCTIVE

CHAPITRE 1 **L'usine Expro**

1.1 Site

1.2 Historique

1.3 Organisation de l'entreprise Expro

CHAPITRE 2 **Les audiences publiques**

2.1 Preuve des principaux événements

2.2 Mémoires

2.3 Programmes de prévention

CHAPITRE 3 **La chimie des explosifs, les procédés de fabrication et les risques associés**

3.1 Chimie des explosifs fabriqués à l'usine Expro

3.2 Procédés de fabrication

3.3 Identification des principaux risques associés à la fabrication des poudres propulsives et du RDX à Expro

CHAPITRE 4 **L'analyse des problèmes de sécurité, d'hygiène et de santé à Expro**

4.1 Sécurité

4.2 Hygiène du milieu à Expro

4.3 Santé

4.4 Organisation du travail

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Table des matières

Lettre au ministre III
Plan du rapport V
Liste des tableaux, figures et photos XXI

Partie introductive

Le décret numéro 358-83 du 2 mars 1983 3
Avant-propos 5

Chapitre 1 — L'usine Expro

1.1 Site 11
1.2 Historique 11
1.3 Organisation de l'entreprise Expro 12

Chapitre 2 — Les audiences publiques

Introduction 17
2.1 Preuve des principaux événements 17
2.1.1 Explosions et incendies de bâtiments et d'équipements 17
A. Département du RDX (1977) 17
1. Explosion 17
2. Victimes 17
3. Dégâts matériels 17
4. Conditions préexistantes 18
5. Reconstruction et mise en opération 18
B. Incendie à la tour de mélange nº 295 (1978) 19
1. Incendie 19
2. Victimes 19
3. Dégâts matériels 19
4. Conditions préexistantes 19
C. Incendie au bâtiment nº 162 (1979) 20
1. Incendie 20
2. Dégât matériels 20
3. Conditions préexistantes 20
D. Incendie du séchoir nº 280 (1980) 21
1. Description du bâtiment, équipement et procédé 21
2. Accident 21
3. Victimes 22
4. Conditions préexistantes 22

2.1.2 Blessures lors d'utilisation ou réparation de l'équipement 24
A. Brûlures au réservoir nº 24 (A) 24
1. Accident 24
2. Victime 24
3. Conditions préexistantes 25
B. Autres cas de blessures 25
2.1.3 Réservoirs 25
A. Réservoir nº 40 25
1. Débordement survenu le 22 septembre 1981 25
2. Explosion du réservoir nº 40 le 4 janvier 1982 25
B. Explosion du réservoir nº 17 26
1. Accident 26
2. Victime 26
3. Conditions préexistantes 26
C. Autres débordements de réservoirs 27
2.1.4 Intoxications 28
A. Intoxications à l'éther 28
1. Description sommaire des bâtiments, équipements et procédés .. 28
2. Accidents 28
— Intoxication du 3 décembre 1981 (bâtiment nº 174) 28
— Intoxication du 7 septembre 1982 (bâtiment nº 174) 28
— Intoxication du 7 décembre 1982 (bâtiment nº 170) 29
— Intoxication du 21 février 1983 (bâtiment nº 174) 29
— Intoxication du 24 février 1983 (bâtiment nº 160) 30
3. Conditions préexistantes 30
— État de l'équipement 30
— Opérations selon les manuels d'instruction 31
— Contrôle de la qualité de l'air dans le milieu de travail 31
B. Cas Bernier 32
1. Description sommaire des bâtiments, équipements et procédés .. 32
2. Accident 32
3. Victimes 34
4. Événements postérieurs à l'accident 34
5. Conditions préexistantes 35
C. Intoxications à la nitroglycérine 37
D. « Rash » cutanés 38

2.2 Mémoires 38
A. Mémoire de la compagnie Expro 38
1. État de la situation au moment de l'achat 38
2. Mesures de redressement de l'entreprise 39
3. Problèmes constatés depuis l'acquisition et perspectives d'avenir 39
4. Conclusion 39

B. Mémoire du syndicat 39
1. Causes de ces événements 39
2. Attitude de l'employeur actuel 40
3. Attitude de la C.S.S.T. 40
4. Conclusions 40
2.3 Programmes de prévention 40
A. Programme d'Expro 40
1. Inventaire des données de base 40
2. Organisation 41
3. Inspection 41
4. Contrôle médical 41
5. Formation 41
6. Publicité 41
7. Enquêtes d'accidents 41
8. Analyses de risques 41
9. Consignes spéciales 41
10. Sondage d'évaluation 41
B. Programme du syndicat 42
1. Élimination des dangers à la source 42
2. Mesure scientifique des poisons 42
3. Formation en santé et en sécurité 42
4. Formation professionnelle 42
5. Droit à l'information 42
6. Comité paritaire de santé et de sécurité 42
7. Programme de santé 42
8. Mesures d'urgence 43
9. Équipements individuels de protection 43
10. Enquêtes d'accidents 43
11. Hygiène et cafétéria 43
12. Entretien ménager 43

Chapitre 3 — **La chimie des explosifs, procédés de fabrication et risques associés**

Introduction 47
3.1 Chimie des explosifs fabriqués à l'usine Expro 49
3.1.1 Mélanges réactifs et matières premières 50
A. Acide nitrique et sulfurique 50
B. Anhydride acétique 51
C. Cellulose 51
D. Glycérine 52
E. Hexamine 53

3.1.2 Produits fabriqués chez Expro 53
A. Esters nitriques: nitrocellulose et nitroglycérine 53
1. Nitrocellulose (NC) 54
2. Nitroglycérine (NG) 54
3. Nitramines 56
3.2 Procédés de fabrication 56
3.2.1 Préparation des acides 57
3.2.2 Fabrication de la nitrocellulose 59
A. Préparation des acides 60
B. Préparation de la cellulose 60
C. Nitration 61
D. Essorage des acides usés 62
E. Traitement des acides usés 64
F. Stabilisation de la nitrocellulose 64
G. Préparation du produit pour utilisation subséquente 65
3.2.3 Fabrication de la nitroglycérine 66
A. Procédé Biazzi 66
B. Traitement des acides 67
3.2.4 Récupération des acides usés 67
3.2.5 Préparation initiale des grains de poudre devant servir à la fabrication des poudres propulsives (première passe) 67
A. Généralités 67
B. Ingrédients utilisés et caractéristiques 68
1. Solvant éther-alcool 68
2. Stabilisants organiques 68
3. Stabilisants inorganiques 68
4. Plastifiants 68
5. Agent anti-lueur 69
6. Modérateurs 69
7. Propriétés érosives des poudres 69
8. Variation de la surface de combustion 69
9. Vieillissement des poudres à double base 69
C. Principes de fabrication 69
1. Déshydratation de la nitrocellulose 69
2. Procédé de production des poudres 70
a) Poudre à fusil et à canon 70
b) Poudres commerciales 70
3. Récupération des solvants éther-alcool 71
3.2.6 Finition et empaquetage des poudres à simple, double et triple bases pour canon et fusil et poudres commerciales 72
A. Premier bouillage 72
B. Enrobage 72
C. Glaçage au graphite 73

D. Deuxième bouillage 73
E. Séchage 73
F. Tamisage 73
G. Homogénéisation 74
H. Empaquetage 74
3.2.7 Procédé de fabrication du RDX 74
3.2.8 Récupération des acides au RDX 78
A. Récupération du RDX contenu dans les eaux du premier lavage ... 78
B. Récupération de l'acide acétique 78
C. Récupération de l'acétone du cyclohexanone 78
3.2.9 Procédés continus 78
A. Préparation des acides 79
B. Nitration de la cellulose 79
C. Stabilisation de la nitrocellulose 80
D. Neutralisation de la nitrocellulose 80
E. Mélange final 80
F. Finition des poudres 80

3.3 Identification des principaux risques associés à la fabrication des poudres propulsives et du RDX à Expro 80
3.3.1 Fabrication de la nitrocellulose 81
A. Bâtiments 81
B. Risques associés 82
3.3.2 Nitroglycérine 86
A. Bâtiments 86
B. Risques associés 86
3.3.3 Traitement des acides usés et préparation des mélanges pour la nitration .. 88
A. Bâtiments 88
B. Risques associés 88
3.3.4 Préparation initiale des grains de poudre devant servir à la fabrication des poudres propulsives (première passe) 90
— Poudre à simple base (canon et fusil) 90
A. Équipements 90
B. Risques associés 90
Déshydratation de la NC 90
Préparation de la poudre 90
Préparation des granules de poudres explosives 91
Récupération des solvants 91
— Poudre commerciale à double et triple bases 92
A. Bâtiments 92
B. Risques associés 92
Préparation du mélange 92
Préparation des granules de poudre 93

C. Risques associés aux opérations connexes de la première passe . 93
1. Décontamination (bâtiment nº 176) 93
2. Manutention des chariots de la récupération des solvants (bâtiment nº 149) 93
3. Récupération des solvants (bâtiment nº 149) 93
4. Préparation d'ingrédients (bâtiment nº 164) 93
3.3.5 Finition des poudres propulsives 95
A. Bâtiments 95
B. Risques associés 95
a) Poudre à simple base, dite « fusil » 95
Trempage 95
Enrobage 96
Séchage 96
Glaçage 96
Tamisage 97
b) Poudre à canon 97
Tamisage 97
Trempage 97
Séchage 97
Tours de mélange nºs 240 et 241 97
Empaquetage 97
c) Poudre à double base (commerciale) 99
Glaçage à l'eau 99
Séchage 99
Tamisage 99
Mélange 99
d) Poudre à triple base 100
Séchage 100
Tamisage 100
3.3.6 Fabrication du RDX 100
A. Bâtiments 100
B. Risques associés 100
Préparation des mélanges de réaction 100
Préparation du RDX 101
Filtration du RDX 101
Cristallisation du RDX 101
Incorporation du RDX dans des mélanges 102
Séchage et empaquetage du RDX 102
C. Récupération des acides usés 102
Conclusions 104
Bibliographie 104

Chapitre 4 — **L'analyse des problèmes de sécurité, d'hygiène et de santé à Expro**

4.1 Sécurité 109

4.1.1 Problèmes de sécurité reliés à une usine d'explosifs 109

A. Manipulation des acides 110

B. Nitration de la cellulose 110

C. Nitration de la glycérine 110

D. Préparation des poudres à la première passe 111

E. Finition des poudres propulsives 111

F. Fabrication du RDX 111

G. Entretien des équipements 112

4.1.2 Études particulières de quelques événements 112

A. Mises en feu 112

1. Décomposition rapide de la nitrocellulose 112

À la nitration 112

À l'essorage des acides 113

À la filtration des acides usés 114

2. Émanations successives qui ont eu lieu le 13 janvier 1983, deux jours avant le décès par intoxication aiguë de monsieur Michel Bernier 114

B. Feux et explosion du réservoir nº 40 115

1. Feux 115

2. Explosion, le 4 janvier 1982, du réservoir nº 40 116

C. Explosion du réservoir nº 17 117

1. Événements qui ont précédé l'explosion du 15 avril au réservoir nº 17 117

2. Réactions chimiques en présence 118

3. Conditions de la réaction dans le réservoir nº 17 118

4. Hypothèses pouvant expliquer le début de la réaction 119

5. Cause retenue par la Commission 119

D. Secousse qui a déformé une cuve de bouillage dans le bâtiment nº 110 120

1. Dimensions de la cuve et fonctionnement de la cuve à débouillir 120

2. Secousse 120

3. Dispositifs pour éviter que se forme une bulle sous le pain de NC dans les cuves à débouillir 120

E. Feu et explosion dans le bâtiment nº 162, chambre des mélangeurs . 121

1. Causes retenues de l'accident 122

2. Recommandations de la Commission en vue d'éliminer la répétition d'une explosion semblable 122

F. Explosion et feu du séchoir dans le bâtiment nº 280 123

1. Causes de l'accident 124
a) Étincelle 124
b) Choc 125
2. Conclusion 125
3. Recommandations 126
G. Feu qui a détruit le bâtiment de la tour de mélange nº 295 126
1. Recommandations 127
H. Feu qui a complètement détruit le séchoir du RDX en 1977 127
1. Feu 127
2. Cause probable 127
3. Recommandations 127
Conclusions générales 128

4.2 Hygiène du milieu à Expro 128
4.2.1 Développement et ressources en hygiène industrielle 129
A. Ressources humaines 129
B. Ressources matérielles 131
1. Équipement d'échantillonnage 131
2. Laboratoire environnemental 131
3. Documentation 131
C. Analyse de la situation 131
1. Ressources humaines 131
2. Ressources matérielles 132
4.2.2 Interventions en hygiène industrielle 133
A. Ampleur des interventions 135
B. Nature des interventions 137
1. Historique 137
2. Stratégie d'échantillonnage 138
3. Méthodes d'échantillonnage et d'analyse 139
4.2.3 Analyse des risques d'exposition 141
A. Présentation des données environnementales 141
1. Données métrologiques globalisées par secteur d'activités 141
2. Évolution de la concentration de certains polluants en fonction du temps et du lieu 147
B. Indices de tendances 158
1. Indice de risque qualitatif (I_{QUAL}) 158
2. Indice de risque quantitatif (I_{QUANT}) 158
a) Indice quantitatif de risque chronique 158
b) Indice quantitatif de risque aigu 159
3. Indice de la suffisance de l'effort d'évaluation (I_{EVAL}) 159
a) Indice de la suffisance de l'effort d'évaluation des risques chroniques 159
b) Indice de la suffisance de l'effort d'évaluation des risques aigus 159

4. Indice de l'effort de contrôle du facteur de risque (I_{CONT}) .. 160
C. Analyse de la situation 165
1. Situations à documenter 166
2. Situations documentées 167
a) Éther 167
b) Acide acétique 169
c) Nitroglycérine 169
d) Poussières totales 170
e) Bruit 170
3. Mesures de contrôle 170
4.2.4 Conclusions et recommandations 171
A. Ressources humaines 172
B. Ressources matérielles 173

4.3 Santé 174
4.3.1 Toxicologie des principaux contaminants spécifiques à Expro 175
4.3.2 Problèmes de santé documentés à Expro 176
A. Statistiques d'indemnisation de la C.S.S.T. 176
1. Accidents de travail 177
2. Maladies professionnelles 178
Conclusion 178
B. Problèmes de santé révélés lors des audiences publiques 180
1. « Rash » cutanés 181
Conclusion 182
2. Intoxications à la nitroglycérine 182
Conclusion 183
3. Brûlures à l'acide 184
Conclusion 184
4. Problèmes de santé causés par l'exposition au mélange éther-alcool 184
a) Rappel sur la toxicocinétique de l'éther 184
b) Effets aigus 184
c) Situation à Expro 185
d) Effets chroniques 186
Conclusion 187
5. Intoxications aux vapeurs nitreuses 187
Conclusion 189
C. Enquêtes du syndicat 189
1. Enquête de symptômes chez les travailleurs de C.P.C.V., section première passe.
Exposition à la nitroglycérine et à l'éther 189
a) Description de l'étude 189
b) Analyse de résultats 190
c) Critique de l'étude 192

2. Évaluation toxicologique de cinq travailleurs 193
a) Description 193
b) Analyse 194
D. Études de dépistage effectuées par le service de santé de l'usine .. 194
1. Dépistage radiologique annuel 194
a) Description 194
b) Résultat 194
c) Analyse 195
— Interprétation des résultats 195
— Pertinence et utilisation du dépistage radiologique annuel 196
d) Résumé 197
2. Surveillance des travailleurs exposés au plomb 197
3. Surveillance audiométrique des travailleurs exposés au bruit .. 200
a) Description 200
b) Analyse 200
c) Conclusion 200
d) Recommandations 200
4.3.3 Service de santé à Expro 201
A. Historique 201
B. Structure 202
1. Ressources humaines 202
2. Ressources matérielles 202
a) Locaux 202
b) Mobilier et équipements 202
c) Examens de laboratoire 202
3. Organisation 203
a) Horaire 203
b) Organigramme 203
c) Relations avec les autres secteurs et services de l'entreprise . 203
d) Relations avec les organismes de santé 203
C. Activités 204
1. Activités régies par la convention collective 204
2. Premiers soins, premiers secours 204
3. Surveillance médico-environnementale 205
a) Surveillance médicale 205
— Examen pré-emploi 205
— Examen périodique annuel pour tous les employés 205
— Programmes spécifiques de surveillance médicale 205
b) Surveillance environnementale 205
4. Activités d'information 206

4.3.4 Analyse de la situation 206
A. Programme de santé au travail, quelques considérations d'ordre théorique 206
1. Objectifs et principales activités 206
a) Surveillance environnementale 206
b) Surveillance médicale 207
— Détection précoce 207
— Description des tendances de l'état de santé des travailleurs 208
c) Examens pré-embauche 208
d) Information 208
e) Premiers soins, premiers secours 208
2. Élaboration et mise en application 209
B. Organisation des services de santé du travail 209
1. Service de santé au travail de la compagnie 209
a) Reconnaissance des services de santé et nomination du médecin responsable 209
• Recommandations 209
b) Ressources humaines 209
— Suffisance 209
• Recommandations 210
— Formation des ressources 210
– Médecin responsable des services de santé 210
• Recommandations 210
– Infirmiers (ières) 211
• Recommandations 211
— Accessibilité des ressources 211
2. C.H. – D.S.C. de Valleyfield 211
• Recommandations 212
C. Premiers secours, premiers soins 212
1. Premiers secours 212
a) Formation des secouristes certifiés 212
b) Transport ambulancier 212
Recommandations 213
2. Premiers soins 213
a) Au niveau du site de la compagnie 213
b) Au niveau du Centre hospitalier de Valleyfield 213
Recommandations 214
D. Surveillance médico-environnementale 214
1. Surveillance environnementale 214
a) Constatations 214
b) Conclusions 215
Recommandations 215

2. Surveillance médicale 215
a) Pré-requis 215
b) Analyse générale de l'organisation de la surveillance médicale à Expro 216
— Conclusions 217
— Recommandations générales 218
c) Analyse spécifique de la surveillance médicale par famille d'agents agresseurs 218
— Facteurs ergonomiques 218
– Conclusion 219
• Recommandations 219
— Solvants (éther-alcool) 219
– Conclusion 220
• Recommandations 220
— Dérivés nitrés et aminés 220
– Constatations générales 220
• Recommandations générales 221
— Nitroglycérine (NG) 221
– Conclusion 221
• Recommandations 221
— Dinitrotoluène (DNT) 222
– Conclusion 222
• Recommandations 222
— Oxydes d'azote (NO_X) 222
– Conclusion 223
• Recommandations 223
— Acides 223
• Recommandations 223
Conclusions générales concernant la surveillance médicale 224
E. L'information 224
4.4 L'organisation du travail 224
4.4.1 Gérance et cadres 224
4.4.2 Relations patronales-ouvrières 226
A. Comité paritaire de santé-sécurité 227
B. Quotas de production 229
C. Quelques points de comparaison 230
4.4.3 Entretien préventif 232
4.4.4 Organisation des moyens de secours 233
A. Service d'incendie 233
B. Plan d'évacuation 234
4.4.5 Service d'inspection 234
A. Fédéral 234
B. Provincial 235

Conclusion 235
Recommandations 236

Conclusions et recommandations 239

A. La sécurité et l'hygiène du milieu 240
B. La santé 241
C. L'organisation du travail 242

Liste des tableaux

Schéma du traitement des poudres propulsives:

Tableau 3.2.1 Poudres à canon 75
Tableau 3.2.2 Poudres à fusil 76
Tableau 3.2.3 Poudres commerciales 77

Tableau 3.3.1 Risques associés à une exposition chronique (NC) 85
Tableau 3.3.2 Risques associés à une exposition aiguë (NC) 85
Tableau 3.3.3 Risques d'accidents (NC) 86
Tableau 3.3.4 Risques associés à une exposition chronique (NG) 87
Tableau 3.3.5 Risques associés à une exposition aiguë (NG) 88
Tableau 3.3.6 Risques d'accidents (NG) 88
Tableau 3.3.7 Risques associés à une exposition chronique (acides) 89
Tableau 3.3.8 Risques associés à une exposition aiguë (acides) 89
Tableau 3.3.9 Risques d'accidents (acides) 89
Tableau 3.3.10 Risques associés à une exposition chronique (première Passe) .. 94
Tableau 3.3.11 Risques associés à une exposition aiguë (première Passe) 95
Tableau 3.3.12 Risques d'accidents (première Passe) 96
Tableau 3.3.13 Risques associés à une exposition chronique (deuxième Passe) .. 98
Tableau 3.3.14 Risques d'accidents (deuxième Passe) 98
Tableau 3.3.15 Risques associés à une exposition chronique (RDX) 103
Tableau 3.3.16 Risques associés à une exposition aiguë (RDX) 103
Tableau 3.3.17 Risques d'accidents (RDX) 103

Tableau 4.2.1 Revue de la documentation pertinente à l'hygiène du milieu de travail de janvier 1975 à mai 1983 134
Tableau 4.2.2 Portrait global de l'effort d'évaluation du milieu de travail par les intervenants concernés 136

Données métrologiques globalisées par secteur:

Tableau 4.2.3 RDX 143
Tableau 4.2.4 Récupération des acides 143
Tableau 4.2.5 Nitrocellulose 144
Tableau 4.2.6 Nitroglycérine 145
Tableau 4.2.7 Première passe 145
Tableau 4.2.8 Deuxième passe 146
Tableau 4.2.9 Annexes et services 146

Synthèse des indices relatifs à l'ampleur, à l'évaluation et au contrôle des risques identifiés par secteurs d'activités:

Tableau 4.2.10 RDX 162
Tableau 4.2.11 Récupération des acides 162
Tableau 4.2.12 Nitrocellulose 163
Tableau 4.2.13 Nitroglycérine 163

Tableau 4.2.14 Première passe 164
Tableau 4.2.15 Deuxième passe 165
Tableau 4.2.16 Annexes et services 166

Tableau 4.3.1 Les problèmes de santé au travail 174
Tableau 4.3.2 Principaux facteurs de risques physique et chimique auxquels les travailleurs d'Expro sont exposés 175
Tableau 4.3.3 Nombre total de cas et de jours indemnisés — 1980-1982 177
Tableau 4.3.4 Les cas de plus de cinquante jours: Nombre et pourcentage de cas et de jours indemnisés — 1980-1982 177
Tableau 4.3.5 Atteinte de la colonne vertébrale: lombalgie, entorse, contusion, hernie. Nombre et pourcentage de cas et de jours indemnisés — 1980-1982 178
Tableau 4.3.6 Nombre de cas et de jours indemnisés de maladies professionnelles déclarées à la C.S.S.T. — 1978-1982 178
Tableau 4.3.7 Nombre d'accidents du travail indemnisés par la C.S.S.T. en 1980 à la compagnie Expro, selon la nature et le siège de la lésion, et le nombre de jours indemnisés 179
Tableau 4.3.8 Nombre d'accidents de travail indemnisés par la C.S.S.T. en 1981 à la compagnie Expro, selon la nature et le siège de la lésion, et le nombre de jours indemnisés 179
Tableau 4.3.9 Nombre d'accidents du travail indemnisés par la C.S.S.T. en 1982 à la compagnie Expro, selon la nature et le siège de la lésion, et le nombre de jours indemnisés 180
Tableau 4.3.10 Statistiques des accidents avec blessures à la compagnie Expro — juillet 1982 – mai 1983 180
Tableau 4.3.11 Nombre de cas de dermatites de contact par année et par département déclarés au service de santé de la compagnie Expro — 1978 – mai 1983 181
Tableau 4.3.12 Répartition des dermatites de contact selon le siège de la lésion et le bâtiment — département du RDX — 1978 – mai 1983 181
Tableau 4.3.13 Nombre de travailleurs exposés, niveau moyen d'exposition et possibilité de contact cutané par bâtiment 182
Tableau 4.3.14 Concentrations mesurées (médiane) pour l'éther et l'alcool selon les bâtiments 185
Tableau 4.3.15 Questions où il apparaît un pourcentage élevé de «*oui*» dans les deux groupes d'exposition 191

Tableau 4.3.16 Questions où il apparaît une différence marquée dans le pourcentage de «*oui*» entre les deux groupes d'exposition 191
Tableau 4.3.17 Dépistage par unité mobile: Résultats des Rayons-X pulmonaires 195
Tableau 4.3.18 Résultats des plombémies 198

Liste des figures

Figure 3.1.A: Mélanges sulfonitriques 51

Figure 3.1.B: Zones de sécurité de la nitration de la glycérine, diagramme d'Oehman 55

Figure 3.2.C: (1) Épure d'un bac de nitration 62

(2) Esquisse de quatre bancs de quatre nitreurs 62

Figure 3.2.D: Coupe d'une essoreuse 63

Figure 4.2.A: Variation de la concentration de poussière totale au bâtiment 128 (nitrocellulose) 148

Figure 4.2.B: Variation de la concentration d'acétone au bâtiment 902 (première passe) 149

Figure 4.2.C: Variation de la concentration d'acétone au bâtiment 161 (première passe) 150

Figure 4.2.D: Variation de la concentration d'éther éthylique au bâtiment 160 (première passe) 151

Figure 4.2.E: Variation de la concentration d'éther éthylique au bâtiment 162 (première passe) 152

Figure 4.2.F: Variation de la concentration d'éther éthylique au bâtiment 170 (première passe) 153

Figure 4.2.G: Variation de la concentration d'éther éthylique au bâtiment 174 (première passe) 154

Figure 4.2.H: Variation de la concentration d'alcool éthylique au bâtiment 162 (première passe) 155

Figure 4.2.J: Tendance générale de la variation de la concentration de certains polluants exprimée en pourcentage de la médiane sur la VLE_{8h}, entre 1975 d'une part, et 1980 ou 1981 ou 1982, le cas échéant, d'autre part 156

Figure 4.2.K: Tendance générale de la variation de la concentration de certains polluants exprimée en pourcentage du nombre de données $>$ VLE_{8h} ou $VLE_{15\ min}$, selon le cas, sur le nombre total de données, entre 1975 d'une part et 1980 ou 1981 ou 1982, le cas échéant, d'autre part 157

Figure 4.3.A: Évolution des résultats de plombémie et F.E.P. de trois travailleurs 199

Liste des photos

Photo 1 Vue aérienne de l'usine (1940) 10

Photo 2 Remplissage d'un réacteur de nitration avec de la cellulose 82

Photo 3 Sortie de l'essoreuse nº 8 illustrant:

a) Tuyau en forme de cou d'oie pour l'évacuation de la nitrocellulose 83

b) Tuyau incliné servant à évacuer l'acide 83

Partie introductive

Décret
Gouvernement du Québec

Numéro 358-83 — 2 mars 1983

Décret concernant la constitution d'une commission d'enquête sur les conditions de santé et de sécurité des établissements de la compagnie « *Les produits chimiques Expro inc.* »

ATTENDU QUE plusieurs événements affectant ou de nature à affecter la santé ou la sécurité des travailleurs sont survenus depuis 1977 aux établissements maintenant exploités par la compagnie « *Les produits chimiques Expro inc.* » et situés dans la municipalité de Saint-Thimothée, district de Beauharnois;

ATTENDU QU'une enquête tenue en vertu de la Loi sur la santé et la sécurité du travail (L.R.Q., c. S-2.1) ne porte que sur certains faits relatifs à l'observation de cette loi et de ses règlements;

ATTENDU QU'une enquête du coroner portant sur un fait s'étant produit sur ces établissements n'a pour but que de constater s'il y a une responsabilité criminelle;

ATTENDU QU'il est devenu nécessaire d'enquêter sur ces événements, d'en rechercher les causes et de prendre les mesures nécessaires pour assurer la santé et la sécurité des travailleurs de ces établissements;

ATTENDU QUE conformément à l'article 1 de la Loi sur les commissions d'enquête (L.R.Q., c. C-37) le gouvernement peut, lorsqu'il le juge à propos, faire une enquête sur une matière importante se rattachant à la santé publique ou au bien-être de la population et nommer un ou plusieurs commissaires pour conduire cette enquête;

IL EST ORDONNÉ, en conséquence, sur la recommandation du Ministre du Travail:

QUE sous l'autorité de l'article 1 de la Loi sur les commissions d'enquête (L.R.Q., c. C-37) soit constituée une commission d'enquête dont le mandat est le suivant:

a) déterminer les causes des événements qui ont affecté ou qui étaient de nature à affecter la santé ou la sécurité des travailleurs et qui sont survenus depuis 1977 aux établissements de la compagnie « *Les produits chimiques Expro inc.* » situés dans la municipalité de Saint-Thimothée, district de Beauharnois, ces établissements ayant également été exploités par d'autres personnes au cours de cette période;

b) enquêter sur les circonstances de ces événements et sur les conditions qui les ont précédés;

c) faire rapport et, s'il y a lieu, faire des recommandations sur les mesures à prendre pour éviter la répétition de tels événements notamment sur le plan de la prévention des accidents ou des maladies professionnelles sur ces établissements;

d) faire rapport sur toutes questions visant à assurer la santé et la sécurité des travailleurs de ces établissements.

QUE monsieur René Beaudry, juge de la cour provinciale et membre du Tribunal du travail soit nommé commissaire et qu'il préside cette commission d'enquête;

QUE cette commission soit tenue de compléter ses travaux et de soumettre son rapport et ses recommandations au plus tard le 1er juin 1983;

QUE les dépenses nécessaires à l'exécution du mandat de cette commission soient payées à même le budget du ministère du Travail.

Le Greffier du Conseil exécutif

Louis Bernard

Notes (1) Le commissaire Louis Drouin, médecin spécialiste en santé communautaire et responsable du Service de santé au travail du Centre hospitalier de Laval fut nommé membre de la Commission le 30 mars 1983 par le décret numéro 658-83.

(2) Le commissaire Paul-André Courtois, ingénieur chimiste, possédant une maîtrise en hygiène industrielle et professeur de l'Université du Québec à Trois-Rivières, fut nommé membre de la Commission le 13 avril 1983 par le décret numéro 756-83.

(3) Monsieur André L'Heureux, ex-vice-président de la Confédération des syndicats nationaux (C.S.N.), fut nommé secrétaire de la Commission par le décret numéro 658-83, en date du 30 mars 1983.

(4) Par le même décret, monsieur Réjean Parent, sous-ministre adjoint à la Recherche et à l'Administration du ministère du Travail, fut nommé responsable de l'administration générale de la Commission.

(5) Le mandat de la Commission fut prolongé au 1er septembre 1983 en vertu du décret numéro 1101-83 en date du 25 mai 1983, puis, au 30 novembre pour permettre l'impression du rapport.

Avant-propos

Cette commission d'enquête fut constituée par le Conseil exécutif sur proposition du ministre du Travail, Me Raynald Fréchette, suite à des événements qui ont occasionné le décès de quatre travailleurs depuis le mois d'août 1980, des intoxications au cours du travail par plusieurs travailleurs et suite à des incidents de nature à affecter sérieusement la santé et la sécurité de ces derniers.

Les travaux de la Commission ont effectivement débuté dès que les trois commissaires furent nommés et se sont poursuivis sans relâche jusqu'à l'expiration de son mandat. Son mandat original fut prolongé au premier septembre 1983, puis au 30 novembre 1983, et son budget fut, en conséquence, porté de 230 000$ à 415 790$.

Le mandat de la Commission fut interprété largement de manière à recueillir l'ensemble des faits qui ont pu lui permettre de faire l'analyse des causes et des circonstances des événements et incidents qui ont fait l'objet de l'enquête. Pour y arriver, la Commission fut assistée de Mes Conrad Chapdelaine et Jean-Charles Hamelin, avocats. Me Chapdelaine s'est chargé de l'interrogatoire des témoins et de présenter, en audiences publiques à Valleyfield, les faits pertinents aux principaux événements survenus dans cette entreprise depuis 1977. Me Hamelin agissait à titre de conseiller juridique, assistant du procureur de la Commission et recherchiste en matière juridique. Monsieur Laurier Juteau, ingénieur professionnel, professeur à l'École polytechnique de Montréal, fut chargé de la coordination de la recherche et de l'expertise scientifique.

Le plan de travail adopté par la Commission comporte plusieurs volets:

1) Une revue de la littérature portant sur les problèmes de santé et de sécurité dans l'exploitation des usines d'explosifs.

2) La collecte des rapports d'accidents et d'incidents qui étaient ou pouvaient être de nature à affecter la santé et la sécurité des travailleurs de l'usine Expro. Ces rapports provenaient des archives laissées à Expro, par les compagnies C.I.L., C.P.C.V. et Price Watherhouse, des dossiers de la compagnie Expro, du Service d'inspection de la Commission de la santé et de la sécurité du travail (C.S.S.T.), du Département de santé communautaire (D.S.C.) de Valleyfield et du Syndicat national des produits chimiques de Valleyfield (C.S.N.).

La Commission fut même autorisée à consulter les dossiers médicaux de plusieurs travailleurs exposés aux solvants et acides utilisés dans les procédés de production.

3) Des rencontres informelles avec les représentants du syndicat et de la compagnie ont permis de connaître leur orientation, leur comportement et leurs objectifs à l'égard des problèmes de santé et de sécurité au travail dans cette entreprise.

4) Les audiences publiques se sont poursuivies du 26 avril au 14 juillet. Vingt-quatre jours d'audiences publiques ont permis d'entendre 65 témoins et de recueillir quelques centaines de documents. Les témoignages ont été enregistrés par monsieur Pierre Vilaire, sténographe officiel; les notes sténographiques comptent 5 644 pages.

Les audiences publiques ont été rendues nécessaires par la publicité, dans la région de Valleyfield, des principaux événements reliés au décès de quatre travailleurs, à plusieurs cas d'intoxication aux solvants, aux vapeurs nitreuses et à la nitroglycérine, et à des brûlures aux acides utilisés dans la fabrication des explosifs. Le syndicat (C.S.N.) en place a exercé de fortes pressions pour obtenir une enquête publique. Les audiences publiques ont toutes été tenues au palais de justice de Valleyfield. La Commission est heureuse de mentionner l'accueil et la collaboration de monsieur Paul Brodeur, directeur du Greffe de Valleyfield et de son personnel.

Pour favoriser le déroulement des audiences publiques, la Commission a formulé et publié des règles de pratique et de procédure que l'on retrouvera à l'annexe I de ce rapport.

Une déclaration d'ouverture précisant les pouvoirs et devoirs de la Commission d'enquête, lue par le Président de la Commission, est reproduite à l'annexe II.

Pour éviter de prolonger ces audiences au-delà des délais impartis, elles furent obligatoirement circonscrites à la description des lieux et des procédés de production, à l'audition des mémoires des parties intervenantes, à l'audition de témoins sur les principaux événements qui ont affecté ou qui ont été susceptibles d'affecter la santé et la sécurité des travailleurs depuis 1977 et, enfin, à l'exposé des programmes de prévention des accidents et des maladies professionnelles suggérés par le syndicat et la compagnie.

5) La visite des installations, édifices et équipements fut longue (quinze jours) et laborieuse à cause de la dispersion des bâtiments et des restrictions imposées par la réglementation relativement au nombre de personnes autorisées à s'introduire dans les bâtiments au cours des opérations, vu le type particulier de risques résultant de la fabrication d'explosifs.

La visite des lieux permit de vérifier l'état des bâtiments et de l'équipement, le cheminement des procédés de production et l'environnement de travail. En même temps, elle a favorisé un contact fructueux avec des travailleurs et des employés-cadres.

6) Avec la collaboration du Ministre du Travail, les membres de la Commission ont effectué des visites d'entreprises de fabrication d'explosifs en Écosse, en Suède et en France. À cette occasion, les commissaires ont pu réaliser de précieuses rencontres avec des représentants des institutions nationales d'organisation et de surveillance de la santé et de la sécurité du travail: à Londres au British Health and Safety Commission (B.H.S.C.), en Suède à la Commission nationale de sécurité et de santé professionnelles (N.B.O.S.H.), en France au ministère du Travail et à l'Institut national de recherche et de sécurité (I.N.R.S.).

L'organisation de ces visites et de ces rencontres s'est réalisée avec célérité et efficacité grâce à la compétence et à la diligence de fonctionnaires du ministère des Affaires intergouvernementales.

7) Les commissaires ont eu aussi plusieurs rencontres avec des inspecteurs du bureau régional de la C.S.S.T. à Longueuil, le chef du D.S.C. de Valleyfield, Dr Gilles Poupart, et ses principaux assistants, madame Danièle Dumas, Dr John Osternam lequel a participé aux travaux de recherche sur la toxicité des principaux produits à Expro, des médecins du service d'Urgence de l'Hôpital de Valleyfield, Dr Arnold Aberman du C.L.S.C. de Beauharnois, madame Donna Mergler de l'Université du Québec à Montréal, Dr Margaret Becklake de l'Université McGill, Dr Yves Lacasse de l'Hôpital Santa Cabrini, Dr Jules Brodeur et Dr Alice P'an de l'Université de Montréal.

8) Les expertises suivantes ont été effectuées pour la Commission:

a) Le Dr Louis Jacques possède une maîtrise en santé au travail (École de santé publique de Harvard), un certificat de spécialiste en santé communautaire (Corporation professionnelle des médecins du Québec), ainsi qu'un certificat de spécialiste en médecine communautaire (Collège royal des médecins et chirurgiens du Canada). Il est attaché au D.S.C. du Centre hospitalier Maisonneuve-Rosemont à Montréal.

Le mandat suivant lui fut confié:

— Participer avec l'hygiéniste industriel à l'identification et l'évaluation des principaux contaminants susceptibles d'altérer la santé des travailleurs de la compagnie Expro.
— Déterminer les conséquences aiguës et chroniques de l'exposition aux contaminants identifiés sur la santé des travailleurs.
— Évaluer avec l'hygiéniste industriel les programmes de santé et de prévention mis en place par l'employeur pour prévenir les maladies professionnelles.
— Proposer les mesures préventives susceptibles de promouvoir et protéger la santé des travailleurs exposés.

b) Monsieur Jean-Pierre Farant est diplômé en technologie chimique (Eastern Ontario Institute of Technology). Il possède un doctorat en chimie et un doctorat en toxicologie analytique (Carleton University). Il est présentement professeur associé en hygiène industrielle, à l'Institut de santé et de sécurité professionnelles de l'Université McGill.

Le mandat qu'il a rempli pour la Commission est résumé comme suit:

— Participer avec le médecin du travail à l'identification des principaux contaminants susceptibles d'altérer la santé des travailleurs de la compagnie Expro.
— Participer avec l'ingénieur à l'identification des principaux problèmes de santé et de sécurité industrielles dans les différents procédés de fabrication de l'usine.
— Établir des recommandations en conformité avec les règles de sécurité et de salubrité en milieu de travail à l'usine Expro.
— Établir une liste des réactions chimiques entrant dans les procédés industriels en usage à l'usine et la liste des produits chimiques qui peuvent se dégager dans l'aire de travail.

c) Madame Danièle Brochu possède un baccalauréat en pharmacie, un diplôme en pharmacie d'hôpital (Université de Montréal) et une maîtrise en santé publique (Tufts University, Massachusetts).

Voici le mandat qu'elle a rempli:

— Effectuer une revue de littérature sur les effets des principaux contaminants identifiés aux établissements Expro.
— Produire un rapport sur les principaux effets aigus et chroniques de ces contaminants en tentant de dégager une relation dose-réponse.

d) Monsieur Michel Dubeau, hygiéniste industriel, possède un baccalauréat en biologie (Université de Montréal), une maîtrise en environnement (École Polytechnique de Montréal) et un cours gradué option environnement et santé au travail (Université de Montréal).

Il fut chargé du mandat ci-après:

— Effectuer le tableau de la situation environnementale depuis 1977 aux établissements de la compagnie Expro.
— Faire une évaluation de l'effort en hygiène industrielle dans cette entreprise.

Ces expertises ont été complétées avec célérité et compétence; elles ont largement bénéficié à l'enquête de la Commission sur des matières directement reliées à la santé et à la sécurité des travailleurs concernés.

9) Les commissaires désirent mentionner la contribution du Centre de documentation de la C.S.S.T. et du service d'Inspection de la division régionale de Longueuil de la C.S.S.T.

Tous les travaux de la Commission ont été réalisés grâce à la collaboration de son personnel de soutien: mesdames Danielle Morissette, Louise Lemieux et Marie-Josée Lemieux, sous l'habile direction du secrétaire monsieur André L'Heureux.

Monsieur Réjean Parent, sous-ministre adjoint à la Recherche et à l'Administration du ministère du Travail, a fait preuve d'efficacité et de compétence à titre d'administrateur délégué de la Commission.

Enfin, les commissaires remercient le ministre du Travail, Me Raynald Fréchette, et les membres de son cabinet pour leur support et leur empressement dans le règlement des difficultés inhérentes au fonctionnement d'une commission d'enquête dont la création et l'activité sont toujours considérées comme un fait inusité, dérogatoire et gênant les us et les coutumes du régime administratif gouvernemental.

Chapitre 1

L'usine Expro

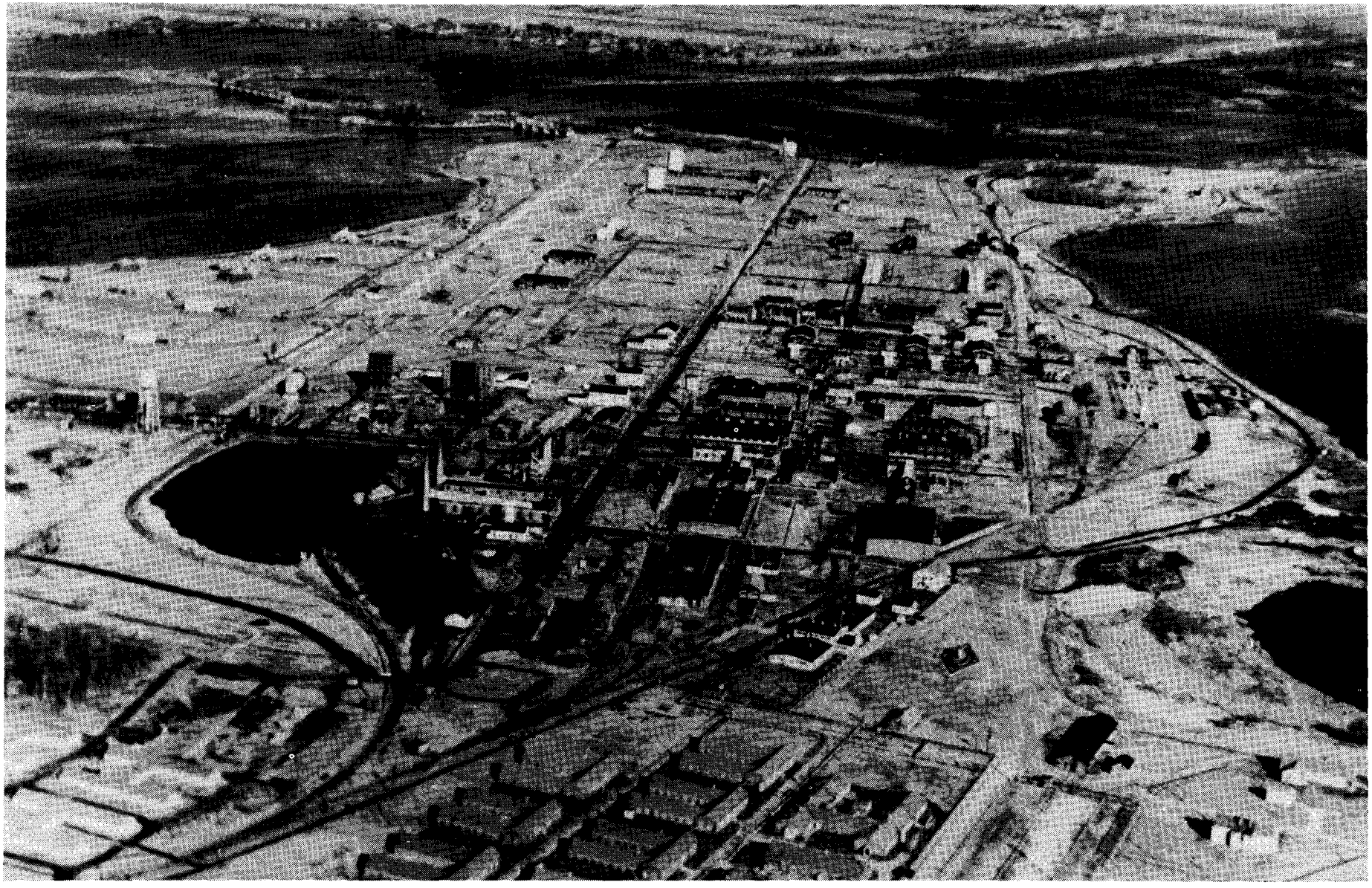


Photo n° 1 Vue aérienne de l'usine (1940)

1.1 Site

Les immobilisations de la fabrique d'explosifs Expro sont constituées d'un ensemble de 293 bâtiments et installations, dont 225 sont présentement utilisés, répartis sur un territoire de 1 100 acres, situé dans le village de Saint-Thimothée, banlieue de la ville de Valleyfield (voir page ci-contre).

1.2 Historique

La construction de l'usine remonte à 1940. Elle fit partie intégrante du réseau administratif du ministère de la Défense nationale jusqu'en 1945, sa production étant alors limitée exclusivement à des fins militaires. Pendant cette période, deux à trois mille salariés, y compris les employés cadres, y travaillaient dans l'ensemble des 290 bâtiments alors utilisés.

De 1945 à 1951, l'usine fut fermée. Cependant, à compter de 1951 les Arsenaux canadiens en ont assumé l'opération pour le compte du gouvernement du Canada. Pendant cette période, fut développée la production d'un nouvel explosif à des fins militaires, le RDX (Research and Development Explosive).

En 1965, la compagnie C.I.L. (Canadian Industries Limited) faisait l'acquisition de l'usine. Elle en est demeurée propriétaire jusqu'en novembre 1977. Pendant les neuf premières années d'opération, C.I.L. fabriquait une variété de produits explosifs à usage militaire et commercial.

En 1976, elle discontinue la production de poudres explosives et propulsives, donc de nitrocellulose et de nitroglycérine.

En 1977, un incendie détruit le secteur de production RDX et la production de cet explosif est abandonnée. Ainsi, en novembre 1977, il ne restait plus que 250 personnes à l'emploi de l'entreprise.

En novembre 1977, C.I.L. vend l'entreprise à la Corporation des produits chimiques de Valleyfield (C.P.C.V.). C.I.L. continue cependant d'opérer quelques secteurs commerciaux et le TNT, opérations qu'elle abandonne progressivement en 1978 et 1979.

En fait, vers la fin de 1977 et le début de 1978, C.P.C.V. reprend la production de nitrocellulose. La même année, progressivement, C.P.C.V. entreprend la fabrication de la nitroglycérine, de la poudre propulsive à base simple, double et triple, et la mise en opération de concentrateurs d'acides nitrique et sulfurique.

Fin octobre 1978, C.I.L. abandonne la production du TNT, remet les bâtiments concernés à C.P.C.V., laquelle décide de mettre fin à la production de ce produit.

Au cours de cette dernière année, C.P.C.V. reconstruit les bâtiments requis pour la fabrication de RDX, et en commence les opérations fin 1978 début 1979.

Toutefois dès décembre 1980, C.P.C.V. est mis en faillite et toutes les opérations de l'entreprise sont assumées par Price Waterhouse et associés. On comprend que l'administration de l'entreprise, par cette dernière, fut de caractère temporaire dans le but de trouver acheteur au meilleur prix possible.

Enfin, Produits chimiques Expro inc. fait l'acquisition de l'entreprise en mars 1982 et en continue les opérations pendant la durée de cette enquête. Produits chimiques Expro inc. est, en fait, une filiale de Welland Chemical de Toronto, Ontario, laquelle détient 51% des actions d'Expro. Quarante-quatre pour cent des actions sont la propriété de Dafina Holding, également de Toronto et les 5% de la balance des actions sont détenues par C.I.L.

En somme, cet historique permet de constater que la plupart des événements qui font l'objet de notre enquête, à l'intérieur du mandat qui nous est confié, se sont produits pendant l'administration de l'entreprise par C.P.C.V., Price Waterhouse et Expro. Un seul événement majeur est survenu alors que C.I.L. était propriétaire.

1.3 Organisation de l'entreprise Expro

a) L'organisation interne et l'administration des affaires courantes de la compagnie Expro sont assumées par un directeur général, assisté d'un personnel cadre qui a subi plusieurs transformations depuis l'acquisition de cette entreprise par Expro. Une augmentation subite de la main-d'œuvre en 1978, par l'engagement d'environ trois cents travailleurs par C.P.C.V., ne fut pas accompagnée d'une augmentation correspondante du personnel cadre. Si bien, qu'en 1982, trente-trois directeurs, chefs de services, contremaîtres, ingénieurs et techniciens furent embauchés par Expro. Suite à certains départs et modifications de fonctions et responsabilités, la compagnie dut reformer sa structure de gestion en juillet 1983. Un nouvel organigramme entre alors en vigueur. Relèvent immédiatement du directeur général, les fonctions de cadres supérieurs suivantes:

Directeur, Fabrication et Services techniques
Directeur, Entretien, Génie et Énergie
Directeur, Finances et Administration
Directeur, Mise en marché
Chef de service, Trafic et Distribution
Chef de service, Relations industrielles
Chef de service, Santé-Sécurité
Études spéciales, projets

À celles-ci, on doit ajouter une trentaine de fonctions de cadres inférieurs, non compris le groupe des contremaîtres et des techniciens. Au total, on compte environ cent cinquante employés cadres, de bureau et techniciens.

b) La main-d'œuvre est formée de 550 salariés environ, dont une centaine sont préposés à l'entretien. Au mois de janvier 1983, 65% des salariés avaient moins de cinq ans de service, 9% de cinq à quinze ans, 20% de quinze à vingt ans, 6% plus de vingt ans.

c) Les employés de bureau et les techniciens ne sont pas représentés par un syndicat.

Le Syndicat national des produits chimiques de Valleyfield (C.S.N.) fut accrédité le 9 juin 1966 pour représenter:

> « *Tous les employés salariés au sens du Code du travail, à l'exception des gardes, des pompiers, des employés de bureau et des employés cléricaux, du personnel à traitements, des services techniques et du génie y compris les techniciens et assistants de laboratoire.* »

La dernière convention collective fut signée le 1er mars 1983; elle est en vigueur depuis cette date et se terminera le 28 février 1985.

Quant aux agents de sécurité, ils sont représentés depuis le 19 mars 1983 par l'Union des agents de sécurité du Québec.

d) Un comité paritaire de santé et de sécurité fut formé par l'effet de la négociation de la convention collective depuis 1980. Cependant, cette institution locale de santé et de sécurité, bien que négociée, n'a pas toujours fonctionné tel que prévu à l'origine. En particulier, pour diverses raisons, elle est inopérante depuis septembre 1982.

Nous analyserons plus loin, au chapitre 4, les principaux motifs qui, de part et d'autre, ont conduit à l'impasse dans le fonctionnement du Comité paritaire de santé et de sécurité.

Cependant, en vertu de la convention collective de travail, un représentant syndical à la santé et sécurité est libéré, à temps plein et avec plein salaire, pour représenter les

travailleurs et le syndicat à l'égard de toutes questions relatives à la santé et à la sécurité. L'employeur met à sa disposition un bureau avec service téléphonique.

De plus, le représentant syndical à la santé et sécurité ainsi que les représentants syndicaux, membres du Comité paritaire de santé et de sécurité, sont autorisés à accompagner un représentant de l'employeur lors d'inspections mensuelles de sécurité, de type général, dans la section d'opération qu'ils représentent respectivement. De même, les inspections et enquêtes gouvernementales concernant la santé et la sécurité sont effectuées en présence d'un membre du Comité paritaire de santé et de sécurité.

Les représentants syndicaux sont rémunérés selon leur taux de salaire respectif lorsqu'ils accomplissent ces fonctions.

Chapitre 2

Les audiences publiques

Dans ce chapitre, la Commission fait une revue des principaux événements survenus à l'usine Expro depuis 1977, mis en preuve lors des audiences publiques. Les mémoires des parties intervenantes ainsi que leurs projets de programme de prévention y sont résumés. La preuve des principaux événements est présentée sous quatre grands thèmes et non dans l'ordre chronologique suivi lors des audiences publiques. Ces thèmes sont les suivants: explosions et incendies de bâtiments et d'équipements, blessures lors d'utilisation ou réparation de l'équipement, réservoir, cas d'intoxications. Ce dernier thème regroupe les intoxications à l'éther et à la nitroglycérine, l'accident de M. Michel Bernier ainsi que les cas de « Rash » cutanés. Ce chapitre ne contient qu'un résumé descriptif des événements.

2.1 Preuve des principaux événements

2.1.1 Explosions et incendies de bâtiments et d'équipements

A. Département du RDX (1977)

1. Explosion

Vers 10 h 45 le 21 avril 1977, Gilles Rhainds, premier opérateur au bâtiment nº 703 depuis les six dernières années, termine la vidange du petit réservoir d'acide acétique raffiné; il quitte son poste de surveillance pour fermer la valve du réservoir. Au moment où il s'apprête à fermer cette valve, il aperçoit, au-dessus de la boîte de transfert, entre les bâtiments nºs 703 et 743, des flammes qui s'élèvent à une hauteur d'environ 18 à 20 pouces. Il revient aussitôt sur ses pas pour appeler les pompiers, mais se trompe de numéro. Il descend par la suite l'escalier extérieur, crie à Jean-Guy Rochefort, qui, à ce moment-là, se trouve dans le bâtiment nº 742, d'appeler les pompiers car, dit-il, le feu est pris au bâtiment nº 703. Il se rend directement au bâtiment nº 743 et arrête les pompes d'acide sulfurique (98%) et d'acide acétique usé. Après cette opération, il tente avec l'aide de son compagnon, M. Rochefort, de localiser l'endroit précis où le feu s'est déclaré; il s'approche de la bâtisse nº 743 et voit de la fumée au-dessus de la boîte de transfert. Une fraction de seconde après cette constatation, il entend un sifflement et c'est l'explosion. M. Gilles Rhainds dira qu'en se sauvant, il a tout vu l'intérieur de la bâtisse nº 743. Lors de sa fuite, il reçoit un objet sur la tête mais peut se rendre tout de même au bureau des contremaîtres; quinze minutes plus tard, il est conduit au Centre hospitalier de Valleyfield. Quant à son compagnon, M. Rochefort, celui-ci n'a pas la même veine; une partie du mur du bâtiment nº 743 s'affaisse sur lui et avec l'aide de M. Rhainds, il réussit de peine et de misère à se sortir des décombres pour être par la suite conduit au Centre hospitalier de Valleyfield.

2. Victimes

Lors de cette première explosion, trois travailleurs furent blessés. M. Jean-Guy Rochefort, chef opérateur aux bâtiments nºs 741 et 742, est le plus sérieusement touché: contusions à l'épaule et au bras droit, lacérations à la tête et au dos, corps étrangers (vitre) dans les tissus moux de l'épaule droite. Quant à Gilles Rhainds, premier opérateur à la bâtisse nº 703, il fut traité au Centre hospitalier de Valleyfield pour contusions et choc nerveux. Le troisième travailleur blessé lors de cette première explosion est M. Alfred L'Ériger, deuxième opérateur, qui était à ramasser des tuyaux à l'extérieur, tout près du bâtiment nº 703. Il fut aussi traité pour contusions.

Huit autres travailleurs durent également être traités pour contusions et choc nerveux subis lors de l'incendie et l'évacuation des différents bâtiments.

3. Dégâts matériels

Trois explosions d'importance se produisirent lors de cet événement. Outre la première relatée plus haut et décrite par le témoin Gilles Rhainds, une explosion d'intensité presque aussi forte se produisit vers 19 h 10 et finalement vers 5 heures le jour suivant, le 22. Plusieurs explosions de moindre intensité sont survenues tout au long de la journée du 21 avril et quelques-unes dans la nuit du 22.

Ces diverses explosions et l'incendie qui s'ensuivit, entraînèrent la destruction complète des bâtiments nos 382, 701, 703, 706, 707, 712, 713a, 736, 743 et 748. D'autres bâtiments furent partiellement endommagés. Il s'agit des bâtiments nos 704, 708, 741, 742, 746, 749, 751 et 728. Les dégâts matériels s'élevèrent à plusieurs millions de dollars et tout le département du RDX était hors d'usage.

4. Conditions préexistantes

Peu de temps avant l'accident, la compagnie C.I.L., alors propriétaire de l'usine, avait annoncé la fermeture imminente du département RDX. Les raisons invoquées étaient la rentabilité précaire de ce département et les coûts énormes qu'aurait entraînés la restauration d'un département aussi vétuste, construit au début des années 1950. Le bâtiment no 703 était l'endroit où l'on procédait à la purification de l'acide acétique usé, tandis qu'au bâtiment no 743, on entreposait l'acide acétique usé et purifié ainsi que l'acide sulfurique. Entre ces deux bâtiments, se trouvait un tunnel de transfert fait de contre-plaqué d'un demi-pouce d'épaisseur isolé d'une couche de laine minérale et recouvert de papier goudronné sur deux côtés. À l'intérieur de ce tunnel se trouvaient deux conduites d'acide sulfurique, trois conduites d'acide acétique, un conduit de vapeur et un conduit d'air. Il semble que ces différentes conduites pouvaient à l'occasion se bloquer. La procédure employée pour les débloquer était la suivante: de l'intérieur du bâtiment no 743 ou 703, on ouvrait la conduite pour y insérer un boyau d'eau sous pression. Lors de l'opération, du RDX déposé à l'intérieur de la tuyauterie pouvait, à cause du reflux, être entraîné avec l'eau à l'extérieur de la conduite et ainsi se retrouver dans le tunnel de transfert. D'ailleurs, le témoin Rhainds a déclaré qu'il a déjà vu du RDX à l'intérieur de ce tunnel de transfert, lequel n'était nettoyé qu'à bout de bras à partir de l'intérieur du bâtiment no 703 ou du 743. En aucun temps, à sa connaissance, Rhainds n'a vu un nettoyage complet de l'intérieur de cette boîte de transfert. De plus, selon lui, l'état des différentes conduites à l'intérieur de ce tunnel de transfert n'avait jamais été vérifié. Il affirme qu'il est impossible qu'un écoulement ait pu provenir des joints de la tuyauterie d'acide sulfurique car cette dernière n'en avait aucun le long de son parcours à l'intérieur de la boîte de transfert. Quant à son explication sur l'origine du feu à l'intérieur du tunnel de transfert, Gilles Rhainds précise, en se basant sur des expériences antérieures au cours de ses opérations à la bâtisse no 703, qu'il est arrivé qu'un écoulement d'acide sulfurique venant en contact avec du RDX et du bois avait provoqué des flammes qu'il avait réussi dans le passé à maîtriser à l'aide d'un boyau d'arrosage se trouvant à l'intérieur du bâtiment no 703. Ce matin du 21 avril 1977, les opérations avaient été arrêtées pour procéder au déblocage d'une des conduites à l'intérieur du tunnel de transfert. Suite au déblocage de cette conduite, les opérations reprirent leur cours normal et, vers les 9 h 30, une inspection de sécurité fut faite par une équipe formée d'un représentant syndical, d'un représentant de la compagnie et d'un représentant du département du RDX. D'ailleurs, à cette époque, des inspections mensuelles de sécurité étaient faites. Selon le témoignage de Gilles Rhainds, les tuyaux n'étaient vérifiés qu'en cas de bris ou autres difficultés; aucun système d'alarme n'existait, aucun système de gicleur n'était installé au-dessus du tunnel de transfert ni dans la bâtisse no 703.

5. Reconstruction et mise en opération

En 1978, alors que l'usine était achetée par la Corporation des produits chimiques de Valleyfield, la décision fut prise de reconstruire le département du RDX. Tous les bâtiments complètement détruits furent rebâtis et on procéda à la réparation des bâtiments partiellement endommagés. En fait, à peu de changements près, le même équipement qui existait en 1977, lors de l'incendie, fut à nouveau installé dans le département du RDX reconstruit. Les opérations reprirent au début de l'année 1979. Quant aux changements d'importance apportés, il convient de souligner une nouvelle conception des tunnels de transfert permettant leur nettoyage complet, de façon périodique. De plus, la conduite d'acide sulfurique, antérieurement à l'intérieur de ce tunnel de transfert, fut placée à l'extérieur de celui-ci. Le contrôle de la décantation du RDX fut amélioré dans les réservoirs d'acide acétique, contribuant ainsi à diminuer la présence de RDX dans

les conduites. On procéda ensuite de façon périodique au nettoyage des différentes conduites avec de l'acide acétique chaud de façon à enlever les dépôts de RDX qui se trouvaient à l'intérieur. Quant à la tuyauterie des bâtiments nos 703 et 743 on opta pour le pyrex, ce qui permet à l'opérateur de mieux voir la circulation des acides, et de prévenir la corrosion. Les différents couloirs entre les bâtiments furent complètement éliminés.

B. Incendie à la tour de mélange no 295 (1978)

1. Incendie

Le 25 mai 1978, vers 15 heures, alors qu'il travaille avec sept compagnons à la bâtisse no 297, Yvan Lemieux doit sortir à l'extérieur du bâtiment.

Il entend tout à coup un bruit et voit devant lui, un feu se déclarer au niveau du corridor surélevé reliant les bâtiments nos 295 et 297. Subitement, tout devient rouge autour de lui. Sans perdre un instant, il entre dans la bâtisse no 297 et avise ses compagnons de travail que le feu est pris. Tous quittent immédiatement les lieux. L'incendie se propage rapidement et est combattu par les pompiers volontaires de l'usine. La bâtisse no 295 sera une perte totale alors qu'on réussit à protéger le bâtiment no 297. Le témoin Lemieux se dit convaincu que les flammes se sont déclarées dans le corridor reliant les bâtiments nos 297 et 295 et plus précisément tout près des chutes du bâtiment no 297. Des observations qu'il a faites, il conclut « qu'il ne voit rien d'autre qu'un trouble électrique » à l'origine de l'incendie.

2. Victimes

Le seul blessé au cours de cet incendie fut M. Lemieux. Il a subi des brûlures du premier et deuxième degré au visage. Il fut traité au service de santé de l'usine pendant une semaine, recevant des médicaments prescrits par le médecin, tout en continuant à travailler. Suite à cet incendie il devint si craintif qu'il demanda à être transféré de département, ce qui lui fut accordé. Il se retrouva par la suite au département de l'expédition.

3. Dégâts matériels

Le bâtiment no 295 fut complètement détruit. Une nouvelle tour de mélange portant le numéro 241 a été construite par la suite.

4. Conditions préexistantes

Les bâtiments nos 295 et 297 font partie du département de la deuxième passe, la finition. Au bâtiment no 295, qu'on appelle tour de mélange, on procédait au mélange des différentes poudres qui devaient par la suite être transportées sur plate-formes ou dans des chariots, par un corridor surélevé au bâtiment no 297. Elles étaient alors versées dans des chutes pour ensuite être empaquetées, prêtes pour l'expédition. Toutes les opérations de manipulation et de transport de la poudre se faisaient manuellement. Les planchers de ce corridor étaient faits de bois franc au centre et de bois mou sur les côtés. La charpente des murs était constituée de pièces de bois de deux pouces d'épaisseur par quatre pouces de largeur, lambrissée de l'extérieur mais non de l'intérieur. Des lumières étaient disposées le long de ce corridor. Les chariots, servant au transport de la poudre, étaient munis de roues en caoutchouc et des dispositifs permettant la mise à la terre lors du chargement et du déchargement étaient prévus. Quant à l'entretien de la bâtisse, le témoin Lemieux affirme qu'à la fin de chaque quart de travail, on procédait au nettoyage du corridor reliant les deux bâtisses à l'aide d'une brosse. Ce n'est que lors d'un changement de sorte de poudre qu'on lavait ce corridor à l'aide d'un boyau d'arrosage.

L'inspection mensuelle de l'équipement était faite par un représentant des travailleurs et un représentant de la compagnie mais ce, de façon visuelle, notamment quant aux mises à la terre. Aucun appareil n'était utilisé pour vérifier leur efficacité. La preuve révèle de plus qu'aucun système de gicleur n'était installé dans le corridor reliant les deux bâtiments. Il n'existait aucun système d'alarme d'incendie; il n'y avait que des extincteurs au-dessus des balances à l'intérieur du bâtiment no 297. Quant à la formation en

santé-sécurité des travailleurs du département de la finition, le témoin Lemieux raconte que des réunions se tenaient à chaque mois pour discuter de problèmes de sécurité. De plus, il mentionne au sujet de l'entretien de l'équipement, que lorsqu'il constatait une défectuosité, il la rapportait immédiatement à son contremaître, et les réparations étaient faites « le plus rapidement possible ». Il importe de noter également que, dans ce département, les travailleurs devaient travailler dans différentes bâtisses au cours d'un même quart de travail à des fonctions tout à fait différentes chaque fois.

C. Incendie au bâtiment nº 162 (1979)

1. Incendie

M. Marc Thibault, premier opérateur au bâtiment nº 162, (mix house) tente d'ouvrir une valve permettant le refroidissement du mélangeur nº 302. Incapable seul, il réussit à l'ouvrir avec l'aide de MM. Marc Lavigueur et Jean-Marc Arsenault. Par la suite, alors qu'il s'apprête à ajouter de l'éther pur dans le mélangeur nº 305, la poudre étant devenue trop sèche, Marc Lavigueur voit du feu au niveau des courroies au-dessus du mélangeur nº 305. Il crie: «*Au feu!*» Le contremaître ajoute immédiatement: «*Sortez, les gars*». Tous sortent de la bâtisse. Aussitôt sortis, une détonation retentit; le mur s'ouvre. Le contremaître Arsenault actionne les gicleurs à l'aide d'un câble se trouvant à l'extérieur et ferme les bouches du système d'aspiration de l'éther pour éviter la propagation du feu aux autres bâtiments. Le système d'alarme est déclenché. Tous se sauvent sans savoir où ils vont. Il est 8 h 35 le 16 mai 1979.

2. Dégâts matériels

Les flammes se propagèrent rapidement à l'intérieur du bâtiment nº 162. Le mélangeur nº 301, alors en opération explosa. Des barils de résidus de nitrocellulose situés près du mur du bâtiment en face du mélangeur nº 301 prirent feu. Les pompiers de l'usine, par la suite assistés par les pompiers volontaires de la municipalité de Saint-Thimothée combattirent l'incendie. Le toit et un mur du bâtiment furent lourdement endommagés.

3. Conditions préexistantes

Le bâtiment nº 162 abrite plusieurs mélangeurs. On place manuellement neuf blocs de nitrocellulose de quinze kilos dans un mélangeur que l'on actionne pendant cinq à dix minutes. Par la suite une quantité déterminée d'éther y est ajoutée. Le tout est mélangé pendant une période d'environ soixante minutes. La température du mélange est contrôlée par un système de refroidissement incorporé à la structure du mélangeur. Au besoin, de l'éther peut être ajouté manuellement. Le cycle de mélange terminé, le contenu du mélangeur est versé dans un chariot et acheminé aux presses pour la mise en meules.

Au début du quart de 8 à 16 heures, le 16 mai 1979, la production était arrêtée, dû à un bris (absence de pression sur les presses). Vers 8 h 25 la pression revient. Le contremaître Arseneault donne ordre de remettre les mélangeurs en marche, malgré qu'on lui ait mentionné que la mise à la terre d'une des courroies du mélangeur nº 305 était brisée. Au moment où le feu se déclara, tous les mélangeurs étaient en marche.

La concentration d'éther dans l'air près des mélangeurs était à ce point forte que Marc Thibault dira que les «*travailleurs se sentaient incommodés, fatigués, amochés, qu'ils devaient aller prendre l'air*» et revenir par la suite continuer leur travail. Les émanations les plus importantes d'éther dans l'air ambiant de travail se produisent lorsqu'on ouvre le couvercle d'un mélangeur pour vérifier l'état de la poudre, lors du transport par un ouvrier des chaudières d'éther pur pour ajouter dans le mélange en cours ou lors de la vidange du mélangeur dans le chariot. Le système d'aspiration des vapeurs se situe au niveau du plancher sous des grillages en bois devant les mélangeurs. Selon M. Thibault, les travailleurs connaissaient les dangers de l'éther à la fois sur le plan de leur sécurité (danger d'explosion dû à une étincelle par exemple) et de leur santé. Nous reviendrons plus loin sur ce point lorsque nous traiterons de la preuve faite en audiences publiques quant aux intoxications à l'éther.

D. Incendie du séchoir nº 280 (1980)

1. Description du bâtiment, équipement et procédé

Au département de la première passe, après avoir coupé les grains de poudre à la longueur désirée au moyen de couteaux rotatifs, la poudre est transportée au département de la deuxième passe (finition). Après avoir subi différents traitements, la poudre est acheminée dans des poches au séchoir. Les poches sont vidées manuellement dans des plateaux (cuvettes de séchage) placés en deux rangées parallèles (six plateaux par rangée) au-dessus d'auges de tôle galvanisée. Le fond de ces plateaux est constitué de deux treillis, l'un plus étroit que l'autre, afin de permettre à l'air chauffé (entre 60ºC et 70ºC) et soufflé à l'intérieur des deux auges par un ventilateur situé à proximité du séchoir dans la soufflerie (fan house) de circuler à travers les grains de poudre et ainsi de les sécher.

Lorsque la poudre atteint un taux d'humidité se situant entre 0,75% et 1%, le cycle de séchage est arrêté et on procède au déchargement. La position inclinée des plateaux facilite le transbordement de la poudre dans les chariots que l'on place devant le plateau. À l'aide d'un râteau, l'opérateur déverse la poudre dans le chariot qui, par la suite, sera placé sur une plate-forme et transporté par une locomotive (Jitney) vers un autre bâtiment.

2. Accident

Il est 23 h 30, le 25 août 1980. M. Gilbert Labbé, prend la relève du contremaître Alfred Roy. Ce dernier lui mentionne que le séchoir nº 280 est prêt pour le déchargement. La poudre SPDN est sèche et les portes sont ouvertes. Il lui remet également la feuille de travail de tout le département préparée par le contremaître général, Gérard Léger, à l'intention des contremaîtres. M. Labbé procède donc à la répartition du travail et désigne ceux qui devront se rendre au séchoir nº 280. L'équipe se compose d'André Amyot, chef opérateur, et d'Albert Leroux, Paul Boyer et Yvon Daoust, tous trois classés deuxième opérateur pour ce bâtiment. Ils se rendent au séchoir nº 280 à bord d'un minibus conduit par M. Amyot. Il est minuit.

Les portes du séchoir étant ouvertes et tout « semblant » prêt pour le déchargement, le chef opérateur détermine la tâche de chacun. M. Paul Boyer monte sur la passerelle et secoue les poches au-dessus des plateaux (poches suspendues à un câble pendant le séchage) pour y retirer les restes de poudre. MM. Daoust et Leroux amènent les chariots (au nombre de quatre) du wagon et les placent devant les plateaux. M. Amyot monte sur la passerelle et, muni d'un râteau, commence à vider le premier plateau du côté sud en poussant sur la poudre, tandis que M. Leroux, au bas, procède aussi à l'aide d'un râteau à vider le même plateau. Pendant ce temps, M. Daoust commence à vider le sixième plateau à l'autre extrémité de l'auge. M. Boyer termine de secouer les poches et à la demande de M. Amyot, il descend de la passerelle et commence le brossage et le nettoyage du premier plateau déjà vidé.

Alors qu'il est à brosser le deuxième plateau, Paul Boyer entend André Amyot crier « *Le feu!* » À ce moment, ce dernier est sur la passerelle; il vide le quatrième plateau avec l'aide de M. Leroux qui lui est en bas. M. Daoust, est en bas devant le cinquième ou le sixième plateau selon M. Boyer. En se retournant, M. Boyer voit une flamme qui s'élève au centre du quatrième plateau. MM. Amyot et Leroux tentent à l'aide de leurs râteaux d'éteindre la flamme en frappant sur le treillis. Il est 0 h 12. Sans perdre un instant, M. Boyer laisse tomber sa brosse et sort par la première porte (sud-est). Il entend alors un cri de lamentation. Dans sa course, il est rejoint par un souffle de chaleur intense: « *Comme un gros vent* » dira-t-il, « *Tout est rouge* ». Il franchit une distance d'environ quarante pieds. Il trébuche, pense perdre connaissance. Tout à coup, l'intensité de la chaleur diminue et il réussit à éteindre le feu à ses cheveux et à son dos. Chancelant, il tente de se rendre au chemin. Il voit quelqu'un courir à sa gauche dans les champs. Ce dernier n'a que ses sous-vêtements et le haut de sa salopette; il s'agit d'Yvon Daoust.

L'alerte est donnée. Des gens arrivent sur les lieux et tentent de venir en aide à MM. Boyer et Daoust. Après quelques minutes d'attente, ils sont transportés par camion à la barrière de l'usine où les attend une ambulance qui les conduit immédiatement au Centre hospitalier de Valleyfield et trois heures plus tard à un hôpital de Montréal, vu la gravité de leurs blessures. Au moment où les pompiers de l'usine et ceux de la municipalité de Saint-Timothée arrivent, toute la structure du séchoir s'est déjà écroulée. La perte est totale.

3. Victimes

Dans les décombres, à la fin de la nuit, on retrouva les corps calcinés d'André Amyot, 34 ans, à l'emploi de la compagnie depuis le 4 mai 1978 et celui d'Albert Leroux, 26 ans, embauché le 10 février 1978. La propagation des flammes fut fulgurante; ni l'un ni l'autre n'ont pu s'échapper. À cause de sa position sur la passerelle, M. Amyot n'avait aucune chance. Quant à M. Leroux, sa tentative d'éteindre la flamme qui a jailli au centre du plateau lui a été fatale. Réaction instinctive bien sûr et compréhensible, mais combien inutile dans un bâtiment contenant quatre mille livres de poudres SPDN sèche et quatre mille livres de poudre IMR presque sèche. Il perdit de précieuses secondes qui auraient pu, peut-être, lui sauver la vie. M. Yvon Daoust était âgé de 23 ans; il était à l'emploi de la compagnie depuis le 21 juillet 1978. Bien qu'il réussit à quitter les lieux, la gravité de ses brûlures était telle, qu'après quelques mois de lutte et de souffrance, il décéda dans un hôpital de Montréal. M. Paul Boyer, lui, eut plus de veine. Sa réaction immédiate de s'éloigner rapidement lui a permis d'échapper à une mort certaine. Malgré des brûlures au deuxième et troisième degré, une hospitalisation de cinq semaines et une convalescence de sept mois lui permirent de recouvrer ses moyens; il retourna au travail par la suite. Il était, au moment de l'accident, âgé de 23 ans et à l'emploi de la compagnie depuis le 7 août 1978.

4. Conditions préexistantes

— Le chargement du séchoir

Le 25 août 1980, vers les 9 heures, l'équipe de jour s'apprête à « charger » le séchoir nº 280. La passerelle et les planchers sont balayés et on lave à l'aide de boyaux d'arrosage les murs, le plancher et les plateaux. Par la suite, on remplit d'un côté une rangée de six plateaux de quatre milles livres de poudre SPDN et l'autre rangée de quatre mille livres de IMR. Les poches vidées sont suspendues à un câble au-dessus des plateaux; le plancher est balayé de nouveau. Par la suite, on ferme les portes du séchoir et le chef de groupe se rend à la soufflerie et met le ventilateur en marche. Il remplit son rapport de séchage en y indiquant la sorte de poudre et l'heure du début du cycle. Le temps de séchage prévu est de huit à douze heures.

— Arrêt du cycle de séchage

Vers les 20 heures 15, Alfred Roy, contremaître du quart de 16 heures à minuit, se rend au séchoir nº 280. Il arrête le moteur du ventilateur et va à l'intérieur du séchoir vérifier si la poudre SPDN est sèche; elle l'est. Il ouvre donc les trois portes de chaque côté du séchoir de façon à diminuer la température à l'intérieur. Il ne fait aucune autre opération, notamment celles habituelles, de remplir d'eau le col de cygne (de façon à couper complètement la circulation d'air entre le séchoir et la soufflerie) et d'humidifier l'intérieur du séchoir. Pourquoi fait-il ce travail habituellement exécuté par l'agent de patrouille? Ce dernier était occupé à autre chose à ce moment-là. M. Roy dira qu'il n'a pu, jusqu'à minuit, lui dire d'aller compléter la préparation du séchoir. Pourquoi lui-même ne l'a-t-il pas complété alors qu'il connaissait bien l'importance des deux opérations omises? Il affirme: « *Ce serait plutôt faire le travail des opérateurs; moi je me tenais loin de ça parce que je ne voulais pas avoir de griefs* ». Tant et si bien qu'au moment où l'équipe de M. Amyot arrive pour le déchargement, ces deux opérations d'importance ne sont pas faites alors que les apparences laissent croire le contraire.

— Règles de sécurité et procédures d'opérations

Il convient de souligner certaines règles de sécurité et procédures d'opérations en vigueur au séchoir nº 280 au moment de l'accident:

1° *À la fin du cycle, arrêter le moteur et remplir le canal d'air avec de l'eau,*
2° *En entrant dans la bâtisse chaque opérateur doit saisir la poignée conductrice à l'entrée à main nue,*
3° *Humecter le plancher avant de commencer le déchargement des plateaux,*
4° *Vérifier le degré d'humidité, (il doit être d'au moins 55%), s'assurer que toutes les mises à la terre sont en bon état et signaler immédiatement au contremaître celles trouvées défectueuses,*
5° *Il est défendu de se tenir sur la passerelle lorsqu'il y a de la poudre sèche dans les plateaux.*

Il ne s'agit que de quelques-unes des règles à suivre dans ce bâtiment. Toutefois, ces règles ont une importance capitale en regard de la sécurité lors du déchargement de poudre sèche. On imagine facilement le danger que peut représenter huit mille livres de poudre sèche devant être déversée dans des chariots.

Toutes les règles mentionnées plus haut ont été ignorées le soir de la tragédie. Pourquoi? Ignorance ou insouciance des travailleurs, tolérance ou ignorance des contremaîtres, entretien inadéquat, équipement manquant ou défectueux, cadence de production inhabituelle et non sécuritaire, il est difficile de départager les motifs.

La preuve a révélé que la compagnie C.P.C.V. embaucha massivement 300 travailleurs en 1978. Toute l'équipe de ce soir funeste avait été embauchée, au cours de cette année-là. Après une familiarisation rapide des bâtiments et des équipements, le nouvel employé commençait à travailler et devait compléter par lui-même son apprentissage du métier sur la base de connaissances transmises par ses compagnons de travail. De plus, dans ce département les opérateurs devaient travailler fréquemment dans plusieurs bâtisses avec des règles différentes à suivre et ce, sur un même quart de travail. Aucune vérification n'était faite des connaissances acquises par le nouvel employé. Si un ouvrier ignore quelque chose, il n'a qu'à le demander à son contremaître ou à un compagnon de travail plus expérimenté. Quant aux contremaîtres, ils devaient se familiariser avec les règles de chacun des bâtiments et y apprendre les opérations. Après deux semaines ou moins, ils étaient assignés à leur fonction sans plus de vérification de leurs connaissances. Par la suite, aux réunions mensuelles de sécurité données par le contremaître, on y discutait davantage de réparations à faire que de sécurité proprement dite.

On sait maintenant pourquoi le contremaître Roy n'a pas complété les opérations de préparation du séchoir pour le déchargement contrevenant ainsi à la première règle mentionnée plus haut; il ne voulait pas être l'objet de « griefs ». Quant à la deuxième règle, il semble selon la preuve que tous l'ignoraient. On n'a pas non plus humecté les planchers avant de procéder au déchargement. Pourquoi M. Amyot a-t-il omis cette opération? Peut-être pour procéder plus rapidement ou l'ignorait-il tout simplement. M. Boyer mentionne que ce n'était pas « *la procédure habituelle de laver avant de dumper!* » Quant au taux de 55% d'humidité qu'on devait avoir à l'intérieur du séchoir avant de procéder au déchargement, M. Boyer raconte qu'il n'a jamais vu personne faire cette opération, non plus le soir du 25. Le contremaître Roy n'a vu qu'une seule fois l'opération d'humidification d'un séchoir. Peu surprenant que l'on ne se rappelle pas s'il y avait un hygromètre dans le séchoir ou qu'on affirme carrément qu'il n'y en avait pas. D'ailleurs, l'inspection mensuelle faite les 20 et 22 août par M. Roy et le représentant syndical, Gilles L'Ériger, ne révèle aucune anomalie au séchoir n° 280. Ce dernier mentionne qu'il ne pouvait voir à ce moment-là l'utilité ou la nécessité d'un hygromètre. Il ne connaissait pas non plus le problème de l'électricité statique. « *On essayait d'améliorer notre sort le mieux qu'on pouvait* », dira-t-il.

Aucun parmi l'équipe n'a mis à la terre l'équipement utilisé ce soir-là. Ceci semblait être à l'époque une situation habituelle.

En effet, la preuve révèle qu'à plusieurs reprises on omettait cette règle et, à certaines occasions sous les yeux de contremaîtres trop tolérants. Quant à la cinquième règle, elle était toujours ignorée parce qu'inapplicable; en effet on devait au cours des opérations normales monter sur la passerelle pour secouer les poches suspendues alors que les plateaux étaient remplis de poudre sèche. Cela pourrait expliquer le geste de M. Amyot, ce soir-là, de monter sur la passerelle pour pousser la poudre et par surcroît dans le même plateau que son compagnon, M. Leroux, qui d'en bas « tirait » sur la poudre. De voir une règle régulièrement ignorée et ce par la direction peut finir par faire perdre de vue son importance et la faire croire futile aux yeux des travailleurs.

Plusieurs éléments ont pu contribuer à causer cette tragédie. Les rapports de deux enquêtes tenues peu de temps après furent déposés devant la Commission; les causes de cette tragédie seront étudiées au chapitre quatre. Lors de ces enquêtes, on découvrit dans des séchoirs identiques, soit les séchoirs nos 282 et 283, des quantités importantes de poussières de poudre se trouvant dans le fond des auges. L'intérieur de ces auges n'était d'ailleurs pas nettoyé spécifiquement; on se contentait généralement d'arroser le dessus des plateaux avec un boyau ayant une pression insuffisante. Une demande fut même faite environ trois semaines avant l'incident par Ethienne Thériault au contremaître général lui-même, Gérard Léger, de faire le nettoyage complet de l'intérieur des auges des séchoirs. M. Léger lui aurait répondu: « *On nettoiera quand nous aurons le temps* ». Ce dernier ne se rappelle pas de ce fait, mais dira dans son témoignage, lorsqu'interrogé sur le reproche que les travailleurs lui adressent de ne pas travailler sécuritairement: « *Dans ce temps-là, on demandait beaucoup de production* ». Un autre élément mérite d'être souligné: aucune instrumentation n'était disponible pour vérifier le taux d'humidité de la poudre; c'était « au doigt ou à l'œil ».

2.1.2 Blessures lors d'utilisation ou réparation de l'équipement

A. Brûlures au réservoir no 24 (A)

1. Accident

Le 10 octobre 1978, vers 8 h 15, Jean-Marc Legault, deuxième opérateur au bâtiment no 312, s'apprête à prélever un échantillon d'acide du réservoir no 24 (A) nouvellement installé, pour fins d'analyses au laboratoire de l'usine. Il s'agit pour lui d'une tâche coutumière, devant le faire pour l'ensemble des réservoirs du département des acides. Alors qu'il tente d'ouvrir la valve du réservoir d'acide rempli jusqu'à une hauteur d'environ onze pieds, celle-ci se détache, tombe par terre et un jet d'acide nitrique fort jaillit, éclaboussant M. Legault principalement au visage et à l'épaule. Ce dernier, aveuglé, essaie de se rendre rapidement à la douche située à environ quarante pieds du réservoir, mais trébuche sur les supports en forme de croix de la plate-forme en bois donnant accès à la partie supérieure du réservoir et placée directement devant la valve.

Marcel Théoret, un compagnon de travail, se trouvant à quelques pas de là, aide M. Legault à se rendre à la douche, lui enlève ses vêtements de travail et le retient sous la douche. Il demande à une personne qui passait près de l'endroit d'appeler l'ambulance. Quelques dix minutes plus tard, M. Legault est conduit à l'infirmerie de l'usine où il est reçu par le Dr Talbot. Transporté ensuite au Centre hospitalier de Valleyfield, il y reçoit ses premiers traitements. Vu son état, il est hospitalisé pendant trois jours à l'Hôpital Notre-Dame de Montréal.

2. Victime

M. Jean-Marc Legault fut sérieusement brûlé au visage, à l'épaule et à la cuisse. Il a subi de nombreuses interventions chirurgicales et doit en subir encore. Il n'a pas repris le travail depuis, mais il est toujours considéré comme un employé par la compagnie Produits chimiques Expro inc. Une étude détaillée des premiers soins et traitements reçus par M. Legault sera faite au chapitre 4, section 4.3.2.

3. Conditions préexistantes

Selon des expertises effectuées par la suite, il a été démontré que l'alliage d'aluminium utilisé pour le raccord de la valve ne rencontrait pas les spécifications requises pour l'acide nitrique fort. Lors de cette opération, M. Legault s'est conformé en tous points aux règlements de sécurité et de procédures du département. Un écran facial aurait pu éviter des blessures aussi sérieuses au visage; toutefois, il n'y en avait pas à la disposition des opérateurs à l'époque. Depuis, des écrans facials sont disponibles et doivent obligatoirement être portés lors d'une telle opération. Quant à la formation de Jean-Marc Legault, principalement reçue par compagnonnage, il ressort que ce dernier avait une bonne connaissance des règles d'opérations et de sécurité, des propriétés de l'acide et des premiers secours en cas de brûlures. À chaque mois, des causeries de sécurité d'une heure étaient dispensées aux opérateurs.

B. Autres cas de blessures

La Commission s'est également penchée sur d'autres cas de travailleurs ayant subi des brûlures par l'acide. Même si un seul témoin a été entendu à ce sujet, lors des audiences publiques, soit Évangéliste Chouinard, un examen d'une trentaine de rapports d'accidents soumis par le syndicat et l'employeur a permis de faire les constatations suivantes: la majorité des brûlures ont été causées, soit par de l'équipement défectueux ou mal entretenu, soit par l'absence de certaines règles de sécurité lors de réparations effectuées sur l'équipement et finalement, pour quelques cas, par maladresse dans l'exécution des opérations.

2.1.3 Réservoirs

A. Réservoir nº 40

1. Débordement survenu le 22 septembre 1981

Le réservoir nº 40, situé dans le bâtiment nº 316, servait à emmagasiner l'acide usé provenant du bâtiment nº 103 et destiné à faire des mélanges d'acide utilisé au bâtiment nº 108. L'état de ce réservoir était pitoyable. Il était percé par la corrosion au sommet et la direction de l'entreprise envisageait la possibilité de le remplacer. Toutefois, on continuait à l'utiliser avec directive spéciale de ne pas le remplir complètement.

Le 22 septembre 1981, l'opérateur au bâtiment nº 103, indique par téléphone à celui du bâtiment nº 316, qu'il devait acheminer une certaine quantité d'acide dans le réservoir nº 40. Vérification faite du niveau d'acide dans le dit réservoir, l'opérateur au bâtiment nº 316 lui signale qu'il peut procéder. Au cours du pompage, le réservoir atteint son niveau maximum (tenant compte de son état) et l'opérateur au bâtiment nº 316 tente d'aviser son compagnon du bâtiment nº 103 d'arrêter l'opération. Incapable d'entrer en contact avec ce dernier, l'acide coule dans les ouvertures créées par la corrosion le long des parois extérieures. Un feu se déclare à deux reprises aux poutres et à la plate-forme en bois soutenant le réservoir; chaque fois il est rapidement maîtrisé par l'opérateur. Après cet événement, des modifications sont apportées afin de faciliter les communications entre les opérateurs des deux bâtiments.

Le rapport de l'enquête menée par la direction et signé par le technicien en prévention des accidents recommandait diverses mesures telles l'installation d'un indicateur de niveau permanent à lecture directe et rapide, d'un interrupteur du système de pompage, et surtout le remplacement ou la réparation du réservoir nº 40, ainsi qu'une inspection bi-annuelle de tous les réservoirs. M. Kelly, surintendant du département des acides à l'époque, n'approuvait que les deux dernières recommandations.

2. Explosion du réservoir nº 40 le 4 janvier 1982

Malgré les recommandations de septembre 1981, on utilisait encore le réservoir nº 40 le 4 janvier 1982. Vers 23 heures 50, une violente réaction chimique se produit à l'intérieur du réservoir, entraînant des dommages au toit du bâtiment et au réservoir lui-même. Le contremaître Noël Leboeuf, qui se trouvait à quelque mille pieds de là, entend un grondement. Il se dirige immédiatement au bâtiment nº 316. Arrivé sur les lieux, il

constate que toute la bâtisse est remplie de fumée jaune. Muni d'un masque à gaz, il ouvre toutes les portes. Un opérateur arrête les gicleurs qui s'étaient déclenchés. Deux têtes de gicleurs situées au-dessus du réservoir nº 40 sont manquantes et le réservoir est chaud.

Appelé sur les lieux, le surintendant Kelly fait ajouter 46 000 livres d'acide dans le réservoir, haussant le niveau d'environ 28 pouces. Pour lui, la réaction chimique était due à un niveau d'acide trop bas dans le réservoir. D'ailleurs, la preuve révèle qu'après cet ajout, le niveau se situait entre deux à trois pieds de hauteur, laissant ainsi supposer que lors de la réaction, le réservoir était presque vide.

Malgré cet accident, ce réservoir fut maintenu en opération pendant plus d'une semaine jusqu'à son remplacement par le réservoir nº 17 et ce, même si le dessous du réservoir avait bombé et laissait échapper des gouttes d'acide. Le rapport d'enquête de la compagnie conclut au bris d'un gicleur projetant de l'eau dans le réservoir comme cause probable de l'accident. La Commission fera l'analyse des causes de cet accident au chapitre 4.

B. Explosion du réservoir nº 17

1. Accident

Le 15 avril 1982, moins d'un mois après l'acquisition de l'usine par la compagnie Expro, une violente explosion détruisait le réservoir nº 17, dont la partie supérieure fut projetée à plus de 38 mètres, provoquant un dégagement de fumée brune. On dut évacuer tous les travailleurs de l'usine et quelques centaines de citoyens demeurant à proximité. Tous les départements de l'usine furent fermés pendant deux semaines. Pendant cette période, on procéda à la décontamination des autres réservoirs d'acide usé.

2. Victimes

Plusieurs travailleurs furent incommodés par le dégagement de la fumée brune qui suivit l'explosion et durent se rendre à l'hôpital. Quant à Raymond Brown, ce dernier se trouvait, dans les minutes précédant l'explosion, sur la passerelle donnant accès au réservoir nº 17. Un violent choc nerveux nécessita son hospitalisation pour la nuit. Il n'est pas retourné au travail depuis et reçoit une indemnisation de la C.S.S.T.

3. Conditions préexistantes

Le réservoir nº 17 remplaçait le réservoir nº 40. Il servait à l'entreposage de l'acide usé provenant de la nitration de la cellulose à très haute teneur (high grade). Cet acide était filtré afin d'éliminer le maximum possible de poussières et de fibres de nitrocellulose qu'il contenait à la sortie des essoreuses.

Vers 17 heures, le 12 avril 1982, l'opérateur du bâtiment nº 316 constate que la pompe permettant d'amener l'acide usé du réservoir nº 17 au bâtiment nº 316 est obstruée par de la nitrocellulose. On effectue les réparations nécessaires et dès le lendemain matin, en prenant la mesure du niveau d'acide dans le réservoir à l'aide d'une perche, on constate la présence d'un dépôt de nitrocellulose d'une épaisseur d'environ cinq à six pieds. Une deuxième mesure du niveau du réservoir est prise en présence du surintendant général des acides, du contremaître général et du contremaître. On obtient le même résultat. Le surintendant Kelly après consultation et discussion décide de faire installer une barboteuse à l'intérieur du réservoir (air poussé dans le mélange d'acide pour provoquer de la turbulence). Cette opération avait pour but de mettre la nitrocellulose en suspension dans l'acide, et ainsi l'évacuer du réservoir en pompant au bâtiment nº 316. Il s'agissait pour M. Kelly d'une situation inusitée; jamais depuis 1952, il n'avait vu un dépôt aussi important de nitrocellulose dans un réservoir d'acide usé. En aucun moment, il n'a jugé nécessaire de cesser la production. Il n'y avait pas, selon lui, de danger imminent et la solution envisagée était la meilleure dans les circonstances.

Pendant la même journée du 13 avril, le contremaître général Longtin donne l'ordre d'ajouter de l'acide usé dans le réservoir et d'y maintenir un niveau d'au moins 1,8 mètres.

De plus, on demande de vérifier à toutes les deux heures la température du réservoir (en appuyant la main sur les parois extérieures). On savait à ce moment-là que si la nitrocellulose n'était pas submergée par l'acide, son assèchement pouvait entraîner sa décomposition rapide et provoquer un feu.

Le contremaître ordonne également, cette même journée, l'inspection des filtres. On arrête la production au bâtiment nº 108 et une vérification complète est faite. On découvre dans le haut du filtre nº 1 une déchirure de six pouces de long par six pouces de large. On le remplace le même jour.

Le lendemain, un opérateur tente de déplacer la barboteuse, mais en est incapable parce que retenue dans le dépôt de nitrocellulose. On doit faire appel au personnel de l'entretien lequel réussit à peine à la lever de un à deux pieds et l'attacher à la garde de la passerelle.

Depuis l'installation de la barboteuse, le trou d'homme situé sur le toit du réservoir nº 17 laissait échapper des vapeurs de couleur jaune ou rousse; habituellement, ces vapeurs sont blanches. C'est pourquoi le 15 avril vers 11 h 30, Raymond Brown, sur ordre d'un contremaître, se rend sur la passerelle en bois située au haut du réservoir pour l'arroser; les vapeurs entrant en contact avec le bois risquaient de l'enflammer ou de l'endommager. Au premier arrosage, M. Brown est catégorique, il n'a arrosé que la passerelle et en aucun moment de l'eau n'a pu pénétrer par le trou d'homme à l'intérieur du réservoir. Un deuxième arrosage est fait par lui vers 13 heures. Quelques minutes plus tard le réservoir explose. M. Brown vient à peine d'entrer au bâtiment nº 319, à proximité du réservoir.

Au cours de son enquête, l'inspecteur de la C.S.S.T. appose les scellés aux bâtiments nºs 103 et 316. La décontamination de tous les réservoirs contenus à l'intérieur doit être faite. On y découvre des dépôts de nitrocellulose, entre autre 120 cm dans le réservoir nº 84. Plusieurs mesures de correction sont exigées par l'inspecteur, en particulier la vérification des réservoirs et l'élaboration d'un plan d'évacuation.

Dans le rapport d'enquête préparé par l'inspecteur Gilles Gagné et déposé devant la Commission, ce dernier conclut que la cause de l'explosion est due à une infiltration d'eau en quantité suffisante par le trou d'homme situé sur le toit du réservoir, suite au dernier arrosage fait par Raymond Brown. Pourtant la preuve faite devant la Commission et les témoignages recueillis à l'époque par l'inspecteur Gagné ne permettent pas de tirer cette conclusion. M. Brown a témoigné de façon très honnête et a soutenu devant la Commission la même version des faits qu'il avait donnée à l'inspecteur Gagné. La Commission ne doute pas de son témoignage. L'analyse des causes de cette explosion sera faite de façon détaillée au chapitre 4.

C. Autres débordements de réservoirs

Plusieurs autres débordements d'acide sont survenus à l'usine Expro depuis l'entrée en scène de cette compagnie. Aucun n'a cependant eu de conséquences graves et certains d'entre eux sont mêmes survenus après l'installation d'un nouveau système de trop plein qui, selon le témoignage de l'inspecteur de la C.S.S.T., aurait été installé trop vite et sans avoir été évalué correctement. Selon les informations fournies à la Commission, il y aurait eu au moins trois débordements de réservoirs en 1982. Le surintendant du secteur nitrocellulose et acide a cependant déclaré devant la Commission que des modifications importantes ont été apportées aux réservoirs à la suite de l'explosion du 15 avril 1982.

Tous les réservoirs ont été vérifiés, réparés ou remplacés par des neufs selon le cas. Certains d'entre eux ont été équipés d'indicateurs de trop plein et de trop vide. Expro a aussi procédé à une étude de risques pour déterminer quels réservoirs devaient être équipés de ces indicateurs.

2.1.4 Intoxications

A. Intoxications à l'éther

Plusieurs cas d'intoxications se sont produits à cette usine durant les dernières années. La Commission, en audiences publiques, s'est penchée sur cette situation. Plusieurs témoins ont été entendus concernant principalement cinq événements tous survenus au département de la première passe, plus particulièrement aux bâtiments nos 160, 170, 174, et ce en 1981, 1982, 1983.

1. Description sommaire des bâtiments, équipements et procédés

Au bâtiment no 160, on place dans des mélangeurs des blocs de nitrocellulose pressée. On ajoute de l'éther ainsi que d'autres produits dépendant du type de poudre à fabriquer. Par la suite, le mélange est transporté dans des macérateurs, toujours au bâtiment no 160, où on y ajoute d'autres produits. Finalement, ces mélanges sont mis en blocs à l'aide de presses et transportés dans des chariots au bâtiment no 170. À cette étape, les blocs de poudre sont placés dans des presses et passent au travers d'une matrice. De longs fils (genre spaghetti) en ressortent et sont par la suite enfilés pour être coupés à l'aide de couteaux rotatifs à la longueur désirée. Les grains de poudre sont versés dans des « chars » situés dans une pièce adjacente à celle où se trouvent les couteaux. Un système de récupération de l'éther est installé directement sur les « chars ». Le procédé est sensiblement le même pour les bâtiments nos 162 et 174 à l'exception de l'étape de la macération.

2. Accidents

— Intoxication du 3 décembre 1981 (bâtiment no 174) :

Après avoir été incommodés la veille par de fortes odeurs d'éther, les opérateurs du bâtiment no 174 retournent quand même au travail le 3 décembre à 8 heures. Environ une heure plus tard, ils se rendent compte que les mêmes conditions de la veille subsistent. Les concentrations les plus fortes semblent provenir de la « chambre des chars ». Divers symptômes apparaissent: maux de tête, nausées, étourdissements. Les opérateurs en parlent entre eux. M. Pierre Hébert, délégué syndical en santé-sécurité, avise le chef-opérateur Claude Lavoie de la situation. Ce dernier fait certaines vérifications avec les opérateurs, plus particulièrement dans la « chambre des chars » ; il ne constate rien d'anormal. Il demande à Aldéric Mélançon, opérateur au bâtiment no 149 (récupération des solvants), de prélever des échantillons d'air. Les résultats indiqués sur l'appareil utilisé de type « Gas Analyser » sont de 4% (720 ppm). Pour M. Lavoie, les concentrations d'éther étaient normales cette journée-là. En cela, il semble être confirmé par les résultats de l'échantillonnage fait par M. Mélançon.

Huit travailleurs, prétendant que la situation demeure inchangée, cessent de travailler. Les symptômes énoncés plus haut persisteraient toujours. Ils obtiennent du contremaître une autorisation pour se rendre à l'hôpital. Ils se rendent en automobiles conduites par deux d'entre eux, au C.L.S.C. Beauharnois où ils sont examinés par le Dr Arnold Aberman; ce dernier leur donne une attestation de non-retour au travail jusqu'au 7 décembre. Les travailleurs intoxiqués sont les opérateurs de couteaux: MM. Julien Cyr (intoxiqué à nouveau le 7 septembre 1982 et le 21 février 1983); Michel Laberge; Jean-Pierre Vallée; Normand Lauzon; Pierre Hébert (intoxiqué à nouveau le 7 septembre 1982); Luc Laberge et les opérateurs de presses Normand Thibault (intoxiqué à nouveau le 7 septembre 1982) et Bertrand Lussier.

— Intoxication du 7 septembre 1982 (bâtiment no 174) :

Les opérateurs du bâtiment no 174 sont à leur poste de travail depuis 8 heures. Vers 10 h 45 Pierre Hébert, délégué syndical en santé-sécurité, se présente à son travail; il est en retard. Quelques minutes plus tard, Yves Courchesne, opérateur de couteaux, vient lui faire part que « *ça sent plus fort que d'habitude* ». M. Hébert consulte d'autres opérateurs dont Stéphane Bilodeau; ils sont tous du même avis. M. Hébert se rend donc aviser le contremaître Grimard et le chef opérateur Lavoie de la situation. M. Grimard

fait des démarches pour qu'un échantillon d'air soit prélevé. Pendant ce temps, M. Lavoie procède à des vérifications sur l'équipement avec certains opérateurs; tout est normal tant au niveau de l'équipement que de la concentration d'éther. Lorsque M. Grimard revient au bâtiment nº 174, neuf opérateurs ont quitté le lieu et se sont dirigés au bâtiment où l'on prend les repas et les périodes de repos; il est 11 heures 15. L'opérateur Longtin et le chef opérateur Lavoie sont demeurés sur place.

Parmi le groupe des neuf, se retrouve Viateur Éthier dont le travail consiste à transporter le matériel du bâtiment nº 162 au bâtiment nº 174; la senteur d'éther est très faible dans les corridors reliant ces deux bâtiments. À 11 heures 40, le contremaître Grimard donne l'autorisation aux neuf opérateurs qui demandent de se rendre à l'hôpital. Les malaises ressentis par les opérateurs et décrits par MM. Hébert et Bilodeau sont: maux de tête, nausées, vision embrouillée et impression de défaillance. À l'hôpital, le médecin les autorise à retourner au travail le lendemain. Les neuf opérateurs intoxiqués sont: MM. Pierre Hébert (déjà intoxiqué le 3 décembre 1982), Viateur Éthier, Stéphane Bilodeau (intoxiqué à nouveau le 21 février 1983), Benoit Sauvé, Leslie Elliot, Yves Courchesne (intoxiqué aussi le 7 décembre 1982 et le 21 février 1983), Julien Cyr (intoxiqué aussi le 3 décembre 1981 et le 21 février 1983), Serge Leduc et Normand Thibault (déjà intoxiqué le 3 décembre 1981).

— ***Intoxication du 7 décembre 1982 (bâtiment nº 170):***
Au début du quart de travail, soit à 16 heures 10, les opérateurs se plaignent au contremaître Chayer d'une concentration d'éther dans l'air plus élevée que la normale. Ce dernier leur suggère d'aller prendre un peu d'air frais. Les opérations sont arrêtées. Un échantillon d'air est prélevé entre les presses à l'aide d'un appareil « Gas Analyser ». Une concentration plus élevée que la normale, soit 8% (1 440 ppm) est notée. On procède alors à des vérifications et on découvre qu'une « trappe » est fermée dans le système de récupération de l'éther alors qu'elle devrait être ouverte. Après correction, la concentration d'éther diminue à 2% et les opérations reprennent vers 17 h 25. Toutefois, six des opérateurs demandent vers 18 h 10 au contremaître Chayer une autorisation d'aller à l'hôpital. Les malaises qu'ils ressentent, décrits par Yves Courchesne, sont des maux de cœur et des étourdissements. Les six se rendent à la clinique médicale au Havre Santé de Valleyfield. Après examen, quatre d'entre eux sont de retour au travail le lendemain, tandis que MM. Courchesne et Geneau, sur avis médical, doivent se rendre à l'hôpital de Valleyfield et ne sont de retour au travail que le 9 décembre 1982.

— ***Intoxication du 21 février 1983 (bâtiment nº 174):***
Lors du changement d'équipe, Alfred L'Ériger remplace Claude Lavoie comme chef opérateur sur le quart 16 à 24 heures. Il fait ses vérifications habituelles et la production va bon train. Vers 16 h 30, le char nº 9 est complété et on commence le remplissage de l'autre (A1). Vers 17 heures, on fait remarquer à M. L'Ériger que la concentration d'éther est plus élevée que la normale dans la chambre des « chars ». Il en avise le contremaître Guérette et à 17 h 10, Gérard Bourgoin vient prélever un premier échantillon d'air; le résultat indique 6% (1 050 à 1 100 ppm). Cette concentration est anormale car les relevés à cet endroit indiquent généralement 0% sur l'appareil. Pendant ce temps, le contremaître Guérette demande à M. L'Ériger de vérifier le raccord du « char » nº 9 au système de récupération de l'éther et de fermer le couvercle. Un deuxième échantillon d'air est ensuite prélevé à 18 h 20. Le résultat indique encore une concentration anormale: 4% (720 ppm). Les opérateurs et le chef opérateur se rendent donc voir le contremaître et lui demandent une autorisation pour se rendre à l'hôpital. Les symptômes ressentis par les travailleurs sont des maux de tête et des nausées. La production a cessé. Vers 20 heures, le contremaître Guérette et M. Gérard Bourgoin remarquent que le scellé d'eau autour du grand couvercle sur le dessus du char nº 9 n'a pas été posé. Immédiatement après avoir scellé d'eau le couvercle, l'appareil de mesure utilisé par Gérard Bourgoin indique 0%.

Pendant ce temps, sept opérateurs et le chef opérateur L'Ériger se rendent à la salle d'urgence du Centre hospitalier de Valleyfield, où ils sont examinés à tour de rôle

par le Dr Claude Berthiaume. Les symptômes mentionnés par les travailleurs sont: céphalées, étourdissements, nausées, vision embrouillée, sécheresse du pharynx et somnolence. Tous les examens physiques sont normaux. Une autorisation de non-retour au travail de 24 heures leur est accordée. Avant que les huit travailleurs quittent l'hôpital, les représentants syndicaux, MM. Demers et Mainville, arrivent sur les lieux et leur demandent d'attendre. Ils rencontrent le Dr Berthiaume et après discussion, il est convenu que les huit pourront, si besoin est, le revoir à son cabinet privé le lendemain. Effectivement, tous s'y rendent le lendemain après-midi accompagnés par le conseiller technique Mainville, de madame Donna Mergler et de représentants des médias d'informations. Le Dr Berthiaume a d'abord une rencontre avec madame Mergler qui l'entretient des problèmes de santé résultant d'une exposition chronique à l'éther. Par la suite, M. Mainville demande au Dr Berthiaume de se prêter à une entrevue avec les travailleurs et les représentants des médias présents. L'entrevue n'a pas lieu. Chacun des huit travailleurs est examiné. Le Dr Berthiaume est surpris de constater qu'ils mentionnent ressentir encore certains symptômes. Il décide toutefois de les revoir à sa prochaine disponibilité le mardi suivant (sept jours plus tard). Il leur indique qu'ils sont autorisés à s'absenter du travail jusqu'à cette date.

— ***Intoxication du 24 février 1983 (bâtiment nº 160):***
M. Daniel Prégent, chef opérateur, est avisé par Gilles Mathieu, opérateur aux macérateurs, trente minutes après le début des opérations, vers 8 h 30 que la concentration d'éther semble plus élevée que d'habitude. Le contremaître Jean-Louis Collins est également avisé de la situation. Immédiatement, M. Prégent procède à une vérification de l'équipement en opération; tout est normal. Des échantillons d'air sont prélevés vers 9 heures par l'opérateur du bâtiment nº 149. Un technicien du laboratoire de l'usine est demandé. Il vient prélever un échantillon d'air entre les deux macérateurs et un autre le long des mélangeurs au moyen de tubes Gastec vers 9 h 30, trente minutes avant que les quatre travailleurs, qui se sentaient intoxiqués, quittent les lieux de travail. Les résultats sont les suivants: près des macérateurs, 800 ppm et le long des mélangeurs, 400 ppm. Des vérifications au système de ventilation indiquent que tout est normal.

Vers 10 heures, l'opérateur Gilles Mathieu quitte les lieux, après avoir tenté en vain, dit-il, d'obtenir le résultat des « tests ». Il ressent des étourdissements et des nausées. Ces symptômes ne disparaîtront, selon sa version, que trois jours plus tard, soit le dimanche.

Il n'est pas le premier opérateur à quitter les lieux de travail. Ils se retrouveront quatre à l'infirmerie de l'usine. Outre M. Mathieu, Michel Lalonde, délégué syndical en santé-sécurité, Pierre Fortin, Raymond Thivierge sont du groupe. Après avoir obtenu du contremaître Collins une autorisation, ils se rendent à la salle d'urgence du Centre hospitalier de Valleyfield où ils seront examinés par le Dr Berthiaume. L'examen physique est normal, mais ils reçoivent une autorisation de non-retour au travail jusqu'au 28 février, date où l'employeur décrète un lock-out. La convention collective, présentement en vigueur, fut d'ailleurs signée quelques jours plus tard. Il convient de souligner que les opérations n'ont pas cessé ce jour-là au bâtiment nº 160; d'autres opérateurs sont venus remplacer ceux qui avaient quitté leur poste. Aucun incident ne s'est produit par la suite.

3. Conditions préexistantes

État de l'équipement
Lorsque les bâtiments sont en production, les portes doivent être gardées fermées afin de favoriser une meilleure ventilation à l'intérieur. Des bouches au plafond du bâtiment soufflent de l'air à l'intérieur et une tranchée de ventilation au plancher recouverte d'une plaque perforée aspire cet air au bâtiment nº 149 où l'on fait la récupération des solvants par un système de ventilateurs. De plus, aux bâtiments nos 170 et 174, un système de récupération de l'éther est installé sur les chars servant de récipient aux grains de poudre venant d'être coupés. Ce système consiste à installer sur le dessus du char, lors de sa mise en opération, un boyau soufflant de l'air chaud (35°C) à travers la poudre

contenue à l'intérieur du char. Cet air est aspiré au bas du char par une ouverture où est fixé un tuyau collecteur en caoutchouc flexible. L'éther est envoyé au bâtiment nº 149.

Pour les événements du 3 décembre 1981, 7 septembre 1982 et 21 février 1983, il semble que le problème originait de la salle des chars. La fixation et l'ajustement du tuyau collecteur servant à la récupération de l'éther est un problème fréquent tel qu'admis par le contremaître Grimard. Si ce tuyau est mal fixé, la concentration d'éther dans l'air augmente très rapidement. Une expérience menée par l'inspecteur Lambert de la C.S.S.T. le confirme. La difficulté provient de la détérioration du caoutchouc (perte de flexibilité).

Tous les événements sont survenus avant que des modifications d'importance aient été apportées au système de ventilation. De plus, plusieurs projets ont été soumis par la compagnie pendant les travaux de la Commission. Ces modifications et ces projets feront l'objet d'une étude et d'une évaluation plus loin. (ch. 4.2)

Opérations selon les manuels d'instructions
Lors des deux premiers événements du 3 décembre 1981 et du 7 septembre 1982, la preuve révèle que toutes les opérations ont été faites selon les règles prescrites. M. Claude Lavoie, chef opérateur, est formel à ce sujet. Quant à l'événement du 7 décembre 1982, une trappe, devant toujours être en position ouverte, s'est fermée obstruant un conduit du système de ventilation. S'est-elle fermée accidentellement à cause de la vibration des presses ou l'a-t-elle été intentionnellement? La preuve ne le démontre pas. Des mesures correctives ont été prises par la suite pour éviter ce genre d'incident; toutes les trappes sont maintenant fixées en position ouverte.

En ce qui concerne l'événement du 21 février 1983, le chef opérateur Alfred L'Ériger soutient avoir fait toutes les opérations requises sur le char nº 9, en particulier la vérification du tuyau collecteur et du scellé d'eau autour du grand couvercle recouvrant le char. Le contremaître Guérette soutient que lors de sa première visite avec M. Bourgoin, il a demandé à M. L'Ériger d'ajuster le tuyau collecteur et de fermer le couvercle de l'orifice par où la poudre est versée. Par la suite, lors de la prise d'un deuxième échantillon d'air, une heure dix plus tard, la concentration d'éther dans l'air avait diminué de 6% à 4%. Vers 20 heures, on constate qu'il n'y a pas de scellé autour du couvercle du char. Dès la pose du scellé, la concentration d'éther diminue à 0%. S'agit-il d'une omission de la part du chef opérateur ou d'une fuite de l'eau pendant la production ou après l'arrêt de la production? La preuve ne l'a pas démontré. Toutefois, une expérience menée par l'inspecteur Lambert démontre que sans scellé, la concentration d'éther dans l'air augmente rapidement.

Enfin, la preuve des circonstances entourant l'événement du 24 février 1983 ne démontre rien d'anormal dans les opérations; il s'agissait des concentrations « habituelles » d'éther dans l'air (800 ppm près des macérateurs et 400 ppm le long des mélangeurs).

— Contrôle de la qualité de l'air dans le milieu de travail:
Un examen critique de ce sujet sera fait plus loin. Il importe toutefois de relever à ce stade-ci ce que la preuve a démontré. D'abord, l'opérateur du bâtiment nº 149 (récupération des solvants) est celui qui est chargé de prendre les échantillons d'air aux bâtiments nºs 160, 162, 170 et 174. Deux échantillons par quart de travail étaient prélevés et ce, dans chaque bâtiment. Depuis quelques mois, quatre échantillons sont prélevés par quart de travail. L'appareil utilisé jusqu'au printemps 1983 était le « Gas Analyzer », communément appelé explosimètre, lequel donnait une lecture en pourcentage de la limite inférieure d'explosivité (0% à 100%). Une lecture d'un pourcent correspond à 180 ppm. Par la suite, on a utilisé l'appareil « Gastec ». Maintenant on se sert de la méthode Dräger. Les résultats ont généralement été colligés par un rapport transmis au contremaître du bâtiment nº 149. Les contremaîtres des bâtiments nºs 160, 162, 170 et 174 n'étaient informés des résultats par l'opérateur que sur demande ou lorsque la concentration dépassait 4 à 5% (720 à 920 ppm).

Les témoignages du contremaître Grimard et de l'opérateur Bourgoin sont éloquents sur les objectifs de la prise d'échantillons d'air. M. Grimard dira: «*qu'est-ce qui me concernait comme contremaître c'était le L.F.L.* » (lower flame limit), c'est-à-dire le niveau minimum de concentration d'éther pour éviter une explosion. Pour M. Bourgoin: «*plus que ça sent fort plus, c'est dangereux pour l'explosion* ». Les contremaîtres ne connaissaient même pas la norme légale permise jusqu'à tout récemment.

Grimard mentionne: «*depuis quelques mois la C.S.S.T. a averti formellement qu'en haut de 400 ppm, il fallait que les employés portent des masques et on s'en occupe aujourd'hui* ».

Pourtant un échantillonnage de l'air dans ces bâtiments avait été fait par un technicien de la C.S.S.T. au mois de septembre 1981 et Gilles Gagné, inspecteur du même organisme, adressa le 17 décembre 1981 à la firme Price Waterhouse ltée un premier avis de correction (B-02319) indiquant que les concentrations d'éther excédaient les normes permises dans les quatre bâtiments. Plusieurs suivis furent faits par la suite soit le 8 janvier 1982 (B-44314), le 7 avril 1982 (B-065638), le 27 octobre 1982 (V-006231) et le 21 mars 1983 (V-040441). Le suivi de mars indique que les délais accordés pour remédier à cette situation étaient expirés.

D'ailleurs, suite aux événements du 21 et du 24 février 1983, enquêtés par les inspecteurs MM. Lambert et Labonté, des scellés furent apposés sur les quatre bâtiments le 25 février au motif que la concentration d'éther excédait la limite légale permise. Le lendemain, 26 février 1983, les scellés étaient levés, les mesures exigées de l'employeur la veille ayant été réalisées.

B. Cas de M. Michel Bernier

Il est important de noter que la preuve traitant de l'aspect technique et médical, présentée devant l'inspecteur-chef Roireau lors de son enquête n'a pas été reprise en audiences publiques. Les deux parties, patronale et syndicale, s'en étant déclarées satisfaites, la Commission n'a pas jugé utile de réexaminer tous ces témoins.

1. Description sommaire des bâtiments, équipements et procédés

Le bâtiment nº 108 a quatre paliers. Au troisième étage se trouvent les moteurs et l'équipement servant à mettre en mouvement la machinerie des premier et deuxième étages. Trente-deux réacteurs de nitration et huit essoreuses sont situés respectivement au deuxième et au premier étage. Une quantité prédéterminée de cellulose coupée, acheminée à ce bâtiment dans des barils fermés, et une autre d'acide nitrique et sulfurique, sont versées dans les réacteurs. Après une période d'agitation déterminée, l'opérateur de l'essoreuse ouvre une vanne située au bas du réacteur et le mélange descend par gravité dans l'essoreuse déjà en mouvement. Des parois de métal séparent chacune des huit essoreuses. Le cycle d'essorage terminé, l'opérateur prend place sur une palette de bois située devant l'essoreuse; ceci permet l'admission d'eau dans un conduit en forme d'entonnoir (1 200 litres/minutes). Il ouvre le couvercle de l'essoreuse, retire la vanne-bouchon située au fond de celle-ci et procède au fourchage de la nitrocellulose, disposée uniformément sur les parois du panier rotatif de l'essoreuse, dans l'entonnoir où l'eau tourbillonne. Cette eau s'empare de la nitrocellulose et l'emporte à un réservoir de noyage situé au rez-de-chaussée. L'acide usé est évacué par un autre conduit, conçu de façon à éviter les refoulements, à un groupe de filtres situés à l'extérieur du bâtiment nº 108. Deux de ces filtres sont utilisés pour recevoir l'acide usé provenant de la nitrocellulose de type Pyro. L'opérateur des filtres contrôle le débit d'acide au moyen d'une vanne papillon installée sur chaque embranchement menant aux filtres quatre et cinq.

2. Accident

Il est 17 h 30 le 13 janvier 1983; Robert Léger, opérateur de l'essoreuse nº 8 vient de prendre un mélange du réacteur de nitration « B » situé au-dessus de l'essoreuse. Quelque dix secondes plus tard, il constate une odeur d'acide dans la bâtisse. Il conclut

à ce moment-là qu'il s'agit de l'opérateur de filtre qui procède au pompage de l'eau de lavage d'un filtre vers le bâtiment nº 110, opération qui dégage habituellement une odeur d'acide. Il ouvre les fenêtres et les portes pour aérer et se rend voir son compagnon Jacques Leduc, opérateur de l'essoreuse nº 7. Tous deux conviennent que l'odeur provient d'un filtre au bâtiment nº 319. Il s'agit d'un dégagement de vapeurs d'acide non perceptibles à l'œil et n'empêche pas la continuation des opérations, selon la coutume à l'époque. Les opérateurs demeurent à l'intérieur de la bâtisse. MM. Michel Bernier et Robert Thibault, qui opèrent les essoreuses nºs 4 et 2 (nitrocellulose high grade) sont à quelque 50 pieds de MM. Léger et Leduc (nitrocellulose pyro). Le cycle d'essorage terminé, M. Léger arrête son essoreuse et monte sur la palette de bois amenant l'eau dans l'entonnoir et le cou d'oie. Il commence à fourcher et entend dans le cou d'oie un pétillement dès l'arrivée de l'eau. Ensuite, après avoir enlevé la vanne-bouchon au fond du panier, il peut voir une vapeur jaunâtre dans le cou d'oie. Il ne connaît à ce moment-là ni la cause, ni le pourquoi du pétillement. Il « fourche » la nitrocellulose, nettoie son panier et replace la vanne-bouchon. L'opération concernant la première charge est terminée quelque quarante-cinq à soixante secondes plus vite que la normale. Tout est prêt pour la deuxième charge.

M. Léger ouvre la vanne du réacteur de nitration pour prendre une seconde charge; il vérifie si son essoreuse est bien balancée. Au même moment, il voit monter du rez-de-chaussée, au travers du plancher de bois, des vapeurs nitreuses de couleur orange. Il arrête aussitôt son essoreuse, avise son chef-opérateur Johnson, sort sur la passerelle puis descend au niveau du sol. M. Johnson descend à l'étage des essoreuses et s'entretient avec M. Leduc sur la passerelle. M. Léger va les rejoindre, M. Johnson n'ayant pas donné l'ordre d'évacuer. Comme on croyait qu'il s'agissait d'un feu dans le bassin de noyage, M. Johnson (quinze ans d'expérience dans ce bâtiment) indique que la procédure est de le noyer. MM. Johnson, Léger et Leduc entrent dans la bâtisse en retenant leur respiration et appuient une fourche sur les palettes de bois des essoreuses nºs 7, 8 et 9, amenant ainsi une importante quantité d'eau dans le bassin de noyage. L'eau coule ainsi pendant deux à trois minutes. Dès que les vapeurs nitreuses semblent dissipées, M. Johnson dit aux opérateurs qu'ils peuvent entrer et continuer leurs opérations. M. Léger procède à fourcher la nitrocellulose, essorée pendant deux minutes au plus, et entend encore des pétillements dans le cou d'oie. Il prépare par la suite son essoreuse pour prendre une troisième charge.

Lors du deuxième dégagement de vapeur, Roger Thibault sur l'essoreuse nº 2 ouvre les portes et les fenêtres, avise son opérateur de réacteur de nitration, prend une dernière charge et sort sur la passerelle. M. Bernier sur l'essoreuse nº 4 le suit. Tous deux attendent que leurs essoreuses automatiques aient terminé leur cycle. M. Thibault s'y prendra par deux fois pour compléter le fourchage de cette dernière charge, les vapeurs étant trop « fortes ». Par la suite, il se rendra au rez-de-chaussée rejoindre M. Johnson. Quant à M. Bernier, après avoir fourché sa charge dans les mêmes conditions que M. Thibault, il en prend, par la suite, une autre.

Les vapeurs s'étant dissipées, Robert Léger prend une autre charge du réacteur du nitration « D ». Presqu'immédiatement, en s'éloignant de son essoreuse, il déclare voir au travers du plancher un liquide couler dans le réservoir de noyage. Il se rend vite compte qu'il s'agit d'acide à cause de la couleur du liquide et des vapeurs qui s'élevaient au-dessus du réservoir. La charge prise, il crie au feu, arrête son essoreuse, se rend voir Jacques Leduc et tous deux sortent sur la passerelle. Des vapeurs nitreuses rougeâtres, plus foncées que les précédentes envahissent la bâtisse. Pendant ce temps, M. Johnson procède à certaines vérifications de la canalisation et des drains au rez-de-chaussée. Il ne constate rien d'anormal, il ne voit aucune coulisse d'acide le long des tuyaux. Il n'examine toutefois pas la position de la vanne papillon de la conduite d'acide usé située juste en-dessous de l'essoreuse nº 8. Pendant cet examen, tous les opérateurs d'essoreuses sont sur la passerelle à l'exception de Robert Thibault, qui lui, a rejoint M. Johnson au rez-de-chaussée, et de Michel Bernier que les vapeurs n'avaient pas encore atteint. M. Johnson veut en avoir le cœur net et demande à M. Léger de prendre sa dernière

charge, dès que les vapeurs se seront dissipées. M. Léger retourne à l'intérieur et commence à fourcher la troisième charge, mais doit interrompre son opération à deux ou trois reprises pour respirer de l'air frais; il y a toujours des vapeurs nitreuses dans le bâtiment, cette charge n'avait été essorée qu'environ une minute. Par la suite, il prépare son essoreuse pour recevoir une quatrième charge.

M. Léger ouvre donc la vanne du réacteur de nitration « A », prend la charge et sort aussitôt sur la passerelle; il s'attend au même résultat que lors de la charge précédente. Environ deux minutes plus tard, il prend une grande respiration, rentre à l'intérieur et arrête l'essoreuse. Des vapeurs nitreuses plus intenses et plus rougeâtres se dégagent à nouveau. Mais cette fois, du rez-de-chaussée, M. Johnson a pu observer, par le hublot du cou d'oie un liquide rougeâtre, dès que M. Léger eût pris sa charge. Ce liquide coulait dans le bassin de noyage. Il importe de noter que l'essoreuse nº 7 n'était pas en opération à ce moment-là.

M. Johnson conclut que la conduite d'acide usé de l'essoreuse nº 8 devait être bloquée. Les vapeurs nitreuses en partie dissipées, M. Léger retourne à l'intérieur, sans masque respiratoire, fourcher cette dernière charge. Il le fait avec difficulté, si bien qu'il demande à son compagnon, M. Leduc, d'arroser son essoreuse avant de partir. Quant à M. Bernier, il a complété sa dernière charge, lavé le tamis du panier de son essoreuse et son masque facial avant de quitter les lieux. Tous les opérateurs quittent le bâtiment nº 108 entre 17 h 50 et 18 heures.

Le quart de travail se terminait à 19 heures. Aucune évacuation systématique de la bâtisse n'a été faite suite aux émanations successives de vapeurs nitreuses.

3. Victimes

Dès qu'ils quittent le bâtiment nº 108, Robert Léger et Jacques Leduc se rendent directement au bureau du contremaître Leboeuf pour lui faire part qu'ils ont respiré des vapeurs d'acide. Aucune consigne autre que l'enregistrement de cet avis n'est donnée.

Ils quittent l'usine vers 18 h 30 pour se rendre chez eux. Ni l'un ni l'autre ne va à l'hôpital. Ils ne seront pas incommodés subséquemment, pas plus que Robert Thibault qui lui, ne rapporte même pas l'incident au contremaître. Quant à Michel Bernier, travailleur modèle aux dires de tous, il quitte l'usine pour se rendre chez lui, sans rien mentionner au contremaître. En route, il s'arrête à la Légion canadienne, boit une eau minérale. En arrivant à la maison, il mentionne à sa mère qu'il n'a pas faim et va regarder à la télévision une partie de hockey. Dans la soirée, se sentant indisposé, il est conduit au Centre hospitalier de Valleyfield où il est reçu à 1 h 20 le 14 janvier. Différents traitements, qui seront décrits au chapitre 4, lui sont administrés. Il est transféré le lendemain à l'Hôpital Royal Victoria où il décède. Le rapport d'autopsie révèlera que le décès est attribuable à un oedème pulmonaire sévère.

4. Événements postérieurs à l'accident

À la fin du quart de travail, Fernand Johnson avise son contremaître Noël Leboeuf que l'essoreuse nº 8 est défectueuse. Ce dernier prépare un bon de travail et en informe Darwin Legault, contremaître du quart suivant. Il mentionne, dans le livre des contremaîtres, de vérifier la ligne d'acide usé parce que l'acide coule dans le bassin de noyage. Le chef-opérateur du quart suivant, Daniel Sauvé, reçoit comme directive du contremaître Legault de « vider » les nitrateurs de l'essoreuse nº 8 et de continuer les opérations par la suite avec l'essoreuse nº 7, sans plus d'information.

L'opérateur Jean-Pierre Reid est affecté à cette tâche. Après les vérifications usuelles faites par M. Sauvé de la canalisation au rez-de-chaussée, et en particulier de la position ouverte de la vanne papillon sur la conduite de l'acide usé situé juste en-dessous, M. Reid lave le tamis du panier de l'essoreuse nº 8, le replace à l'intérieur, l'assèche et prend quatre charges qui sont essorées sans aucun problème. Il continue par la suite à opérer avec l'essoreuse nº 7 jusqu'à la fin de son quart de travail. Le lendemain, devant la détérioration de l'état de santé de Michel Bernier, une réunion est convoquée par

Albert Nadon, surintendant du département. Les opérateurs, le chef-opérateur et le contremaître concernés y participent; M. Gilles Gagné, inspecteur de la C.S.S.T., est présent. On ne réussit pas à déterminer avec précision la cause de l'accident. Au cours de l'après-midi, on demande à Maurice Fournier d'aller ouvrir la vanne des drains pour vider complètement le conduit d'acide usé. Par la suite, Lionel Duranceau, du secteur de l'entretien, ouvre cette conduite, on n'y découvre absolument rien.

M. Conrad Bilodeau se rend avec une équipe, le 19 janvier, faire l'examen de l'essoreuse elle-même. On constate qu'elle est en bon état et aucun objet hétéroclite n'y est découvert. Il importe de noter toutefois que l'essoreuse nº 8 a été mise en opération entre le 14 et le 19 janvier.

Une enquête, tenue par l'inspecteur-chef Jules Roireau de la C.S.S.T., conclut à une obstruction partielle de la conduite principale causée par les deux vannes situées près des filtres dont l'une aurait été complètement fermée et l'autre ouverte de dix degrés environ. La Commission fera, au chapitre 4, l'analyse des causes possibles de cet accident, à la lumière des témoignages rendus devant elle et des expertises réalisées.

5. Conditions préexistantes

Au début de leur quart de travail, les opérateurs décident collectivement de ne pas commencer les opérations tant qu'une décision ne sera pas prise pour le remboursement des heures de travail non payées par l'employeur une semaine auparavant. Tous se rendent à la salle d'habillage. Après discussions, les opérateurs reviennent à la bâtisse nº 108 et le travail reprend vers 8 heures, soit avec une heure de retard. Au cours de l'avant-midi, M. Léger doit se rendre à un autre bâtiment pour des photographies; il revient à son poste de travail vingt-cinq minutes plus tard. Il n'y a aucun incident à signaler au cours de la journée.

Selon le rapport de production déposé, Robert Léger a essoré 65 charges et Jacques Leduc 67 (nitrocellulose pyro). MM. Bernier et Thibault ont essoré respectivement 94 et 80 charges (nitrocellulose high grade). Il faut noter que M. Thibault a dû, au cours de la journée, passer de l'essoreuse nº 6 à l'essoreuse nº 2 à cause d'un couvercle tombé dans un réacteur de nitration au-dessus de l'essoreuse nº 6.

Aux filtres d'acide usé, Roger Guimont, est remplacé par Pierre Primeau vers 15 h 45. Il laisse à ce moment-là les filtres nºs 4 et 5 (ceux servant pour l'acide usé de la nitrocellulose de type pyro), dans l'état suivant: le filtre nº 5 est en opération et le filtre nº 4 se draine pour être éventuellement nettoyé. Pierre Primeau insiste dans son témoignage qu'au moment où il a remplacé M. Guimont, le filtre nº 4 était en opération et le nº 5, vide. Il y a donc contradiction sur ce point. M. Primeau est formel, en aucun temps entre 15 h 45 et 19 heures, le 13 janvier 1983, il n'a opéré les filtres avec une vanne légèrement ou à demi-ouverte. Lorsque le filtre nº 4 était en opération, la vanne papillon sur l'embranchement conduisant à ce filtre était complètement ouverte.

Lors des audiences publiques sur les circonstances entourant la mort de Michel Bernier, plusieurs témoins ont aussi parlé du climat général existant au bâtiment nº 108 au cours des mois précédents, en ce qui regarde la production, les modes d'opération, de contrôle et de surveillance.

Toutes les essoreuses étaient opérées manuellement. Ce n'est qu'à compter de 1983 qu'on procède à des changements pour rendre le cycle des essoreuses automatique. De fait, le 13 janvier, les essoreuses nºs 2 et 4 sont semi-automatiques, tandis que l'essoreuse nº 8 est encore manuelle. Aujourd'hui, toutes les essoreuses sont automatiques. On comprendra plus loin pourquoi ces changements ont été apportés. Un opérateur d'essoreuse devait à cette époque, sur un quart de travail de huit heures, essorer 50 charges de nitrocellulose pyro ou 70 charges de nitrocellulose high grade. En deçà de ces « quotas », l'opérateur était exposé à donner des explications à son contremaître. Selon l'employeur, il est facile pour un opérateur le moindrement expérimenté de respecter cette cadence. Malgré le fait que les manuels d'opération indiquent clairement les durées de nitration et

d'essorage, les opérateurs des réacteurs de nitration et ceux des essoreuses coupent les cycles dans le but d'atteindre la production « suggérée », mais aussi de prolonger la durée des temps de repos et celle des repas, ou encore de terminer le quart de travail plus tôt. On raccourcit tellement les cycles qu'on réussit parfois à essorer jusqu'à 24 charges à l'heure, alors qu'on devait en produire 11 (onze) si on respectait les temps normaux.

Les chefs-opérateurs, les contremaîtres, le surintendant et la direction de l'entreprise étaient conscients de cette manière de procéder. Pour solutionner ce problème qui existait depuis quelque temps déjà, la compagnie a décidé d'automatiser les essoreuses avant même la mort de M. Bernier. La diminution du temps des cycles d'essorage peut créer des problèmes sérieux; la filtration devient plus difficile. M. Maurice Fournier dira d'ailleurs, au cours de son témoignage, qu'on pouvait remplir à cette époque un filtre non pas de poussière de cellulose, mais de fibres en l'espace d'une demi-heure. La nitrocellulose peut, dans ces conditions, déborder du panier rotatif de l'essoreuse et se retrouver dans la conduite d'acide usé. La nitrocellulose contenant encore une certaine quantité d'acide, lorsqu'elle entre en contact avec l'eau dans la conduite menant au réservoir de noyage ou dans le réservoir lui-même dégage des vapeurs nitreuses. Le contremaître Leboeuf dit d'ailleurs à ce sujet:

> « *À un moment donné, j'ai découvert que les gars wringaient* (essoraient) *rien qu'en petite vitesse, ce qui dégageait des odeurs d'acide, parce que c'est pas bien essoré: puis c'est plus facile à fourcher pour eux.* »

De plus, un cycle plus court à l'essorage réduit automatiquement la durée de la nitration. M. Maurice Johnson déclare que cela a entraîné plusieurs feux d'essoreuses, surtout à la fin du cycle d'essorage, lorsque la machine atteint sa plus haute vitesse. Une revue rapide des rapports de la compagnie indique qu'un nombre important de feux d'essoreuse se sont produits pendant qu'elles étaient à haute vitesse. Ces rapports indiquent qu'entre juillet 1982 et février 1983, de nombreux feux d'essoreuse et de réacteur de nitration se sont produits. M. Johnson dit d'ailleurs à ce sujet: « *Dans ce temps-là, il y en avait trois, des fois trois par jour, ça dépend* ». M. Robert Léger ajoute que des feux ont été provoqués volontairement à plusieurs reprises pendant cette période, entre autres en jetant une boule de cellulose mouillée dans le nitrateur ou un corps étranger, lors du chargement de l'essoreuse. Plusieurs feux se sont également produits lors du fourchage de la nitrocellulose.

La preuve démontre que les opérateurs avaient une bonne connaissance des procédures d'opération, sans connaître toutefois les dangers potentiels du non respect de ces procédures. On sait que les vapeurs nitreuses sont assez dangereuses pour éviter d'en respirer.

Néanmoins, les travailleurs ignoraient les dangers réels de l'inhalation de vapeurs nitreuses. Les contremaîtres étaient aussi dans la même ignorance. « *Plus elle est rouge, plus elle est dangereuse* » dira un des contremaîtres, alors qu'il a été démontré que les vapeurs nitreuses à peine perceptibles à l'œil peuvent être mortelles!

De plus, selon le témoignage de Noël Leboeuf, les contremaîtres avaient peu de contrôle dans le bâtiment nº 108; le nombre de contremaîtres était insuffisant et ces derniers ne semblaient pas appuyés dans leur travail par la direction de l'entreprise. Toujours d'après lui, la situation générale à ce bâtiment s'est détériorée sensiblement à compter de mai 1982. Cette situation semble avoir été tolérée tant et aussi longtemps que la qualité du produit n'a pas été affectée.

Quant aux mesures d'évacuation et de réintégration du bâtiment nº 108 lors d'émanations de vapeurs nitreuses, ce n'est qu'au mois de mars dernier que des procédures précises ont été mises en vigueur à cet effet. Avant cette date et plus particulièrement au 13 janvier 1983, si un feu d'essoreuse se déclarait ou si une émanation de vapeurs nitreuses se produisait, le travailleur en avisait ses compagnons les plus près et c'était la responsabilité

du contremaître ou du chef-opérateur de décider s'il devait y avoir évacuation. Pour ce faire, on se fiait à ce qu'on voyait ou sentait. Plus les émanations étaient denses et de couleur foncée, plus elles étaient dangereuses... Aucun système d'alarme n'existait à l'époque, ni appareil servant à mesurer la concentration de vapeurs nitreuses à l'intérieur du bâtiment; il n'en existe pas encore aujourd'hui. Peu surprenant alors, que le 13 janvier, Maurice Johnson, malgré quatre émanations de vapeurs nitreuses successives et toujours croissantes, n'ordonne en aucun moment l'évacuation du bâtiment. Il ne fait aucune vérification, même visuelle de la situation; « *Vous rentrerez, dit-il, lorsqu'il n'y aura plus de vapeurs.* »

La preuve démontre que M. Bernier est demeuré plus longtemps que les autres opérateurs à l'intérieur de la bâtisse. Il s'est employé à nettoyer le grillage amovible du panier de son essoreuse et son masque facial, alors qu'il y avait présence de vapeurs nitreuses à cet endroit. La preuve démontre également que les travailleurs n'utilisaient pas les masques à gaz placés aux extrémités de la bâtisse, même s'ils en connaissaient l'existence et leur utilisation. Ils préféraient plutôt retenir leur respiration en entrant et sortir le plus vite possible.

C. Intoxications à la nitroglycérine

La compagnie Expro fabrique plusieurs types de poudre à base de nitroglycérine (poudres à base double et triple). Plusieurs travailleurs sont exposés à cette substance. Certaines opérations décrites au cours des audiences publiques montrent qu'un contact cutané avec ces poudres est fréquent.

Dès le début des audiences, le syndicat a, dans son mémoire, soulevé ce problème de santé. En 1979, une étude des symptômes ressentis par les travailleurs exposés à la nitroglycérine et à l'éther était d'ailleurs faite par le docteur Arnold Aberman à la demande du syndicat et avec sa collaboration. Cette étude fera l'objet d'une analyse et de commentaires par la Commission au chapitre 4. Plusieurs travailleurs ont aussi parlé de ce problème au cours de leur témoignage.

En particulier dans les drageoirs, la preuve révèle que plusieurs travailleurs avaient systématiquement mal à la tête lorsqu'en contact avec certaines poudres. Deux opérateurs ont même dû quitter leur travail pour aller vomir à l'extérieur. La manipulation de poches de poudre humide à mains nues a déjà obligé certains travailleurs à quitter le travail, se sentant absolument incapable de continuer.

Un des témoins raconte qu'il soulageait ses maux de tête en faisant « *couler de l'eau froide* » sur les veines et en arrière de la tête. Très souvent, les travailleurs n'allaient pas à l'infirmerie de l'usine pour ce type de malaise. Selon un ex-employé, plusieurs travailleurs du département de la première passe ressentaient de nombreux malaises, mêmes cardiaques, lorsqu'ils étaient pendant une certaine période de temps, fins de semaine ou vacances, non exposés à cette substance.

Une directive médicale du médecin de l'usine, inscrite sur une carte est remise à tous les travailleurs exposés à la nitroglycérine indiquant le traitement à suivre en cas d'intoxication.

Voici le contenu de cette directive:

> « *Expositions à la nitroglycérine, directives médicales:*
>
> *1° Maux de tête: a) prendre une tasse de café noir,*
> *b) mettre de la glace sur la tête,*
> *c) respirer de l'air frais.*
>
> *2° Nausées ou maux de cœur: prendre un verre de jus d'orange, moitié eau fraîche, boire lentement.*
>
> *Notez bien: Ne jamais prendre d'aspirines ou de boissons alcoolisées.* »

Notons en terminant que l'examen de comptes rendus d'accidents de l'époque (1978) montre qu'après avoir reçu les premiers soins à l'infirmerie de l'usine (selon la directive médicale), un travailleur incommodé, suite à une exposition à la nitroglycérine, était retourné chez lui pour le reste de la journée. Lors de son retour au travail, si le travailleur ressentait à nouveau les mêmes malaises, le médecin recommandait son transfert immédiat dans un autre département; ce qui était généralement fait. (Une analyse de ce problème de santé sera faite au chapitre 4.)

D. « Rash » cutanés

La Commission, lors des audiences publiques, n'a pas entendu de témoins spécifiquement sur ce problème de santé. Toutefois, plusieurs travailleurs ont mentionné, au cours de leurs témoignages, en avoir été victimes.

Dans la plupart des cas, il s'agissait d'opérateurs travaillant dans le département du RDX et plus particulièrement aux bâtiments nos 703, 708, 486 et 742. Des enflures et rougeurs dans la région des yeux, accompagnées de démangeaisons, étaient pour certains les premiers symptômes. Pour d'autres, c'était plutôt des rougeurs aux mains, aux bras et au cou. Ces travailleurs étaient traités par le médecin de l'usine. Un retrait immédiat du milieu de travail et l'application des médicaments prescrits suffisaient pour faire disparaître les lésions.

Après leur guérison, certains ont repris le même travail et n'ont plus été incommodés par la suite. Pour d'autres, un transfert de département a été nécessaire, les symptômes réapparaissant à nouveau. Ce qui fait dire au surintendant du département du RDX, témoignant sur cette question, que certains travailleurs sont plus susceptibles que d'autres à cette maladie. De plus, ce dernier mentionne, sans s'appuyer sur des statistiques précises, que l'amélioration du système de ventilation des bâtiments du département du RDX en 1981 avait amené une diminution sensible des cas de « rash » cutanés.

Nous procéderons, au chapitre 4, à l'analyse des causes de ce problème de santé à la lumière de la compilation faite par le service de santé de la compagnie.

2.2 Mémoires

Au début des audiences publiques, les parties patronale et syndicale ont présenté à la Commission un mémoire dans lequel chacune expose à sa façon la situation de l'entreprise, les différents problèmes qui y existent et la façon de les solutionner. Voici un résumé des deux mémoires.

A. Mémoire de la compagnie Expro

Après avoir fait l'historique de l'usine depuis sa création en 1940, Expro donne des précisions sur la taille de l'entreprise: 700 employés, masse salariale d'environ 17 200 000 $ en 1983, salaire annuel moyen de 24 600 $ (excluant les avantages sociaux).

1. État de la situation au moment de l'achat

Au moment de l'achat de l'entreprise, en mars 1982, la compagnie Expro était consciente de la vétusté des installations et de la nécessité de modernisation. Après avoir pris connaissance d'une étude commandée dès janvier 1982 et un examen sommaire de la situation, Expro dégage les principaux facteurs qui ont contribué à un taux d'accidents beaucoup trop élevé depuis 1978. D'abord une infrastructure trop lourde et coûteuse depuis 1970 entraîna une période de non rentabilité, conduisant à des difficultés financières et plusieurs changements de propriétaires. Une réduction du nombre de cadres administratifs, une embauche massive de 300 travailleurs en 1978, la détérioration des installations, un climat de conflit entre le syndicat (qui refuse la législation nouvelle en matière de santé et de sécurité au travail) et l'entreprise, une trop grande mobilité interne de la main-d'œuvre, un taux d'absentéisme élevé sont autant de facteurs pouvant expliquer ce taux trop élevé d'accidents.

2. Mesures de redressement de l'entreprise

Expro expose ensuite les diverses mesures déjà réalisées ou à venir en vue de redresser l'entreprise et ainsi diminuer le nombre d'accidents. Voici la liste de ces mesures:

— Embauche de 33 cadres additionnels, dont vingt postes sont reliés à la santé et à la sécurité.
— Déboursés d'environ 1 711 300 $ engagés dans de l'équipement, procédés ou autres travaux reliés au domaine de la santé et de la sécurité.
— Introduction d'une procédure d'enregistrement d'enquête et d'analyse d'accidents.
— Révision en profondeur des règles d'opération dans tous les départements.
— Instauration d'un système d'analyses de risques.
— Projets d'immobilisations, selon un plan quinquennal, évalués à 15 000 000 $ se terminant en 1987.
— Mise sur pied d'un programme de formation de tout le personnel, y compris le personnel-cadre et d'un programme de prévention des accidents.

3. Problèmes constatés depuis l'acquisition et perspectives d'avenir

La compagnie Expro fait sienne les objectifs de la C.S.S.T. concernant la prise en charge, par le milieu, de la santé et de la sécurité. Toutefois, pour réaliser cet objectif la collaboration de tous est nécessaire et on craint que cette collaboration ne soit possible pour deux motifs: «*un refus clair et net de la législation nouvelle en matière de santé et de sécurité*» par certains dirigeants syndicaux et la poursuite par ces derniers de certaines idéologies ou débâts politiques. Pour appuyer cette appréhension, Expro cite les exemples suivants:

> «*Projet de convention collective syndical demandant à l'employeur de renoncer à la mise sur pied d'un comité de santé et de sécurité et libération à plein temps d'un membre du syndicat devant s'occuper des dossiers en santé et sécurité non-soumis à la Loi sur la santé et la sécurité du travail, incitation des ouvriers à refuser de signer les rapports d'enquêtes d'accidents ou de formules attestant leur présence à des cours de santé et de sécurité, campagne de boycottage d'un questionnaire visant à évaluer la connaissance des travailleurs en matière de sécurité.*»

On souligne également qu'un nombre élevé d'incidents reliés à la santé et à la sécurité pendant la période de négociation de la dernière convention collective laisse croire «*à la mise en œuvre d'une action concertée*».

4. Conclusion

La compagnie Expro conclut que des changements d'attitude et de comportement de la part de certains dirigeants syndicaux sont nécessaires. Le rythme des changements projetés est relié à la capacité d'investissement de la compagnie, et quant aux fonds requis pour les investissements à long terme, ils devront provenir de l'extérieur de l'entreprise.

B. Mémoire du syndicat

Dressant d'abord une liste des événements mettant directement en danger la santé et la sécurité des travailleurs, le syndicat affirme qu'aucun des propriétaires de cette usine n'a respecté le droit des travailleurs à la santé et à la sécurité. Une enquête publique était nécessaire et on reconnaît que depuis l'annonce de la tenue d'une enquête publique, la compagnie Expro fait des modifications, des réparations et de l'entretien comme jamais auparavant.

1. Causes de ces événements

Quatre décès, plusieurs blessures graves, des dommages matériels considérables tels sont, selon le syndicat, les conséquences de la vétusté des installations, de l'absence d'entretien régulier et d'entretien préventif, d'une augmentation importante de la production en 1977 et d'un manque de formation et d'information aux 300 nouveaux travailleurs embauchés en 1978. La compagnie C.I.L., ayant décidé de vendre, a laissé se détériorer

les équipements et installations de l'usine. Quant à la Corporation des produits chimiques de Valleyfield (C.P.C.V.), tous les investissements faits l'ont été en vue de l'accroissement de la production et non pour améliorer les conditions de santé et de sécurité.

2. Attitude de l'employeur actuel

Les travailleurs ont dû à plusieurs reprises exercer leur droit de refus de travailler dans des conditions dangereuses. Selon le syndicat, plusieurs recommandations du comité paritaire n'ont pas été appliquées par la compagnie Expro, forçant ainsi les délégués syndicaux à se retirer dudit comité. On invoque également un durcissement de la position patronale dans le sens que s'il y a trop de revendications l'usine fermera ses portes. Cette attitude vise, selon le syndicat, à camoufler un manque de volonté ferme d'investir massivement, afin d'éliminer à la source les dangers pour la santé et la sécurité des travailleurs. Sur l'aspect de la formation, on devrait faire davantage appel à l'intelligence du travailleur pour une meilleure compréhension de l'ensemble des opérations et des effets des différents produits utilisés. Quant aux premiers secours, on souligne que l'hôpital de l'usine n'est ouverte que de 8 h à 16 h, que les hôpitaux de la région de Valleyfield ne sont pas informés et encore moins équipés pour faire face aux situations urgentes (intoxications aux vapeurs nitreuses) et finalement que le département de santé communautaire (D.S.C.) est pratiquement inopérant.

3. Attitude de la C.S.S.T.

Le syndicat reproche aux inspecteurs de la C.S.S.T. d'accorder trop souvent des prolongations de délais pour effectuer les corrections exigées, d'un manque de fermeté lorsque les délais accordés pour des corrections sont expirés (avis de correction exigeant un détecteur de fumée au bâtiment nº 108 le 27 septembre 1982). On soutient de plus que la C.S.S.T. a introduit le nouveau principe de la responsabilité partagée entre les travailleurs et l'employeur, diluant ainsi la responsabilité réelle de ce dernier face à l'organisation et aux conditions de travail.

Finalement, le syndicat revendique le droit exclusif pour les travailleurs de choisir le médecin de l'entreprise.

4. Conclusion

En terminant, la partie syndicale ne cache pas sa satisfaction d'avoir obtenu qu'une commission d'enquête publique se penche sur les conditions de santé et de sécurité chez Expro, ce qu'elle réclamait depuis fort longtemps avec une réserve cependant; on craint que les recommandations de la Commission viennent limiter certains droits acquis des travailleurs dans la dernière convention collective que l'on considère supérieurs à ceux prévus par la Loi 17 (Loi sur la santé et la sécurité du travail).

2.3 Programmes de prévention

La compagnie Expro et le syndicat des travailleurs de cette entreprise ont présenté à la Commission leurs projets de programme de prévention.

A. Programme d'Expro

Le programme de prévention d'Expro contient onze éléments. Il débute par l'énoncé de la politique de l'entreprise au sujet de la santé et de la sécurité des travailleurs. La compagnie considère que le comité paritaire en santé et sécurité, la Commission de la santé et la sécurité du travail et le Département de santé communautaire sont des instruments privilégiés avec lesquels elle entend travailler pour atteindre les buts qu'elle s'est fixés.

1. Inventaire des données de base

Le deuxième élément du programme de prévention de la compagnie traite de l'inventaire du milieu et des conditions de travail, en vue de l'élaboration d'un programme de prévention, tels que la description et l'analyse sécuritaire des tâches, les études de bruit, etc.

2. Organisation
Il s'agit de la participation des intéressés. On prévoit principalement mettre sur pied un calendrier de réunions périodiques relatives à la santé et la sécurité, auxquelles devront participer tous les employés de la compagnie à partir des travailleurs jusqu'aux membres de la direction. Des comités de santé-sécurité ayant pour mandat de régler à la base les problèmes de sécurité mineurs seront créés à l'intérieur de chacune des sections de l'usine. Le comité paritaire central de santé et de sécurité chapeautera ces comités de sections.

3. Inspection
Cette partie du programme concerne l'entretien préventif et l'inspection. Un calendrier d'entretien préventif pour tout l'équipement doit être mis en application et un système d'inspection et de surveillance avec mécanisme de suivis est prévu. Tous les cadres de l'usine, de la direction aux contremaîtres, ainsi que les différents services assumant des responsabilités en matière de santé et sécurité devront procéder à des inspections selon un calendrier prédéterminé.

4. Contrôle médical
Le but recherché par la compagnie est d'appliquer un contrôle médical des travailleurs, afin de détecter et d'éliminer tout danger pour leur santé. Le médecin de l'usine doit rédiger le programme de santé applicable à l'entreprise.

5. Formation
La compagnie entend mettre en œuvre un programme de formation pour tous les employés. Par ce programme, la compagnie veut s'assurer principalement que les travailleurs soient informés des risques auxquels ils peuvent être exposés et qu'ils connaissent les caractéristiques et les propriétés des produits et procédés qui existent à l'usine. Un tel programme implique la révision des règles, procédures et consignes d'opération et de sécurité en vigueur. Il s'adresse également aux entrepreneurs qui viennent exécuter des travaux à l'usine et touche à des sujets divers comme les premiers soins et la procédure à suivre lors d'enquête.

6. Publicité
On traite dans cette partie des moyens d'information qu'entend prendre la compagnie. Une campagne de publicité à long terme doit être lancée et des tableaux d'affichage doivent être placés à différents endroits stratégiques de l'usine. Des documents de motivation seront également distribués aux travailleurs.

7. Enquêtes d'accidents
Cet élément traite de la façon dont les enquêtes d'accidents-incidents doivent être faites. On indique que pour améliorer la qualité des enquêtes et suivis d'accidents, la procédure doit être révisée. On suggère que cet élément du programme soit traité sur une base prioritaire vu sa grande importance.

8. Analyses de risques
On traite ici du contrôle à être effectué sur les changements aux procédures et installations existantes ainsi qu'aux nouvelles installations. À cette fin, on prévoit l'application rigoureuse de procédures d'analyse de risques, d'approbation de changements ainsi que d'inspection de nouvel équipement.

9. Consignes spéciales
Cet élément du programme traite de certaines consignes qui semblent avoir été oubliées. On souligne que certaines d'entre elles soit le permis de travail, la fermeture par cadenas et l'accès à des endroits confinés méritent d'être mentionnées spécifiquement à cause de l'importance et de l'urgence de leur ré-application.

10. Sondage d'évaluation
Ce dernier élément traite des moyens d'évaluation du programme de prévention. Outre l'utilisation de statistiques, on prévoit procéder par voie de sondages scientifiques auprès des travailleurs.

B. Le programme du syndicat

Intitulé: «*Revendications syndicales pour un programme de prévention en santé/sécurité à l'usine Expro de Valleyfield*», le projet soumis par le syndicat énonce une série de mesures qui devraient être prises par l'entreprise pour assurer la santé et la sécurité des travailleurs. Le syndicat soutient cependant que certaines situations connues depuis longtemps nécessitent des corrections immédiates. Elles concernent principalement l'installation de détecteurs de fumée et de chaleur et le parachèvement des systèmes d'aspiration à la source et de ventilation générale à la première passe.

1. Élimination des dangers à la source

Sous ce titre, le syndicat suggère plusieurs autres mesures pour éliminer les dangers à la source. Parmi les plus importantes, on mentionne la substitution des matières dangereuses telles le benzène, le blanc de plomb; l'automatisation de l'entreprise, la mise sur pied d'un service d'entretien préventif, la condamnation des bâtiments dangereux, etc.

2. Mesure scientifique des poisons

Pour y arriver le syndicat revendique l'installation d'appareils de mesure des concentrations de contaminants, sur une base continue, aux endroits où la situation l'exige. Par exemple, on demande l'installation d'un détecteur de vapeurs nitreuses avec charte enregistreuse et avertisseur à la bâtisse nº 108. On recommande aussi l'utilisation de dosimètres et on souligne la nécessité de procéder dans les plus brefs délais à former le personnel chargé d'effectuer les prélèvements.

3. Formation en santé et en sécurité

Pour le syndicat, cette formation doit s'appuyer sur des faits objectifs et scientifiques et comprendre entre autres l'explication des procédés et réactions chimiques ou physiques qui surviennent ou qui peuvent se produire. De plus, elle doit inclure des informations sur les effets possibles sur l'organisme des produits utilisés ou manipulés.

Des instructions sur les mesures à prendre en cas d'incendie ou d'accident, des exercices pratiques concernant le port d'équipement individuel de protection, des explications sur les appareils et méthodes de prélèvements utilisés et les normes applicables doivent être aussi prévus.

4. Formation professionnelle

Il s'agit ici de la formation technique des cadres et travailleurs. Le syndicat revendique la mise sur pied d'un service spécialisé de formation professionnelle pour élaborer les programmes et manuels nécessaires à la formation de base et au perfectionnement du personnel. Au sujet de la formation pratique, on soumet qu'aucun cadre ou travailleur ne devrait être laissé à lui-même sans avoir reçu au préalable un entraînement par compagnonnage et que des cours de rafraîchissement annuels ou bi-annuels devraient être prévus.

5. Droit à l'information

Le syndicat soutient qu'aucun programme de prévention ne peut être efficace si les travailleurs et leur syndicat n'ont pas accès à certaines informations telles les statistiques d'accidents, de maladies et d'absences, les rapports d'enquête et d'accident, la liste des contaminants par bâtiment, etc.

6. Comité paritaire de santé et de sécurité

À ce sujet, le syndicat revendique le respect de la convention collective et la tenue de réunions au besoin. On souligne que ce comité est un lieu de rencontres privilégiées pour la discussion des problèmes de santé et de sécurité et qu'il doit être intégré au programme de prévention.

7. Programme de santé

Au chapitre de la santé, le syndicat revendique le droit exclusif pour les travailleurs de choisir leur médecin à l'exclusion de l'employeur, même si ce dernier en défraie les coûts, ainsi qu'un droit de regard sur le protocole d'examen médical à l'usine. Le

programme de santé de l'entreprise devrait viser à l'établissement de données pour entreprendre une recherche sur les effets chroniques des agresseurs présents à l'usine. On revendique aussi l'ouverture du service d'infirmerie en tout temps pendant les heures de production ainsi que la présence d'une ambulance en permanence à l'usine.

8. Mesures d'urgence

Sous ce titre, on revendique principalement l'installation d'avertisseur de danger sur les réservoirs d'acide et au bâtiment nº 108 ainsi qu'un système d'éclairage d'urgence et une génératrice de secours à certains endroits. Des « bains d'urgence » pour traiter les cas de brûlures pourraient s'ajouter aux douches. Un plan d'évacuation devrait être préparé et complété par des exercices pratiques. Un service d'incendie autonome et en permanence devrait être mis sur pied à l'usine. Son personnel devrait avoir la formation nécessaire pour faire face aux différents types d'incendie qui peuvent survenir.

9. Équipements individuels de protection

On souligne que ces moyens sont souvent des sources de danger pour les travailleurs et peuvent dans certains cas être à l'origine de troubles de santé. C'est pourquoi, ils ne doivent être utilisés que sur une base strictement temporaire et être remplacés par l'élimination des dangers à la source. Leur utilisation intermittente doit être accompagnée de périodes de repos supplémentaire.

10. Enquête d'accidents

Le syndicat soumet entre autres que la qualité d'une enquête dépend de la rapidité avec laquelle elle est entreprise et qu'il est essentiel que les représentants de l'employeur informent le service de santé/sécurité et le syndicat dès qu'un événement survient.

11. Hygiène et cafétéria

Le syndicat affirme que les conditions d'hygiène à l'usine sont nettement déficientes. On revendique la construction d'un local spécialement conçu pour empêcher toute contamination du linge de ville par le linge de travail, ainsi que la construction d'une cafétéria.

12. Entretien ménager

Dernier élément du programme de prévention, le syndicat juge qu'il est essentiel qu'une période déterminée soit allouée sur chaque quart de travail et dans chaque bâtiment pour procéder à l'entretien ménager.

Chapitre 3

La chimie des explosifs, les procédés de fabrication et les risques associés

En introduction à ce chapitre, pour illustrer les mécanismes chimiques qui prennent place lors d'une réaction de décomposition qui donne lieu à une explosion, prenons par exemple les substances chimiques les plus simples et les plus connues, l'air et l'eau. On sait que la plupart des gaz comprennent au moins deux atomes par molécule. L'hydrogène, par exemple, ne peut exister que sous la forme H_2, à moins qu'il soit ionisé sous la forme H^+. Il en est de même pour l'oxygène et l'azote que nous respirons qui se trouvent dans l'air sous la forme O_2 et N_2. Sous cette forme ils sont stables et peuvent coexister sans se combiner. Cependant, si on leur fournit assez d'énergie pour les atomiser ou les ioniser sous la forme de $2O^-$ et $2N^+$, ils vont réagir ensemble pour donner un gaz appelé oxyde d'azote NO^+ qui va continuer à s'oxyder pour donner NO_2, N_2O_4, et enfin réagir avec l'humidité de l'air pour se transformer en HNO_3, l'acide nitrique. Ce dernier peut réagir avec les impuretés de l'air, ou au sol, pour donner des nitrates et des nitrites qui sont des engrais chimiques. C'est exactement ce qui se passe lors d'orages électriques quand la foudre éclate.

Quant à la formule chimique de l'eau (H_2O), on sait que son poids moléculaire est la somme des poids moléculaires de H_2 et de $^1/_2 O_2$, soit 2 pour l'hydrogène et de 16 pour l'oxygène, totalisant 18 molécules-grammes. On sait de plus qu'une molécule de gaz occupe un volume de 22,4 litres aux conditions normales de température et de pression.

Qu'arrive-t-il si on décompose l'eau (H_2O) en ses constituants, l'oxygène et l'hydrogène? Le volume occupé par les gaz sera de 22,4 litres pour l'hydrogène et de 0,5 (22,4) soit 11,2 litres pour l'oxygène, tout ceci à la température de 0°C et à la pression atmosphérique normale. On sait qu'il faut fournir une quantité énorme d'énergie pour décomposer la molécule d'eau; mais si au lieu de la décomposer, on la vaporise de sorte que toute l'eau soit sous forme de vapeur complètement sèche (c'est-à-dire sans gouttelette d'eau), le volume de gaz (vapeur d'eau sèche) sera de 22,4 litres, si sa température était de 0°C, à pression atmosphérique normale. De plus, pour les gaz, le produit de la pression par le volume, divisé par la température absolue, est une constante: $PV/T = K$. À volume constant, si on augmente la température d'un gaz, il en résulte une augmentation de pression. Si, on fait passer une molécule d'eau (liquide) sous forme de gaz par l'effet d'une augmentation de température et que l'espace que doit occuper ce gaz est restreint, il en résulte une pression qui peut devenir excessive sur les parois de l'enceinte contenant le gaz et l'enceinte peut céder sous la pression en créant une explosion. Si le temps que prend l'eau pour se transformer en vapeur sèche est très petit, l'explosion sera plus rapide et peut-être dangereuse. Par exemple, si on laisse tomber une molécule d'eau (18 grammes ou 18 cm^3 à 20°C) dans un bassin de métal en fusion ($T > 1\,000$°C), l'évaporation sera subite et le volume occupé par les 18 grammes d'eau passera de 18 cm^3 à 22,4 litres (à 0°C) sous la pression atmosphérique normale. Si la température est de 1 000°C, le volume sera de plus de 100 litres, soit une augmentation de 5 000 fois le volume original occupé par l'eau liquide. Si l'opération se déroule dans une enceinte restreinte, il y aura phénomène d'explosion dû à la pression exercée par une augmentation subite du volume des gaz à l'intérieur. C'est la libération subite de l'énergie qui cause les dégâts que l'on connaît.

Une explication sommaire de certains autres phénomènes de « stabilité chimique » nécessaires à la compréhension de la chimie des explosifs paraît aussi utile. Ces phénomènes sont: l'énergie calorifique et mécanique, la conductivité thermique, les ondes de choc, la déflagration et la détonation.

La stabilité d'un produit chimique se réfère surtout au phénomène de décomposition de ce produit en ses divers constituants. L'eau a besoin d'une quantité d'énergie énorme pour se retrouver sous forme d'hydrogène et d'oxygène; on dit que l'eau est très « stable ». L'acide nitrique, qui est un produit chimique relativement stable à faible concentration, le devient moins au fur et à mesure que la concentration augmente. Il peut devenir fumant à haute concentration si la température s'élève le moindrement. De plus, certains phénomènes sont autocatalytiques, c'est-à-dire qu'ils regénèrent continuellement

les conditions nécessaires à la mise en place du phénomène auquel ils sont soumis. Par exemple, la décomposition de la nitrocellulose qui est un phénomène d'oxydo-réduction est autocatalytique parce que l'oxygène nécessaire est généré par la réaction elle-même. C'est aussi le cas pour l'énergie calorifique requise, puisque la réaction est exothermique.

Quant aux autres phénomènes, nous citons intégralement l'introduction au chapitre 1 du volume intitulé:

« La protection contre les explosions accidentelles de substances explosives »
par Jean Quinchon, René Amiable, Pierre Fontaine et Al.
publié aux éditions Techniques et Documentations, Paris.

« *Les* substances explosives *sont des produits solides ou liquides, susceptibles de donner naissance à une réaction chimique particulièrement rapide libérant en un temps très court une quantité importante d'énergie, en général sous forme d'une grande quantité de gaz à température élevée. Ce phénomène reçoit le nom d'*explosion *de nature chimique (il existe par ailleurs des explosions d'origines mécaniques, comme celles de fluides sous pression, électriques, lumineuses ou nucléaires...)*

L'explosion provoquée par une substance explosive peut être, suivant les cas, une combustion particulièrement vive, une déflagration ou une détonation:

Une déflagration *est le premier mode d'explosion; dans ce phénomène, la propagation de la réaction chimique dans la substance explosive a lieu principalement par le jeu de la conductivité thermique comme dans une simple combustion. La vitesse avec laquelle la déflagration progresse modifie la pression. Avec les produits solides, elle varie d'une fraction de millimètre par seconde jusqu'à quelques dizaines de mètres par seconde dans le cas de la poudre noire. La déflagration peut donc induire une onde de choc dans l'atmosphère et produire des effets dévastateurs importants à distance.*

Une détonation *est le second mode, dans lequel l'explosion se propage dans une matière explosive par un mécanisme d'onde explosive: il y a association d'une réaction chimique de combustion avec un phénomène mécanique d'onde de choc et c'est l'énergie fournie par la réaction chimique qui entretient l'onde et lui permet de se propager sans affaiblissement dans la matière explosive. La célérité de ce phénomène est toujours très élevée, de plusieurs kilomètres par seconde, et ne varie pratiquement qu'avec la substance et sa masse spécifique. Les pressions peuvent atteindre des valeurs considérables (plus de 200 000 kg/cm²) et cela dans des temps très courts, ce qui explique les effets particulièrement brisants que l'on observe au voisinage d'une charge qui détone.*

Les substances explosives sont classées fonctionnellement en deux groupes suivant leur emploi pratique:
Les poudres propulsives, et les propergols (solides ou liquides) qui agissent par combustion vive ou déflagration, et qui servent soit à lancer un projectile à partir d'une arme à feu, soit à entretenir le mouvement d'un engin autopropulsé.

Les explosifs *destinés à détoner en produisant des effets brisants de destruction avec une distinction entre explosifs primaires qui, par allumage, prennent d'emblée le régime détonant et, secondaires qui détonent par l'action intermédiaire d'un explosif primaire.*
La distinction entre poudres et explosifs n'est d'ailleurs justifiée que d'un point de vue fonctionnel, car il est possible, par un amorçage approprié, de faire détoner une poudre, ou inversement par une simple inflammation, de faire brûler un explosif.
En effet, on peut obtenir avec un explosif le régime de la déflagration ou de la combustion, par exemple, en faisant brûler de la tolite (TNT) à l'air libre en couche de quelques centimètres d'épaisseur. Il faut prendre garde que si certaines conditions critiques sont obtenues (masse ou épaisseur par exemple), la combustion

est susceptible de se transformer en détonation. De même, les poudres (à l'exception des poudres noires) sont susceptibles de détoner, soit qu'on les amorce avec des explosifs ou des éclats à grande vitesse, soit par un mécanisme complexe de transition de la combustion-déflagration en détonation. Il convient de noter enfin que les déflagrations les plus brutales n'ont rien à envier aux détonations, quant à leurs effets dévastateurs. »

Avant d'entreprendre l'étude de la chimie des poudres propulsives et des explosifs, il y a lieu de distinguer entre différentes substances qui peuvent être classées comme explosives.

Indépendamment de l'inflammation explosive de gaz, de vapeurs, de brouillard et de poussières, certaines matières solides ou liquides donnent lieu, dans certaines conditions, à des réactions de décomposition qui à la limite ultime prennent le régime d'une décomposition explosive. Qu'il suffise de citer quelques phénomènes pouvant donner lieu à une réaction chimique ou physique explosive:

— les oxydants puissants en présence de matière combustible,
— les matières qui réagissent vivement avec d'autres matières (l'eau par exemple),
— les métaux en fusion mis en contact avec l'eau,
— les matières pouvant donner lieu à des décompositions explosives.

Dans les matières pouvant donner lieu à des décompositions explosives, on retrouve les produits fabriqués à l'usine Expro de Valleyfield. Pour mieux situer les produits d'Expro dans l'immense quantité de produits explosifs que l'on retrouve sur le marché, il faut établir une différence entre:

— les combustibles solides,
— les propergols,
— les poudres propulsives,
— les explosifs.

Ce sont des substances susceptibles de libérer leur énergie potentielle en un temps très court (de l'ordre du millionième de seconde pour les explosifs) grâce à une réaction chimique interne rapide. Cette décomposition dégage généralement un volume gazeux important à température élevée, la réaction étant exothermique. La vitesse de la réaction chimique et le volume de gaz produit sont essentiellement les caractéristiques qui différencient les explosifs des propulseurs.

Les vitesses de réaction varient des combustibles aux explosifs de la façon suivante:

— Les combustibles solides ..... 10^{-6} mètre par seconde,
— les propergols ..... 10^{-2} mètre par seconde,
— les poudres propulsives ..... 2 kilomètres par seconde,
— les explosifs ..... 9 kilomètres par seconde.

Le volume de gaz produit à chaque réaction varie selon l'utilité qu'on veut en faire. Le carburant solide (propergol), utilisé pour le lancement de fusées, doit réagir chimiquement de façon relativement lente et donner une poussée très grande, tandis que l'explosif doit avoir un temps de réaction très court ainsi qu'une grande quantité de gaz à très haute température pour donner l'effet brisant désiré.

Nous allons donc, dans les paragraphes qui suivent, décrire la chimie des poudres propulsives et des explosifs, les procédés utilisés pour la fabrication de ces produits et plus particulièrement les procédés utilisés à Expro. Afin de mieux saisir la nature et l'importance du risque professionnel pouvant résulter de la fabrication et de la manipulation des produits explosifs, nous analyserons en dernier lieu les risques reliés à la fabrication des produits explosifs chez Expro.

3.1 Chimie des explosifs fabriqués à l'usine Expro

À peu près tous les explosifs ou poudres propulsives sont des composés de l'azote. Ces composés sont réputés être instables à faible température (quelques centaines de

degrés Celsius) et la décomposition atteint instantanément le régime d'explosion par la transmission soit de l'onde thermique, soit de l'onde mécanique (onde de choc). Dans le préambule, on a mentionné qu'il y avait deux types d'explosifs, les primaires et les secondaires. Les explosifs primaires se décomposent sous l'effet d'un choc et les secondaires sous l'effet de la chaleur et du choc causés par la détonation d'un explosif primaire. La poudre à fusil, quelle que soit sa composition, se décompose ou brûle sous l'effet de la chaleur ou du choc causés par la détonation d'un explosif primaire placé dans le détonateur d'une cartouche. L'explosif du détonateur est dit primaire et celui de la cartouche est dit secondaire.

Aux usines Expro, on fabrique deux types d'explosifs: le RDX comme explosif secondaire puissant et les poudres propulsives comme explosifs secondaires; quoique certains types de poudres propulsives, comme les poudres dites commerciales, contiennent des explosifs primaires tels la nitroglycérine, la nitroguanidine qui assurent à ces poudres une propriété nécessaire à la propulsion des balles de fort calibre.

Les explosifs étant des produits qui se déstabilisent facilement dans certaines conditions, on emploiera pour les fabriquer des composés nitrés qui de par leur nature sont instables dans certaines conditions: les nitrocelluloses, la nitroglycérine, la nitroguanidine et pour le RDX, le nitramine (plus particulièrement le cyclo-trimétylène-trinitramine).

La réaction qui prend place lors de la fabrication des produits de base aux explosifs est essentiellement une réaction de nitration. Une explication simplifiée de cette réaction consisterait à dire que l'hydrogène du radical OH des alcools et NH_2 des amines (cellulose, glycérine et hexamine) est remplacé par l'ion NO^+ et que l'oxygène fourni par la décomposition ou l'ionisation de l'acide nitrique se combine à l'ion H^+ pour former de l'eau (H_2O) laquelle est absorbée par un acide avide d'eau (acide sulfurique ou anhydride acétique) et ainsi empêche que la réaction se renverse, c'est-à-dire qu'il y ait une réaction d'équilibre entre la nitration et la dénitration, conduisant à un produit final de très mauvaise qualité. Les réactions chimiques sont de fait beaucoup plus compliquées comme on le verra dans le paragraphe de la stabilisation du produit à basse température. Discuter de la chimie des explosifs consiste à élaborer sur la chimie des acides nitriques et sulfuriques, de l'anhydride acétique, de la cellulose, de l'hexamine, de la glycérine, de la nitrocellulose, de la nitroglycérine et enfin du nitramine à la base du RDX.

3.1.1 Mélanges réactifs et matières premières

A. Acide nitrique et sulfurique

Les esters nitriques sont formés par la réaction de l'acide nitrique et d'un alcool et le remplacement de l'hydrogène du groupe OH par un groupe NO. La nitrocellulose et la nitroglycérine sont des exemples d'esters nitriques.

Le mécanisme de la nitration a été élucidé par Hughes et Ingold peu avant la deuxième guerre mondiale[1]. Le mécanisme invoqué n'a peut-être pas un caractère absolu, mais néanmoins explique partiellement la réaction.

L'acide nitrique à 100% est un corps pur bien défini; la concentration de NO_2^+ est de l'ordre de 1 à 2%. Cet acide est amphotère, c'est-à-dire qu'il réagit aussi bien avec les bases qu'avec les acides, et se salifie lui-même; deux réactions équilibrées ont lieu:

$$2\ HNO_3 \rightleftharpoons NO_3^- + H_2NO_3^+ \quad \text{(réaction rapide)}$$

$$H_2NO_3^+ \rightleftharpoons NO_2^+ + H_2O \quad \text{(déshydradation)}$$

La seconde réaction en eau est plus lente. Quand l'on ajoute de l'eau, la réaction régresse et l'ion NO_2^+ redonne de l'acide nitrique. La concentration de cet ion décroît

fortement dans un mélange d'acide nitrique et eau. En dessous de 68% de HNO_3, l'ion n'est plus décelable. Ce milieu est donc généralement inutilisable pour les nitrations difficiles.

Les mélanges d'acide sulfurique et nitrique sont très employés industriellement. Ces mélanges d'acide sulfurique et d'acide nitrique concentré, communément appelés sulfonitriques, sont très riches en ion nitronium et alors très fortement nitrant.

L'acide sulfurique (H_2SO_4) est un acide extrêmement fort, ionisant et transformant en cation la plupart des composés chimiques. Il ionise et déshydrate l'acide nitrique.

$$H_2SO_4 + HNO_3 \rightleftharpoons HSO_4^- + H_2NO_3^+$$

$$H_2NO_3^+ \rightleftharpoons NO_2^+ + H_2O$$

Dans les mélanges concentrés contenant beaucoup d'acide nitrique et sulfurique et peu d'eau, la transformation de l'acide nitrique en NO_2^+ est totale (figure 3.1.A). En effet, dans un mélange contenant 90% de H_2SO_4 et 10% de HNO_3, l'acide nitrique n'existe pratiquement plus, la transformation en ion nitronium étant presque complète.

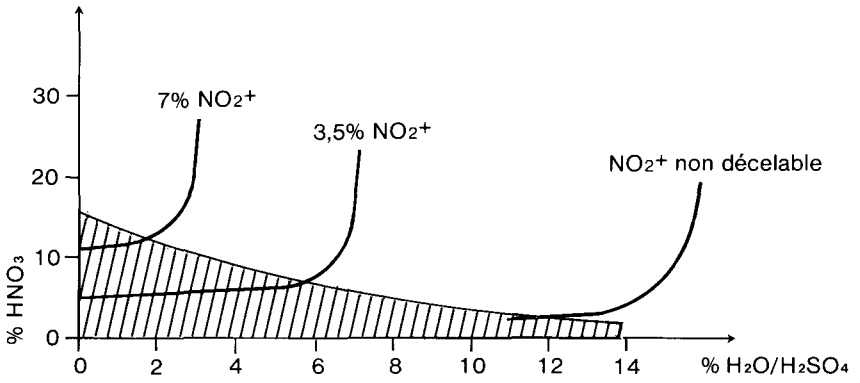


Figure 3.1.A: Mélanges sulfonitriques

Ces mélanges sont les seuls utilisables pour les nitrations difficiles. Cependant, les produits obtenus sont souvent impurs parce que l'acide sulfurique concentré est un solvant médiocre pour les produits nitrés et l'acide est souvent absorbé ou occlus dans les cristaux du produit et difficile à enlever. Un seul lavage ne suffit pas et il faut envisager une série de traitements variés pour l'enlever. Par contre, ces mélanges sont très économiques car ils permettent la récupération de l'acide après l'usage.

B. Anhydride acétique

La nitration des amines est assez difficile. À cause du caractère basique des amines, il est impossible d'effectuer une nitration acceptable en présence de l'acide sulfurique qui est un acide fort. Les amines sont totalement salifiées avant d'être nitrées en milieu très acide. Les méthodes de synthèse (procédé Backmann) tentent de contourner ces difficultés. Cependant l'eau formée par la réaction de nitration des amines doit être absorbée et l'anhydride acétique joue ce rôle que jouait l'acide sulfurique dans la nitration de la cellulose. On verra plus loin dans le paragraphe dédié au procédé Backmann, l'action de l'anhydride acétique.

C. Cellulose

La cellulose est un composé macromoléculaire naturel très répandu dans le règne végétal. Ces groupes s'associent pour former des chaînes comprenant jusqu'à 10 000 unités.

Le degré de polymérisation dépend de l'origine de la cellulose. Des aggrégats de chaînes parallèles forment la fibre cellulosique. Deux genres de matière cellulosique sont utilisés industriellement:

— les cotons à nitrer: fibres courtes (linters),
— les pâtes de bois: obtenues en traitant le bois déchiqueté par des agents tels que la lessive bisulfitique enlevant les constituants non cellulosiques du bois (vg. lignines).

1. Les cotons à nitrer

Le coton naturel est une source très importante de cellulose, il contient de 85 à 97% de cellulose. Chaque fibre est une cellule unitaire.

La purification de ces fibres consiste à enlever les impuretés par nettoyage mécanique et chimique. Ces impuretés sont:

— les gras,
— les cires,
— la lignite,
— les protéines,
— les hydrocarbonates non cellulosiques et
— les substances minérales.

On retrouve les spécifications suivantes pour les cotons à nitrer:

Cellulose minimum	92%
Eau (humidité)	6% (calcination)
Substances minérales	0,7%
Gras et cires	0,3%
Impuretés (saletés)	1,0%
Chlore (libre)	nil
Chlore (substances occluses)	0,05%

Il est à noter que l'humidité contenue dans la fibre doit être enlevée avant la nitration par séchage poussé afin de permettre l'ouverture de la fibre à la nitration. L'eau stabilisée dans la fibre freine l'échange ionique, surtout si l'eau est bien stabilisée dans la structure fibreuse.

2. La pulpe de bois

Le remplacement du coton à nitrer par la cellulose de bois date de la première guerre mondiale au moment où en Allemagne une pénurie de coton se faisait sentir. Le bois contient de 45 à 68% de cellulose. Morphologiquement la cellulose de bois est différente de celle du coton, la fibre étant beaucoup plus courte et chimiquement plus facile à nitrer. Le bois d'épinette par exemple contient:

Cellulose	50 à 60%
Carbohydrates (autres que cellulose)	10 à 14%
Lignite	20 à 30%
Huiles, cires, résines et autres matières minérales	13 à 15%
Albumine	traces

La séparation de la cellulose se fait essentiellement par le traitement du bois aux bicarbonates, aux sulfates et sulphites, afin d'obtenir une cellulose qui répond aux spécifications mentionnées pour le coton à nitrer. La cellulose utilisée chez Expro provient uniquement de la pulpe de bois.

D. Glycérine $(CH_2\text{-}OH)_2CH\text{-}OH$

La glycérine est obtenue par hydrolyse des matières grasses lors de la fabrication des savons. C'est un liquide visqueux, inodore, incolore, non volatil et possédant un goût sucré. Elle est très hygroscopique, pouvant absorber son propre poids en eau à l'air ambiant. Elle est un solide à 17°C et a un point d'ébullition de 290°C à pression atmosphérique ordinaire. Sa masse volumique est de 1 295 g/cm³ à 15°C.

La pureté de la glycérine exerce une influence fondamentale sur le rendement et la sécurité de la fabrication de la nitroglycérine. La glycérine, appelée glycérine pour dynamite, ne doit pas contenir d'eau et doit être distillée plusieurs fois avant d'obtenir la qualité nécessaire à la nitration. Les spécifications sont les suivantes:

Contenu en glycérine	> 99%
Contenu en eau	< 1%
Impuretés de toutes sortes	< 0,015%
Densité à 15,6°C	≥ 1,262 g/cm³

La fragilité de la nitroglycérine pure avant absorption par un agent «flegmatisant» (acétone, nitrocellulose, sciure de bois) nécessite une glycérine très pure qui permettra d'éliminer les agents déstabilisants de la nitroglycérine.

E. Hexamine

L'amine utilisé à l'usine Expro pour fabriquer le RDX est l'hexamine (hexaméthylènetétramine). Ce produit est obtenu par la réaction du formol et de l'ammoniac. La molécule est cycloaliphatique. L'hexamine est un produit solide, cristallin, blanc, ayant une odeur de poisson, sans goût particulier et légèrement hygroscopique.

3.1.2 Produits fabriqués chez Expro

A. Esters nitriques: nitrocellulose et nitroglycérine

L'estérification des alcools par l'acide nitrique est à la base de la fabrication des dérivés nitrés d'alcool. Le mécanisme de nitration qui y prend place est le même pour tous genres de nitration. Lorsque l'ion NO_2^+ est présent dans le milieu, l'on a effectivement affaire à un seul et même mécanisme: une substitution électrophilique (un ion positif NO_2^+ à la recherche d'un ion négatif O^-) appelé nitration. Dans le cas en question, il s'agit d'une «oxynitration».

Dans un milieu ionisant tel le milieu sulfonitrique aqueux, la réaction est très rapide. Il s'en suit alors une attaque électrophilique par l'ion NO_2^+ du doublet libre sur l'atome d'oxygène de la cellulose:

$$NO_2^+ + (R\text{-}OH) \rightleftharpoons (R\text{-}ONO_2) + H^+$$

C'est une réaction du premier ordre par rapport au substrat (la NC par exemple) et la vitesse de cette réaction détermine la vitesse globale. Cette vitesse dépend alors de la nature du substrat et de sa concentration. Les substances les plus faciles à nitrer dans les mélanges eau-acide nitrique sont les alcools primaires. Le rôle de l'ion NO_2^+ comme agent nitrant unique est présentement contreversé. Néanmoins, il est indiscutable qu'il joue un rôle important dans cette réaction parce qu'il est de loin beaucoup plus électrophile que les autres agents nitrants.

Cette nitration est réversible et en équilibre chimique avec la réaction d'hydrolyse.

Dans les mélanges sulfonitriques, anhydre ou acide nitrique-eau contenant plus de 80% d'acide nitrique, l'agent nitrant est l'ion NO_2^+ et la nitration est totale. Tout l'alcool introduit dans de tels mélanges est transformé en ester nitrique. La nitration industrielle des alcools s'opère généralement en milieu nitrant sulfonitrique.

Après avoir séparé la majeure partie des acides usés (spent acids), on dilue le mélange réactionnel restant de façon à traverser rapidement la zone dangereuse où la réaction est réversible et peut régresser. L'ester nitrique peut être manipulé en présence d'acide dilué pendant un certain temps, mais il faut le débarasser de toute trace d'acide si on veut le conserver dans des conditions de sécurité suffisantes. L'élimination des traces d'acide nitrique est plus facile que celle des traces d'acide sulfurique, de là l'opération de stabilisation de la nitrocellulose.

1. Nitrocellulose (NC)

La NC a été découverte par un suédois (Schonbein) en 1845 et fut d'abord utilisé à l'état sec et pulvérulent pour le chargement de munitions, mais sa grande sensibilité au frottement et à la chaleur, qui l'apparentait aux explosifs primaires, conduisit à maints accidents et son emploi fut abandonné. En 1884, Vieille, un français, découvrit sa transformation en gel macromoléculaire par l'action d'un mélange éther-alcool qui lui permettait de brûler en couches parallèles. Elle est néanmoins dangereuse et la NC a été à l'origine de certains accidents spectaculaires dans sa fabrication et son utilisation.

La nitration de la cellulose est très particulière. Le problème de l'accessibilité par le mélange nitrant des sites réactionnels au sein de la fibre cellulose, s'ajoute au phénomène déjà complexe de la nitration d'un polymère contenant des fonctions d'alcools primaires et secondaires cycliques.

Le traitement chimique, pour arriver à la nitration produit toujours une certaine hydrolyse au niveau des ponts-oxygène reliant les groupes de glucopyranose. Ceci diminue alors le degré de polymérisation et cela d'autant plus que le traitement est énergétique. Ce degré de polymérisation est évalué par la viscosité des solutions de la nitrocellulose.

La nitration d'une matière cellulosique effectuée en l'immergeant dans un mélange sulfonitrique est une réaction topochimique, c'est-à-dire une fixation des groupes NO_2 dans les hydroxyles, se faisant au hasard le long de chaque chaîne. Le degré de nitration d'une cellulose peut être évalué par son taux d'azote.

Une estérification totale donnerait un trinitrate de cellulose ayant un taux d'azote de 14,14%. Ce taux est théorique car il ne peut pratiquement pas être atteint. Le taux atteint dépend uniquement de la concentration réelle de l'acide nitrique dans le bain continu, depuis le plus bas taux d'azote réalisable de 7% jusqu'aux produits les plus fortement nitrés, c'est-à-dire un mélange de mono, di et trinitrates de cellulose.

La nitration modifie très peu l'aspect de la cellulose. La pâte de bois nitrée ressemble beaucoup au produit du départ. Les propriétés chimiques des nitrocelluloses sont à peu près les mêmes, qu'elles proviennent de coton ou de pâte de bois.

Selon leur taux d'azote, on range les nitrocelluloses en trois groupes:

- *Le coton-poudre fort* (high grade). Le taux d'azote est supérieur à 12,6% et va jusqu'à 13,5%. Ces nitrocelluloses sont toutes solubles dans l'acétone mais insolubles dans un mélange d'alcool et d'éther.
- *Le coton-poudre soluble (pyro).* Son taux d'azote se situe entre 12 et 12,6% et il est soluble dans un mélange éther/alcool ou dans l'acétone.
- *Le coton-poudre collodion.* Son taux d'azote est inférieur à 12% et il sert à la fabrication des collodions dans les vernis, les décapants et les laques.

2. Nitroglycérine (NG)

Avec la NC, la NG et le plus ancien des esters nitriques connus. Sa très grande sensibilité à toutes actions extérieures rend sa manipulation extrêmement dangereuse. Les découvertes du suédois Nobel, en 1860, sont responsables en grande partie de son utilisation industrielle. Ce dernier flegmatisa la NG sous forme de dynamite ou de poudre à double base.

La nitration de la glycérine produit un important dégagement de chaleur par suite de la dilution des acides concentrés par l'eau formée lors de la réaction.

Pour que la nitration soit complète, il faut opérer avec des mélanges sulfonitriques très anhydres, où l'ion NO_2^+ existe en quantité appréciable. Ce milieu doit être fortement nitrant pour deux raisons:

- Il ne faut pas qu'il y ait de glycérine incomplètement nitrée après la nitration car celle-ci serait cause d'instabilité dans le produit final;
- Il ne faut pas que la nitroglycérine demeure dans le mélange car elle serait facilement oxydée par le mélange sulfonitrique.

Il est aussi essentiel d'opérer la nitration en refroidissant énergétiquement le mélange.

Théoriquement, la nitration est réversible. Cependant, dans les conditions où cette réversibilité pourrait se manifester (présence d'eau), les réactions d'oxydation l'emportent sur l'hydrolyse et l'on ne retrouve pas de glycérine.

La sécurité de la fabrication exige que l'on opère dans des nitreurs refroidis et que le mélange sulfonitrique ait une composition située dans la zone de stabilité du diagramme d'Oehman (figure 3.1.B).

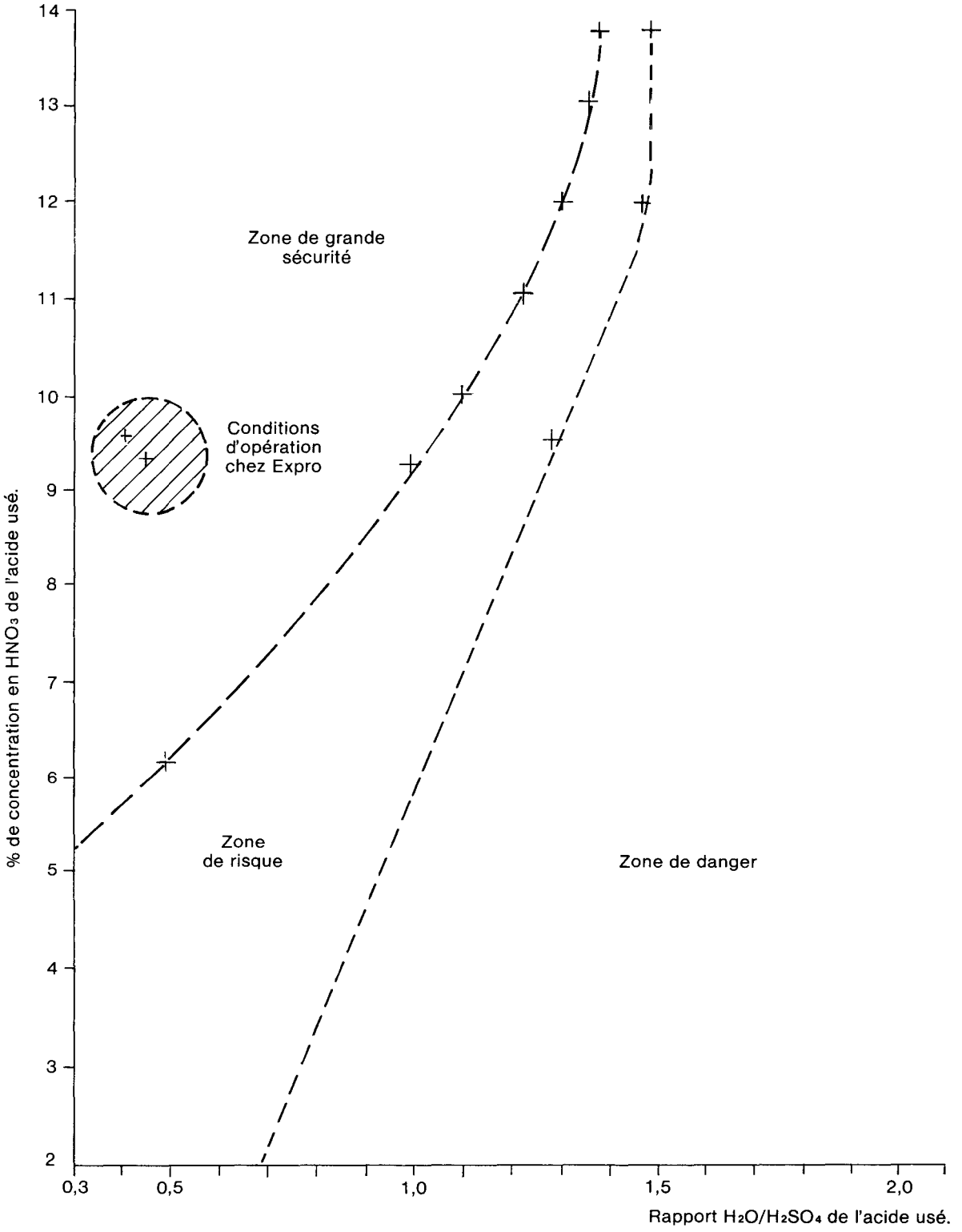


Figure 3.1.B: Zones de sécurité de la nitration de la glycérine, diagramme d'Oehman

Après la nitration, la NG doit être rapidement séparée de l'acide usé par décantation. La NG est par la suite lavée abondamment à l'eau froide en milieu alcalin (bicarbonate de soude) pour éliminer toute trace d'acide et de dinitroglycérine.

Les acides usés (spent acids) sont stockés avant dénitration et concentration (surdosage à l'oléum) pour enfin être recyclés dans la fabrication. Une petite quantité d'eau est généralement ajoutée aux acides usés, c'est-à-dire de l'acide nitrique (60%) pour augmenter la solubilité de la nitroglycérine dans le mélange et pour permettre sa disparition progressive par décomposition (lavage de l'acide).

3. Nitramines

Les nitramines (RDX) sont souvent des produits solides bien cristallisés, denses et incolores et leur température de fusion est élevée. Ils sont des produits qui peuvent être stables en température. Cette stabilité n'est pas affectée par des traces d'acide ou de vapeur nitreuse, c'est-à-dire la décomposition n'est pas autocatalytique. Ces produits sont souvent incompatibles avec les produits basiques.

La formation de nitramines s'effectue par la neutralisation électrophilique du doublet libre de l'azote par l'ion NO_2^+.

La difficulté de la synthèse des nitramines provient du caractère généralement basique de l'amine de départ. Les milieux nitrants sont très acides, et l'amine est totalement salifiée avant d'être nitrée, le cation correspondant repousse l'ion NO_2^+ et la nitration est difficile. Les méthodes de synthèse tentent alors de contourner cet obstacle.

Le RDX fut préparé pour la première fois en 1898 (9) et il fut fabriqué industriellement pour la première fois par les italiens vers 1925 sous le nom « T_4 ». La même année, une méthode de préparation du RDX par la nitration de l'hexaméthylènetriamine fut décrite (10). Depuis, plusieurs procédés ont été développés tels la méthode anglaise (11), la méthode allemande (méthode-SH, 12), la méthode de Knöffler (méthode-K, 13), la méthode de Wolfram (méthode-W, 14), la méthode de Ebele (méthode-E, 15) et la méthode de Bachmann (méthode-ba, 16). À Expro, la méthode utilisée est une modification de la procédure de Bachmann.

Le mécanisme de nitration de l'hexamine a fait l'objet de nombreuses études. Cependant, ce mécanisme n'a pas encore été complètement élucidé.

On sait que la nitration directe des amines aliphatiques est impossible en milieu acide car les amines sont transformées en sels et les azotes de la molécule ne peuvent plus être attaqués par l'ion nitronium ou par tout autre agent nitrant électrophile. Pour l'hexamine, les 4 azotes correspondent à des amines tertiaires; ce n'est donc pas vraiment une nitration qui a lieu mais plutôt une nitrolyse. C'est-à-dire, l'addition d'un N_2^+ conduit à la coupure de la molécule et à la séparation d'un groupe méthylène (CH_2). Ce qui se passe ensuite n'a pas été encore élucidé et serait compliqué à décrire. Finalement, trois azotes sur quatre sont transformés en N-NO_2. Le quatrième, avec les trois CH_2 s'y rattachant, est oxydé dans le milieu nitrant, donnant du CO_2, H_2O et des vapeurs nitreuses. Il en résulte la formation de produits secondaires instables, rendant fragile la fabrication du RDX.

Le procédé utilisé à Expro est une méthode basée sur la méthode de Bachmann, c'est-à-dire une méthode qui utilise du dinitrate d'ammonium ($NH_4NO_3 . HNO_3$), de l'anhydre acétique et de l'acide acétique.

$$C_6H_{12}N_4 . 2(CH_3COOH) + 2(NH_4NO_3 . HNO_3) + 6(CH_3CO)_2O + 2HNO_3 \longrightarrow 2(CH_2N . NO_2)_3 + 12CH_3COOH$$

3.2 Procédés de fabrication

À l'usine Expro de Valleyfield, on fabrique des poudres propulsives de divers calibres et un explosif secondaire très puissant, le RDX. Le cheminement nécessaire à la

compréhension des procédés utilisés doit être le plus rationnel possible, même si à l'usine, de façon spatiale, les circuits se recoupent, s'enchevêtrent pour rendre la production la plus rentable possible dans les circonstances. Le procédé de fabrication du RDX étant indépendant de la fabrication de la nitroglycérine, de la nitrocellulose et du traitement des poudres propulsives, il peut être traité au début ou à la fin de ce chapitre sans inconvénient. Quant aux autres procédés, ils doivent être traités de façon séquentielle, c'est-à-dire dans la logique des gestes posés pour en obtenir le produit final désiré. La nitrocellulose et la nitroglycérine entrent dans la fabrication des poudres propulsives, tandis que la récupération des différents acides est une opération satellite associée aux procédés de base.

Les procédés de fabrication aux usines Expro seront alors traités de la façon suivante:

- la préparation des acides (mélanges nitrosulfuriques),
- la fabrication de la nitrocellulose,
- la fabrication de la nitroglycérine,
- la récupération des acides usés,
- la préparation initiale des grains de poudre devant servir à la fabrication des poudres propulsives,
- la finition et l'empaquetage des poudres à simple, double et triple bases,
- la fabrication du RDX,
- la récupération des acides au RDX.

Le numéro des bâtiments dans lesquels un procédé ou une partie d'un procédé prend place, n'a que peu d'importance pour le moment. On y reviendra lors de l'identification des principaux contaminants susceptibles d'altérer la santé des travailleurs et de mettre leur sécurité en jeu.

3.2.1 Préparation des acides

La nitration de la cellulose pour en obtenir des produits nitrés à haute teneur (pyro) ou à très haute teneur (high grade ou THT) en azote exige une préparation d'un mélange, acide nitrique, acide sulfurique et eau, de concentrations différentes. Il en est ainsi pour le mélange d'acide devant servir à la nitration de la glycérine. L'explication se retrouve à la partie « chimie des explosifs », sous l'épithète « acide nitrique-sulfurique ».

Les différents mélanges nécessaires sont les suivants:

- Mélange pour la nitration du produit *pyro*:
  Acide nitrique 26,4%
  Acide sulfurique 58,3%
  Eau 15,3%
- Mélange pour la nitration du produit « high grade »:
  Acide nitrique 28,5%
  Acide sulfurique 63,5%
  Eau 8,0%
- Mélange pour la nitration de la glycérine:
  Acide nitrique 51,0%
  Acide sulfurique 51,0%
  Eau ..... -2,0%

N.B. Une teneur négative en eau signifie qu'une quantité très appréciable d'anhydride sulfurique (SO_3) est dissoute dans l'acide sulfurique. En conséquence, la concentration en eau de l'acide sulfurique est plus faible que la quantité normalement admise pour saturer l'anhydride sulfurique en acide sulfurique:

Acide sulfurique (H_2SO_4) $\leftrightarrow$ Anhydride sulfurique (SO_3) + eau (H_2O)

Le produit est communément appelé « oléum ».

Expro achète l'oléum pour bonifier les acides sulfuriques et de l'acide nitrique à 60% qui sera par la suite bonifié à 98% dans les colonnes à distiller (la description en sera donnée plus loin).

Les produits acides que l'on possède pour fabriquer les mélanges sont donc les suivants:

— l'oléum acheté de l'extérieur,
— l'acide sulfurique fort, produit par distillation des acides usés,
— les acides usés provenant de la nitration de la cellulose (pyro et très haute teneur) et de la nitration de la glycérine,
— l'acide nitrique à haute teneur provenant de la concentration des acides usés et l'acide nitrique à 60%, acheté de l'extérieur.

La teneur en acide sulfurique et acide nitrique de ces différents produits est la suivante (pourcentage en poids):

— Oléum Acide sulfurique 106%
Eau ..... -6%
Acide nitrique 3%
— Acide sulfurique fort (92%) A.F.
Acide sulfurique 92%
Eau 8%
— Acides usés provenant de la nitration de la nitrocellulose pyro
Acide sulfurique 57%
Acide nitrique 23%
Eau 20%
Nitrocellulose ..... traces
— Acides usés provenant de la nitration de la nitrocellulose T.H.T.
Acide sulfurique 65%
Acide nitrique 26%
Eau 9%
Nitrocellulose ..... traces
— Acides usés provenant de la nitration de la glycérine
Acide sulfurique 74,3%
Acide nitrique 9,4%
Eau 15,0%
Nitroglycérine 1,2%
Acide nitreux 0,12%

après traitement à l'acide nitrique à 60% (butted acid – acide abouti)
Acide sulfurique 57,1%
Acide nitrique 20,6%
Eau 21,3%
Nitroglycérine 1,0%
Acide nitreux 0,12%
— Acide nitrique fort (après distillation)
Acide nitrique 98%
Eau 2%

À partir de ces différents acides, on procède à différents mélanges que l'on titre souvent pour en déterminer l'exactitude en rapport avec les exigences des réactions de nitration désirées.

Il faut faire remarquer que les acides sulfuriques et nitriques sont des acides amphotères (réaction avec les bases et les acides) et que par conséquent leur mélange donne lieu à une réaction chimique d'équilibre et de déshydration partielle de l'un ou l'autre des acides. Ces réactions étant exothermiques, il y a nécessité de surveiller la température du mélange pour que l'acide nitrique ne se décompose pas.

Il faut aussi faire remarquer que les acides usés provenant de la nitration de la cellulose contiennent de la nitrocellulose en faible quantité. Si cette nitrocellulose est complètement baignée dans l'acide, et en faible quantité, il n'y a pas d'inconvénient trop sérieux. Mais

si la nitrocellulose perd de la qualité (1% en azote) son poids spécifique diminue et elle a tendance à flotter au-dessus de l'acide; à ce moment, elle devient dangereuse, une dénitration est possible.

Au sein d'un pain de nitrocellulose qui flotte sur l'acide usé il y a réaction de décomposition qui peut devenir assez intense pour permettre le début d'une dénitration plus rapide et la réaction étant autocatalytique, elle peut dégénérer en catastrophe (explosion du réservoir nº 40 et du réservoir nº 17).

Les acides usés ne devraient pas être gardés en réservoir plus de vingt-quatre heures, autrement il peut y avoir sédimentation de nitrocellulose au fond des réservoirs ou flottaison en surface. En utilisant ces acides aussitôt que produits, on élimine presque totalement le danger inhérent à la présence de nitrocellulose. La présence de nitrocellulose en grande quantité dans les acides usés est un indice éloquent de l'inefficacité des équipements d'essorage de la nitrocellulose et de la filtration qui suit.

Chaque acide servant aux mélanges a son réservoir proprement numéroté. Les acides circulent d'un réservoir à l'autre à l'aide d'une pompe. Des réservoirs à mélange sont montés sur balances dynamométriques (balances à leviers) et on en mesure exactement le contenu. Après titrage, on ajuste la teneur de chaque mélange à la teneur désirée. Celle-ci étant obtenue, le mélange est pompé dans un réservoir spécifique à chaque nitration.

Au moment de l'utilisation de ces différents mélanges, un préposé aux acides titre le nouveau mélange acide et ajuste la teneur à la teneur exacte voulue.

3.2.2 Fabrication de la nitrocellulose

La nitrocellulose est le produit de la nitration de la cellulose issue de la réaction chimique de remplacement de l'ion H^+ du radical (OH) d'un alcool par l'ion nitronium $(NO)^+$ de l'acide nitrique ionisé en présence d'un acide fort qui est l'acide sulfurique.

La fabrication industrielle de la nitrocellulose comprend plusieurs traitements différents qui vont de l'attaque chimique à la stabilisation complète du produit nitré. On sait déjà qu'il existe trois catégories de nitrocellulose:

- la nitrocellulose à très haute teneur,
- la nitrocellulose pyro,
- la nitrocellulose collodion.

La composition des acides nécessaires à la réaction chimique varie d'un produit à l'autre, les temps de réaction sont différents et le mode de stabilisation varie aussi à cause du degré de viscosité et de stabilité du produit du point de vue chimique.

De plus, il existe deux façons de produire la nitrocellulose:

- procédé continu ou semi-continu du début de la préparation de la cellulose jusqu'à la fin du traitement de neutralisation et de stabilisation,
- procédé discontinu, c'est-à-dire une série de gestes spécifiques posés sur un certain lot de nitrocellulose, gestes nécessairement dépendants les uns des autres mais posés de façon autonome.

Aux usines Expro, les procédés sont complètement discontinus. La description que nous en faisons se réfère aux procédés «Expro», en indiquant au passage comment, en procédé continu, le traitement de la nitrocellulose est effectué.

Que la nitrocellulose soit produite par procédé continu ou discontinu, il n'en demeure pas moins que les réactions chimiques sont les mêmes et que les principes de la stabilisation restent quasi identiques ou du moins peuvent l'être.

La production industrielle de la nitrocellulose comporte les étapes suivantes:

- préparation des acides,
- préparation de la cellulose,

— la nitration elle-même,
— l'essorage du surplus d'acide de la réaction chimique,
— le traitement de l'acide usé,
— la stabilisation de la nitrocellulose,
  • le noyage rapide de la nitrocellulose débarrassée de son acide,
  • le lavage à grande eau de la nitrocellulose,
  • un premier bouillage de stabilisation,
  • la comminution (broyage) des fibres de nitrocellulose,
  • le pochage (neutralisation) des dernières traces d'acide dans le produit,
— la préparation du produit pour utilisation subséquente,
  • le mélange de la nitrocellulose à très haute teneur et pyro pour obtenir le grade désiré,
  • l'homogénéisation du produit,
  • la décantation en bassin,
  • l'essorage final,
  • l'empaquetage.

A. Préparation des acides

Nous avons vu précédemment comment la préparation du mélange des acides nécessaires à la nitration s'effectuait. La nitrocellulose à très haute teneur en azote et à haute teneur en azote nécessite un type d'acide différent et une quantité propre au volume de cellulose nitrée.

Les quantités mises en présence sont les suivantes:

— Produit T.H.T.
  acide ..... 635 kilogrammes
  cellulose ..... 25 kilogrammes
— Produit pyro
  acide ..... 862 kilogrammes
  cellulose ..... 28 kilogrammes

La température initiale de l'acide est très importante au moment où la cellulose est baignée dans l'acide de façon à pouvoir contrôler le degré de nitration et le degré de viscosité de la nitrocellulose. La température de l'acide doit être de 30°C ± 1°C. Le préposé aux acides prépare les quantités nécessaires d'acide, contrôle la température et fournit aux préposés à la nitration la quantité exacte d'acide nécessaire à la nitration d'un lot de cellulose (nitrating batch). La qualité de l'acide au moment de la nitration doit être respectée et le contrôle serré que l'on exerce sur la température des acides oblige l'utilisation de l'acide dans les quelques minutes qui suivent le remplissage du récipient à mesurer. On ne doit pas quitter la nitration, en temps normal, si ce récipient est rempli d'acide.

En procédé continu, les quantités d'acide sont proportionnelles aux volumes de cellulose et l'acide est préparé au fur et à mesure de son écoulement, rendant ainsi l'opération « préparation des acides » complètement automatique et beaucoup plus sécuritaire.

B. Préparation de la cellulose

Expro utilise de la cellulose sous la forme de pulpe de bois. Cette cellulose est livrée à l'usine sous forme de rouleaux de plusieurs centaines de kilogrammes.

La teneur en eau varie de 4 à 6% au moment de la livraison. Cette teneur pourrait augmenter légèrement si l'entreposage était fait dans un hangar où l'humidité est excessive. Il est important pour la nitration que les fibres de cellulose soient complètement ouvertes et réceptives à la nitration. Pour cela, il faut se débarrasser de l'eau (humidité) absorbée par les fibres. Souvent, l'eau est tellement fixée à la fibre (stabilisée) qu'elle freine la nitration. On ne peut pas considérer chimiquement l'eau absorbée par la fibre comme l'eau normalement contenue dans les acides de nitration. De là la nécessité de

déchiqueter en floches le « papier pulpe » après l'avoir séchée dans des fours à cet effet. La cellulose est alors placée (en floches) dans des barils contenant les quantités nécessaires soit pour la nitration en pyro, soit la nitration en très haute teneur.

Après séchage, la teneur en eau des floches de cellulose doit être inférieure à 1%.

En procédé continu, les floches de cellulose sont transportées à la nitration sur une courroie à déversement constant pour être mouillées dans les acides de la réaction; à ce moment l'exposition aux poussières de cellulose n'existe pratiquement pas.

C. Nitration

Il a été établi que la nitration de la cellulose répond à des paramètres multiples dont les principaux sont les suivants:

- le rapport entre le volume d'acide et le volume de cellulose,
- le rapport entre la teneur en acide sulfurique et la teneur en acide nitrique,
- la teneur en eau du mélange acide,
- la température du milieu de la nitration,
- le temps d'agitation du milieu de la nitration,
- la qualité de la cellulose utilisée,
- la teneur en eau de la cellulose.

Si un de ces paramètres varie en laissant les autres constants, on obtiendra un degré de nitration variable dépendant de l'importance de ce paramètre par rapport à tous les autres. Un autre paramètre, duquel dépendent le volume de cellulose nitrée et le degré de nitration, réside dans la quantité d'acide que doit contenir le gâteau de nitrocellulose essoré et par conséquent la vitesse de rotation de l'essoreuse et le temps d'essorage.

Tous ces paramètres étant réunis, par tâtonnement (trial and error method) et avec l'expérience acquise, on en est arrivé à déterminer les conditions optimales de la nitration avec les équipements disponibles.

Il faut aussi faire remarquer que lors de la nitration, il se forme des sulfo-esters et ceux-ci doivent être nitrés au maximum avant l'essorage pour que cette réaction de désestérification ne prenne pas place dans l'essoreuse. Il y aurait danger de décomposition et d'émission d'une grande quantité de vapeurs nitreuses et nitriques. De plus, si la quantité de sulfo-esters est trop grande, la stabilisation de la nitrocellulose devient plus difficile. Il a été prouvé, qu'après cinq minutes de nitration, de 90 à 95% de la nitration est terminée, cependant ce pourcentage de nitration n'est pas suffisant pour assurer la stabilité du produit, il faut continuer la nitration jusqu'au moment où celle-ci commence à s'inverser. Ce n'est qu'à ce moment qu'on peut réellement débarrasser la nitrocellulose du surplus d'acide. Une séparation qui tarderait n'entraîne pas de conséquence autre qu'une dénitration partielle très lente. Une nitrocellulose qui serait débarrassée de l'acide avant que la nitration ait atteint son point maximum risque d'être un foyer dangereux, la nitration pourrait continuer dans l'essoreuse et créer une situation de « mise en feu » (fume-off). Les opérateurs connaissent bien cette façon de provoquer une « mise à feu » en lançant dans le bain de nitration, à la fin du cycle, un peu de cellulose fraîche.

À Expro, le procédé « mechanical dipper de Dupont » (1922) est utilisé pour la fabrication de la nitrocellulose. Huit bancs de quatre cuves à nitrer chacun sont enlignés au deuxième plancher du bâtiment de la nitration (nº 108). Chaque banc de quatre nitreurs est raccordé à une essoreuse au premier étage du bâtiment (figure 3.2.C).

Les paramètres de la nitration sont les suivants:

- la qualité de cellulose de bois est une constante bien connue,
- la température du bain de nitration est contrôlée à $\pm 34^{o}C$,
- la teneur en eau de la cellulose est inférieure à un pour cent (1%),
- pour la nitrocellulose à très haute teneur, le temps de nitration est de vingt-et-une minutes,
- pour la nitrocellulose pyro, le temps de nitration est de trente minutes.

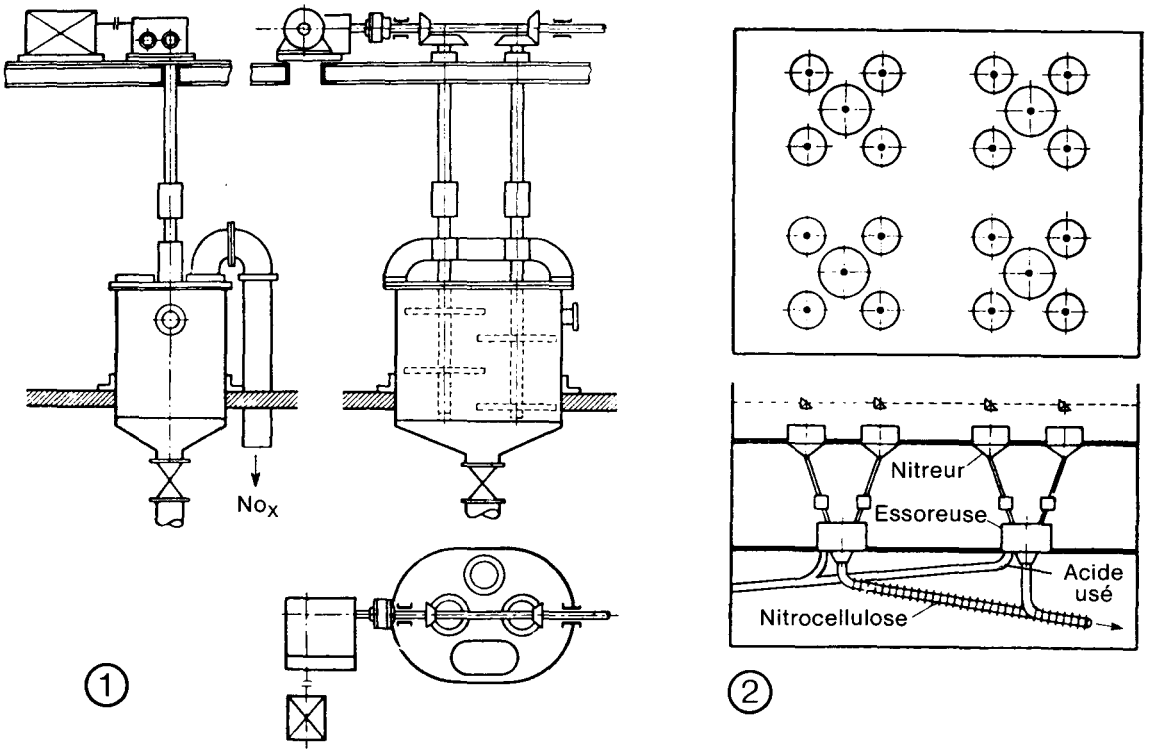


Figure 3.2.C: 1) Épure d'un bac de nitration
2) Esquisse de quatre bancs de quatre nitreurs.

N.B.: Ces figures sont extraites du volume 2 d'Urbanski.

Tous les nitreurs, en acier inoxydable, sont pourvus d'agitateurs doubles tournant en sens inverse pour assurer un mouillage rapide de la cellulose; ils sont aussi pourvus d'une bouche de captage des gaz de la réaction reliée à un système d'aspirateur commun à quatre bancs de quatre nitreurs. Un préposé à l'étage des nitreurs introduit l'acide dans la cuve en actionnant une valve et dans un deuxième temps, manuellement la cellulose. Le temps requis pour ce travail de mouillage de la cellulose est de deux à quatre minutes et fait partie du temps de nitration mentionné ci-avant.

Le travail du préposé aux nitreurs se fait en collaboration très étroite avec le préposé à l'essorage des acides; il s'en suit un système très rudimentaire de signaux sonores entre les deux travailleurs, système qui peut facilement conduire à des erreurs humaines très compréhensibles et dangereuses soit pour l'un soit pour l'autre.

D. Essorage des acides usés

L'essorage des acides usés après nitration s'effectue dans une centrifugeuse à vitesse variable (figure 3.2.D).

Les pièces principales qui composent l'essoreuse sont les suivantes:

1- panier rotatif de l'essoreuse,
2- l'enveloppe extérieure y compris le réceptacle d'acide du fond de l'essoreuse,
3- le filtre du tamis rotatif,
4- le cou d'oie,
5- l'alimentation en eau dans le cou d'oie.

Le fonctionnement de l'essoreuse consiste à laisser couler dans celle-ci le mélange nitré provenant du nitreur. La force centrifuge agissant sur le tout essore la nitrocellulose qui reste collée au filtre; l'acide est projetté vers l'extérieur et coule par gravité vers les filtres pour acides usés. À la fin du cycle, le gâteau de nitrocellulose est décollé du grillage

Figure 3.2.D: Coupe d'une essoreuse

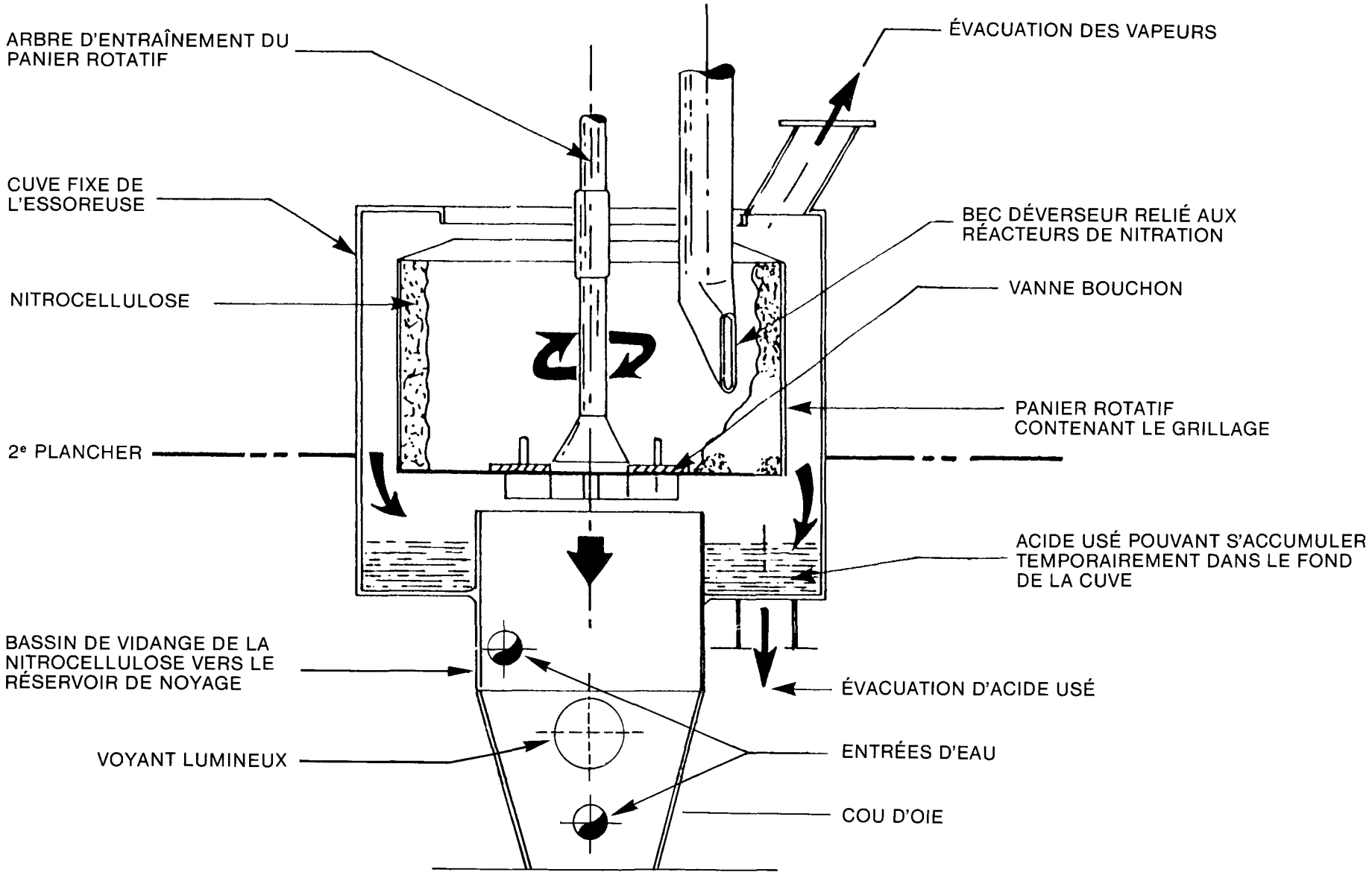


Schéma tiré d'un rapport d'enquête de la C.S.S.T. (Roireau).

manuellement à l'aide d'une fourche. La nitrocellulose est noyée en déluge dans le cou d'oie pour être par la suite captée dans des réservoirs avant d'être pompée à la stabilisation.

Le gâteau de nitrocellulose doit contenir au moins son poids en acide usé de façon à freiner la dénitration qui prendrait place rapidement si la nitrocellulose acide se dessèchait trop rapidement.

Le cycle d'essorage est donc primordial au procédé (voir figure ci-avant). La vitesse tangentielle de l'essorage au moment du chargement doit être équivalente à la vitesse du jet du mélange à essorer pour qu'il n'y ait pas de débalancement du panier rotatif. Un chargement trop rapide, avant que la vitesse critique soit atteinte, crée des conditions inacceptables et des inconvénients qui peuvent dégénérer en catastrophes. À grande vitesse d'essorage, il peut se créer en surface du gâteau de nitrocellulose un assèchement trop poussé de la NC et créer des conditions de décomposition, surtout avec la nitrocellulose à très haute teneur.

Les temps de cycle doivent être respectés de façon très stricte. Dans les essoreuses en procédé continu, le gâteau est poussé à l'extérieur de l'essoreuse à vitesse constante, les variations n'étant pas possible, on élimine un risque à la source. On verra, plus loin dans les risques associés à l'essorage, l'importance de bien noyer la nitrocellulose dans le cou d'oie, à la fin du cycle.

E. Traitement des acides usés

Les acides ayant servi à la nitration de la cellulose sont canalisés et transportés par gravité dans un bassin filtre où les fibres de cellulose sont captées et les acides usés ainsi nettoyés sont pompés dans des réservoirs. De là, ces acides usés sont retournés soit à la bonification des acides nitriques et sulfuriques soit à la chambre des mélanges pour être réutilisés.

La filtration des acides est nécessaire pour éliminer la nitrocellulose qui autrement se retrouverait en *trop* grande quantité dans les réservoirs. Si les fibres de NC ont une densité plus forte que le milieu acide, elles resteront en suspension ou elles vont sédimenter; si la densité est faible, elles ont tendance à flotter et peuvent créer des conditions dangereuses. Au moment de la réutilisation de l'acide usé, les fibres contenues dans celui-ci n'ont pas trop d'importance, le milieu de la nitration servira de media de filtration et les quantités de solides dans les acides usés atteindront facilement une valeur limite maximum. Cependant, il faudra débarrasser les acides usés de ces fibres avant la bonification à cause des déchets que produiront ces fibres dans les colonnes de distillation de l'acide sulfurique.

Quatre procédés différents sont utilisés pour la filtration:

- des filtres à tambour verticaux (Expro),
- des cellules de décantation pour la récupération des fibres moins denses (Écosse),
- un deuxième essorage en circuit fermé pour la récupération des acides contenus dans le gâteau du premier essorage (France),
- et enfin un essorage multiple sur courroie perforée à l'aide de vide partiel créé sous la courroie (méthode moins répandue).

Chez Expro, on utilise la méthode du tambour vertical perforé. Cette méthode comporte un danger: si l'acide déborde, il n'y aura que les fibres plus denses qui demeureront dans le filtre. Les fibres que l'on veut intercepter, les moins denses, seront alors pompées dans les réservoirs; de là la nécessité d'une surveillance continue.

F. Stabilisation de la nitrocellulose

La nitrocellulose, à la sortie de l'essorage, retient son poids d'acide. Il faut donc par noyage, passer d'une nitrocellulose humidifiée à l'acide à une cellulose baignant dans un milieu aqueux. Ce passage doit s'effectuer le plus rapidement possible et surtout

en milieu turbulent pour dissiper la chaleur de réaction de l'absorption de l'eau par les acides forts que sont les acides nitrique et sulfurique. Ce noyage en déluge débute dans le cou d'oie de l'essoreuse. Le pouvoir d'absorption et d'adsorption de la nitrocellulose pour les acides, surtout nitrique, est assez grand. Un noyage ou simple lavage à l'eau froide ne suffit pas pour débarrasser le nitrocellulose de ces acides. De plus, et cela est très important, il faut hydrolyser les sulfo, sulfates et nitrates de cellulose ainsi que les sels minéraux formés lors de la nitration. Il faut alors débouillir (soumettre à l'action de l'eau) la nitrocellulose pour se débarrasser des acides, des esters (autres que la NC) et des sels minéraux.

La nitrocellulose commence à se décomposer à 40°C si elle n'est qu'humidifiée par les acides de la réaction. Cependant, en milieu fortement aqueux, on peut la chauffer à 150°C sans danger. Après stabilisation par débouillage, elle pourra, si elle demeure légèrement humide, être manipulée sans danger à des températures dépassant légèrement 100°C.

Le procédé consiste à laver, à bouillir, à couper et à neutraliser les dernières traces d'acide par le bicarbonate de soude. Ceci se fait de la façon suivante:

- — noyage de la nitrocellulose dans le cou d'oie de l'essoreuse, plusieurs centaines de litres d'eau par kilogramme de nitrocellulose;
- — pompage de la NC noyée dans les cuves à débouillir;
- — lavage dans les cuves à débouillir avec de l'eau froide jusqu'à ce que l'acidité de l'eau soit inférieure à 0,15% d'acide sulfurique;
- — chauffage du contenu de la cuve jusqu'à 97°C en s'assurant que l'acidité de l'eau soit supérieure à 0,2% H_2SO_4 et inférieure à 0,5%. Si l'acidité est inférieure, il faut ajouter de l'acide, si elle est supérieure, il faut recommencer le lavage;
- — premier bouillage de désestérification pendant une période de 40 à 60 heures. L'eau est circulée dans la cuve à l'aide d'un injecteur à vapeur, localisé à l'intérieur ou à l'extérieur de la cuve;
- — deuxième bouillage de quelques heures (cinq à dix heures) pour éliminer les dernières traces d'esters et de sels qui demeurent après le premier bouillage.

La nitrocellulose étant presque totalement stabilisée après les deux premiers bouillages, il est possible de faire subir à la fibre un traitement mécanique pour réduire sa viscosité et en même temps libérer les dernières traces d'acide absorbé par les fibres. Une neutralisation trop hâtive des acides par la soude freine le phénomène de stabilisation en créant des sels insolubles qui se rattachent aux fibres. La NC est alors traitée mécaniquement à travers des broyeurs. À Expro ces broyeurs sont de type Jordan. Ce traitement libère les traces d'acide contenu dans les pores de la fibre et l'acide ainsi libéré est neutralisé au bicarbonate de soude. Cette opération nécessite un troisième bouillage dans des «pocheuses» en bois (grandes cuves cylindriques) durant quelques heures jusqu'à dissolution complète des nitrates et sulfates de soude formés lors de ce dernier bouillage. Après ce dernier bouillage, la nitrocellulose est complètement stabilisée. Elle demeure très dangereuse si elle s'assèche de telle sorte que l'humidité contenue s'abaisse en-dessous de 20% d'eau.

G. Préparation du produit pour utilisation subséquente

La nitrocellulose étant stabilisée, on procède à un mélange, en proportion déterminée, de NC pyro, de NC à très haute teneur et des résidus lavés du bassin collecteur (Save-all). Ce mélange, qui doit servir pour un produit final spécifique, est lavé, épaissi, débarrassé des matières solides délétères et asséché à 30% d'humidité dans une essoreuse verticale conventionnelle.

Les fibres très courtes qui restent en suspens dans les eaux de lavage et de décantation sont agglutinées et retournées dans le mélange. Quel que soit le procédé de nitration et de stabilisation utilisé, cette partie de la préparation de la NC est la même pour tous.

De là, la NC est expédiée sous scellé à des clients ou envoyée aux presses à déshydratation au début du procédé de fabrication des poudres propulsives.

3.2.3 Fabrication de la nitroglycérine

Tout ce qui fut discuté à propos de nitration s'applique à la nitration de la glycérine, avec la particularité que le milieu acide (acide nitrique, acide sulfurique) doit être presqu'anhydre. De fait, à Expro le mélange acide se compose de 45 à 50% d'acide nitrique et de 50 à 55% d'oléum à 106%. Ce milieu contient beaucoup d'ions nitronium $(NO)^+$ propres à la nitration.

Chez Expro, on utilise le procédé Biazzi avec contrôle à distance. Les acides usés sont traités de façon conventionnelle en aboutissant les acides usés à l'acide nitrique faible (60%). À la sortie du procédé Biazzi, la nitroglycérine est transportée, mélangée à l'eau, jusqu'à l'entrepôt où s'effectue un dernier lavage avant d'être absorbée par l'acétone.

A. Procédé Biazzi

Le procédé *continu* Biazzi est employé pour la fabrication de la NG à Valleyfield depuis 1954. Ce procédé consiste à faire réagir la glycérine et le mélange sulfonitrique anhydre dans un réacteur en acier inoxydable, à flot continu. Une agitation légère assure un contact continuel entre la glycérine et le milieu acide et permet un contrôle serré de la température qui doit, de façon stricte, être maintenue à 58°F. La réfrigération est assurée par une circulation en serpentin, à l'intérieur du réacteur, d'éthylène glucol; son pouvoir d'absorption de la chaleur de réaction rend très efficace son utilisation. Cependant, une vigilance de tout instant est nécessaire, le glycol, s'il entrait en contact avec le milieu acide, empêcherait la nitration de la glycérine et le milieu deviendrait vite explosif. Tout autre « medium » de réfrigération serait aussi dangereux à l'exception du gaz inerte Fréon. Ce dernier a un pouvoir réfrigérant trop faible dans les circonstances.

On voit là une faiblesse du procédé Biazzi. D'autres procédés utilisent l'échangeur de chaleur à travers des plaques d'acier inoxydable réfrigérées à la saumure.

Le temps de réaction de nitration est de vingt minutes, c'est-à-dire que le volume du réacteur divisé par le taux d'alimentation à la minute au réacteur permet de conclure à une réaction en « contact-agité » d'au moins vingt minutes. Le trop plein du réacteur est acheminé dans une série de satellites où se fait la séparation et la neutralisation des restes d'acide.

La nitroglycérine étant moins dense que le milieu sulfonitrique, la séparation se fait par différence de densité. Dans le premier satellite, on purge le mélange par le haut pour la nitroglycérine et par le bas pour les acides usés. Un écoulement tangentiel et laminaire permet une bonne séparation. Cependant, il demeure que la nitroglycérine contient de 1 à 2% d'acide et l'acide usé de 1 à 1,2% de nitroglycérine. Il faut dans la nitroglycérine se débarrasser des acides et dans les acides flegmatiser la nitroglycérine.

Les satellites qui suivent la séparation de la NG vont agir en ce sens. Dans le premier bassin, on ajoute une solution de carbonate de soude (soda ash) à 12% et par la suite la nitroglycérine est lavée à grande eau avec de l'eau légèrement basique.

La nitroglycérine est ensuite transportée, mélangée à l'eau, vers le réservoir en acier inoxydable de mille kilogrammes pour stockage et lavage subséquents si nécessaire. Ce transport est divisé en deux parties: une première partie où la NG est en émulsion dans l'eau, émulsion créée par un éjecteur spécial, pour empêcher qu'une onde de choc se propage d'un bâtiment à l'autre. La deuxième partie du transport se fait en mélange laminaire conventionnel.

Après les tests d'usage pour s'assurer de la stabilité de la NG dans le réservoir, celle-ci est transportée dans un chariot à deux roues, flegmatisée dans l'acétone vers les mélangeurs pour poudres propulsives à double ou triple bases.

B. Traitements des acides usés

Au premier satellite de séparation, les acides usés sont purgés au bas du séparateur. Ces acides contiennent encore quelques traces de NG. Les acides, légèrement hydratés, sont collectés par gravité dans un premier réservoir sous la chambre du procédé Biazzi et ensuite pompés dans un réservoir d'où, par décantation, ils sont acheminés à l'aboutissage à l'acide nitrique faible (60%). Le deuxième bassin est nécessaire pour permettre à la NG de flotter en surface et par décantation être acheminée le plus vite possible à la réaction de dénitration en milieu acide faible.

Cette réaction en milieu acide faible se fait en procédé continu, réfrigéré si nécessaire. Il s'agit d'un écoulement en quantité prédéterminée dans une tuyauterie à diamètre variable pour en contrôler le débit. L'acide nitrique faible aboutit l'acide usé contenant la NG, en pression équilibrée, dans une tuyauterie en forme de « T », de là le terme anglais « butted acid » que nous avons traduit par acide abouti, à cause du procédé. L'acide usé ainsi affaibli hydrolyse la nitroglycérine contenue dans l'acide et l'ion (NO_2) se combine avec l'eau pour redonner de l'acide nitrique. On pourra par la suite récupérer l'acide nitrique et l'acide sulfurique sans danger, la nitroglycérine ayant été détruite.

3.2.4 Récupération des acides usés

Les procédés de récupération des acides nitrique et sulfurique sont des procédés standards que l'on retrouve ailleurs dans les industries où ces acides sont utilisés. Il n'y a aucun avantage à décrire ces procédés si ce n'est pour élucider les dangers que confrontent les travailleurs dans ce secteur.

Les acides nitrique et sulfurique sont concentrés individuellement dans des tours à distillation.

L'acide nitrique usé est introduit au haut de la tour de distillation et est mélangé au centre de cette dernière avec de l'acide nitrique (60%). L'acide nitrique se décompose, ainsi que la NC et la NG qui s'y trouvent; des vapeurs nitreuses ($NO_2 - N_2O_4$) s'en dégagent. Les vapeurs d'eau et nitreuses passent par un alambic à un condensateur. L'acide nitrique concentré (98%) est stocké pour envoi aux procédés du RDX, NC et NG.

L'eau présente dans l'acide sulfurique faible est enlevée par distillation sous vide. Ceci produit un acide sulfurique à 92% H_2SO_4 qui est utilisé pour les procédés NC et NG.

On verra à la partie des risques associés les dangers apparents dans ce secteur de la récupération des acides.

3.2.5 Préparation initiale des grains de poudre devant servir à la fabrication des poudres propulsives (première passe)

A. Généralités

Les poudres sont des substances explosives dont le régime de fonctionnement normal est une déflagration, c'est-à-dire une combustion suffisamment rapide pour pouvoir être considérée comme une explosion. On ne cherche pas en général à obtenir avec elles une détonation mais il ne faut pas perdre de vue que, étant donné certaines conditions propices, celles-ci peuvent détoner si amorcées par une onde de choc suffisante ou une déflagration. Elles peuvent se présenter sous la forme de bandes, de paillottes, de cordes, de bâtonnets, de sphères, de blocs ou de tubes avec une ou plusieurs perforations.

À Valleyfield, on fabrique les poudres à simple, double ou triple bases. Toutes les poudres propulsives contiennent de la NC. Les poudres à simple base sont celles dont la seule substance de base est la NC. On les désigne aussi sous le nom de poudre « avec dissolvant » ou « sans fumée ». On appelle poudres à double base des poudres formées

essentiellement de NC et de NG. Elles sont aussi désignées sous le nom de « poudres sans dissolvant », « poudres moulées » et « poudres sphériques ».

On ajoute plusieurs produits à ces poudres tels des stabilisants, plastifiants, des anti-lueurs, des gélifiants, des modérateurs de combustion. Ces additifs ont, le plus souvent, plusieurs fonctions.

B. Ingrédients utilisés et caractéristiques

1. Solvant éther-alcool

Le mélange de ce solvant mixte habituellement utilisé est dans une proportion volumique éther-alcool de deux à un. Ni l'alcool ni l'éther ne doivent être acides et ils ne doivent pas contenir de nitrites. La quantité utilisée pour un procédé dépend de la sorte de NC et devrait produire une pâte qui colle aux doigts. Le taux d'azote de la NC déterminera sa solubilité dans ce mélange. La NC à 12,5% azote et plus se dissout moins bien.

La NC est constituée par un mélange d'un type fortement nitré insoluble (high grade taux d'azote 13,1%) et d'un type moyennement nitré (pyro, taux d'azote 12,6%). L'utilisation de ces deux types de NC a pour but d'améliorer les caractéristiques mécaniques de la poudre. La masse volumique de la poudre NC semi-colloïdale dans un mélange éther-alcool se situe généralement entre 1,54 et 1,63 ; cette masse est moindre que celle du produit original (1,66) et indique que cette poudre est plus poreuse et moyennement hygroscopique.

Ce genre de solvant n'est pas utilisé pour la fabrication de poudre totalement colloïdale contenant du NG. Pour cette dernière, l'acétone est utilisée.

2. Stabilisants organiques

Le rôle de telles substances est d'absorber les traces de vapeurs nitreuses ou acides au fur et à mesure de leur formation et d'empêcher ainsi une autocatalyse de la décomposition de la poudre. En 1889, Alfred Nobel propose l'addition du diphénylamine (DPA) à la NC pour la stabiliser. La NC contenant 2% de DPA montre une stabilité de 2,5 fois plus élevée que la stabilité de la NC sans ce stabilisant.

Les propriétés de base du DPA sont si faibles que celui-ci ne peut hydroliser la NC. Néanmoins, elles sont telles que le DPA neutralise tout acide provenant soit de la dégradation de la NC même ou de ses contaminants et de l'oxidation des solvants résiduels. La concentration du DPA utilisé dans la NC se situe entre 0,5 et 2,0%. Fait à remarquer, le DPA peut amorcer la décomposition de produits aromatiques hautement nitrés et ne devrait pas être utilisé dans des poudres contenant ces composés, telle la NG. Pour les poudres à double base, contenant de la NG, on utilisera la centralite, c'est-à-dire la diéthyldiphénylurée symétrique.

Le DPA peut aussi servir d'indicateur de l'état d'oxidation et de décomposition des poudres parce que les poudres contenant du DPA changent de couleur quand celles-ci se dégradent.

Il est à noter que le dibutyle phtalate (DBP) et le dinitrotoluène (DNT) apparemment, jouent le rôle de stabilisant pour la NC et les poudres propulsives.

3. Stabilisants inorganiques

Le carbonate de plomb ajouté à la poudre (fusil et canon) sert de stabilisant pour ces poudres en captant aussi les vapeurs acides générées pendant la décomposition de la NC. Le plomb dans cet additif sert aussi à enlever les dépôts de métaux (cuivre) sur les parois des canons de fusil.

4. Plastifiants

Le phtalate de dibutyle (DBP) ou dinitrotoluène (DNT) permettent d'augmenter l'allongement à la rupture de la matière en facilitant le glissement des chaînes de NC les unes par rapport aux autres, c'est-à-dire qu'ils modifient les propriétés mécaniques de la matière.

5. Agent anti-lueur

Le sulfate de potassium est additionné à la poudre à fusil, canon et autre pour diminuer l'apparition de lueurs lors de la décharge de ces armes. Le sel de potassium a la propriété d'inhiber les flammes dites secondaires. Il est souvent mélangé à un explosif faible tel le DNT pour faciliter sa dispersion dans les gaz.

6. Modérateurs

Certaines poudres subissent une opération de lissage qui consiste à introduire à la surface des grains une substance inerte ayant pour effet de réduire, pendant un certain temps, leur vitesse de combustion, donc de diminuer le débit des gaz émis par la poudre au début de la combustion. Ce modérateur peut être de la centralite, du phtalate de dibutyle ou du dinitrotuluène. L'atténuation superficielle est obtenue en traitant la poudre avec une solution alcoolique de ce produit.

Pour les canons, on emploie une poudre dite « froide », celle-ci est obtenue en ajoutant un ingrédient telle la nitroguanidine ou le dinitrotoluène qui diminue la température de l'explosion. Cet additif diminue aussi la lueur produite après une décharge.

7. Propriétés érosives des poudres

Les agents chimiques dans les poudres à canon et fusil peuvent causer l'érosion du canon. Ce problème est grandement diminué par l'addition du charbon actif (ou noir) à ces poudres. Il est probable que ce charbon sert à carboniser l'acier qui peut être décarbonisé par le CO_2 produit pendant la décharge.

La nitroguanidine, en diminuant la température de l'explosion, diminue aussi probablement cette action.

8. Variation de la surface de combustion

Ceci est accompli en modifiant la forme des grains. C'est ainsi que dans les poudres multitubulaires, la surface de combustion commence par augmenter puis décroît et tend vers zéro. Pour cette raison, on réalise des poudres dites tubales qui comportent le plus souvent 5, 7 ou 19 trous longitudinaux.

9. Vieillissement des poudres à double base

Ce procédé naturel peut conduire à la longue à une migration de la nitroglycérine vers l'extérieur de la poudre en bloc ou autre, allant même jusqu'à une exudation si le stockage est fait à des températures élevées. De même, leur aptitude à la détonation n'est pas à négliger surtout si le taux de NG contenue est élevé.

C. Principes de fabrication

1. Déshydratation de la nitrocellulose

La NC est un explosif pulvérulent qui, par l'action d'un solvant volatil, tel l'éther-alcool, est gélatinisée et transformée en une matière d'aspect cornée. Cependant, la NC produite lors de la nitration contient près de 30% d'eau qui sert à la stabiliser. Alors, avant qu'elle soit dissoute partiellement dans le mélange éther-alcool pour former un semi-colloïde, cette eau doit être enlevée puisque celle-ci peut entraver la dissolution et le gonflement de la NC dans l'alcool. Cette eau est déplacée par l'alcool puisqu'il serait dangereux de procéder à son séchage.

Ce procédé est accompli à l'aide de presses hydrauliques. La déshydratation de la NC par l'alcool est influencée par la solubilité de la NC dans l'alcool et la capacité de la NC à se gonfler dans celle-ci. La NC la plus aisément déshydratée est celle qui est moins soluble c'est-à-dire celle qui a un taux élevé d'azote. La NC fabriquée avec de la pulpe de bois se gonfle plus dans l'alcool que celle provenant du coton. Le taux d'alcool qui demeure dans la NC après la mise en presse dépend de la sorte de NC et de la pression utilisée pour le procédé.

Le procédé de déshydratation dépend principalement de la capacité qu'a l'alcool à déplacer l'eau. Cependant, l'eau absorbée par la NC n'est pas facilement déplacée et un certain montant y demeure après le procédé, mélangé avec de l'alcool.

Ce procédé a un autre avantage, celui d'enlever de la NC certains produits de dégradation qui peuvent diminuer sa stabilité.

2. Procédé de production des poudres propulsives, première passe*

Chez Expro, trois types de poudres propulsives sont préparées:

— les poudres dites « fusil »,
— les poudres dites « canon »,
— les poudres dites « commerciales ».

La composition des grains de poudre, en première passe, est sensiblement la même pour les poudres « fusils » et les poudres « canons ».

Quand aux poudres commerciales, leurs compositions et les procédés de fabrication sont différents, elles sont à double et triple bases.

a) Poudre à fusil et à canon

La nitrocellulose est en pratique le seul ingrédient explosif utilisé dans les poudres à fusil et à canon. De là l'expression « poudre à simple base ». La NC est apportée aux presses pour déshydratation, provenant de la fin du cycle de nitration, après stabilisation. Elle contient 30% d'eau. Trente-cinq livres (la transformation en métrique n'est pas terminée) de NC humide sont chargées dans une presse et l'essorage de l'eau se fait en ajoutant 40 livres d'alcool et en pressant à 3 000 livres par pouce carré (psi). Une rondelle pesant 31,3 livres en ressort après cinq minutes de compression. Chaque rondelle est vérifiée au détecteur à métal. Neuf de ces rondelles (225 livres de NC et quelque 60 livres d'alcool éthylique) sont chargées dans un malaxeur dans lequel on ajoute les ingrédients nécessaires au mélange.

Pour la poudre à fusil, dans un premier temps, l'opérateur ajoute manuellement 34 livres de sulfate de potassium et 1,7 livres de carbonate de plomb. Dans un deuxième temps, il ajoute un mélange éther diphénylamine (122 livres d'éther et 3,2 livres de diphénylamine). Pour la poudre à canon, en plus des ingrédients précédents, l'opérateur ajoute manuellement 31 livres de DNT; le mélange éther contient en plus 13,5 livres de phtalate de dibutyle.

Le mélangeur est mis en marche et l'homogénéisation se continue pendant une heure, en ajoutant un mélange d'éther-alcool si nécessaire pour assurer la bonne consistance du mélange. Dans le cas de la poudre à canon, la pâte est ensuite transférée dans un autre type de mélangeur appelé macérateur afin d'assurer l'homogénéisation et l'état colloïdal de celle-ci, de lui donner un aspect non granuleux et d'éliminer l'air qui aurait pu s'y loger pendant le premier mélange.

La pâte du macérateur ou du mélangeur selon le cas est ensuite transformée en meules dans des presses où l'air et les gaz non-inertes sont éliminés. Des cylindres de diamètre et de longueur appropriés pour la presse à extrusion y sont produits. Ces cylindres sont introduits, un à un, dans la presse d'où de longs cordons de poudre en sortent pour être ensuite coupés en longueurs déterminées. Les grains de poudre obtenus sont chargés dans des chariots spécialement conçus pour en extraire les solvants (éther et alcool) avant d'être envoyés à la finition (deuxième passe).

Les mélangeurs et les presses sont portés à s'échauffer par énergie mécanique; le refroidissement s'effectue à la saumure ou à l'huile.

b) Poudres commerciales

Les poudres commerciales fabriquées chez Expro sont des poudres à bases multiples, c'est-à-dire qu'à la nitrocellulose s'ajoutent d'autres ingrédients « explosifs ». Les poudres à double base sont composées de nitrocellulose et de nitroglycérine. Les poudres à

**N.B.: Le lecteur aura bien compris que le terme « poudre » utilisé dans ce rapport se réfère au terme généralement utilisé dans cette industrie; pour bien le décrire, il faudrait utiliser « grains de poudre », les grains ayant des diamètres pouvant atteindre facilement le centimètre.*

triple base sont composées de nitrocellulose, nitroglycérine et nitroguanidine. À cause de la nitroglycérine et de la nitroguanidine, l'éther ne peut pas être employé comme solvant; on utilisera alors de l'acétone. Les étapes du procédé restent à peu près les mêmes:

— la déshydratation à l'alcool,
— le barratage à l'acétone,
— le malaxage avec charbon de bois,
— la fabrication de meules en présence de CO_2,
— l'extrusion,
— le coupage.

Le mélange au barratage contient les ingrédients suivants:

— de la nitrocellulose,
— de la nitroglycérine,
— de la nitroguanidine,
— de l'alcool,
— de la cryolithe,
— de l'éthyl centralite,
— de l'acétone,
— du sulfate de potassium,
— du noir de charbon.

On fait subir à la pâte le même processus que décrit précédemment. Cependant, la présence de nitroglycérine et de nitroguanidine dans le mélange rend la pâte très sensible au choc et aux détentes adiabatiques. Tandis que les équipements nécessaires au procédé des poudres à base simple sont dans le milieu de travail et non isolés de celui-ci, les équipements pour poudres contenant de la nitroglycérine sont complètement isolés du milieu par des murs de béton. L'opérateur doit, pour sa sécurité, être isolé en cas de déflagration qui pourrait être causée par la nitroglycérine et la nitroguanidine.

Après le coupage de la poudre, celle-ci sera expédiée directement à la finition pour en extraire les solvants (alcool et acétone). Dans ce procédé, les solvants ne sont pas récupérés.

La nitroglycérine flegmatisée à l'acétone est ajoutée à la pâte dans le mélangeur, la pâte elle-même ayant été dissoute dans l'acétone. La teneur en nitrocellulose du mélange est d'au moins 66%.

3. Récupération des solvants éther-alcool

La récupération des solvants éther-alcool ne se fait, en première passe, qu'à la préparation des poudres simple base. Le captage se fait:

— à la déshydratation, pour l'alcool liquide,
— aux mélangeurs,
— aux presses,
— au coupage,
— et surtout dans les chariots spécialement conçus à cet effet, après le coupage.

L'alcool faible récupéré à la déshydratation est retourné au réservoir où on ajoute de l'alcool concentré pour refaire le mélange. L'alcool provenant de la déshydratation de la nitrocellulose peut contenir jusqu'à 10 à 12 grammes de NC/litre. Puisque la décomposition de résidu de NC durant la distillation pourrait causer une explosion et que cette décomposition contient des nitrites, nitrates et oxydes nitreux, on additionne de la soude (NaOH) à l'alcool. Celle-ci hydrolyse la NC et neutralise les produits de décomposition (rectification de l'alcool).

Quant aux vapeurs d'éther-alcool captées durant le processus de fabrication, on leur fait subir un traitement spécial. L'alcool et l'éther sont distillés dans des colonnes à capuchon (bubble caps) et récupérés après condensation pour réutilisation.

L'air contenant l'alcool et l'éther est filtré et chauffé ou refroidi pour établir son taux d'humidité à 55%. Cet air est ensuite acheminé vers l'un des trois larges cylindres

contenant du charbon activé. L'air émanant du filtre contient peu d'éther et l'absorbant est saturé après cinq à sept heures. L'air est alors dirigé vers un autre filtre. De la vapeur d'eau est introduite dans le charbon saturé de solvant. Les vapeurs d'eau et de solvants sont condensées et le distillat récupéré (approx. 1 300 livres de solvant par jour) dans un réservoir où on ajoute de l'éther et de l'alcool pour en rétablir la bonne teneur. Le charbon est alors asséché avec de l'air chaud (110°C). Vers la fin du procédé la température du charbon s'accroît (100 à 110°C) et il y a possibilité de feu. De l'azote ou CO_2 est alors introduit et le charbon refroidi avec de l'air froid (15 à 20°C).

Le cycle complet absorption, distillation, séchage et refroidissement peut prendre quatorze à dix-huit heures.

Les sytèmes de ventilation désservant les secteurs du complexe sont isolés l'un de l'autre par des coupe-feu.

3.2.6 Finition et empaquetage des poudres à simple, double et triple bases pour canon et fusil et poudres commerciales

Chez Expro, on fabrique huit poudres différentes. Elles sont à simple, à double ou à triple bases. Les spécifications pour chaque qualité de poudre sont très serrées quant aux tests balistiques et à la sécurité de manipulation du produit fini. L'homogénéité des poudres, le degré d'humidité, les vitesses de réaction, la granulométrie sont autant de caractéristiques qui identifient un type de poudre propulsive donnée.

Les poudres sont identifiées de la façon suivante:

— Canon/M1 – poudre à canon standard, simple base, non graphitée,
— Naco, poudre à canon de forte puissance, simple base, graphitée,
— IMR-4350-GAU 8 – poudres à fusil, simple base, graphitée,
— D.B.S.S. – poudre commerciale (cartouche courte) à double base, non graphitée,
— T.P. Base – poudre commerciale à base triple, non graphitée,
— S. Base – poudre spéciale commerciale, à base simple, graphitée,
— C.B.I. – poudre spéciale, à base simple, graphitée,
— P.B. et S.R. – poudres spéciales (imitant la poudre noire) à base simple.

Les traitements que l'on fait subir aux poudres sont les suivants:

— un premier bouillage pour enlever les dernières traces de solvants,
— un enrobage,
— un glaçage au graphite,
— un deuxième bouillage après enrobage,
— un séchage,
— un tamisage,
— un mélange d'homogénéisation,
— l'empaquetage final.

Toutes les poudres ne subissent pas l'ensemble de ces traitements. Après avoir défini les différents stages, nous identifierons les traitements subis par chaque type de poudre de façon à pouvoir, par la suite, identifier les risques associés.

A. Un premier bouillage

La poudre qui doit subir ce traitement est ensachée et baignée dans de grands bassins chauffés à 60°C. Le bouillage dure de quatre à six heures jusqu'à ce que les dernières traces de solvant (éther-alcool) soient éliminés.

B. Enrobage

Après bouillage, la poudre est transportée en sacs et transvidée dans d'immenses drageoirs (moulins qui servent à l'enrobage des dragées) pour être enrobée de différents produits comme:

— le méthylcentralite (diméthyl diphényl urée symétrique),
— le dinitrotoluène (DNT),

— le graphite,
— le diphénylamine dans l'alcool (DPA),
— et parfois le stéarate de calcium.

L'opération consiste à bien enrober les grains avec l'un ou plusieurs de ces produits. Le tout est mélangé pendant quatre-vingt-quinze minutes à des températures pouvant atteindre 95°C.

C. Glaçage au graphite

Certaines poudres subissent un glaçage spécifique au graphite pour permettre une manipulation plus facile, sans danger de voir cette poudre exploser par le claquage d'une décharge d'électricité statique. L'opération consiste à placer, dans un immense tambour rotatif fait de bois, plusieurs milliers de kilogrammes de poudre, d'y ajouter de 0,1 à 0,6% de graphite et d'actionner pendant quelques heures. L'enrobage se fait par contact. Cette opération, étant assez dangereuse à cause justement des possibilités de claquage, est contrôlée à distance, des caméras de télévision étant installées pour faire la surveillance. Ce glaçage pour les poudres à double ou triple bases peut se faire en présence d'eau dans les drageoirs.

D. Deuxième bouillage

Après l'enrobage des poudres, il est nécessaire de bien faire absorber l'enrobage par le grain et de se débarrasser des traces d'alcool ajouté à l'enrobage. La poudre qui nécessite ce traitement est de nouveau baignée pendant vingt-quatre heures dans un bassin chauffé à 95°C.

Ce procédé a pour effet de traiter en surface les grains de poudre avec un solvant non volatil, le DNT et/ou le méthyl centralite. Le but est de réduire la vitesse de combustion de la poudre.

E. Séchage

Les poudres doivent être débarrassées de leur humidité avant expédition. On leur fait subir un traitement de séchage, lequel varie dépendant du type de poudre.

Un premier type de séchage consiste à faire circuler de l'air chaud sec à travers la poudre déposée en couche de 10 à 15 cm d'épaisseur sur une toile métallique très finement tissée. Plusieurs conditions sont nécessaires pour assurer la sécurité de ce type de séchage: l'humidité de l'air au moment de la manipulation de la poudre sèche, la présence d'un dispositif de non retour de l'air légèrement contaminé vers la chambre de chauffage, l'absence de concentration de poussières fines qui deviennent facilement explosives mélangées à l'air, et enfin la mise à la terre de toutes pièces pouvant accumuler des charges d'électricité statique.

Un deuxième type de séchage se fait en contre courant air-poudre. Le principe décrit ci-avant s'applique à ce type de séchage, cependant le déchargement de la poudre se fait par gravité. Il y a lieu de mentionner qu'à cause de l'épaisseur de la couche, ce séchage ne peut s'appliquer qu'aux poudres rendues conductrices par enrobage au graphite.

Un troisième type de séchage à Expro se fait dans un couloir à circulation d'air. Le séchage se fait par contact de surface. Il y a nécessité d'étendre la poudre en couches très minces dans des cases amovibles posées en étages sur des chariots. Ce type de séchage s'applique aux poudres à double et triple bases. L'exudation de nitroglycérine peut se produire. Il y a donc nécessité de capter et de condenser les vapeurs de nitroglycérine, pour ensuite absorber le condensat dans la sciure de bois.

F. Tamisage

Il y a souvent nécessité d'assurer l'homogénéité des grains de poudre et surtout d'éliminer les poussières contenues dans les poudres après les différents traitements. Un tamisage

est nécessaire soit avant séchage, soit après séchage. Il faut faire remarquer qu'un tamisage avant séchage est de beaucoup moins dangereux qu'un tamisage après séchage, alors que l'humidité des grains assure la conductivité électrique nécessaire à l'anticlaquage.

G. Homogénéisation

L'homogénéisation des poudres nécessite un brassage qui, s'il était fait sans précaution, créerait des conditions dangereuses. L'homogénéisation chez Expro se fait donc dans des tours à bassins coniques multiples superposés. La poudre chute d'un bassin à l'autre par gravité. Un déflecteur conique à la base de chaque bassin permet un mélange tout en éliminant l'électricité statique causée par le frottement des grains les uns sur les autres. Cependant, plusieurs répétitions du processus sont nécessaires et l'opération est très coûteuse.

Il existe plusieurs variantes à ces tours à mélange, allant du diviseur Jones jusqu'à un appareil à quartation. Le principe est toujours le même. La seule pièce d'équipement, qui serait vraiment économique à opérer, serait le mélangeur à tambour; cependant son utilisation rendrait le procédé très dangereux.

H. Empaquetage

Quand le mélange dans les tours est terminé, la poudre est transportée par chariots dans des trémis d'où elle est soutirée pour empaquetage final et libellée selon la qualité du produit.

3.2.7 Procédé de fabrication du RDX

La préparation du RDX se fait par la réaction chimique de l'hexamine-acide acétique sur le nitrate d'ammonium-acide nitrique, en présence de l'anhydride acétique qui agit comme déshydratant.

L'hexamine est ajoutée, dans un mélangeur, à l'acide acétique fort (98%); on fait de même avec le nitrate d'ammonium et l'acide nitrique fort (98%). Le contenu de chaque mélangeur est chauffé à 67°F.

Indépendamment, le contenu de chaque mélangeur est filtré pour assurer qu'il n'y ait pas de « grit » (grains non dissouts et matières étrangères) dans la solution. Les solutions sont alors chauffées et les températures pendant et après la réaction de nitration doivent être contrôlées pour empêcher le RDX de se cristalliser dans le convertisseur.

Les réactifs additionnés d'anhydride acétique sont alors vidés dans un convertisseur en serpentin alimenté en cascade. Le RDX formé dans le serpentin est récupéré à la surface du mélange par écumage, son poids spécifique étant plus léger que celui du mélange. Les acides usés (acide acétique en grande partie) sont retournés pour récupération.

Le RDX écumé est accumulé dans un réservoir de neutralisation (simmertank).

La neutralisation des acides entraînés par écumage se fait par barbottage de l'ammoniac dans le RDX liquide pendant quelques heures.

Le RDX, sous forme de particules solides (presque colloïdales), est séparé par filtration du mélange réactionnel neutralisé. À la suite de cette opération, il est de nouveau remis en suspension dans l'eau chaude et lavé plusieurs fois pour enlever les restes d'acide acétique et de nitrate d'ammonium. Le RDX est alors filtré partiellement et pompé en suspension dans l'eau vers l'opération de cristallisation. Après filtration, il est versé dans des cristallisoirs additionné d'une solution aqueuse à 9% de cyclohexanone. Le tout est mélangé et chauffé jusqu'à ébullition pendant trois heures et demie. Le cyclohexanone est évaporé et récupéré, le RDX est cristallisé en pain de différentes grosseurs. Ce dernier, en suspension dans l'eau, est refroidi et filtré de nouveau.

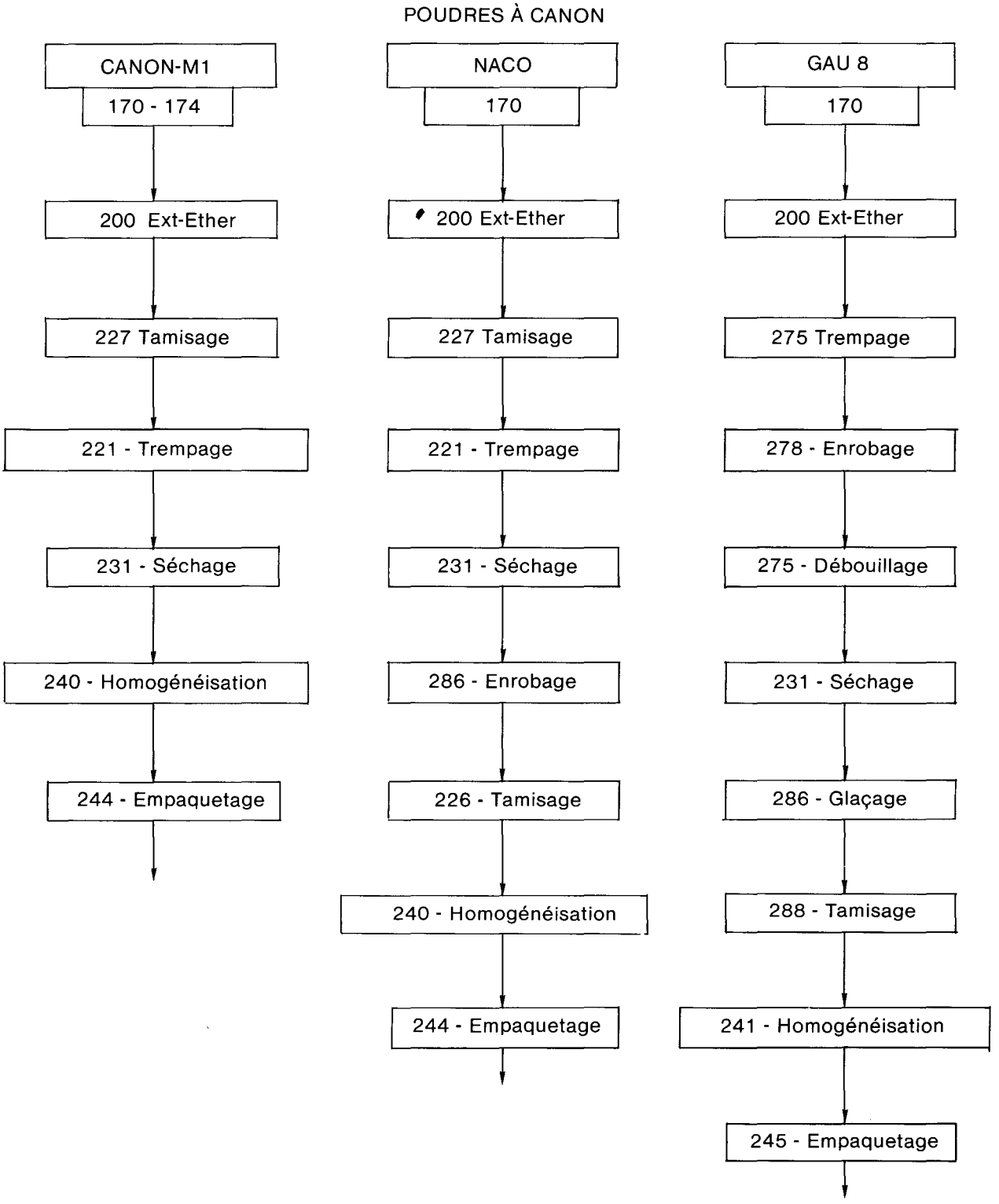
Il est à noter que pour certaines classes de RDX, on ajoute souvent dans la cristallisation de la cire ou du pentaérythritol. De plus, de l'acétone est utilisé pour remplacer, en

partie ou en totalité, le cyclohexanone dans le cristallisoir. L'emploi du toluène fut complètement abandonné.

Deux produits à base de RDX sont finalement fabriqués:

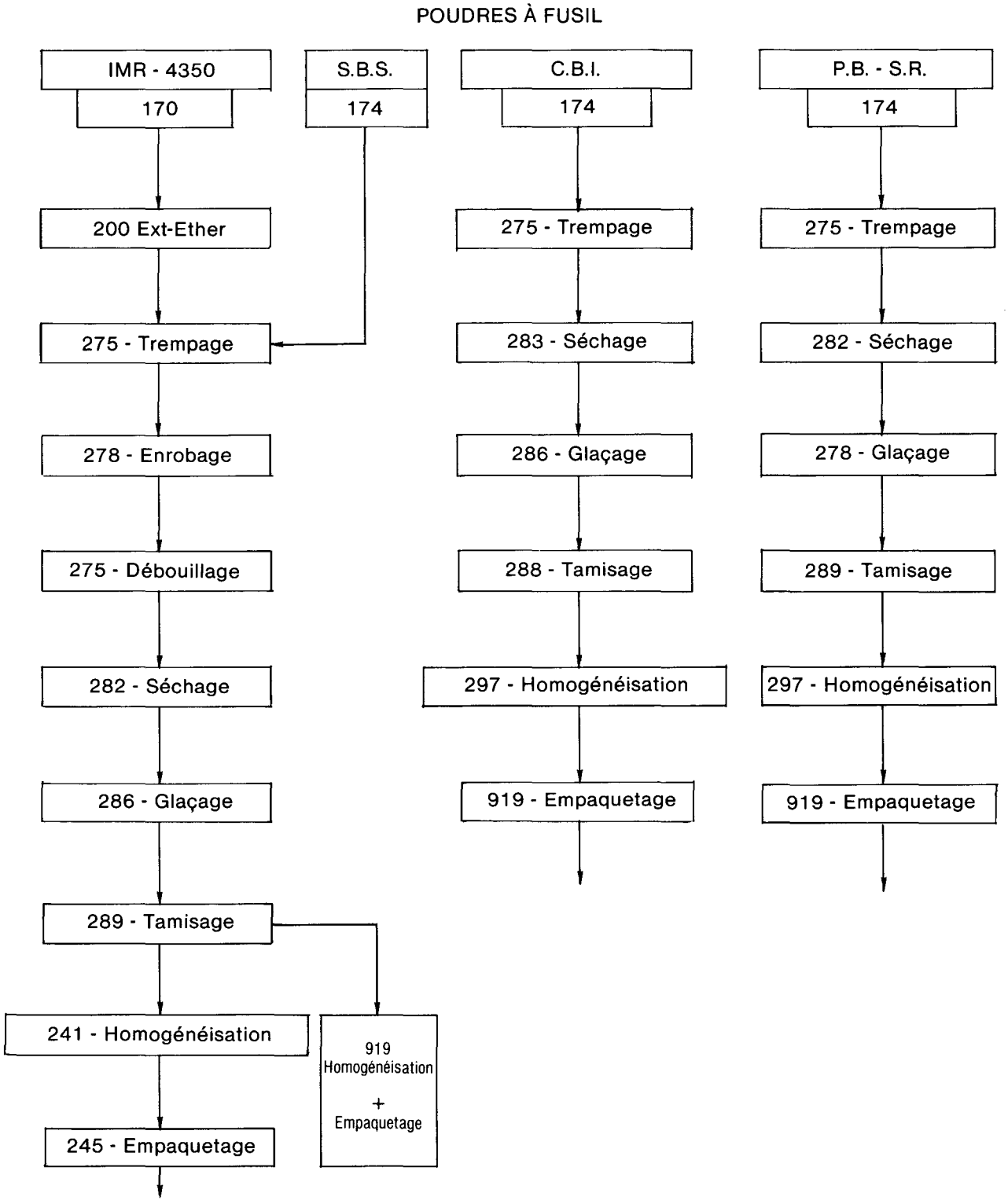
— le RDX-cire, pâte plastique utilisée comme dynamite, extrudée ou séchée,
— le RDX-TNT (composition « B », grade « A ») comme explosif solide secondaire. Il est utilisé comme booster avec les poudres propulsives.

Tableau 3.2.1 Schéma du traitement des poudres propulsives



Le RDX provenant de la dernière filtration contient assez de cire pour qu'il puisse être extrudé tel quel. Il faut tout d'abord le débarrasser de l'air contenu et des autres gaz qui pourraient, après extrusion, créer des détentes adiabatiques dangereuses. La pâte est alors macérée sous vide, extrudée en blocs de dimensions déterminées et empaquetée pour expédition.

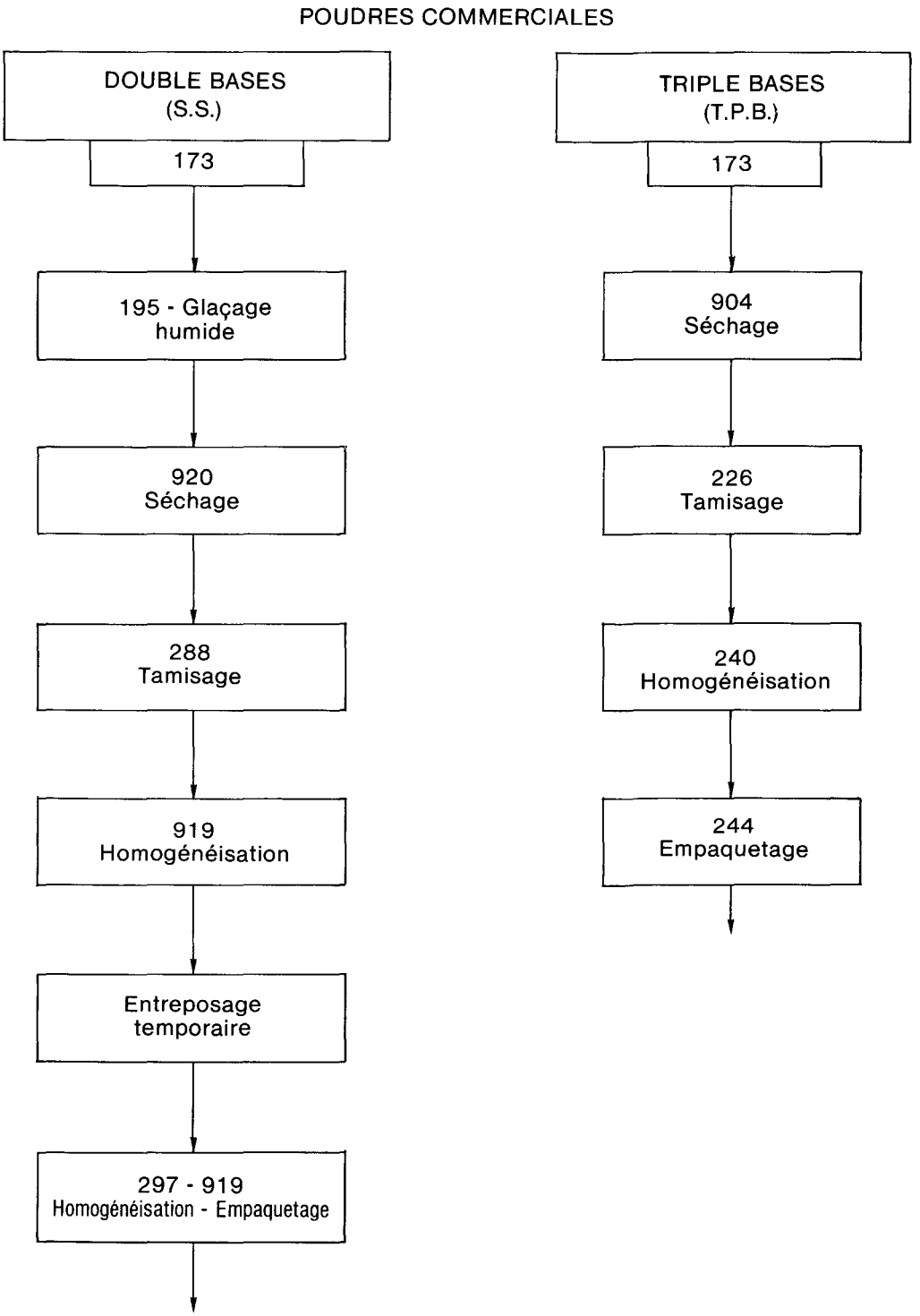
Tableau 3.2.2 Schéma du traitement des poudres propulsives



Le RDX-cire est aussi fabriqué en l'asséchant sur des plateaux pendant plusieurs jours. L'air nécessaire à cette opération est chauffé à 160°F et l'humidité est gardée à 85% en tout temps. Le RDX est alors empaqueté en grains pour utilisation comme accélérateur.

Le RDX solide est fabriqué en chauffant le produit du dernier filtrage mélangé à du TNT, de la cire et de l'eau. Le liquide qui en résulte est déposé sur une large bande d'aluminium

Tableau 3.2.3 Schéma du traitement des poudres propulsives



où le RDX se solidifie. Cette courroie métallique passe sous une série de hottes de captage des vapeurs. Au bout de la courroie, la bande de RDX solidifié est brisée en menus morceaux, empaquetés pour expédition.

3.2.8 Récupération des acides au RDX

La récupération de l'acide acétique est possible à la fabrication du RDX. Tous les autres rejets sont envoyés dans l'environnement sans autre traitement.

Il y a rejet, hors circuit, aux étapes suivantes:

- au convertisseur, les acides usés sont versés, avec le RDX, dans les cuves où barbotte de l'ammoniac. L'acide nitrique est alors neutralisé et converti en nitrate d'ammonium soluble. Demeurent dans le filtrat du premier filtre, l'acide acétique, des traces de RDX et tout le nitrate d'ammonium en solution dans l'eau,
- à la deuxième filtration et aux lavages subséquents, il y a des traces d'acide acétique, de nitrate d'ammonium et de solvants utilisés lors du procédé,
- le cyclohexanone et l'acétone sont récupérés par évaporation à la cristallisation du RDX.

A. Récupération du RDX contenu dans les eaux du premier lavage

Les eaux du premier lavage contiennent une certaine quantité de RDX. Pour le récupérer, les eaux sont pompées dans un décanteur. Les dépôts du décanteur sont retournés au filtre et le trop-plein envoyé au réservoir de captage des eaux usées. Ces réservoirs sont nettoyés de temps à autre et le trop plein coule vers les égouts collecteurs de l'usine, sans traitement.

Les eaux de lavages subséquents sont aussi acheminées vers les réservoirs de captage.

B. Récupération de l'acide acétique

L'acide usé, provenant de la première filtration, est introduit dans une tour de récupération où une quantité d'acide sulfurique (70%) est additionnée pour détruire le RDX qui y reste. Après deux heures de réaction, le résidu est vidé par le bas de la colonne et entreposé. L'acide ainsi traité est envoyé à une tour de distillation en verre. L'acide acétique raffiné est entreposé pour être réutilisé ou pour ventes commerciales. Les résidus de cette concentration sont directement rejetés à l'extérieur dans les égouts collecteurs, sans autre traitement. Ils se composent en très grande majorité d'acide sulfurique concentré, d'acide acétique non distillé et de sulfates divers créés par l'addition de l'acide sulfurique.

C. Récupération de l'acétone du cyclohexanone

Les vapeurs de cyclohexanone et/ou d'acétone sont condensées dans des alambics fractionnés et les liquides retournés aux réservoirs.

3.2.9 Procédés continus

Chez Expro, les procédés utilisés, à l'exception du procédé Biazzi pour la fabrication de la nitroglycérine, sont tous du type « discontinu ». Ces procédés consistent à faire intervenir après et avant chaque opération une action qui oblige un arrêt complet du processus, d'en changer la charge et de recommencer le processus avec un lot nouveau. Un procédé continu consiste à ne faire aucune interruption et à laisser le processus agir de façon continuelle, de proche en proche sur la charge qui ne s'arrête pas.

Nous avons identifié six secteurs de production à l'usine de Valleyfield:

- préparation des acides,
- nitroglycérine,
- RDX,

— nitrocellulose,
— première passe,
— deuxième passe ou la finition des poudres.

À l'intérieur de chaque secteur, il existe des entités qui peuvent être identifiées comme appartenant au même processus; par exemple, la nitration de la cellulose pourrait débuter avec la préparation de la cellulose et des acides et se terminer avec la stabilisation après un premier bouillage dans les cuves à débouillir. Il est presqu'impossible de penser à un procédé continu qui irait plus loin que le premier bouillage à cause du temps variable de ce bouillage et à cause de son importance (de cinquante à quatre-vingt-dix heures dans d'immenses cuves). Il en serait de même pour le processus de coupage et de la neutralisation en pocheuses qui suivent.

De plus, dans ces types de procédés où de très grandes quantités de produits sont traitées, il faut absolument considérer les engorgements possibles et faire en sorte que les rendements variables des parties d'un procédé n'influencent pas trop le rendement final du procédé lui-même. Si par exemple, un procédé nécessite quatre opérations distinctes et que les équipements sont estimés capables, pour chaque partie du procédé, d'un rendement de 80%, le rendement final, si ces parties ne sont pas rendues indépendantes, sera au maximum de 41%. Pour obvier à ce bas rendement des équipements il faudra établir entre chaque partie du processus de production des accumulateurs qui peuvent accepter des variations de production sans influencer pour autant le rendement des équipements qui précèdent ou qui suivent.

Les installations que les membres de la Commission ont visitées en Europe sont en totalité ou en partie en procédé continu. Les secteurs touchés sont:
— la préparation des acides,
— la nitration de la cellulose,
— la stabilisation de la nitrocellulose,
— la neutralisation de la boue de nitrocellulose,
— le mélange final de nitrocellulose,
— le séchage et le mélange des poudres propulsives.

Le reste du processus de fabrication des poudres est moins automatisé, moins continu, même si les gestes posés sont beaucoup moins dépendants du facteur humain que le sont les processus utilisés chez Expro. L'utilisation de l'énergie « musculaire » est poussée à l'extrême à Valleyfield. *Il ne faut pas se surprendre de l'incidence élevée des lombalgies chez ces travailleurs.*

A. Préparation des acides

La préparation des acides en procédé continu consiste à purger les acides usés aussitôt après la nitration, à les bonifier à l'oléum, à l'acide sulfurique concentré et à l'acide nitrique. La partie purgée des acides usés est pompée à la récupération des acides forts, sulfurique et nitrique, pour en éliminer l'eau et retournée tout de suite à la préparation des mélanges nitrants.

Les vérifications nécessaires pour assurer les bonnes teneurs d'acides et d'eau dans le mélange sont faites de façon automatique, et les vannes de contrôle des débits s'ajustent automatiquement. La simplicité du processus a pour résultat de restreindre les pompages, de diminuer le nombre de réservoirs nécessaires et d'éliminer la stagnation dans ces réservoirs, de quantités énormes d'acide que le vieillissement rend dangereux. Du point de vue de la sécurité et de l'hygiène, les équipements et les manipulations disparaissant, les risques en sont d'autant diminués.

B. Nitration de la cellulose

La nitration de la cellulose en processus continu s'effectue en faisant réagir continuellement, en mouvement, la cellulose avec le milieu nitrant en proportion prédéterminée. La nitration s'effectue dans des cuves à décantation; le temps que prend la solution, pour

arriver au dernier décantage est équivalent au temps nécessaire à la nitration. Au décantage, le mélange nitrocellulose-acide usé entre dans une essoreuse à mouvement continuel, l'acide est acheminé vers la bonification et la nitrocellulose vers les cuves à débouillir. Le tout est contrôlé à distance. Si jamais une dénitration prend place à quelqu'endroit dans le circuit, cette partie est isolée, la dénitration arrêtée (les quantités en présence sont très faibles) et le circuit remis en fonctionnement sans perte de production appréciable et sans exposition du travailleur aux vapeurs nocives.

Les cuves à débouillir peuvent servir d'accumulateur pour prendre charge des secousses dans la production.

C. Stabilisation de la nitrocellulose

L'opération de stabilisation peut prendre place au moment opportun. Quand les cuves sont pleines, la NC est soit gardée en cuves, soit acheminée vers la neutralisation des dernières traces d'acide et de sulfosels après coupage.

D. Neutralisation de la nitrocellulose

Les cuves de stabilisation (premier bouillage) servant d'accumulateur, le coupage et le dernier bouillage de neutralisation peuvent être en continu. Les cuves de décantation de l'eau de la nitrocellulose servent aussi d'accumulateur pour le procédé de mélange des différentes qualités de nitrocellulose.

E. Mélange final

Le mélange final dans d'immenses bassins doit être considéré comme partie indépendante du processus. L'opération d'essorage qui suit devra essorer tantôt une certaine qualité de mélange, tantôt une autre.

Il est clair qu'un engorgement d'une partie du processus de nitration paralyse la nitration si les accumulateurs ne sont pas conçus pour absorber les secousses dans la production.

En conclusion, pour la nitration, seuls les secteurs des acides et de la nitration proprement dite peuvent être opérés en procédés continus.

F. Finition des poudres

De l'extraction des solvants jusqu'à l'empaquetage des poudres propulsives, il y a possibilité d'opérer en continu avec contrôle à distance. Beaucoup de recherches se font en ce sens. Nos visites en Europe ne nous ont pas permis de constater des procédés continus en opération dans ce secteur de la fabrication des poudres propulsives.

3.3 Identification des principaux risques associés à la fabrication des poudres propulsives et du RDX à Expro

L'identification des principaux risques sera traitée dans le même ordre que les procédés et en décrivant les tâches à l'intérieur de ceux-ci, par ordre séquentiel.

Pour chaque entité, ou circuit indépendant, à l'intérieur du processus de fabrication des poudres du RDX, nous allons identifier:

- les bâtiments où une partie des procédés prend place, par ordre séquentiel et non numérique,
- les gestes posés par les travailleurs, les risques associés à ces gestes, les risques associés à la présence dans l'air de travail de matières nocives et enfin les risques associés à la manipulation de produits explosifs.

Enfin, nous reproduirons, à la fin de chaque partie du procédé global, des tableaux récapitulatifs des dangers et risques inhérents dans chacun des bâtiments chez Expro. Cette évaluation est nécessairement subjective. Elle a été faite lors de visites à l'usine.

Il est nécessaire, à beaucoup d'endroits, de répéter en d'autres mots ce qui fut déjà décrit à la partie 3.2 de ce chapitre, pour mieux faire le point entre les procédés et les risques associés. Ces risques nous les avons subdivisés en trois catégories:

— les risques associés à une exposition chronique, c'est-à-dire possibilité de présence dans l'air du milieu de travail de gaz et/ou de particules nocives pour lesquels une valeur limite d'exposition (VLE ou TLV) existe (ou devrait normalement exister),
— les risques associés à une exposition majeure qui peuvent causer des intoxications aiguës,
— et enfin, les risques d'accidents qui sont reliés spécifiquement à la fabrication des poudres explosives et du RDX.

La Commission tient à faire remarquer que les procédés de fabrication à Expro font appel à beaucoup de manipulations de la part du travailleur et que souvent les poids transportés et les gestes posés sont susceptibles de causer des maux de dos. De fait, nous avons remarqué que ce type de malaise est très fréquent. Nous avons donc inclus dans la liste des risques d'accidents les lombalgies comme risques inhérents aux divers procédés.

Nous avons qualifiés ces risques:

— de majeurs qui demandent une action presqu'immédiate,
— d'importants qui nécessitent une surveillance attentive du milieu de travail et du travailleur lui-même,
— de minimes qui demandent une surveillance sporadique surtout du milieu de travail.

L'identification des principaux risques se fera en procédant selon l'ordre suivant:

1. la fabrication de la nitrocellulose,
2. la fabrication de la nitroglycérine,
3. la récupération des acides usés, et préparation des acides pour la nitration,
4. la préparation initiale des grains de poudre devant servir à la fabrication des poudres propulsives (première passe),
5. le traitement final et l'empaquetage des poudres à simple, double et triple bases,
6. la fabrication du RDX,
7. et enfin, la récupération des acides et solvants au RDX.

3.3.1 Fabrication de la nitrocellulose

A. Bâtiments

N° 103 - Bâtiment où se fait la préparation des acides au moment de la nitration de la cellulose.
N° 101 - Bâtiment où les matières premières pour la nitration sont entreposées.
N° 128 - Bâtiment où s'effectue le séchage et le déchiquetage de la pulpe de bois (cellulose).
N° 104 - Bâtiment où la cellulose est pesée et préparée pour la nitration.
N° 108 - Bâtiment de la nitration: nitreurs, essoreuses et bassins de noyage.
N° 110 - Bâtiment des cuves à débouillir et des pocheuses après le coupage de la fibre.
N° 114 - Bâtiment où s'effectue le coupage des fibres de cellulose pour en libérer les dernières traces d'acide.
N°s 116 et 118 - Bâtiment où s'effectue les mélanges des différentes qualités de fibres et l'épaississage de la boue.
N° 120 - Bâtiment où se fait le dernier essorage avant empaquetage, pour expédition ou entreposage et utilisation dans les poudres propulsives.
N° 319 - Bâtiment où les acides usés de la nitration de la cellulose sont filtrés avant d'être pompés dans les réservoirs du bâtiment de récupération des acides (n°s 312-316).
N° 130 - Bâtiment dans lequel les vapeurs nitreuses sont traitées.

B. Risques associés

Les rouleaux de pulpe de bois nécessaire au procédé sont entreposés dans le bâtiment nº 101. Ces rouleaux, dont la pulpe contient de 4 à 6% d'eau, sont transportés au bâtiment nº 128 où leur contenu d'eau est diminué à 1%. Les feuilles de pulpe sont ensuite déchiquetées et les floches de pulpe acheminées vers le bâtiment nº 104 pour être entreposées et pesées. La quantité de pulpe requise pour la nitration est pesée dans de larges barils. Les travailleurs préposés à cette opération peuvent être exposés à la poussière de pulpe et au bruit. La ventilation pourvue pour ce site de travail mérite d'être améliorée surtout au chargement des barils de floches séchées.

Il y a huit bancs de quatre nitreurs au deuxième étage du bâtiment nº 108. Ils sont pourvus de deux lames montées sur un axe vertical, tournant en sens inverse, pour assurer l'introduction rapide de la cellulose sous la surface du mélange sulfonitrique. Chaque nitreur est aussi pourvu d'une ventilation commune à seize nitreurs. Les conduits de ce système sont nettoyés périodiquement à l'aide d'instruments spécialement conçus pour enlever les résidus de la nitration (voir figure 3.2.C).

Un préposé à la cellulose, portant une visière bascule le baril de pulpe sur une plate-forme connexe au nitreur et introduit la pulpe manuellement dans le nitreur. L'introduction de la cellulose requiert approximativement quatre minutes. Cette opération entraîne des risques d'exposition à la poussière de pulpe, aux éclaboussures d'acide et aux vapeurs nitreuses.

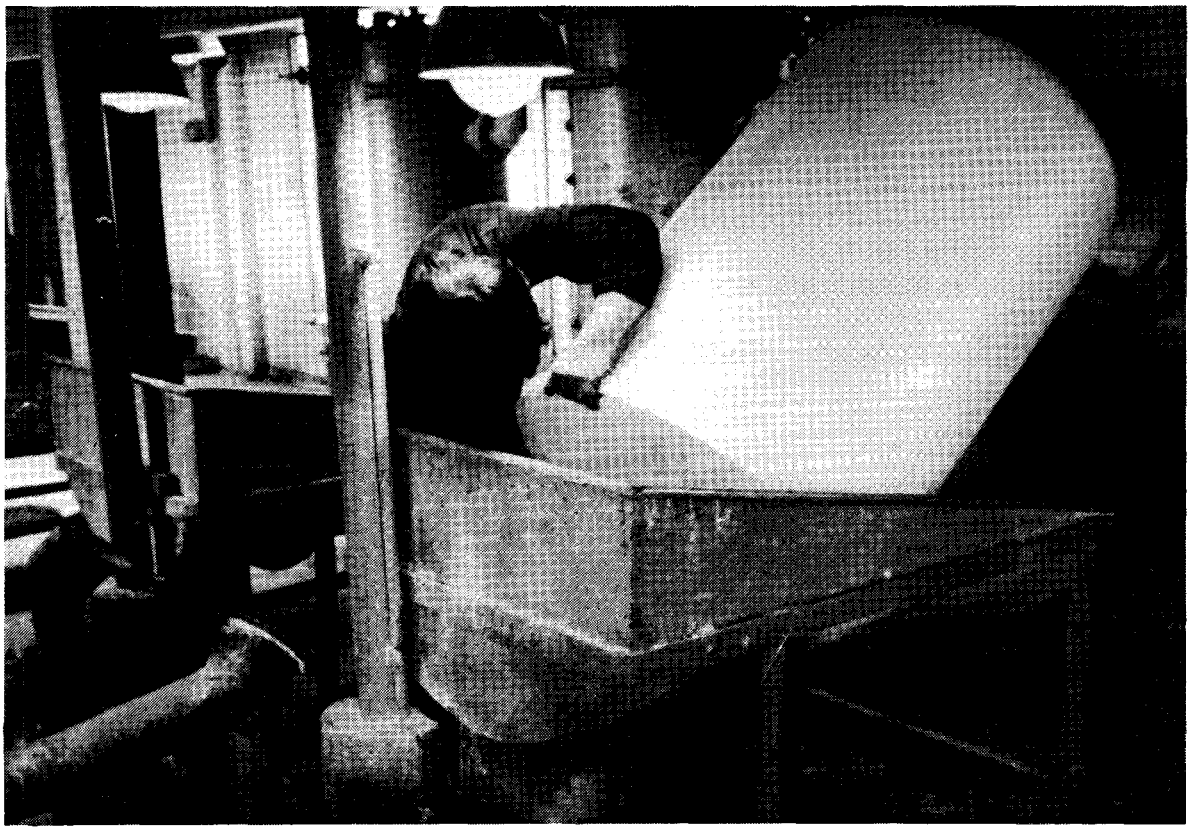


Photo nº 2 Remplissage d'un réacteur de nitration avec de la cellulose.

À la fin du cycle de nitration, le préposé au nitreur avertit le préposé à l'essoreuse (lumière rouge) que l'opération est terminée. Ce dernier ouvre une valve au bas du nitreur et introduit son contenu dans l'essoreuse mise en marche au préalable. Ce dernier avertit le responsable du nitreur en frappant sur le conduit, que tout le contenu du nitreur a été déchargé dans l'essoreuse. Le temps d'essorage est prédéterminé.

Pendant l'essorage, il est important que l'air ne soit pas en contact avec la nitrocellulose dans l'essoreuse. Les feux d'essoreuses (fume-off) sont malheureusement fort communs et peuvent être amorcés, par temps humide, par l'eau dans l'air ambiant qui, aspiré au travers de la NC imbibée d'acide, augmente la température de celle-ci, cause la décomposition de l'acide nitrique et de la nitrocellulose. Ces feux peuvent être aussi amorcés par des corps étrangers tels les gouttelettes d'eau ou d'huile, ou une étincelle lors du fourchage.

L'essorage terminé, l'opérateur enlève le couvercle de l'essoreuse avec un crochet d'aluminium et procède au fourchage de la NC sur les parois de l'essoreuse. Pour ce faire, il doit mettre les pieds sur une planche qui bascule et déclenche ainsi un jet d'eau considérable dans le cou d'oie situé au bas de l'essoreuse. La NC projetée dans le cou d'oie est rapidement noyée et perd son acidité. L'eau entraîne ainsi la NC dans un bac de noyage situé au rez-de-chaussée.

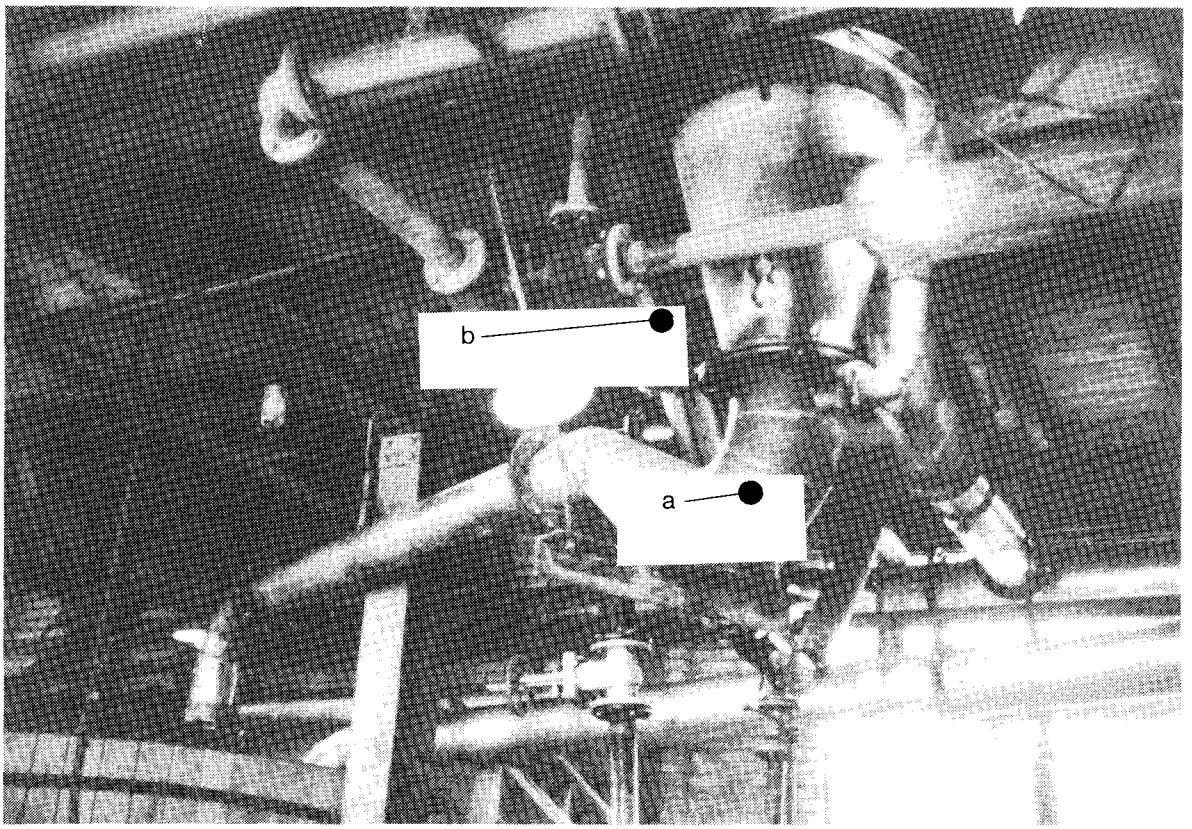


Photo nº 3 Sortie de l'essoreuse numéro 8 illustrant
a) Le tuyau en forme de col de cygne pour l'évacuation de la nitrocellulose
b) Le tuyau incliné servant à évacuer l'acide.

Les opérateurs d'essoreuse sont sujets à une exposition à des concentrations élevées de vapeurs nitreuses pendant les « fume-off » qui ont lieu assez fréquemment. Leur seule protection possible contre une surexposition à ces vapeurs nocives consiste à s'éloigner le plus rapidement possible, à l'extérieur du bâtiment. Il n'existe aucun système d'alarme prévu pouvant avertir les ouvriers de la présence d'une concentration supérieure à la VLE. En plus, il n'y a aucun système de ventilation dans le bâtiment. Ces ouvriers sont aussi sujets aux brûlures d'acide sulfonitrique.

Dans le bâtiment du bouillage (nº 110), la NC est séparée de l'eau et chauffée plusieurs fois à 97ºC (vapeur d'eau) dans une solution acidulée. La NC est alors pompée au bâtiment nº 114 pour être broyée. Elle est ensuite dirigée vers les bâtiments nºs 116 et

118 pour être bouillie de nouveau mais cette fois avec une faible solution de carbonate de soude, pour neutraliser l'acide libéré par le broyage. Il s'ensuit un bouillage de courte durée. La NC est dirigée vers de larges citernes pour être mélangée. Après une période de mélange, la NC est envoyée au bâtiment nº 120 pour essorage final (30% d'eau retenue). La NC stabilisée est soit entreposée ou expédiée.

Les opérateurs travaillant dans les bâtiments nºs 110, 114, 116, 118 et 120 risquent moins d'être exposés aux vapeurs nitreuses. Néanmoins, les possibilités d'expositions sporadiques existent toujours. Les opérateurs du bâtiment nº 120 peuvent être exposés à la poussière de NC, mais les risques sont faibles; la NC fraîchement essorée contient 30% d'eau. Si cette poussière de NC humide n'est pas nettoyée constamment, elle s'assèche et alors elle peut devenir respirable et surtout déstabilisée et dangereuse.

Le bioxyde d'azote (NO_2) est un gaz toxique de la classe des irritants des voies respiratoires profondes. Il est le constituant principal des vapeurs nitreuses qui se dégagent de nombreuses réactions chimiques. On ne saurait être trop en garde contre l'action de ces vapeurs, action insidieuse qui ne se fait sentir que plusieurs heures après inhalation.

La fabrication de la NC est relativement peu dangereuse si on ne cherche pas à l'obtenir sous forme sèche: au cours de la nitration, elle baigne dans un grand volume d'acide mélangé; cependant, il peut se produire une décomposition, appelée techniquement « prise en feu » (fume-off), dans l'essoreuse. Cette décomposition ne produit pas nécessairement de flamme, mais un grand dégagement de vapeurs nitreuses, accompagnées de projections d'acides. L'explication technique des « prises en feu » apparaît à la section sur les procédés.

En fabrication industrielle, les explosions avec dégâts importants n'ont pas lieu tant que l'essorage de la NC n'est pas trop poussé. Il faut donc être prudent dans l'accroissement de la force centrifuge des essoreuses utilisées. En effet, on a constaté que le taux de liquide imprégnant le produit est un facteur plus important que le taux d'azote de celui-ci.

Les nitrocelluloses en floches émettent facilement des poussières qui vont se déposer en divers points des ateliers. Le sol doit être maintenu humide par arrosage. On doit procéder à des nettoyages fréquents avec des éponges mouillées. Là où se produisent des poussières, il est à recommander que le personnel porte une coiffure couvrant entièrement la chevelure.

Les produits souillés ou inutilisés doivent être placés dans un étouffoir renfermant de l'eau, en attendant leur destruction.

La NC gélatinisée est moins dangereuse que la NC fibreuse. Mais la gélatinisation doit être complète, sinon la NC présente un risque d'incendie qui peut être très vif et qui est fréquemment accompagné d'un dégagement de vapeurs nitreuses. L'incendie sous confinement devient une explosion.

Les propriétés explosives des produits nitrocellulosiques, et la sécurité qui s'y rattache, dépendent, d'une façon complexe des facteurs suivants:

- la structure, soit fibreuse, soit gélatinisée,
- le taux de liquide d'imprégnation dans le cas des produits fibreux, ou taux de solvant dans le cas des matières gélatinisées,
- le type de liquide d'imprégnation, une NC fibreuse mouillée par de l'eau est moins sensible que si elle est mouillée par de l'alcool,
- le traitement à des degrés divers des produits gélatinisés,
- le taux d'azote de la NC; plus le taux est élevé, plus le caractère explosif est accentué.

Les principaux risques d'exposition associés à la fabrication de la nitrocellulose à Expro sont présentés aux tableaux suivants: 3.3.1, 3.3.2, 3.3.3.

A — Tableau nº 3.3.1 — Risques associés à une exposition chronique

SECTION: **NC** BÂTIMENT Nº	POUSSIÈRE (CELLULOSE)	VAPEURS NITREUSES	ACIDES NITRIQUE/SULFURIQUE	CONTRAINTES THERMIQUES	POUSSIÈRE (NITROCELLULOSE)		BRUIT											
103	–	2	3	1	–		1											
101	–	–	–	1	–		1											
128	2	–	–	1	–		2											
104	2	–	–	1	–		1											
108	2	3*	2	1	1		1											
319	–	3	3	–	–		–											
110	–	2	1	2	1		1											
114	–	1	–	1	1		2											
116	–	1	–	2	1		1											
118	–	1	–	2	1		1	(*) RISQUE NON CONTRÔLÉ										
120	–	1	–	1	2		2											
130	–	3	3	–	–		–											
1- RISQUE MINIME / 2- RISQUE IMPORTANT / 3- RISQUE MAJEUR																		

B — Tableau nº 3.3.2 — Risques associés à une exposition aiguë

SECTION: **NC** BÂTIMENT Nº	VAPEURS NITREUSES																	
103	1																	
101	–																	
128	–																	
104	–																	
108	3*																	
319	2																	
110	2												(*) RISQUE NON CONTRÔLÉ					
114	1																	
116	1																	
118	1																	
120	1																	
130	2																	
1- RISQUE MINIME / 2- RISQUE IMPORTANT / 3- RISQUE MAJEUR																		

C — Tableau nº 3.3.3 — Risques d'accidents																		
SECTION: **NC** BÂTIMENT Nº	BRÛLURES D'ACIDE	EXPLOSIONS	FEUX	CHUTES	LOMBALGIES	CONTUSIONS												
103	2	–	1	1	1	1												
101	–	–	1	1	1	1												
128	–	–	1	1	1	1												
104	–	–	1	1	1	2												
108	3*	2	2	1	1	2												
319	3	1	1	2	1	1												
110	–	2	2	1	1	1						(*) RISQUE NON CONTRÔLÉ						
114	–	1	1	1	1	1												
116	–	1	1	1	1	1												
118	–	1	1	1	1	1												
120	–	1	1	1	1	1												
130	2	1	2	1	1	1												
1- RISQUE MINIME / 2- RISQUE IMPORTANT / 3- RISQUE MAJEUR																		

3.3.2 Nitroglycérine

A. Bâtiments

Nº 771 - Bâtiment de service pour la section de la nitroglycérine.

Nº 774 - Bâtiment où se trouvent les réservoirs de glycérine.

Nº 775 - Bâtiment ou se trouvent les réservoirs d'acide préparé pour la nitration de la glycérine.

Nº 770 - Bâtiment dans lequel les équipements de nitration du procédé Biazzi se trouvent.

Nº 770A - Réservoir de captage des eaux usées à la nitration de la glycérine.

Nº 772 - Bâtiment où la nitroglycérine est conservée, soit pour un dernier lavage à l'eau si nécessaire, soit comme réserve pour utilisation dans la pâte des poudres propulsives à double base.

Nº 772A - Réservoir de captage des eaux de lavage du bâtiment nº 772.

Nº 773A - Bâtiment dans lequel on mesure et transvide dans un chariot l'acétone nécessaire pour flegmatiser la NG durant son transport.

Nº 776 - Bâtiment où les acides usés de la nitration sont traités pour détruire, par l'acide nitrique faible, la NG contenue dans les acides usés.

B. Risques associés

La nitration de la glycérine a lieu dans le bâtiment nº 770. Elle est sous la responsabilité de deux opérateurs: un chef-opérateur et son aide. Il ne doit pas y avoir plus de quatre personnes à l'intérieur du bâtiment en tout temps.

Les préposés à la NG exécutent une série de 41 tests de sécurité avant de procéder à la fabrication. Cette fabrication est ordinairement amorcée à 9 heures et dure généralement trois heures pour la production de trois mille livres de NG. Durant l'après-midi, tout le système est nettoyé. Toutes les eaux de lavage sont canalisées vers les bassins de captage nº 970A ou nº 772A.

La fabrication de la NG à Expro est moins dangereuse que celle de beaucoup d'autres produits réputés moins sensibles. Les principales causes d'accidents ont été largement éliminées durant les années antérieures. Subsistent cependant des possibilités de fausse manœuvre, de mauvaise réaction du personnel devant une situation imprévue, ou même,

d'initiatives malheureuses. C'est pourquoi, il est nécessaire de faire appel à une main-d'œuvre de qualité et de se rappeler que la discipline et le sang-froid devraient caractériser les ouvriers préposés à la fabrication de la NG.

Le procédé requiert quarante minutes avant que la NG ne soit expédiée vers le bâtiment de stockage. Le site du procédé est pourvu d'une douche, et d'un respirateur autonome (Scott Air Pak) dans une chambre connexe. L'arrêt soudain de la réaction peut être actionné, soit de l'intérieur de l'édifice (tout près de la porte de sortie) soit de l'extérieur. Un système d'alarme avertit les occupants de l'édifice.

La NG est entreposées sous eau au bâtiment nº 772. Pendant le stockage, la stabilité du produit est vérifiée périodiquement par la prise d'un échantillon (10 cc) que le chef du contrôle transporte manuellement au laboratoire situé, à un demi-mille de distance.

La NG est expédiée au département des poudres propulsives (première passe, bâtiment nº 902) en la chargeant dans un chariot en cuivre spécialement conçu pour cette tâche. De l'acétone est utilisé pour flegmatiser la NG durant son transport. Deux fois 133 livres de NG sont chargées dans le chariot et le préposé à la NG tire le chariot dans un long couloir étroit vers le bâtiment nº 902. La NG est vidée par deux opérateurs dans un mélangeur contenant la NC et d'autres ingrédients à la première passe. Le chariot est lavé à l'acétone avant d'être remisé.

La NG pure se classe parmi les explosifs les plus puissants. Sa sensibilité aux actions extérieures est élevée. La présence de bulles, même microscopiques, augmente beaucoup cette sensibilité à l'amorce.

Les principaux risques d'exposition encourus par les opérateurs préposés à la fabrication de la nitroglycérine à Expro sont présentés aux tableaux nºs 3.3.4, 3.3.5 et 3.3.6. L'ampleur des risques est classé selon les mêmes critères que précédemment.

A — Tableau nº 3.3.4 — Risques associés à une exposition chronique

SECTION: **NG** BÂTIMENT Nº	VAPEURS NITREUSES	ACIDES NITRIQUE/SULFURIQUE	NITROGLY-GÉRINE	ACÉTONE	ÉTHYLÈNE GLYCOL	CONTRAINTES THERMIQUES	BRUIT										
770	1	1	1	–	1	1	1										
770A	1	2	1	–	–	1	1										
772	–	–	2	2	–	1	1										
775	2	2	–	–	–	–	–										
773A	–	–	2	2	–	–	–										
776	2	2	2	–	–	–	–										
774	–	–	–	–	–	–	–										

1- RISQUE MINIME / 2- RISQUE IMPORTANT / 3- RISQUE MAJEUR

B — Tableau nº 3.3.5 — Risques associés à une exposition aiguë																	
SECTION: **NG** BÂTIMENT Nº	VAPEURS NITREUSES	NITROGLY-CÉRINE	ACÉTONE														
770	2	2	–														
770A	2	–	–														
772	–	3*	2														
775	3	–	–										(*) RISQUE CONTRÔLÉ				
773A	–	3	1														
776	2	2	–														
774	–	–	–														
1- RISQUE MINIME / 2- RISQUE IMPORTANT / 3- RISQUE MAJEUR																	

C — Tableau nº 3.3.6 — Risques d'accidents																	
SECTION: **NG** BÂTIMENT Nº	EXPLOSIONS	FEUX	LOMBALGIES	CONTUSIONS	BRÛLURES D'ACIDE	CHUTES											
770	3*	3*	1	1	1	1											
770A	3*	3*	1	1	2	1											
772	3*	3*	1	1	–	1											
775	3	1	3	3	1	3							(*) RISQUE CONTRÔLÉ				
773A	–	3	3	3	–	3											
776	3	2	3	3	1	3											
774	–	–	–	–	–												
1- RISQUE MINIME / 2- RISQUE IMPORTANT / 3- RISQUE MAJEUR																	

3.3.3 Traitement des acides usés et préparation des mélanges pour la nitration

A. Bâtiments

Nº 776 - Bâtiment où se trouve le réservoir d'acide usé abouti (butted) au département de la NG.

Nº 319 - Bâtiment près duquel se trouvent les réservoirs 115 et 111 servant à entreposer les acides usés provenant de la nitration de la NC.

Nº 316 - Bâtiment abritant les réservoirs d'acides usés et les réservoirs dans lesquels on prépare spécialement les acides pour les différentes nitrations.

Nº 312 - Bâtiment où on retrouve les équipements nécessaires à la récupération des acides et à leur concentration.

Nº 309 - Bâtiment où on entrepose les acides après mélange pour différentes nitrations.

B. Risques associés

Expro achète de l'acide nitrique faible (60%) et de l'oléum (106%). Le reste de l'acide requis pour les procédés de fabrication d'explosifs est obtenu par récupération des acides de la nitration de la cellulose et de la glycérine via le traitement des acides usés.

Les acides usés des départements NC et NG sont envoyés au bâtiment nº 312 (du bâtiment nº 316 où ils sont entreposés). L'acide nitrique et sulfurique sont concentrés individuellement dans des tours à distillation.

Des vapeurs d'acide sulfurique sont très évidentes près des tuyaux de condensation d'acide au premier plancher de l'édifice. Les cinq hommes qui travaillent dans ce bâtiment

sont sujets à l'exposition à ces vapeurs et à des vapeurs nitreuses ainsi qu'aux brûlures d'acides. Il y a également exposition au bruit.

Dans ce bâtiment, des douches difficiles d'accès et des masques respiratoires (MSA modèle SW-CATOR) sont disponibles.

La plus grande partie de l'acide usé est envoyée au bâtiment nº 316. Il y est entreposé dans de larges réservoirs (nºs 39, 40, 41) et est renforcé par l'addition d'oléum ou d'acide nitrique concentré. Il est ensuite pompé dans des réservoirs connexes aux bâtiments nºs 103 et 775 pour être réutilisé pour la nitration de la cellulose et de la glycérine. Les deux opérateurs dans ce bâtiment sont sujets à l'exposition aux vapeurs d'acide et aux vapeurs nitreuses. Ils peuvent aussi subir des brûlures d'acide.

Un estimé de l'importance des principaux risques d'exposition encourus par les préposés à la récupération d'acides est présenté aux tableaux nºs 3.3.7, 3.3.8 et 3.3.9. Les critères utilisés sont les mêmes que pour la nitrocellulose et la nitroglycérine.

A — Tableau nº 3.3.7 — Risques associés à une exposition chronique

SECTION: **ACIDES** BÂTIMENT Nº	VAPEURS NITREUSES	ACIDES NITRIQUES/SULFURIQUES	CONTRAINTES THERMIQUES	BRUIT													
309	1	2	1	1													
312	2	3*	1	2													
316	1	2	1	1								(*) RISQUE NON CONTRÔLÉ					
1- RISQUE MINIME / 2- RISQUE IMPORTANT / 3- RISQUE MAJEUR																	

B — Tableau nº 3.3.8 — Risques associés à une exposition aiguë

SECTION: **ACIDES** BÂTIMENT Nº	VAPEURS NITREUSES	ACIDES NITRIQUE/SULFURIQUE															
309	2	2															
312	3*	3*															
316	2	2										(*) RISQUE NON CONTRÔLÉ					
1- RISQUE MINIME / 2- RISQUE IMPORTANT / 3- RISQUE MAJEUR																	

C — Tableau nº 3.3.9 — Risques d'accidents

SECTION: **ACIDES** BÂTIMENT Nº	BRÛLURES D'ACIDE	EXPLOSIONS	FEUX	LOMBALGIES	CONTUSIONS	CHUTES											
309	3*	1	3	1	1	1											
312	3*	1	3	1	1	1											
316	3*	1	3	1	1	1						(*) RISQUE NON CONTRÔLÉ					
1- RISQUE MINIME / 2- RISQUE IMPORTANT / 3- RISQUE MAJEUR																	

3.3.4 Préparation initiale des grains de poudre devant servir à la fabrication des poudres propulsives, première passe

L'évaluation des risques reliés à cette partie du procédé de fabrication des poudres propulsives nécessite que soient traités indépendamment les stages à simple base et à double bases.

POUDRE À SIMPLE BASE (CANON ET FUSIL).

A. Équipements

N° 140/143 - Bâtiments des presses à déshydratation où l'eau contenue dans la NC est extirpée et remplacée par l'alcool.

N° 160/162 - Bâtiments où la NC est mélangée aux divers ingrédients, barattée et macérée. Parmi ces ingrédients on retrouve l'éther et l'alcool.

N° 170/174 - Bâtiments où la pâte de NC est de nouveau compressée, extrudée en longs cordons et coupée en grains de longueurs et diamètres différents. Une partie des solvants est récupérée des grains de poudre.

N° 200 - Bâtiment où l'éther et l'alcool sont extraits des grains de poudre.

N° 149 - Bâtiment où la récupération de l'éther et de l'alcool est effectuée par absorption sur charbon de bois activé.

N° 150 - Bâtiment qui abrite les réservoirs d'alcool et d'éther.

La récupération de l'alcool et de l'éther aux bâtiments nos 160, 162, 170 et 174, jusqu'au coupage, se fait sur charbon de bois activé au bâtiment n° 149. La récupération des solvants dans les bâtiments nos 170 et 174, après le coupage se fait par barbottage ou condensation fractionnée dans les bâtiments eux-mêmes: il en est ainsi dans le bâtiment n° 200.

B. Risques associés

La poudre fabriquée dans les bâtiments nos 140, 143, 160, 162, 170, 174 est une poudre à simple base (NC) communément appelée poudre à fusil ou à canon.

Déshydratation de la NC. La NC requise pour la fabrication est transportée par rail du bâtiment n° 122 où elle est entreposée aux bâtiments nos 140, 143 où elle est déshydratée. Cette dernière opération est accomplie dans chaque bâtiment, par deux opérateurs et un chef opérateur. L'un des opérateurs additionne, manuellement, approximativement 35 livres de NC (30% d'eau) à l'une des presses hydrauliques et lave les parois de la presse avec de l'alcool. Quarante livres d'alcool sont ensuite introduites dans la presse où il se mélange à la NC. (Cet alcool provient du bâtiment n° 150 où il est entreposé.) La presse est mise en marche (3 000 livres/po^2) et une rondelle de NC contenant 6,3 livres d'alcool/ 25 livres de NC en résulte (durée cinq minutes).

Neuf de ces rondelles sont chargées sur un chariot à couvercle ou dans des sacs en plastique pour les empêcher de s'assécher. L'alcool venant des presses (alcool faible) contenant de l'eau et de la NC dissoute est envoyé au bâtiment n° 150 pour y être entreposé et réutilisé.

Chaque rondelle est examinée avec un détecteur pour vérifier la présence de métal. Les chariots chargés de NC sont entreposés dans une chambre connexe à l'entrée des bâtiments nos 160 et 162.

Il n'y a aucune ventilation dans les bâtiments nos 140 et 143 sauf celle fournie par les portes ouvertes donnant sur les rails. Le plancher de ces bâtiments est périodiquement lavé à l'eau pour le débarrasser de la NC.

Préparation de la poudre. Les bâtiments nos 160 et 162 ont un corridor périphérique qui donne accès à plusieurs alcôves. Dans l'une de ces alcôves, un opérateur pèse le

sulfate de potassium et le dinitrotoluène requis pour la poudre à fusil. La NC et les additifs sont ensuite acheminés vers l'une des alcôves pour y être placés dans un malaxeur. Le mélange a tendance à s'échauffer (70°F) et est refroidi à l'aide d'une saumure (bâtiment nº 148). La pâte plastique qui en résulte est transvidée manuellement dans des cuvettes. Pour homogénéiser et achever la formation du semi-colloïde, dans les poudres contenant du DNT, la pâte est soumise à une macération. Cette pâte est transvidée manuellement de nouveau dans des cuves et transportée aux presses hydrauliques pour y enlever de l'air occlus. Des blocs cylindriques de 40 à 50 livres sont produits avec ces presses hydrauliques et ces derniers sont de nouveau examinés pour vérifier la présence de métal. Un chef opérateur et trois opérateurs sont préposés à ces opérations (le nombre peut varier selon la poudre fabriquée).

Les malaxeurs et moulins sont pourvus d'un système de ventilation de captage à la source apparemment efficace. La poudre entraînée dans le système est filtrée et l'air contenant des vapeurs de solvant est dirigé vers le bâtiment nº 149 pour récupération des solvants. Il existe un système d'aspiration de vapeurs de solvant à même le plancher devant les malaxeurs, moulins et presses. Le plancher des presses est pourvu d'une fosse contenant de l'eau où la poudre déversée ou provenant du lavage de plancher (une fois la semaine) y est envoyée. Cette fosse est vidée chaque semaine par succion. Un opérateur doit descendre dans la fosse pour compléter ce travail.

La concentration d'éther dans l'air des bâtiments nºs 160 et 162 est vérifiée, à intervalles réguliers, à l'aide de tubes indicateurs genre Dräger par un opérateur du bâtiment nº 149. Si le taux d'éther excède 400 ppm, les opérateurs doivent porter un respirateur à cartouche pour vapeurs organiques.

Les opérateurs préposés aux moulins, malaxeurs et presses hydrauliques sont fortement exposés aux vapeurs d'éther et ce durant la journée complète de travail. Ils sont en plus sujets à l'exposition respiratoire et cutanée de la poussière de poudre simple et à la poussière des ingrédients de cette poudre: DNT, DPA, carbonate de plomb et autres.

Un mécanisme artisanal permet l'arrêt de toutes les opérations dans les bâtiments en cas d'urgence.

Préparation des granules de poudre propulsives. Les blocs de poudre, contenant du solvant, sont transportés aux bâtiments nºs 170 et 174 pour y être transformés en granules. Chaque bloc est placé dans l'une des presses hydrauliques verticales munies de 36 matrices. Une pression de plus de 3 000 livres/po^2 est appliquée aux blocs qui sont transformés en longs cordons tubulaires qui sont recueillis au premier plancher dans un chariot conçu à cet effet. Cette opération n'est pas sans danger. Il ne doit pas y avoir d'espace libre contenant de l'air saturé de vapeurs de solvant durant cette opération. S'il y en avait, un mélange explosif de vapeurs de solvant dans l'air se formerait et la force violente de décompression adiabatique exercée sur cette poche d'air élèverait la température au-dessus de son point d'ignition. Une explosion en résulterait.

Les cordons sont ensuite introduits dans l'un des sept couteaux pourvus d'un coupeur refroidi par l'évaporation de l'éther. Ces derniers sectionnent les cordons en longueurs de trois à cent millimètres. Ces granules sont recueillies dans des cuves. Il y a un chef opérateur et de six à huit opérateurs dans ce bâtiment.

Il n'y a pas de système de ventilation générale dans ces pièces, l'odeur d'éther y est très forte: les opérateurs dans ces bâtiments sont sujets à une exposition continue à l'éther durant leur journée de travail. Signalons à nouveau que ces travailleurs sont exposés aux différents ingrédients de la poudre par voies cutanée et respiratoire.

Récupération des solvants. Les cuves contenant les granules mouillées sont transvidées dans des chariots à la sortie des bâtiments nºs 170 et 174 et, durant le remplissage, une partie des solvants est récupérée dans ces chariots sur rail, utilisant le même type d'équipement qu'au bâtiment nº 200. Les chariots sont ensuite transportés au bâtiment

nº 200 (un long bâtiment comprenant une série de huit garages pouvant accommoder quatre wagons chacun). De l'air chauffé (55ºC) est infiltré par le dessus de la masse de poudre et aspiré via un conduit situé au bas du wagon. Les vapeurs (éther/alcool/eau) passent par un condenseur d'où les solvants récupérés sont envoyés au bâtiment nº 150 pour y être raffinés. L'air sortant du condenseur est de nouveau chauffé et introduit dans le wagon. Une ligne secondaire d'aspiration fait partie de ce circuit et assure qu'aucune vapeur de solvant ne s'échappe si ce dernier est interrompu. En plus, de l'eau est utilisée pour sceller le couvercle du wagon. Néanmoins, l'odeur d'éther est très évidente dans cette pièce qui n'est pas pourvue d'un système de ventilation générale.

En cas d'urgence, (eg. feu) de l'eau peut être introduite rapidement dans les wagons. Une fois le procédé de séchage préliminaire terminé (vingt-quatre à quatre-vingt heures), le contenu du chariot est humidifié et le chariot scellé (avec de l'eau) est transporté par rail à la deuxième passe.

POUDRES COMMERCIALES À DOUBLE ET TRIPLE BASES

A. Bâtiments

Nº 141 - Bâtiment où se fait la déshydratation de la NC, par compression et addition d'alcool faible.

Nº 902 - Bâtiment où débute le mélange de la pâte par l'addition de la NG, de la nitroguanidine si nécessaire, et des autres ingrédients pour la fabrication des poudres commerciales.

Nº 161 - Bâtiment où le mélange de la pâte se termine. La formation de blocs sous presse prend place dans ce bâtiment.

Nº 173 - Bâtiment abritant les équipements de coupage des cordons après extrusion à travers des presses verticales isolées.

N.B.: Les solvants alcool et acétone contenus dans les grains de poudre ne sont pas extraits à ce stage de la fabrication des poudres commerciales, mais bien au bâtiment nº 904.

B. Risques associés

La poudre propulsive fabriquée dans ce secteur est soit à double (nitrocellulose/ nitroglycérine), soit à triple (NC/NG/nitroguanidine) bases. À quelques exceptions près, les bâtiments, les équipements et les opérations qui servent à produire ce genre de poudre, ressemblent à ceux de la production des poudres à fusil et à canon décrite ci-avant.

La nitrocellulose déshydratée au bâtiment nº 141 est envoyée au bâtiment nº 902 (connexe à la ligne de production de nitroglycérine) pour y être mélangée avec la nitroglycérine (base double) ou nitroglycérine et nitroguanidine (base triple). D'autres additifs y sont ajoutés à ce stage par un ou deux opérateurs. Ces ingrédients peuvent inclure: la centralite, le sulfate de potassium et la cryolithe. L'acétone mélangé à la NC se retrouve dans cette pâte.

La pâte « explosive » est placée dans des cuves en plastique et est transportée par camion au bâtiment nº 161 où, dans certains cas du noir de charbon est ajouté. De l'alcool y est ajouté au besoin.

Les ouvriers qui travaillent à la fabrication de la poudre à double base sont sujets à une exposition à l'alcool, à l'acétone, à la nitroglycérine, à la poussière de charbon et aux vapeurs d'autres ingrédients dans la bâtisse nº 902.

Préparation du mélange. Le bâtiment nº 161, tout comme le bâtiment nº 162, a un corridor périphérique. L'on retrouve un malaxeur ou un moulin pour la poudre dans les sept alcôves qui longent le côté est de ce corridor. Ces alcôves sont munies de portes qui sont fermées durant les opérations. Les malaxeurs et moulins n'ont d'autre source de ventilation que celle située dans le plancher devant chaque pièce d'équipement.

Un opérateur arrose les parois du moulin ou malaxeur avec de l'acétone (45 gallons/ semaine) avant d'y introduire le mélange provenant du bâtiment nº 902. Le charbon noir y est ajouté et le barratage de la poudre initié. L'air comprimé à faible débit peut être utilisé de temps à autre pour assécher la poudre dans les moulins. De quatre à cinq opérateurs travaillent en cet endroit.

La préparation des blocs de poudre commerciale se fait à distance sur le côté sud du bâtiment. De l'huile est placée dans l'une des presses, suivie du mélange et le tout est pressé (3 000 livres/po^2) en présence de CO_2. L'odeur d'acétone était évidente dans cette salle lors de la visite que nous y avons effectuée. Un détecteur est utilisé pour déceler la présence des pièces de métal dans les blocs.

Sur le côté ouest de l'édifice, il y a une alcôve où se fait la pesée du noir de charbon requis pour le mélange. Une hotte de ventilation réduit de manière insuffisante le taux de poussière de noir de charbon qui se dégage durant cette opération.

Préparation des granules de poudre. Dans le bâtiment nº 173, les presses qui servent à la préparation de longs cordons de poudre sont dans des alcôves closes et renforcées; elles sont contrôlées à distance. Les cordons qui sortent des presses sont recueillis dans un chariot placé lui aussi dans une enceinte close et renforcée. Ces cordons sont coupés avec des couperets refroidis à l'eau. Les granules de poudre sont recueillies dans des cuves en plastique et sont trempées à l'eau avant le stockage. Il y a un opérateur par presse, et un opérateur par couteau ainsi qu'un chef opérateur dans le bâtiment. Chaque couteau est muni d'un système anti-feu. Chaque presse et couteau sont munis d'un système de ventilation localisé au plancher. Le nettoyage complet des lieux se fait une fois par semaine.

Le bâtiment nº 173 a été le lieu de maintes intoxications à la nitroglycérine causées par la manipulation du cordon de poudre.

C. Risques associés aux opérations connexes de la première passe

En annexe aux bâtiments de la première passe, on procède à certaines opérations secondaires.

1. *Décontamination (bâtiments nº 176).* Dans ce bâtiment, on prépare les filtres des presses hydrauliques et on nettoie ces derniers dans des bains caustiques (hydroxyde de sodium, NaOH) chauffés. Ces bains sont pourvus d'un système de ventilation à la source. Une odeur d'ammoniac y était évidente lors de notre visite. Les deux travailleurs préposés à cette opération sont sujets aux brûlures caustiques et aux vapeurs d'ammoniac.

2. *Manutention des chariots de la récupération des solvants (bâtiment nº 213).* Deux hommes sont préposés à la manutention des wagons pour la récupération d'éther. Aucune exposition n'est évidente.

3. *Récupération de solvants (bâtiment nº 149).* Ce bâtiment est le centre du système de ventilation desservant le complexe de la première passe (exception faite de la fabrication de la poudre à base double). Un homme est préposé à cette opération; il est exposé aux vapeurs d'éther et au bruit.

4. *Préparation d'ingrédients (bâtiment nº 164).* Dans ce bâtiment, un opérateur moud et pèse l'éthyl centralite ainsi que le carbonate de plomb. Un autre moud le DNT, le nitrate de potassium et le sulfate de potassium requis pour la fabrication des poudres. Il n'y a aucune ventilation et il y a exposition à la poussière de DNT, carbonate de plomb et nitrate de potassium dans ce bâtiment.

Les principaux risques d'exposition estimés durant la fabrication de la poudre propulsive apparaissent aux tableaux nºs 3.3.10, 3.3.11 et 3.3.12.

A — Tableau nº 3.3.10 — Risques associés à une exposition chronique

SECTION: 1ère PASSE BÂTIMENT Nº	ALCOOL	ÉTHER	DINITRO-TOLUÈNE	DIBUTYL PHTALATE	DIPHÉNYL-AMINE	GRAPHITE (CHARBON NOIR)	ACÉTONE	PLOMB	NITROGUA-NIDINE	NITROGLY-CÉRINE	NITROCEL-LULOSE	CONTRAINTES THERMIQUES	BRUIT	POUSSIÈRE DE POUDRE	AMMONIAC	CENTRALITE	BENZÈNE
140/1/3	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1	1	–	–	–	2
162	1	2	2	1	1	–	–	–	–	–	1	1	1	1	–	–	–
160	1	2	2	1	1	–	–	2	–	–	1	1	1	1	–	–	–
161	1	–	–	–	–	2	1	–	1	1	1	1	1	1	–	–	–
174/170	1	2	2	1	1	–	–	–	–	–	1	1	1	1	–	–	–
173	1	–	–	–	–	1	1	–	1	3	1	1	1	1	–	–	–
200	1	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1	–	–	–	–
150	1	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	2	–	–	–	–
176	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	1	–	1	–	–
164	–	–	2	–	–	–	–	2	–	–	–	1	2	–	–	2	–
902	1	–	–	–	–	–	2	–	1	2	1	1	1	–	–	1	–
149	1	1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	2	–	–	–	–

1- RISQUE MINIME / 2- RISQUE IMPORTANT / 3- RISQUE MAJEUR

B — Tableau nº 3.3.11 — Risques associés à une exposition aiguë

SECTION: 1ère PASSE BÂTIMENT Nº	ÉTHER	PLOMB
140/1/3	–	–
162	2	–
160	2	1
161	–	–
174/170	2	–
173	–	–
200	2	–
150	2	–
149	1	–
176	–	–
164	–	2
902	–	–

1- RISQUE MINIME / 2- RISQUE IMPORTANT / 3- RISQUE MAJEUR

C — Tableau nº 3.3.12 — Risques d'accidents

SECTION: 1ère PASSE BÂTIMENT Nº	EXPLOSIONS	FEUX	CHUTES	LOMBALGIES	CONTUSIONS	BRÛLURES ALCALINES
140/1/3	–	1	1	2	1	–
162	3*	3*	1	2	1	–
160	2	2	1	2	1	–
161	2	2	1	2	1	–
174/170	2	2	1	2	1	–
173	2	2	1	2	1	–
200	2	2	1	1	1	–
150	2	2	1	1	1	–
149	2	2	1	1	1	–
176	–	–	1	1	1	1
164	–	–	1	1	1	–
902	3**	2	1	2	1	–

(*) RISQUE CONTRÔLÉ
(**) RISQUE NON CONTRÔLÉ

1- RISQUE MINIME / 2- RISQUE IMPORTANT / 3- RISQUE MAJEUR

3.3.5 Finition des poudres propulsives

Le complexe de bâtiments appelé « deuxième passe » consiste en plusieurs petits et moyens bâtiments isolés. La plupart de ces bâtiments sont reliés par un réseau ferroviaire pour le transport des poudres propulsives. Chaque type de mélange de poudres propulsives fabriqué à la première passe est soumis à une série de procédés qui inclut généralement un glaçage, enrobage, séchage, tamisage, homogénéisation et empaquetage. Chaque genre de poudre est soumis à un procédé particulier.

A. Bâtiments

Les poudres arrivent à la section finition en provenance du bâtiment nº 200 (extraction des solvants), et des bâtiments nºs 173 et 174 pour les poudres à bases multiples et à fusil respectivement.

Nºs 226, 288-289 - Bâtiments où les particules fines de poudre sont éliminées des poudres à bases multiples, après séchage.

Nº 227 - Bâtiment où les particules fines de poudre sont éliminées par tamisage, après la récupération des solvants et avant le trempage à l'eau chaude pour éliminer les dernières traces de solvant.

Nºs 221 et 275 - Bâtiments où les dernières traces de solvants (éther et alcool) sont évaporées en trempant les poudres dans l'eau chaude à 60ºC ou à 90ºC.

Nº 278 - Bâtiment où les grains de poudre sont enrobés de divers ingrédients, dans des drageoirs en forme de lentilles.

Nº 286 - Bâtiment où certains grains de poudre sont enrobés de graphite.

Nº 195 - Bâtiment où l'enrobage de grains par différents ingrédients se fait dans un milieu très humide, presqu'aqueux.

Nº 231 - Bâtiment abritant un séchoir de type « à contre-courant ».

Nºs 920, 282-283 - Bâtiments abritant des séchoirs à plateaux inclinés où l'évaporation de l'humidité se fait par le passage de l'air chaud à travers les grains de poudre étendus dans les plateaux.

Nº 904 - Bâtiment où la poudre est séchée en petite quantité, dans un tunnel à air chaud. Ce type de séchoir sert surtout à la poudre à multiple bases.

Nºs 240 et 241 - Bâtiments où se situent les tours à homogénéiser les poudres.

Nº 919 - Bâtiment ou le brassage et l'empaquetage de certains types de poudres s'effectuent en petits lots.

Nºs 244 et 245 - Bâtiments qui abritent les trémies d'empaquetage des poudres ayant ordinairement été mélangées dans les tours des bâtiments nºs 240 et 241.

Nº 297 - Bâtiment où les poudres sont entreposées avant l'empaquetage final, de manière à pouvoir vérifier leurs caractéristiques.

B. Risques associés

a) Poudre à simple base, dite « fusil »

Toutes les poudres « fusil », à l'exception de la IMR 4350, sont apportées par rail, du bâtiment nº 174, dans les mêmes wagons ayant servi à la récupération partielle des solvants, au bâtiment nº 275. La poudre IMR 4350 passe par le bâtiment nº 200.

Trempage: Le contenu de chaque wagon (deux mille livres) est déchargé dans une trémie et mis en sac au bâtiment nº 275. Les sacs sont chargés à bord de grandes cages (quatre mille livres) qui sont ensuite immergées dans de grands bains d'eau et maintenues à 60ºC, durant une période de quatre à six jours. Chaque bain est couvert durant le procédé. Huit à dix wagons par jour sont ainsi traités. À la fin du procédé, les cages sont soulevées des bains et sont placées sur le couvercle de ces derniers pendant huit à seize heures pour essorer les sacs. Dans les bassins à 60ºC, l'éther et l'alcool sont

évaporés dans l'atmosphère; dans les bassins à 90°C, en plus de débarrasser la poudre des dernières traces de solvants, il y a action de l'eau pour glacer la surface des grains et fixer l'enrobage dans le grain lui-même. Dans le dernier cas, les vapeurs des bacs sont captées et traitées à l'extérieur du bâtiment.

Un chef-opérateur et deux aides sont préposés à ce procédé. Ils sont tous exposés à une chaleur humide et à des vapeurs d'éther, puisque ce bâtiment n'est pas pourvu d'un système de ventilation. Des respirateurs (nº 3M8710) pour poussière sont disponibles; l'entreposage des sacs devient parfois une opération poussiéreuse.

Enrobage: Après bouillage, la poudre à simple base, en sacs, est transportée par rail au bâtiment nº 278 (sweetie barrel). Quarante sacs (approximativement mille livres) sont déchargés manuellement dans l'un des trois mélangeurs dont la forme ressemble à de larges lentilles. Du méthyl centralite, dinitrotoluène, graphite ou diphénylamine dans l'alcool y sont ajoutés (parfois du stéarate de calcium). Il est à noter que le DPA est moulu à la main avec un simple rouleau à pâte. L'opérateur porte gants et respirateur (nº 3M8710) pendant cette opération.

Le tout est mélangé pendant quatre-vingt-quinze minutes à 95°C. Le mélange est déchargé manuellement dans des sacs ou des cuves.

Après l'opération, le mélangeur est lavé à l'eau. Cette opération est effectuée par un chef et deux opérateurs.

Il n'y a pas de système de ventilation et le personnel est exposé à la poussière de poudre à simple base et aux additifs.

Séchage: Les grains de poudre enrobés sont ensuite envoyés au séchoir, bâtiments nºs 283 et 283 pour réduire la teneur en eau à près de 0,75%.

Les bâtiments nºs 282 et 283 sont semblables. Ce sont de petits bâtiments rectangulaires pourvus de huit portes (trois à l'avant, trois à l'arrière et une à chaque bout). La poudre en grains est vidée des sacs manuellement et étendue sur l'un des douze larges tamis maintenus à angle. Les grains de poudre sont uniformément épandus à l'aide de râteaux de bois. De l'air chaud y est infiltré par le dessous. Personne n'est admis à l'intérieur du séchoir pendant le séchage sauf un homme dont la tâche est de vérifier de temps à autre l'état de la poudre.

À la fin du procédé, de la vapeur d'eau est admise dans le bâtiment pour élever le taux d'humidité aux environs de 55%. Les grains de poudre asséchés sont déchargés des plateaux à l'aide de râteaux dans des chariots. Il y a danger; cette poudre n'étant plus maintenant conductrice, une décharge d'électricité statique pourrait provoquer une explosion.

Les trois personnes qui dirigent cette opération sont certes exposées à la poussière de cette poudre et à ses ingrédients. Des respirateurs (nº 3M8710) pour poussière nuisible sont disponibles.

Glaçage: La poudre une fois asséchée, est envoyée au bâtiment nº 286 pour être glacée, c'est-à-dire enrobée de graphite et ainsi la rendre conductrice et moins sujette à la détonation.

Le bâtiment nº 286 est un petit bâtiment. La poudre y arrive par rail à bord de chariots. Ces chariots sont apportés au deuxième étage pour y être déchargés dans un mélangeur cylindrique en bois (danger d'explosion ici à cause de la hauteur de la décharge). Le graphite est ajouté (0,1 à 0,6%) à quatre mille livres de poudre. L'opération, contrôlée à distance, dure de une à deux heures et demie. Les travailleurs préposés au chargement et au déchargement sont exposés à la poussière de graphite. Ils utilisent un masque (nº 3M8710) pour poussière nuisible. La quantité de graphite sur le plancher le rend très glissant et il y a possibilité de chutes.

Tamisage: La poudre glacée ou seulement enrobée arrive par rail aux bâtiments nos 288 et 289 pour y être tamisée. Les grains de poudre sont déchargés à l'extérieur dans une trémie et convoyés par air au tamiseur. Ils sont ensuite mis en sacs. Huit mille livres de poudre peuvent être traitées journalièrement en lots de deux mille livres.

La trémie et le tamis sont pourvus d'un système de ventilation (captage à la source). Un rideau de plastique entoure le tamis. Néanmoins, ce lieu est empoussiéré. Deux hommes dirigent cette opération. Ils portent un masque (no 3M8710), ainsi que des protecteurs auriculaires. Le plancher du bâtiment est très glissant à cause du graphite qui s'y trouve.

b) Poudre à canon

Tamisage: Cette poudre provient des bâtiments nos 170 et 174. Elle arrive au bâtiment no 227 pour y être tamisée après être passée au bâtiment no 200 pour la récupération des solvants. Elle est déchargée des wagons à récupération de solvants dans une trémie et convoyée par eau sur un tamis vibrant. La poudre est ensuite acheminée au bâtiment connexe no 221. Les ouvriers qui travaillent dans ce bâtiment n'ont aucune exposition importante.

Trempage: La poudre est envoyée ensuite à l'extraction de toutes traces de solvants. L'odeur d'éther provenant des bacs est évidente. Il n'y a pas de système de ventilation et le chef-opérateur et ses trois aides sont exposés à ces vapeurs. Le procédé peut durer quatre-vingt-seize heures.

Séchage: La poudre à canon est envoyée à des séchoirs à circulation continue situés dans le bâtiment no 231. Elle est transportée à bord de petits wagons-trémie sur rail. Ces derniers sont déchargés dans une autre trémie et la poudre est vidée dans le séchoir. L'air, chauffé à 55°C, entre dans le séchoir par en haut; ce même air est recirculé après filtration et déshumidification. Le cycle dure de douze à quinze heures. Les rails sont mouillées durant le déchargement du séchoir.

Le chef-opérateur et ses trois aides sont exposés à la poussière de poudre. Ils portent des masques (no 3M8710) durant le déchargement. Fait à noter, ces travailleurs facilitent l'acheminement de la poudre vers le trou de décharge avec de longs râteaux en bois qu'ils manient par une ouverture située au sommet du séchoir.

Tours de mélange nos 240 et 241: La majorité des poudres fabriquées à Expro sont envoyées aux tours de mélange nos 240 et 241 pour y être homogénéisées.

Les chariots sont montés au dernier plancher de la tour par un monte-charge. La charge de poudre est transvidée dans une trémie par une des trois ouvertures dans le plancher. Lorsque cette trémie est remplie, elle est déchargée en passant par une série de plaques déflectrices dans une deuxième trémie. L'opération est répétée jusqu'à vingt fois pour assurer un mélange homogène. Chaque opération est contrôlée à distance. Normalement, 55 000 livres de poudre sont ainsi mélangées à la fois. Cette opération génère de la poussière et les travailleurs portent des masques pour poussières nuisibles (no 3M8710). Le nettoyage se fait à l'aide d'un système d'aspiration; un lavage à l'eau est effectué une fois par mois. Il n'y a pas de système de ventilation.

Empaquetage: Lorsque le mélange est jugé suffisamment homogène, on le transporte par chariot aux bâtiments nos 244 et 245, ou à l'étage, le contenu est déchargé dans une trémie. Au rez-de-chaussée, on pèse et charge la poudre dans des contenants pour expédition. Il y a possibilité d'exposition à la poussière de poudre durant l'opération d'empaquetage. Il n'y a pas de système de ventilation ni aux tours de mélange ni à l'empaquetage. L'explosion des poudres sèches non conductrices par le claquage d'une décharge d'électricité statique est le risque principal de ce secteur.

Un estimé subjectif des principaux risques d'exposition lors de la finition des poudres propulsives est présenté aux tableaux nos 3.3.13 et 3.3.14.

A — Tableau no 3.3.13 — Risques associés à une exposition chronique

SECTION: **2e PASSE** BÂTIMENT No	ÉTHER	POUSSIÈRE DE POUDRE	DINITRO-TOLUÈNE	CENTRALITE	GRAPHITE	DIPHÉNYLAMINE	ALCOOL	STÉARATE DE CALCIUM	NITROGLY-CÉRINE	BRUIT	CONTRAINTES THERMIQUES						
275	2	2	–	–	–	–	–	–	–	1	2						
278	–	2	2	2	2	2	–	1	–	1	1						
920/282/3	–	2	–	–	–	–	–	–	2	1	1						
286	–	2	–	–	2	–	–	–	–	1	1						
288/9	–	2	–	–	2	–	–	–	–	2	1						
240/1	–	2	–	–	–	–	–	–	–	2	1						
244/5	–	2	–	–	–	–	–	–	–	2	1						
195	–	2	–	–	2	–	–	–	2	1	1						
904/19	–	2	–	–	–	–	–	–	2	1	1						
226	–	2	–	–	–	–	–	–	–	1	1						
227	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	1						
221	2	–	–	–	–	–	–	–	–	1	2						
231	–	2	–	–	–	–	–	–	2	2	2						

1- RISQUE MINIME / 2- RISQUE IMPORTANT / 3- RISQUE MAJEUR

B — Tableau no 3.3.14 — Risques d'accidents

SECTION: **2e PASSE** BÂTIMENT No	EXPLOSIONS	FEUX	CHUTES	CONTUSIONS	LOMBALGIES												
275	1	1	1	1	2												
278	2	2	1	1	2												
920	2	2	1	1	2												
282/3	3**	3**	1	1	3												
286	3**	3**	2	1	1												
288/9	2	2	2	1	1												
240/1	2	2	1	1	1												
244/5	2	2	1	1	2												
195	2	2	1	1	2												
919	2	2	1	1	1												
904	2	2	1	1	2												
221/26/31	2	2	1	1	1												
227	1	1	1	1	1												

(**) RISQUE CONTRÔLÉ

1- RISQUE MINIME / 2- RISQUE IMPORTANT / 3- RISQUE MAJEUR

c) Poudre à double bases (commerciale)

La poudre à base double provenant de la première passe subit un traitement semblable à celui de la poudre à base simple.

Glaçage à l'eau: Six cent soixante-cinq (665) livres de poudre, et de six à sept livres de boue de graphite sont mélangés dans un des deux malaxeurs du bâtiment nº 195. Cette opération est effectuée à la température de la chambre par un chef opérateur et un aide. Très peu de poussière en résulte et il n'y a pas de ventilation.

Un mélange d'acétone, de carbonate de soude et de sulfate de potassium est utilisé pour détruire la nitroglycérine qui peut se déposer sur la machinerie et aux alentours.

Les travailleurs participant à cette opération sont exposés à la poussière de graphite et de poudre à base double ainsi qu'à la NG.

Séchage: La poudre glacée est apportée en cuves au bâtiment nº 920 par camion. Elle est répandue sur de larges tamis horizontaux et l'on infiltre de l'air chaud par en-dessous. L'air s'échappe de la pièce par deux ouvertures au plafond. Un tuyau de plastique fixé au bord de ces ouvertures assure que la NG qui se dégage de la poudre et se condense dans les cheminées d'échappement coule dans une cuve contenant du neutralisant pour NG. Néanmoins, une inspection de ces cheminées a révélé qu'un important dépôt de NG s'y trouvait. On nous a assuré que ces tuyaux sont lavés une fois par mois avec du neutralisant pour NG. Il y a trois séchoirs connexes dans ce bâtiment.

À la fin de la période de séchage (vingt-quatre heures), on introduit de la vapeur d'eau dans la pièce et l'on décharge les tamis de leur contenu dans des cuves à l'aide de pelles de bois. L'exposition à la poussière est possible et on utilise des masques (nº 3M8250). Un chef-opérateur et trois aides dirigent cette opération.

Le séchoir en entier est lavé à l'eau à la fin de chaque cycle.

La conception, la localisation et l'environnement du séchoir rendent difficile l'évacuation des travailleurs en cas d'incident majeur.

Fait à noter, les séchoirs nºs 282 et 283 peuvent aussi être utilisés pour assécher la poudre à double base.

Tamisage: La poudre à base double est tamisée aux bâtiments nºs 288 et 289, c'est-à-dire au même endroit que la poudre à base simple. Aux risques déjà mentionnés précédemment, il faut ajouter celui relié à la présence de NG.

Mélange: Après tamisage, la poudre à double base est acheminée au bâtiment nº 919 pour y être homogénéisée. La poudre arrive par rail, trente mille livres par jour; six cents livres de poudre en cuve sont transportées par ascenseur au deuxième plancher et sont chargées dans un mélangeur horizontal (17 RPM). Le mélangeur est mis en opération à distance (bâtiment nº 917). L'opération dure seulement vingt minutes. Le mélangeur est déchargé dans des contenants pour expédition ou entreposage final.

Deux hommes opèrent le mélangeur. Ils sont exposés à la poussière de poudre durant le déchargement du mélangeur. Il n'y a pas de système de ventilation.

Il existe un mélangeur pour poudre à double base, de type expérimental, au bâtiment nº 922. Ce dernier est chargé horizontalement et peut mélanger mille cinq cents livres à la fois. Un système de ventilation à la source est intégré au procédé.

La poudre à base simple peut également être mélangée au bâtiment nº 919 si elle est enrobée de graphite.

d) Poudre à triple base

Cette poudre subit très peu de traitement après sa fabrication.

Séchage: Le résidu de solvant et d'eau est enlevé au bâtiment nº 904. La poudre blanche, provenant du bâtiment nº 173, est chargée dans des séchoirs à plateaux étagés. Ces derniers sont placés dans un des tunnels où circule de l'air chaud. La poudre est séchée à 113 à 120ºF pendant trois à quatre heures. À la fin du cycle, les plateaux sont retirés et entreposés dans le vestibule ouest du bâtiment. Les plateaux chargés de poudre sont ensuite transférés sur un chariot pour le transport.

Les tunnels sont pourvus d'un système de ventilation qui permet la récupération de la NG. La NG est condensée et coule dans l'un des seaux contenant du neutralisant. Elle est ensuite transvidée dans du bran de scie, pour être brûlée au terrain de décontamination de l'usine.

Les trois travailleurs qui opèrent ce séchoir sont exposés à la poussière de poudre et aux émanations de nitroglycérine et de nitroguanidine.

Tamisage: Le tamisage de la poudre à triple base est accompli au bâtiment nº 226.

Après tamisage, la poudre est envoyée aux bâtiments nºs 240 et 241 pour y être homogénéisée.

3.3.6 Fabrication du RDX

La fabrication du RDX chez Expro est sporadique. La capacité de production dépasse de beaucoup la demande. Il y avait peu d'activité dans ce secteur lors des différentes visites que la Commission a effectuées. Néanmoins, il fut possible de faire quelques observations reliées aux risques du travail dans ce secteur.

A. Bâtiments

Nº 743 - Bâtiments où se trouvent les réservoirs d'acides nécessaires à la nitration.
Nº 741 - Bâtiment où les différents mélanges sont préparés pour la nitration qui va prendre place dans le bâtiment nº 742.
Nº 742 - Bâtiment qui abrite le convertisseur pour le RDX et le bassin collecteur après réaction pour la réduction de l'acide nitrique par l'ammoniac.
Nº 704 - Bâtiment où s'effectuent les différents lavages et filtrages du RDX.
Nº 708 - Bâtiment qui abrite le cristallisoir du RDX et les différentes cuves de préparation des mélanges.
Nº 713 - Bâtiment où s'effectuent les différents mélanges et où la composition « B » du RDX est refroidie, séchée et empaquetée.
Nº 712 - Bâtiment qui abrite les équipements d'extrusion du RDX en pâte moulée.
Nº 486 - Bâtiment où le séchage du RDX en pâte non moulée est effectué et où l'empaquetage de ce produit est fait.
Nº 703 - Bâtiment qui abrite les équipements de récupération de l'acide acétique.

B. Risques associés

Préparation des mélanges de réaction. La préparation des mélanges de réaction se fait dans le bâtiment nº 741. L'hexamine en sac est additionnée à un mélangeur contenant de l'acide acétique (97 à 98%) provenant de l'addition de l'anhydre acétique à cet acide dilué. Des lunettes et des gants sont portés durant cette procédure. Les sacs de nitrate d'ammonium sont vidés dans un second mélangeur, situé dans la même pièce, et qui contient de l'acide nitrique concentré (98%). Le contenu de chaque mélangeur est maintenu à 67ºF et pompé au premier plancher du même bâtiment.

Les deux mélangeurs sont desservis par un système de ventilation à la source efficace. Au premier plancher, le contenu de chaque mélangeur est d'abord filtré pour enlever tous les corps étrangers, et ensuite entreposé dans deux réservoirs en acier inoxydable. Leur contenu est chauffé à 100°F. Les coulisses d'acide provenant des pompes desservant ces deux réservoirs sont lavées continuellement avec de l'eau. Lors de la visite des lieux, l'odeur d'acide acétique était évidente, malgré qu'il y avait une ventilation générale.

Préparation du RDX. Le bâtiment nº 741 est connexe au bâtiment nº 742 et est relié à celui-ci par un corridor. Au premier plancher de ce dernier, la température des mélanges de réaction est maintenue à 57°F dans de longs conduits avant de les expédier au deuxième plancher où a lieu la préparation du RDX. Les mélanges de réaction ainsi que l'anhydre acétique sont introduits dans l'un des deux convertisseurs sur ce plancher. Ces convertisseurs sont simplement de longs conduits par où les réactifs sont acheminés en cascade. Le RDX formé flotte à la surface de cette réaction et est écumé à la sortie du réacteur et envoyé avec le surplus d'acide à un bassin collecteur. Chacun des postes de travail est pourvu d'un système de ventilation à la source. Chaque collecteur prend deux heures à se remplir. Lorsque l'un est plein, il est fermé avec un bouchon de bois et on procède au remplissage du second. La température est maintenue entre 50 et 56°F. De l'ammoniac est mélangé à la bouillie RDX-acide pour neutraliser l'acide nitrique. Ces deux collecteurs cylindriques sont vidés en actionnant manuellement une valve située au bas de ceux-ci.

Cinq travailleurs s'occupent des opérations dans les deux bâtiments: quatre opérateurs et un chef-opérateur. Il n'y a aucun système d'alarme dans ces deux bâtiments.

Les ouvriers préposés à la fabrication du RDX sont exposés à la poussière d'hexamine, aux vapeurs d'acide acétique et nitrique, à l'anhydre acétique et aux vapeurs nitreuses (NO_X).

Filtration du RDX. Le RDX brut fabriqué dans le bâtiment nº 742 est acheminé au bâtiment nº 704 où il est filtré sous vide dans un réservoir cylindrique, et lavé. Le RDX lavé est remis en suspension dans l'eau et transporté par convoyeur au bâtiment nº 708. L'acide acétique usé est acheminé au bâtiment nº 703 pour récupération.

Cristallisation du RDX. Le RDX en suspension dans l'eau, provenant du bâtiment nº 704, est filtré sous vide sur des filtres de coton au deuxième plancher du bâtiment nº 708. Après filtration, le RDX humide est chargé à l'aide de longues palettes de bois dans des chariots placés au bas du filtre au premier plancher. Il est recouvert d'une couverture de coton et entreposé de cette façon dans une pièce connexe (RDX classe « F »). Il y a possibilité d'émanation de poussière de RDX durant cette opération.

Le RDX, pour être recristallisé (1 900 livres) ou incorporé à un mélange, est transporté par chariot au troisième plancher. Il est alors déchargé manuellement à l'aide d'une pelle en bois dans un entonnoir de l'un des trois cristallisatoirs en acier inoxydable. Une solution aqueuse à 9% de cyclohexanone (400 gallons) est additionnée. Le tout est mélangé et chauffé jusqu'à ébullition durant trois heures et demie. Le cyclohexanone est évaporé et récupéré pendant cette opération.

La suspension du RDX dans l'eau est refroidie (120 à 130°F) pendant une demi-heure et envoyée au filtre de nouveau. Il se dégage alors une quantité importante de vapeurs de solvant. Les filtres ne sont pas pourvus de ventilation pour contrôler ces vapeurs de solvant, lesquelles se répandent dans tout le bâtiment. Il en est de même dans la section d'entreposage du RDX imbibé de solvant.

On ajoute de la cire (stéarate de calcium) et du pentaérythritol au RDX classe « A » avant de la recristalliser. Le RDX mouillé est entreposé pour expédition au bâtiment nº 486. Dans le bâtiment nº 708, on prépare également d'autres compositions de la classe « E » qui demandent l'utilisation de l'acétone à la place du cyclohexanone.

Les deux opérateurs et le chef-opérateur œuvrant dans ce bâtiment sont exposés aux vapeurs de solvants (cyclohexanone et acétone) d'acide acétique et à la poussière de RDX.

Le mélange cyclohexanone/eau et le cyclohexanone pur sont entreposés dans un bâtiment connexe (nº 708A). L'odeur de cyclohexanone dans ce bâtiment était très forte. Aucune ventilation n'existe en cet endroit.

Incorporation du RDX dans des mélanges. Le bâtiment nº 712 est utilisé sporadiquement pour l'empaquetage de certaines compositions. Cette opération est faite à mains nues. Il y a exposition cutanée aux ingrédients liants du RDX (en particulier le pentaérythritol).

Le RDX/TNT est préparé au bâtiment nº 713. On y mélange du trinitrotoluène, du RDX, de la cire et de l'eau dans un malaxeur chauffé à 104ºF. Le liquide qui en résulte est déposé sur une large bande de métal où il se solidifie. La courroie de refroidissement mobile passe sous une série de hottes de ventilation. Au bout de la courroie, le solide est brisé et empaqueté. Cette opération requiert un chef-opérateur et quatre opérateurs. Ceux-ci sont exposés à la poussière et aux vapeurs du RDX/TNT. De la poussière se dépose aussi dans le système de ventilation.

Séchage et empaquetage du RDX. Le RDX/cire, préparé au bâtiment nº 708, est transporté au bâtiment nº 486A. 6 500 livres de ce produit sont chargées avec des pelles de bois sur des tamis (plateaux de séchage) où l'air chaud (160ºF) est introduit par le dessous. L'humidité de cette pièce est maintenue à 85% et le plancher est mouillé avant d'y pénétrer. Le RDX sec (ou presque) est transporté dans une pièce connexe où il est transvidé manuellement avec une pelle de bois dans un tamis et empaqueté pour expédition. L'opérateur travaillant ici est exposé à la poussière de RDX. La chaleur humide est aussi une contrainte importante.

Dans la fabrication du RDX, il est indispensable:

- de bien maîtriser le procédé, en particulier de surveiller la température des nitreurs (possibilité d'une dénitration);
- d'éviter toute poussière de RDX sec dans les ateliers, ce qui exige de garder les sols humides en permanence et une grande propreté;
- de proscrire toute présence de RDX dans les dispositifs tournants.

À l'état pur et sec, c'est un explosif très sensible aux actions mécaniques extérieures, notamment au choc et au frottement. Cette sensibilité est accrue par la présence de substances pulvérulentes dures et par une élévation de la température.

L'humidification du produit diminue fortement cette sensibilité, et il est donc recommandé de le transporter avec 15% d'eau. À l'état sec, il faut prendre de grandes précautions pour le manipuler, surtout sous forme de fines poudres qui sont particulièrement sensibles, donc très dangereuses. À cause de cette grande sensibilité, il y a évidemment nécessité de prendre de sévères dispositions partout où on le met en œuvre.

Il est beaucoup moins sensible aux étincelles électriques que d'autres explosifs du même genre. Cependant, il est sensible à l'amorce.

C. Récupération des acides usés

Il n'y a qu'un bâtiment servant à la récupération de l'acide acétique faible dans le secteur du RDX: bâtiment nº 703.

Malgré le fait qu'il existe un système de ventilation desservant les réservoirs d'acides usés, l'odeur d'acide acétique est très forte dans ce bâtiment. Il est possible que les deux opérateurs travaillant dans ce bâtiment soient exposés à des concentrations importantes de cet acide.

Les principaux risques d'exposition au RDX pour les travailleurs préposés à sa fabrication sont donnés aux tableaux nºs 3.3.15, 3.3.16, 3.3.17.

A — Tableau nº 3.3.15 — Risques associés à une exposition chronique

SECTION: **RDX** BÂTIMENT Nº	HEXAMINE	ACIDE ACÉTIQUE	ANHYDRIQUE ACÉTIQUE	NITRATE D'AMMONIUM	ACIDE NITRIQUE	VAPEURS NITREUSES	AMMONIAC	RDX	ACIDE SULFURIQUE	CYCLO-HEXANONE	ACÉTONE	TNT	CONTRAINTES THERMIQUES	PENTA-ÉRYTHRITOL			
741	2	2	2	1	2	1	–	–	–	–	–	–	1	–			
742	–	2	2	–	2	2	1	1	–	–	–	–	1	–			
704	–	2	–	–	–	–	–	1	–	–	–	–	1	–			
708	–	–	–	–	–	–	–	2	–	2	2	–	2	–			
708A	–	–	–	–	–	–	–	–	–	2	–	–	–	–			
703	–	2	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	2	–			
743	–	2	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–			
486A/486	–	–	–	–	–	–	–	2	–	1	–	–	2	–			
713	–	–	–	–	–	–	–	1	–	–	–	2	1	–			
712	–	–	–	–	–	–	–	2	–	–	–	–	–	1			

1- RISQUE MINIME / 2- RISQUE IMPORTANT / 3- RISQUE MAJEUR

B — Tableau nº 3.3.16 — Risques associés à une exposition aiguë

SECTION: **RDX** BÂTIMENT Nº	ACIDE ACÉTIQUE	ANHYDRIDE ACÉTIQUE	ACIDE NITRIQUE	VAPEURS NITREUSES	CYCLO-HEXANONE												
741	2	2	2	–	–												
742	1	2	–	2	–												
704	2	–	–	–	–												
708	–	–	–	–	2												
708A	–	–	–	–	2												
703	3	–	–	–	–												
743	1	–	–	–	–												
486A/486	–	–	–	–	–												
713	–	–	–	–	–												
712	–	–	–	–	–												

1- RISQUE MINIME / 2- RISQUE IMPORTANT / 3- RISQUE MAJEUR

C — Tableau nº 3.3.17 — Risques d'accidents

SECTION: **RDX** BÂTIMENT Nº	BRÛLURES D'ACIDE	EXPLOSIONS	FEUX	CHUTES	LOMBALGIES	CONTUSIONS											
741	2	–	–	1	2	1											
742	2	3**	3*	1	1	1											
704	2	2	–	1	1	1											
708	–	2	2	1	1	1											
708A	–	–	–	1	1	1											
703	3	–	–	1	1	1											
743	–	–	–	1	1	1											
486A/486	–	2	2	1	1	1											
713	–	2	2	1	1	1											
712	–	3**	2	1	2	1											

(*) RISQUE NON CONTRÔLÉ
(**) RISQUE CONTRÔLÉ

1- RISQUE MINIME / 2- RISQUE IMPORTANT / 3- RISQUE MAJEUR

Conclusion

La chimie des explosifs, les procédés industriels et les risques associés traités dans ce chapitre n'ont qu'un seul but: montrer les dangers reliés spécifiquement à ce genre d'industrie pour mieux protéger les travailleurs contre ces risques.

Les risques d'origine thermique, électrique, chimique ou mécanique sont particulièrement évidents dans une usine comme celle d'Expro. Un simple incendie de poubelle peut instantanément dégénérer en déflatration dû aux poussières accumulées dans les bâtiments et surtout dans des endroits inaccessibles au nettoyage conventionnel. Grâce à une bonne connaissance des produits et des réactions chimiques qui peuvent prendre place, grâce à l'implantation d'une technologie prioritairement axée sur la prévention et grâce à l'application très rigoureuse des consignes de sécurité et de l'opération des procédés, les risques peuvent finalement être minimisés.

Les risques associés à la fabrication des poudres propulsives et des explosifs sont différents de manière générale des risques associés à l'industrie chimique conventionnelle. Les poudres sont faites pour brûler à grande vitesse, les explosifs pour détoner. Cependant, ces effets de décompositions rapides ne doivent prendre place que dans des conditions voulues par l'utilisateur. L'industrie chargée de fabriquer ces produits doit bien connaître et faire savoir ces dangers pour chaque poste, chaque individu, chaque endroit de travail, afin d'éviter que la décomposition ne prenne place accidentellement. Les études de sécurité doivent tenir compte du comportement pyrotechnique des produits, c'est-à-dire de la manière dont la décomposition peut être initiée accidentellement.

La décomposition peut être déflagrante, mais elle peut être aussi due à un déséquilibre chimique lors de la fabrication. Même si ce déséquilibre ne cause pas de détonation, il peut être très dangereux à cause des gaz toxiques produits qui envahissent le milieu de travail.

Dans son volume sur l'hygiène et la sécurité dans l'industrie des explosifs, Quinchon[2] écrit ce qui suit à la page 118:

> « *Lors d'une analyse de sécurité des systèmes, les inévitables questions qui doivent être résolues ont des retombées sur la connaissance des produits, des installations et des procédés, améliorant ainsi la qualité et la productivité. C'est pourquoi, les analyses de sécurité une fois réalisées, doivent être diffusées non seulement aux personnes qui gravitent dans les milieux sécurité, mais à tous les personnels techniques concernés par ces fabrications ou ces produits.* »

Nous étudierons dans le chapitre 4 un certain nombre d'accidents survenus à Expro durant la période de 1978 à 1983, et nous tenterons d'en expliquer les causes et de proposer les moyens de les prévenir.

Bibliographie

1- « *Oxides of Nitrogen* », Environnemental Health Criteria. World Health Organization. Geneva (1977).

2- QUINCHON, J., AMIABLE, R., FONTAINE, P. « *La sécurité et l'hygiène du travail dans l'industrie des substances explosives* ». Paris, Technique et documentation, 1980.

3- CALZIA, J. « *Les substances explosives et leurs nuisances* ». Paris, Dunod, 1969.

4- MILES, F.F. « *Cellulose Nitrate: The physical chemistry of nitrocellulose, its formation and use* ». London: Oliver and Boyd, 1955.

5- QUINCHON, J. et al. « *Les poudres, propergols et explosifs* ». Tome I. « *Les explosifs* ». Paris: Technique et documentation, 1982.

6- DAVIS, T.L. « *The chemistry of powder and explosives* ». Hollywood, California, Angriff Press, 1966.

7- URBANSKI, T. « *Chemistry and technology of explosives* ». New York, Pergamon Press, 1964.

8- MEIDL, J.H., « *Explosive and toxic hazardous materials* ». London, Collier-Macmillan, Ltd, Glencoe Press, 1971.

9- BODURTHA, F.T., « *Industrial explosion prevention and protection* ». Toronto, McGraw-Hill Book Company, 1973.

Chapitre 4

L'analyse des problèmes de sécurité, d'hygiène et de santé à Expro

Les préoccupations de sécurité, d'hygiène et de santé au travail sont fondamentales dans une usine de fabrication de substances explosives. Elles sont la responsabilité collective de tous les intervenants, du conseil d'administration aux travailleurs en passant par le personnel cadre, les techniciens et les spécialistes de la santé. Une action commune, patronale-syndicale, est une condition essentielle à l'effort de prévention des maladies professionnelles et des accidents du travail. La sécurité et l'hygiène doivent être intégrées à toutes les activités, surtout dans une usine où la manipulation des produits révèle un indice de danger aussi grand. L'ingénieur chargé de la mise en place d'un procédé de fabrication doit avoir une préoccupation constante de l'hygiène du milieu et de la sécurité. Le personnel de santé doit veiller de façon continue à ce que les procédés et produits utilisés n'altèrent pas l'intégrité physique et mentale des travailleurs. Les préoccupations des uns et des autres doivent être prépondérantes à celles de la rentabilité de l'entreprise.

Sous ce chapitre de l'analyse des problèmes à Expro, la Commission a voulu traiter séparément la sécurité, l'hygiène, la santé au travail et l'organisation du travail.

4.1 Sécurité

Cette sécurité intégrée doit tout d'abord se traduire par une connaissance approfondie des procédés et des dangers s'y rattachant. On ne peut pas travailler en sécurité sur des produits que l'on ne connaît pas, sur des procédés dont on ne contrôle pas complètement les moindres détails, surtout s'ils peuvent être instables et causer des intoxications majeures.

Les risques qu'un incident ou un accident se produise représentent une évolution qualitative et quantitative d'une série de conditions pouvant se réaliser pour donner naissance à un événement néfaste. Le danger par contre représente la constatation qu'une des conditions reliées au risque existe. La sécurité consiste donc à connaître tous les risques, si possible, à les évaluer et à prendre les dispositions nécessaires pour corriger la situation aussitôt qu'un danger apparaît.

Si on étudie par exemple les risques reliés à la manipulation d'une poudre propulsive séchée, on arrive à des conditions de manipulation très strictes:

- humidité relative du milieu de travail élevée,
- conductivité adéquate des planchers et surfaces sur lesquels circulent les travailleurs (diminution des poussières qui peuvent agir comme isolant),
- contenu très bas en poussières aéroportées de façon à éliminer les mélanges explosifs dans l'air,
- mise à la terre de tous matériaux susceptibles d'agir comme condensateurs et de claquer à tout moment,
- éliminer les mouvements brusques qui peuvent causer des chocs mécaniques,
- éliminer toutes conditions où des grains de poudre peuvent éclater sous l'effet d'une force mécanique trop grande (écrasement de grains de poudre sous les roues d'un chariot),
- méthodes de travail très soignées. La vitesse d'exécution peut créer des conditions dangereuses pour une poudre sèche,
- etc.

Ces risques étant bien connus, aussitôt qu'une condition de travail existe indiquant qu'un de ces risques est apparent, ce risque devient un danger qu'il faut éliminer.

4.1.1 Problèmes de sécurité reliés à une usine d'explosifs

Il serait très fastidieux de vouloir indiquer dans ce rapport de façon exhaustive tous les risques et dangers des procédés de fabrication utilisés chez Expro. Nous essayons tout au

plus de mentionner les plus apparents; pour celà nous allons suivre le même schéma que nous avons suivi dans l'étude des procédés, à savoir:

— la manipulation des acides,
— la nitrocellulose,
— la nitroglycérine,
— la préparation des poudres en première passe,
— la finition des poudres en deuxième passe,
— et enfin, la fabrication du RDX.

A. Manipulation des acides

Les principaux problèmes de sécurité reliés à la manipulation des acides sont les suivants:

1. les brûlures,
2. les feux causés par une fuite d'acides nitrique ou sulfurique,
3. la décomposition de l'acide nitrique sous l'effet de la chaleur,
4. l'explosion de l'acide sulfurique par l'addition d'une petite quantité d'eau (l'acide sulfurique concentré est très avide d'eau et l'addition d'eau déclenche une réaction exothermique),
5. l'émission rapide d'une grande quantité de vapeurs d'acide très nocives et corrosives.

Ces conditions de danger sont créées lorsque des conduites d'acides sont corrodées; lorsque des réservoirs débordent; lors de bris de tuyauterie; au moment où par accident de l'eau est déversée dans un réservoir ou dans une conduite d'acide. Tous ces incidents peuvent conduire à des brûlures sévères et à un début d'incendie qui peut dégénérer en conflagration.

De plus, si ces acides sont des acides usés et qu'ils contiennent des résidus de NC, de NG ou de RDX, ils deviennent encore plus susceptibles d'exploser par l'effet synergique des résidus.

B. Nitration de la cellulose

Les procédés de nitration de cellulose comportent des risques très spécifiques:

— les éclaboussures d'acide,
— les brûlures à l'eau bouillante à la stabilisation,
— l'explosion des résidus cachés et asséchés de NC,
— et surtout l'émission dans l'aire de travail de grandes quantités de vapeurs nitreuses (NO_x) provenant d'une nitration incomplète ou d'une dénitration provoquée dans les nitreurs, les essoreuses et les bains encore très acides de NC.

Ces risques se transforment en danger aussitôt que les conditions et les consignes de travail ne sont pas strictement respectées.

C. Nitration de la glycérine

À la nitration de la glycérine par le procédé Biazzi, on peut identifier les risques suivants:

1. la décomposition (explosion de la NG sous l'effet du moindre choc),
2. les fuites d'acide,
3. la décomposition brusque des résidus de NG dans les acides usés,
4. la réaction inversée de la nitration si la température du réacteur n'est pas bien contrôlée,
5. la possibilité de fuite du liquide refroidissant (glycol) à l'intérieur du réacteur,

6. la neutralisation incomplète des acides résiduels dans la NG,
7. l'instabilité de la NG due à un lavage à l'eau inefficace.

Tous ces risques indiquent pour la NG un danger de déflagration et de brûlure contre lequel il faut absolument se prémunir.

D. Préparation des poudres à la première passe

Les risques d'accidents ou d'incidents, reliés à la préparation des poudres à la première passe, sont surtout des risques d'explosion:

1. Explosion (combustion ou décomposition très rapide) de la NC sous l'effet de la chaleur, du claquage d'une charge électrique (statique ou autre) d'un choc mécanique ou de la chaleur créée par frottement.
2. Explosion des vapeurs de solvants (éther-alcool) utilisés dans la préparation des pâtes. Ces explosions sont ordinairement initiées dans les conduites de récupération des solvants, là où la concentration est suffisante (1,8%) pour que le mélange air-solvant devienne explosif. La moindre source de chaleur peut provoquer une déflagration.

Connaissant ces risques il faut absolument pouvoir confiner un incident, si jamais il se produit, au lieu même où il prend source. Autrement, l'explosion risque de se propager dans tout le bâtiment et aux bâtiments adjacents.

E. Finition des poudres propulsives

Les risques associés à ce secteur de la fabrication des poudres explosives sont limités aux explosions des poudres lors de la manipulation. Ces explosions peuvent être la conséquence:

1. de feu dans les différents bâtiments,
2. de claquage de décharge d'électricité statique,
3. de choc,
4. de chaleur dégagée par frottement,
5. d'explosion de poussières de poudre.

La manipulation de ces poudres demande beaucoup de précaution surtout quand celles-ci sont asséchées à moins de 1% d'humidité et non graphitées.

F. Fabrication du RDX

La fabrication du RDX comporte des risques à peu près similaires aux risques associés à la fabrication de la NC et NG, c'est-à-dire risques:

1. de feu relié à l'utilisation des acides,
2. de brûlure sévère à l'acide sulfurique,
3. de décomposition de l'acide nitrique,
4. d'instabilité du RDX en présence d'acide, par une cristallisation trop hâtive; il y aurait alors production intensive de vapeurs nitriques et nitreuses,
5. d'explosion du RDX par chocs, par claquage d'une étincelle de charges d'électricité statique, par éclatement de grains cristallisés sous torp forte pression. Le RDX est moins sensible à la chaleur que peut l'être la nitrocellulose et la nitroglycérine. Cependant, il est très sensible aux détentes adiabatiques à cause de l'onde de choc créée au moment de la détente.

Pour diminuer ces risques et éliminer les dangers reliés aux opérations manuelles, il est nécessaire de suivre très rigoureusement les consignes indiquées à l'opération des procédés.

G. Entretien des équipements

Le secteur de l'entretien comporte plusieurs risques pour le travailleur. Parmi ces risques il est important de mentionner que le travailleur à l'entretien est exposé:

1. aux éclaboussures par les acides nitrique et sulfurique,
2. aux mini-explosions de la NC, de la NG et du RDX qui peuvent se loger dans les joints, sous les boulons et les écrous des équipements qui nécessitent de l'entretien,
3. aux explosions de NC, de NG et de RDX quand on doit utiliser des chalumeaux, des appareils de soudure à arc, des foreuses mues à l'électricité et autres appareils du genre.

La décontamination avant entretien est absolument nécessaire dans une usine où on fabrique des poudres explosives. La Commission a noté plusieurs petits incidents et accidents dus à un manque de décontamination des équipements utilisés, avant entretien.

4.1.2 Études particulières de quelques événements

Pour illustrer la nécessité de l'analyse intégrée des problèmes de sécurité, nous avons étudié les causes de quelques accidents majeurs et nous tentons de démontrer comment ils auraient pu être évités, non pas dans le but d'identifier une culpabilité, mais dans le but de prévenir la répétition de tels accidents ou incidents. Huit incidents et accidents majeurs ont été retenus:

— les décompositions rapides de la NC dans les nitreurs et essoreuses, en particulier l'incident qui a immédiatement précédé la mort de monsieur Bernier, opérateur d'essoreuse,
— le feu et l'explosion au réservoir nº 40,
— l'explosion et le feu au réservoir nº 17,
— la secousse qui a déformé une cuve de bouillage dans le bâtiment nº 310,
— le feu et l'explosion dans le bâtiment nº 160, chambre des mélangeurs,
— l'explosion et le feu du séchoir nº 280,
— le feu qui a détruit la tour de mélange nº 295,
— le feu qui a détruit la section du RDX en 1977.

A. Mises en feu (fume-off)

1. Décomposition rapide de la nitrocellulose

Lors de la nitration de la cellulose, il se produit fréquemment des émanations de vapeurs nitreuses, dues à la décomposition de la nitrocellulose avant stabilisation par noyage ou encore dû à la décomposition de l'acide nitrique sous l'effet d'une chaleur intense où lors d'une réaction chimique de l'acide nitrique avec un corps étranger qui permet l'émanation de ces vapeurs.

Ces émanations peuvent prendre place:

— dans le nitreur lui-même,
— dans l'essoreuse des acides usés,
— dans le « cou d'oie » où s'effectue un premier noyage rapide de la NC imbibée d'acide,
— dans le bac de noyage après essorage,
— dans le filtre d'acide usé après essorage.

— À la nitration

Les causes d'émanations subites et intenses de vapeurs nitreuses dans le bac de nitration sont multiples:

a) un mauvais contrôle de la température de réaction,

b) une erreur dans la séquence du mélange acide-cellulose. Il ne faut jamais ajouter l'acide à la cellulose, mais la cellulose à l'acide,

c) la présence d'un corps étranger dans la cellulose fraîche,

d) absence ou insuffisance d'agitation dans le nitreur.

Il existe beaucoup de conditions impropres qui vont freiner la nitration ou provoquer une nitration incomplète. Cependant, ces conditions ne vont pas causer une émanation dans le nitreur, mais plutôt à l'essorage qui va suivre. Ceci est vrai aussi bien en procédé continu qu'en procédé discontinu. C'est pour cette raison qu'il est dit dans un rapport émanant d'Expro que les causes d'émanation dans les nitreurs sont connues à 94%. Les mauvais gestes posés à la nitration, pour la plupart se répercutent à l'essorage.

— ***À l'essorage des acides***

La grande majorité des émanations de vapeurs nitreuses se produit à l'essorage des acides usés et 80% d'entre elles à l'essorage de la NC à très haute teneur. Il est mentionné dans un rapport interne chez Expro que seulement 15% des émanations sont élucidées, laissant entendre que beaucoup d'émanations, dont les causes restent inconnues, sont dues à des actions répréhensibles de la part des opérateurs. La Commission n'a dans ce rapport trouvé aucune cause reliée à la nitration elle-même, même si tous les traités de NC indiquent clairement les conditions de la nitration, lesquelles, si elles ne sont pas respectées, sont des causes incontestées de dénitration rapide à l'essorage.

On peut grouper les causes de « fume-off » à l'essorage en cinq catégories:

a) L'admission à l'essorage ou à la nitration de corps étrangers. Dans cette catégorie, on inclut le papier, l'eau, l'huile, le bois, la cellulose fraîche à la fin du cycle de nitration.

b) Un essorage trop poussé qui permet à la NC de déssécher dans l'essoreuse, de s'échauffer et de dénitrer rapidement à cause de l'instabilité de la NC.

c) L'admission à l'essorage d'une trop grande quantité d'humidité provenant de l'air ambiant. Cette cause est possible, mais dû à la température de la NC à l'essorage (30 à 35°C), il est difficile (au Québec) de croire qu'il puisse y avoir condensation de l'humidité de l'air admis à l'essorage.

d) Une nitration incomplète de la cellulose admise à l'essorage. Si on se réfère au procédé de nitration, une nitration incomplète au nitreur provoquera des réactions exothermiques à l'essorage et par voie de conséquence une décomposition rapide de la NC.

e) Un noyage ou un premier lavage (dans le cou d'oie) avec une trop faible quantité d'eau.

Dans la première catégorie de causes, il est clair qu'il faut s'assurer de la qualité de la cellulose et du respect des consignes à la nitration. Les quatre autres catégories sont reliées au procédé lui-même. Tant et aussi longtemps que la réaction de l'acide sur la cellulose n'a pas atteint l'optimum de nitration, il est dangereux d'essorer les acides. On remarque que les feux d'essoreuse sont à 80% des feux dans l'essorage de la NC à très haute teneur (13,5%). Ceci s'explique par le fait que la NC à haute teneur a besoin d'une plus grande quantité d'acide résiduel après essorage, donc d'un temps d'essorage plus court. Si le temps d'essorage est plus court, le temps de nitration dans le nitreur sera aussi plus court et on s'approche du temps minimal nécessaire à la nitration. Une petite variation dans le temps minimal nécessaire aura comme conséquence une nitration incomplète et une possibilité accrue de dénitration subite à l'essorage. Le temps de nitration étant plus long pour la NC pyro, il est clair que les possibilités de dénitration sont plus faibles. Tous les traités de fabrication de la NC indiquent clairement ce phénomène.

De plus, si l'opérateur à l'essorage « joue » avec le temps et les vitesses, il n'y a plus de contrôle possible et les « fume-off » apparaissent de plus en plus souvent. Les dirigeants

des industries Expro ont bien compris ce phénomène; ils ont, depuis le printemps 1983, rendu partiellement automatique le cycle d'essorage. Le cycle d'essorage ne pouvant varier, la nitration de la cellulose est par le fait même ramenée à son cycle optimum.

Quant à la quantité d'eau nécessaire au noyage de la NC imbibée d'acide, il n'y aura pas de difficulté si l'opérateur respecte le temps du cycle rattaché à cette opération. Sinon, il y a même danger d'explosion (décomposition très rapide due à la réaction exothermique d'absorption de l'eau par les acides résiduels dans la NC).

— ***À la filtration des acides usés***

Les émanations de gaz toxiques aux filtres sont provoqués:

— lors du lavage à l'eau du filtre lui-même,

— alors que de la NC demeure dans le filtre et s'assèche,

— lors d'une arrivée subite d'eau provenant d'une défectuosité à l'essorage.

Si le cou d'oie de l'essoreuse se bloque, l'eau peut déverser dans la tuyauterie d'acide usé et provoquer des conditions d'émanation au filtre. Si le système de captage du NO_2 au filtre ne peut suffire, il y aura émanation à l'extérieur des filtres.

Les émanations aux filtres sont ordinairement faibles et peu courantes. Cependant, à Expro, l'eau de lavage des filtres est pompée au bouillage par la même tuyauterie de pompage de la NC provenant du bac de noyage. Au moment où le transfert de pompage se fait, par un jeu de vannes, il y a émanation de NO_2 dans le bac de noyage, émanation qui peut se répandre dans le bâtiment de la nitration (nº 108).

2. Émanations successives qui ont eu lieu le 13 janvier 1983, deux jours avant le décès par intoxication aiguë de monsieur Michel Bernier

Jeudi, le 13 janvier 1983, vers 17 h 30, les opérateurs d'essoreuses notent la présence de vapeurs nitreuses dans l'air de leur milieu de travail. À 17 h 45, lors du quatrième essorage consécutif de l'essoreuse nº 8, on constate que le dégagement provient de la cuve de noyage de la nitrocellulose de l'essoreuse nº 8 et à 17 h 55, après avoir passé dix minutes à l'extérieur du bâtiment nº 108, les opérateurs quittent les lieux. Les nitreurs sont remplis du mélange NC acide. Au début du quart suivant, l'essoreuse nº 8 est remise en fonction pour vider les nitreurs et aucun dégagement n'apparaît à ce moment-là.

Il est à remarquer qu'entre 17 h 30 et 17 h 50, l'opérateur de l'essoreuse nº 8 a réussi à essorer quatre charges consécutives. Le temps normal de nitration pour la NC pyro est de trente minutes; durant la période de vingt minutes entre 17 h 30 et 17 h 50, quatre charges furent nitrées, ramenant le temps de nitration à vingt minutes au maximum. Le temps du cycle d'essorage (cycle complet) doit être de sept minutes trente secondes. Si on considère qu'il fut mis en preuve par l'opérateur de l'essoreuse nº 8, qu'à chaque essorage, il a passé au moins trois minutes à l'extérieur du bâtiment pour permettre le dégagement de chaque émanation et qu'il a durant ce temps arrêté l'essorage, on en conclut facilement que l'essorage n'était pas complet; par conséquent, les quantités d'acide dans la NC demeuraient beaucoup plus élevées que la normale. Il a été mis en preuve que la réaction de décomposition de la NC a pris place dans le cou d'oie de l'essoreuse dû à un écoulement d'acide. Le temps du cycle normal d'essorage de sept minutes trente secondes comprend deux minutes trente secondes de fourchage de la nitrocellulose dans le cou d'oie. La quantité d'eau qui arrive dans le cou d'oie est proportionnelle au temps de fourchage puisque la valve de contrôle est ouverte par une plate-forme sur laquelle l'opérateur monte pour effectuer le fourchage. En faisant un simple calcul arithmétique, il appert que le temps normal de l'essorage n'a pas été respecté ou que l'eau nécessaire au noyage dans le cou d'oie n'était pas suffisante. Que ce soit l'un ou l'autre, trop d'acide ou pas assez d'eau, le résultat est le même, réaction d'absorption de l'eau par l'acide dans le cou d'oie, dégagement de chaleur intense et décomposition de la NC qui s'y trouve. Si de plus, on prétend que le tuyau de rejet d'acide usé est obstrué et que l'acide usé coule dans le cou d'oie, les conditions deviennent encore plus dangereuses, mais selon la Commission, il y aurait eu début

d'explosion dans le cou d'oie. Il n'est pas nécessaire d'additionner cette condition pour provoquer une décomposition de la NC dans le cou d'oie.

La cause retenue par la Commission, pour expliquer les quatre émanations successives de vapeurs nitreuses à l'essoreuse nº 8, est l'arrivée soudaine dans le cou d'oie de cette essoreuse d'une quantité d'acide suffisante pour que, mélangé à l'eau, il se dégage assez de chaleur pour initier la décomposition de la NC fraîchement nitrée. Pour qu'il y ait des vapeurs nitreuses colorées selon la preuve, il faut qu'il y ait présence de NC, autrement les vapeurs seraient nitriques et blanches. Si le cycle d'arrivée de l'eau dans le cou d'oie est respecté, toute la NC devrait être lavée et emportée vers le bac de noyage. On sait que la décomposition de la NC prit place dans le renvoi de l'essoreuse; alors, le cycle du lavage à l'eau n'a pas été complet.

L'acide qui coule dans le cou d'oie y arrive au début du cycle d'essorage. Ou bien l'acide contient sa propre NC qui en contact avec l'eau du cou d'oie se décompose, ou bien l'acide arrive dans le cou d'oie, alors qu'il y a encore de la NC à cet endroit.

En audiences publiques, il fut impossible de démontrer que le tuyau de renvoi de l'acide usé était bloqué ou que les vannes étaient fermées ou partiellement fermées.

La Commission a constaté que le tuyau de renvoi de l'acide usé au moment où il laisse le bâtiment nº 108 pour rejoindre les filtres, a été soulevé par le gel et que la pente est négative, c'est-à-dire que cette partie de l'écoulement dans la tuyauterie agit contre la gravité de l'écoulement. Dans certaines circonstances très particulières, la quantité d'acide demeurant dans la conduite peut agir contre l'écoulement, surtout en écoulement libre et faire refouler l'acide jusqu'à l'essoreuse. De plus, le renversement de la pente du tuyau peut occasionner un blocage partiel temporaire dans la section du tuyau à plus grand diamètre là où l'écoulement se fait à une vitesse plus faible, par conséquent la turbulence est plus faible. C'est exactement le cas pour ce qui est de l'écoulement de l'essoreuse nº 8, par rapport à l'essoreuse nº 7, dans le bâtiment nº 108.

Les essoreuses nºs 7 et 8 se drainent dans la même tuyauterie. Il a été démontré que les émanations provenaient seulement de l'essoreuse nº 8. Alors, il faut trouver des conditions d'opération qui ne s'appliquent qu'à l'essoreuse nº 8. Les vannes partiellement fermées auraient causé les mêmes dégâts à l'essoreuse nº 7.

Il a été démontré en audiences que les temps d'essorage à l'essoreuse nº 8 n'ont pas été respectés. Il a été clairement indiqué que si la vitesse de rotation de l'essoreuse au début du cycle n'est pas respectée, il se crée des conditions de débalancement de l'arbre d'entraînement et que l'acide entraînant la NC peut déborder le rotor, bloquer temporairement la sortie des acides usés et faire déborder les acides dans le cou d'oie. Il a aussi été démontré que si le cycle n'est pas respecté, la NC est mal essorée et le fourchage devient très partiel, sinon inexistant. La vanne couvercle du fond de l'essoreuse se ferme mal, l'acide au début du cycle peut couler dans le cou d'oie et créer les conditions d'émanation que l'on connaît.

La cause alors retenue est une mauvaise opération de l'essoreuse

Pour obvier à ces difficultés, Expro a, depuis l'incident du 13 janvier, rendu le cycle d'essorage partiellement automatique. Il est à noter que le mode d'opération des nitreurs et essoreuses était connu, mais qu'à la connaissance discrète des autorités, il n'était pas suivi. La Commission est d'avis que ce non respect des consignes est à la base du grand nombre de « fume-off » dans le bâtiment nº 108.

B. Feux et explosion du réservoir nº 40

1. Feux

Le 22 septembre 1981, le réservoir nº 40 qui est partiellement corrodé dans sa partie supérieure laisse échapper de l'acide usé (sulfurique nitrique concentrés) et le feu prend dans la structure de bois et le plancher qui supportent le réservoir, et ceci à deux reprises à quinze minutes d'intervalle. Heureusement le feu est contrôlé et les dégâts sont minimes.

Le réservoir nº 40 reçoit l'acide usé provenant du réservoir nº 110 placé à la sortie des filtres de la nitration de la NC à très haute teneur. (13,4%N).

La décision fut prise à ce moment de garder le niveau d'acide assez bas dans le réservoir nº 40, jusqu'à son remplacement; à toute fin pratique, de n'utiliser le réservoir nº 40 qu'aux fins d'entreposer les acides usés qui ne peuvent être entreposés ailleurs. La conséquence de cette décision fait que le réservoir nº 40 a pu à certains moments être complètement vide. On sait à Expro, par expérience, que les filtres pour acides usés laissent passer un peu de NC et que celle-ci se dépose au fond des réservoirs, ou flotte en surface, dépendant du degré de nitration et de la densité du milieu acide (de 1,5 à 1,6 pour l'acide et de 1,55 à 1,65 pour le NC). La NC qui cale n'est pas dangereuse, celle qui flotte peut causer des difficultés si elle s'assèche en surface. Le phénomène est bien connu et les dirigeants de C.P.C.V. en étaient conscients.

La Commission ne tient pas à élaborer sur les causes des feux, elles sont bien connues. Elle voudrait cependant faire remarquer qu'après le premier feu, si les coulisses d'acides devaient continuer, le deuxième feu était inévitable, la structure de bois étant à ce moment humectée par l'eau qui avait servi à éteindre le premier.

2. Explosion, le 4 janvier 1982, du réservoir nº 40

Le 4 janvier 1982, ce même réservoir dans lequel on entrepose de temps à autre de l'acide usé provenant de l'essorage de la NC à très haute teneur, explose sous l'effet de la décomposition de la NC déposée au fond du réservoir.

Les dommages sont minimes, seuls la couverture du bâtiment nº 316 et le dessus du réservoir sont détruits. Le réservoir reste en partie intact et on est en mesure d'y pomper de l'acide usé de façon à contrôler la décomposition de la NC contenue dans le réservoir.

Les faits suivants sont établis:

— déjà, dans ce réservoir, des dépôts de NC à très haute teneur se sont formés,

— une décision avait été prise de garder le niveau d'acide très bas dans ce réservoir, à cause des dangers de coulisses d'acide dues à une corrosion intense du réservoir à sa partie supérieure,

— pour contrôler la décomposition de la NC, on pompe aussitôt après le début de la décomposition de la NC, 46 000 livres d'acide usé, une hauteur approximative de 28 pouces dans le réservoir,

— on sait, selon monsieur Kelly, contremaître général dans ce secteur, qu'une hauteur de 48 pouces d'acide est nécessaire pour empêcher une réaction de décomposition de la NC,

— la hauteur d'acide dans le réservoir, après y avoir pompé 28 pouces d'acide, était demeurée, à peu de chose près, à la hauteur d'acide qu'on y avait pompé; donc le réservoir nº 40 était avant pompage, à toutes fins pratiques vide,

— la fumée jaune ne peut provenir que de la réaction de la NC à l'intérieur de l'acide, car en l'absence de NC, les quelques fumées qui peuvent se produire sont blanches, la réaction est lente et elle ne dégage que peu de chaleur. M. Sylvio Côté, technicien en sécurité, a recréé les conditions dans le réservoir et a fait ces constatations qui d'ailleurs sont confirmées par des essais que la Commission a fait réaliser en laboratoire,

— à l'examen des lieux, après l'explosion, on a constaté que deux gicleurs à eau étaient brisés, au-dessus du réservoir nº 40.

Les causes possibles retenues après enquête par un comité interne chez Price Waterhouse furent les suivantes:

— réaction de décomposition de la NC qui se serait asséchée par manque de milieu acide nécessaire à sa stabilité,

— arrivée d'eau provenant d'un gicleur qui se serait brisé au-dessus du réservoir nº 40.

et on retint cette dernière comme cause probable de l'explosion.

La Commission, après étude de l'incident, en arrive à conclure ce qui suit:

1. le niveau d'acide était trop bas dans le réservoir et a permis à la NC de se décomposer lentement, cette décomposition exothermique fournissant la chaleur nécessaire pour échauffer le réservoir,
2. la chaleur du réservoir a provoqué le déclenchement du gicleur qui est situé au-dessus du réservoir,
3. l'eau du gicleur pénétra à l'intérieur du réservoir par les fissures résultant de la corrosion, activa la réaction, et la décomposition de la NC atteignit le régime de la déflagration. Le tout a sauté sans trop de dégât, la quantité de NC dans le réservoir étant trop faible pour causer une déflagration qui aurait pu détruire complètement le bâtiment nº 316.

La Commission tient à faire remarquer que les gicleurs à eau dans la section des acides ne devraient pas être déclenchés automatiquement; l'addition d'eau à l'acide peut provoquer une explosion plus dangereuse que les dégâts causés par le feu lui-même.

N.B. D'autres remarques plus générales paraissent à la fin de la section suivante traitant du réservoir nº 17.

C. Explosion du réservoir nº 17

Le 15 avril 1982, vers 13 h 15, une explosion a lieu à l'intérieur du réservoir nº 17. Le toit est arraché et il s'en suit un dégagement très intense de vapeurs nitriques et nitreuses (brunes). Durant près de trois heures, le réservoir crache cette fumée jusqu'à disparition complète de tout l'acide nitrique et de la nitrocellulose du réservoir. Il ne restera à la fin que de l'acide sulfurique très concentré.

Cette explosion, suivie d'une décomposition lente de l'acide et de la NC, n'a causé que des dégâts matériels, si on fait exception de quelques intoxications aiguës et d'un choc nerveux à un travailleur qui œuvrait à proximité du réservoir lors de l'explosion.

1) Événements qui ont précédé l'explosion du 15 avril au réservoir nº 17

a.- Le réservoir nº 17 est celui qui a remplacé le réservoir nº 40, pour l'entreposage de l'acide usé provenant de la nitration de la cellulose à très haute teneur. Le réservoir nº 40 a sauté, dans des conditions similaires, le 4 janvier 1982, trois mois avant l'explosion du réservoir nº 17.

b.- Lundi le 12 avril, vers 17 heures, on constate que la pompe qui retourne l'acide usé du réservoir nº 17 vers l'édifice nº 316, pour la préparation des mélanges d'acide, est obstruée par de la nitrocellulose. On vérifie alors le niveau d'acide dans le réservoir nº 17 et on constate un dépôt d'au moins 60 cm de NC dans le fond du réservoir. Ce dépôt est tellement dense qu'on a peine à y enfoncer une perche. Il fut mentionné aux audiences publiques qu'une forte quantité de nitrocellulose flottait à la surface de l'acide. L'épaisseur totale de l'acide et de la nitrocellulose dans le réservoir s'est avérée être de 1,2 mètre. Après déblocage de la pompe, vers 21 heures, le pompage s'est continué sans autre avatar. Le niveau d'acide continuait à baisser dans le réservoir.

c.- Mardi le 13 avril, le contremaître fait vérifier le niveau d'acide. Il fut mis en preuve que le réservoir contenait surtout de la nitrocellulose trempée d'acide. Le contremaître donna ordre d'y pomper de l'acide usé et de maintenir la hauteur d'acide à au moins 1,8 mètre. De plus, de façon à retourner la NC à la nitration et à l'essorage, il fut décidé d'installer un barbotteur à air dans le réservoir pour remettre en suspension dans l'acide la NC et de l'envoyer au bâtiment nº 316, à la préparation des acides pour la nitration. En même temps, on vérifie les filtres de l'acide usé pour constater que les filtres nºs 1 et 2 sont très endommagés et n'interceptent pas la nitrocellulose résiduelle dans les acides usés pompés au réservoir nº 17. On se rappellera que la NC à très haute teneur (13,4%N) peut caler ou flotter (50 - 50) dans le bain d'acide usé de la nitration.

d.- Mercredi le 14 avril, on a voulu déplacer le barbotteur dans le réservoir. Il était coincé dans la NC. On a eu recours à un palan pour le soulever.

e.- Jeudi le 15 avril, on constate que des vapeurs nitreuses s'échappent par le trou d'homme au sommet du réservoir. Une passerelle en bois se situe tout près du trou d'homme. Alors, il est décidé d'envoyer Monsieur Brown arroser la passerelle de peur que les vapeurs d'acide ne mettent le feu à la passerelle. Un premier arrosage est effectué à 11 h 30 et de nouveau, vers 13 heures (la Commission tient à faire remarquer que l'utilisation de l'eau en petite quantité n'est pas à conseiller pour prévenir un feu à proximité de tonnes d'acides sulfurique et nitrique concentrés).

f.- Quelques minutes après le dernier arrosage, l'explosion se produit.

g.- Le trou d'homme par lequel on a installé le barbotteur à air est recouvert d'une toile de polythène. L'installation du barbotteur rend difficile le recouvrement complet du trou d'homme. Mardi le 13 avril, il a tombé sur Valleyfield 11,2 mm de pluie. Les plis de la toile ont sans doute accumulé une certaine quantité d'eau.

h.- Le jour de l'explosion, au moment même où elle se produit, les acides usés passant par le filtre sont pompés directement dans le réservoir nº 17, dans le but de le nettoyer des fibres de NC, et de garder le niveau d'acide dans le réservoir à 1,8 mètre.

i.- Il fut mentionné, par un chef-opérateur à la nitration, lors de la visite des installations, que ce même jour quelques minutes avant l'explosion, une « bouffée » de vapeurs nitreuses est arrivée à la récupération des gaz de la nitration (bâtiment nº 130). Selon lui, cet apport soudain, qui a fait claquer l'équipement de barbottage du NO_2, venait de la section des filtres et était probablement produit par un apport d'eau dans le filtre. L'explication la plus plausible serait qu'un des cous d'oie d'essoreuse était bloqué. L'eau du lavage dans le cou d'oie, pendant l'exercice de déblocage, a déversé dans la tuyauterie d'acide vers les filtres. Si cette opération de déblocage a duré quelques minutes, l'acide très dilué du filtre fut pompé directement au réservoir nº 17. La Commission estime que le temps nécessaire pour que l'eau arrive au réservoir nº 17 est équivalent au temps qui sépare les deux événements. Au moment où le contremaître tentait de connaître la raison d'un apport soudain de NO_2, l'explosion du réservoir nº 17 eut lieu et l'attention de tout le monde fut détournée vers l'explosion. La Commission a rejoint les opérateurs des essoreuses qui n'ont ni confirmé ni infirmé cette hypothèse.

2) Réactions chimiques en présence

La nitrocellulose se décompose sous l'effet de la chaleur; une nitrocellulose légèrement humectée d'acide commence à se dénitrer à 40ºC et si cette réaction n'est pas freinée, elle s'accentue et atteint le régime de la déflagration dans un temps plus ou moins court, dépendant du confinement ou de la non dissipation de la chaleur de la réaction. En présence d'acide ou d'eau, en grande quantité, la chaleur est vite dissipée et la réaction s'arrête. Cependant, si la réaction prend place dans la nitrocellulose qui flotte en surface de l'acide, l'énergie calorifique ne pouvant se dissiper, il y aura décomposition de plus en plus rapide, jusqu'à l'explosion. Si le rapport NC/acide est faible, la décomposition de la nitrocellulose, en grande quantité, fournira l'énergie nécessaire à l'évaporation de l'acide nitrique et à la décomposition de la NC en suspens dans l'acide nitrique et le reste de la réaction mettra un certain temps à se produire.

3) Conditions de la réaction dans le réservoir nº 17

— Il a été établi que la concentration de NC dans le réservoir permettait de déduire qu'il y avait une quantité appréciable de cette nitrocellulose en surface du bain d'acide.

— Il a été établi que le réservoir s'échauffait, un contrôle de la température du réservoir a été demandé par le contremaître le mardi 13 avril.

— Il a été établi que le jour de l'explosion, des vapeurs nitreuses s'échappaient du réservoir et pouvaient provoquer le feu de la passerelle au-dessus du réservoir. C'est pourquoi on avait demandé à Monsieur Brown de surveiller et d'arroser cette dernière.

— Il a été établi lors de l'incident du réservoir nº 40, que si des vapeurs nitreuses s'échappent d'un réservoir, c'est que la NC se décompose.

— Il a été établi chimiquement que la réaction de décomposition de la NC est asymptotique à un temps qui dépend des conditions de la réaction.

— Il est scientifiquement établi que la décomposition s'accélère si la chaleur de réaction n'est pas immédiatement dissipée.

— Il est scientifiquement établi que l'addition d'eau à de la NC imbibée d'acide provoque sa décomposition de façon «*instantanée*». Les opérateurs d'essoreuses connaissent bien le phénomène. Si après un temps très court (quelques secondes), la réaction n'a pas lieu, ceci signifie que la chaleur de la réaction a été dissipée avant que la température du milieu atteigne la température de décomposition.

4) Hypothèses pouvant expliquer le début de la réaction

— L'installation d'un barbotteur à air dans le gâteau de NC déposé au fond du réservoir peut avoir incité ce dernier à flotter en surface du liquide. De plus, la quantité infime d'eau et d'huile contenue dans l'air peut avoir provoquée un échauffement très localisé dans le bain d'acide. Ce barbottage à l'air est pratique courante à Valleyfield. En Europe, la Commission a remarqué que l'agitation nécessaire dans les réservoirs d'acide se faisait en utilisant la turbulence provoquée par la circulation de l'acide même du réservoir.

— La toile de polythène placée sur le trou d'homme du réservoir peut avoir accumulé assez d'eau de pluie pour provoquer la décomposition.

— La possibilité qu'une quantité assez grande d'eau, provenant soit du cou d'oie d'une essoreuse, soit du pompage de l'eau de lavage d'un filtre, ait été pompée dans le réservoir nº 17.

— L'arrosage de la passerelle mal effectué et la possibilité qu'une petite quantité d'eau ait pénétré dans le réservoir.

— Enfin, le pompage de l'acide du réservoir nº 17, contenant une épaisseur appréciable de NC au fond, a pu créer des conditions de décomposition spontanée de la nitrocellulose imprégnée d'acide.

5) Cause retenue par la Commission

La Commission est d'avis que le barbotteur ne fut pas la cause de l'explosion, son action provoquant la turbulence aurait aidé à la dissipation de l'énergie calorifique. Il a cependant favorisé des conditions propices en permettant la flottaison de la NC.

La Commission arrive à conclusion que si l'eau est à la source de l'explosion, le temps entre l'arrivée de l'eau dans le réservoir et l'explosion aurait dû être très court, même instantané. L'explosion ne peut être attribuable à de l'eau hypothétiquement jetée dans le réservoir par le boyau d'arrosage que monsieur Brown utilisait. D'ailleurs, ce dernier a bien indiqué en audiences publiques qu'il connaît très bien les dangers d'ajouter de l'eau à l'acide sulfurique et qu'il a porté une attention particulière pour ne pas effectuer de gestes malencontreux; son témoignage est crédible.

La Commission retient comme cause probable de l'explosion, la réaction chimique normale de dénitration de la NC en surface de l'acide qui, après un certain temps, atteint le régime de décomposition rapide jusqu'à l'explosion. Il n'est pas nécessaire que de l'eau y soit ajoutée. Si de l'eau y fut ajoutée pour accélérer la réaction, elle provenait du pompage de l'acide usé à travers les filtres de la nitration, suite à des difficultés dans un des cous d'oie ou à une erreur de pompage des eaux de lavage d'un filtre.

Suite à cet incident du 15 avril 1982, la Commission recommande que les équipements du procédé soient modifiés de façon à ce que:

— la nitrocellulose moins dense soit éliminée complètement de l'acide usé, en employant un bain de flottaison conçu à cet effet (en Écosse, on a solutionné ce problème assez facilement en écumant la NC à la surface d'une cellule de flottation),
— l'acide usé ne soit jamais entreposé dans des réservoirs pour des périodes trop longues (plus de vingt-quatre heures). L'acide usé contenant de la NC doit continuellement être en mouvement turbulent de façon à empêcher les dépôts de NC,
— si de l'agitation est nécessaire, celle-ci soit faite en recirculant le médium acide et non en faisant barbotter de l'air humide contenant des particules d'huile,
— jamais un réservoir ne soit vidé de son acide s'il existe des possibilités d'un dépôt de NC.

D. Secousse qui a déformé une cuve de bouillage dans le bâtiment nº 110

Le premier décembre 1978, dans le bâtiment nº 110, une secousse ébranla la cuve à débouillir nº 153 la déformant dangereusement sous l'effet de l'énergie dissipée. Il n'y a eu aucun blessé, personne ne se trouvait à proximité de la cuve. Le bouillage de la nitrocellulose est rendu nécessaire pour assurer la stabilité du dérivé nitré. Le procédé consiste à bouillir de la NC pendant soixante heures à 97°C, de drainer l'eau, laver à l'eau froide pendant une demi-heure et à bouillir de nouveau pendant cinq à six heures, encore à 97°C.

Le soir du premier décembre 1978, la température du bain étant presque rendue à 97°C, l'opérateur vérifia la cuve nº 153, la trouva absolument normale. Il sortit du bâtiment pour vaquer à d'autres occupations et quelques minutes plus tard la secousse se fit sentir.

1) Dimensions de la cuve et fonctionnement de la cuve à débouillir

La cuve à débouillir nº 153 est un immense récipient de treize pieds de diamètre et de onze pieds de hauteur. La cuve a un double fond, lequel est perforé pour retenir la NC et laisser drainer l'eau. L'appareil de chauffage de l'eau utilise la vapeur sous pression de 40 à 50 psi. Au début du chauffage, de l'air comprimé est mélangé à la vapeur qui arrive en contact avec de l'eau froide. Au fur et à mesure que l'eau s'échauffe, l'air est raréfié et à 97°C, l'air est complètement enlevé.

L'eau chaude circulant par une tuyauterie extérieure est entraînée par la vapeur, formant injecteur, et drainée à travers la nitrocellulose en pain dans la cuve.

2) Secousse

Il arrive souvent que le pain de NC dans la cuve se soulève sous l'effet de la pression d'une bulle d'air et de vapeur formée sous le pain dans l'espace entre les doubles fonds. La technique alors consiste à ramener au fond le pain de NC, en drainant complètement le bassin pour éliminer la bulle qui s'est formée.

Dans le rapport d'enquête faite à ce moment-là par les autorités en place, on définit faussement le terme anglais « floater » employé pour identifier ce que nous venons de décrire. En effet, dans ce rapport, on donne à ce mot le sens du dictionnaire, c'est-à-dire quelques morceaux de NC qui flottent à la surface du liquide, de là tout l'imbroglio et les contorsions qu'on a fait subir aux lois de la physique pour expliquer la secousse.

Ce qui est arrivé s'explique tout simplement par la résistance que le pain de NC, dans la cuve, a offerte à se soulever sous l'effet de l'augmentation de pression. Cette résistance est due au frottement du pain sur la paroi de la cuve. L'action de pression ayant vaincu la résistance, le pain se souleva subitement et toute l'énergie fut libérée dans un temps très court. L'énergie sous forme de vapeur et d'air s'échappe à travers le pain dans l'eau de bouillage, et déforme la cuve ne trouvant pas assez d'issues pour s'échapper sans dégâts. Nous estimons à quelque 80 mille livres-force la quantité totale d'énergie libérée.

3) Dispositifs pour éviter que se forme une bulle sous le pain de NC dans les cuves à débouillir

L'échangeur de chaleur qui sert à chauffer l'eau dans les cuves est un échangeur à mélange direct, c'est-à-dire que la vapeur est amenée à barbotter directement dans l'eau.

Pour éliminer l'implosion, il faut y ajouter un coussin d'air comprimé qui va compenser pour la réduction instantanée de volume. Alors l'air et la vapeur, quand l'eau est très chaude (97 à 100°C), peuvent s'accumuler sous le gâteau de NC. Théoriquement il ne devrait pas y en avoir mais on sait que pratiquement il s'en accumule. Pour éviter qu'une trop grande quantité s'y forme, il faut « saigner » entre les deux fonds de la cuve par un dispositif approprié.

Une autre façon de chauffer l'eau serait d'utiliser un échangeur de chaleur conventionnel à convection. Cependant, le rendement calorifique de l'échangeur de chaleur en serait de beaucoup diminué.

La Commission recommande que soit étudiée la possibilité d'installer un dispositif dans l'espace entre les doubles fonds pour éliminer la formation de bulles d'air et de vapeur, parce que si jamais une autre secousse semblable se produit, et c'est toujours possible, les travailleurs à proximité des cuves, dans le bâtiment n° 110 risquent d'être ébouillantés.

E. Feu et explosion dans le bâtiment n° 162, chambre des mélangeurs

Le 16 mai 1979, dans le bâtiment n° 162, une explosion eut lieu qui entraîna la destruction complète du bâtiment et causa des dommages sérieux aux équipements. Ce bâtiment abrite les mélangeurs utilisés dans le secteur de la préparation, en première passe, des poudres à simple base. Dans ce bâtiment, on mélange, à la NC contenant beaucoup d'alcool, une quantité d'éther agissant comme solvant dans la pâte de nitrocellulose.

En 1979, les vapeurs d'éther, provenant des mélangeurs étaient récupérées au plancher du bâtiment et canalisées aux équipements de récupération de l'éther. À certains endroits dans le bâtiment, les concentrations de vapeurs d'éther devenaient très élevées et atteignaient facilement la limite explosive de 1,9%. Une courroie s'étant échauffée par frottement sur un levier de déflection, le mélange air-éther s'enflamma et par la suite la nitrocellulose. Tous les rapports d'inspection et d'enquête ont bien cerné le phénomène.

Les caractéristiques de l'éther sont les suivantes:

— Point d'éclair	45°C
— Température d'autoinflammation	160°C
— Limites d'inflammabilité: inférieure	1,9%
supérieure	36%
— Température d'ébullition à p.a.t.n.	115°C
— Densité de vapeur	2,6
— Densité du liquide	0,7
— Solubilité dans l'eau	faible

L'éther sert de point de comparaison pour évaluer les temps d'évaporation de divers liquides à grande tension de vapeur. Par exemple, l'alcool éthylique s'évapore huit fois plus lentement que l'éther. C'est ce qui explique qu'on retrouve moins de vapeurs d'alcool dans l'air de travail que de vapeurs d'éther, même si les quantités d'alcool utilisées sont élevées.

Les caractéristiques de l'alcool sont les suivantes:

— Point d'éclair	12°C
— Température d'autoinflammation	420°C
— Limites d'inflammabilité: inférieure	4,3%
supérieure	19%
— Température d'ébullition à p.a.t.n.	78°C
— Densité de vapeur	1,6
— Densité du liquide	0,8
— Solubilité dans l'eau	élevé
— Temps d'évaporation par rapport à l'éther	8

Comparant les vapeurs d'éther aux vapeurs d'alcool, on voit que les vapeurs d'éther sont beaucoup plus dangereuses du point de vue d'une explosion possible dans les canalisations de récupération.

1) Causes retenues de l'incident

La Commission adhère aux conclusions qui ont été retenues dans les divers rapports qui lui ont été présentés:

- la concentration des vapeurs d'éther avaient atteint la limite explosive inférieure,
- l'échauffement par friction d'une courroie a permis à la température de s'élever au-dessus de 160°C, là où la concentration de vapeur d'éther dépassait la limite d'inflammabilité inférieure (1,9%),
- le feu qui s'ensuivit se propagea aux débris de pâte à simple base dans le bâtiment,
- les vapeurs d'éther qui s'échappaient d'un malaxeur ouvert (ou partiellement ouvert) s'enflammèrent et le contenu du malaxeur eut tôt fait de brûler avec beaucoup de vigueur.

2) Recommandations de la commission en vue d'éliminer la répétition d'une explosion semblable

Depuis quelques mois, la compagnie Expro a modifié ses installations de récupération des vapeurs d'éther aux bâtiments nos 160 et 162. Le captage se fait maintenant à la source. Les concentrations de vapeurs pouvant atteindre des limites explosives sont à toute fin pratique éliminées du milieu de travail. Il est toujours possible d'atteindre des limites dépassant les normes admissibles relatives aux intoxications, surtout au moment où les malaxeurs sont ouverts pour vérifications et vidanges.

Quant aux possibilités d'explosion, elles sont limitées à des explosions à l'intérieur des conduits de captage et de récupération de l'éther. Si une telle explosion se produisait, elle serait transmise directement dans le malaxeur par les conduits. L'explosion qui pourrait s'en suivre causerait des dégâts et des méfaits inestimables. Pour obvier à ces possibilités d'explosion, il existe plusieurs techniques connues dont les principales sont les suivantes:

- la diminution de la concentration de gaz ou de vapeurs inflammables par la ventilation ou l'aération,
- le maintien de la concentration du mélange éther-air à l'extérieur des limites d'explosivité,
- l'inertage du mélange éther/air par l'addition d'un gaz inerte tel l'azote ou le bioxyde de carbone. Le rapport azote-air doit être supérieur à 1,2 et le rapport CO_2-air supérieur à 0,75.

Dans le cas d'Expro, la récupération de l'éther rend difficile l'application de techniques qui auraient pour but de détruire ou de changer les caractéristiques des vapeurs. Il faut alors s'en remettre au contrôle de l'explosion elle-même, si jamais elle se produit. D'abord, s'assurer que la source de chaleur qui enflammerait le mélange ne soit jamais présente et ceci par des mises à la terre, par élimination de tous les points possibles d'échauffement ou par isolement du mélange explosif des points possibles d'échauffement (les roulements à billes par exemple).

Ces précautions étant assurées, on peut par la suite penser à limiter les effets d'une explosion, si jamais elle se produit. Les techniques applicables, selon la gravité estimée d'une explosion, peuvent être classifiées de la façon suivante:

- décharge de la pression d'explosion par des évents,
- suppression des explosions par extincteurs déclenchés. Un tel dispositif est constitué d'un détecteur à délai très court ($< 0{,}01$ seconde), d'un système de projection de produits extincteurs et du produit extincteur lui-même (détecteur à ultra-violet),
- coupe-flamme qui a pour objet d'empêcher, de freiner la propagation de la flamme elle-même. Un coupe-flamme est constitué d'un matériau formant

d'étroits passages que doivent franchir les gaz enflammés et dans lesquels ils se refroidissent,

— arrête-flamme qui a pour objet de fermer, d'isoler complètement une partie de la conduite et de la ventiler par décharge de la pression des gaz de la combustion.

La Commission recommande que les conduits de vapeurs d'éther et les lieux où pourraient exister des concentrations explosives d'éther soient équipés de dispositifs qui peuvent arrêter une explosion.

F. Explosion et feu du séchoir dans le bâtiment nº 280

Le bâtiment nº 280, avant le 25 août 1980, abritait un équipement de séchage pour la poudre propulsive. Ce séchoir servait aussi bien aux poudres à simple base qu'aux poudres à double base, ainsi que le mentionnait la licence de fabrique nº F80-205.

Le matin du 26 août 1980, à 0 heure 12 minutes, un feu prend naissance sur le tamis nº 4 du séchoir. Le feu se propage à tout le bâtiment dans les secondes qui suivent. Trois travailleurs y perdent la vie et un quatrième est grièvement blessé. La description totale des événements qui ont précédé, pris place lors de l'incendie et suivi l'accident paraît au deuxième chapitre de ce rapport. Les principaux événements qu'il faut rappeler pour tenter d'établir la cause du feu sont les suivants:

— Les quatre préposés au séchoir arrivent à leur travail à 0 heure 2 minutes.

— Le feu prend vers 0 heure 12 minutes.

— Aucune préparation nécessaire à la vidange d'un séchoir ne fut respectée cette nuit-là, sauf l'ouverture des portes.

— M. Boyer avait, pendant la courte période de dix minutes, secoué et entassé approximativement 150 sacs qui avaient servi à transporter la poudre humide dans le séchoir nº 280 (sûrement aidé par ses compagnons de travail).

— M. Boyer avait, en plus de secouer les sacs, pendant la même période, eu le temps de nettoyer le plateau nº 1 et de commencer à nettoyer le plateau nº 2.

— Pendant la même période, les trois autres opérateurs avaient eu le temps de vider quatre plateaux de leur contenu (300 kg de poudre sur chaque plateau) à l'aide de grattes, dans des barils posés sur quatre chariots.

— La technique utilisée pour vider les plateaux comporte des gestes qui ne sont pas recommandables dans de telles circonstances; les opérateurs ont pris l'habitude de frapper sur les supports de la toile métallique du fond du plateau pour faire descendre la poudre vers la sortie du plateau.

— On a constaté que des revêtements en aluminium des côtés de plateau n'étaient pas mis à la terre correctement, c'est-à-dire que les joints entre les plaques n'étaient pas correctement fabriqués de sorte que les plaques et le fond du plateau ne fassent qu'un seul et même conducteur.

— Les séchoirs nºs 280, 282 et 283 servaient à sécher de la poudre à double et simple bases (la poudre à double bases contient de la NG et donc est plus sensible aux chocs).

— Le jour de l'accident, on séchait une poudre spéciale à faible enrobage (SPDN) de methyl centralite (1% au lieu de 4% pour la poudre GAU8), simple base et de la poudre ordinaire IMR-4064, à simple base aussi.

— Les témoignages ont indiqué qu'il y avait dans le conduit à air chaud sous les plateaux (plenum) des poussières fines de différentes poudres provenant des séchages précédents.

— Le fond des plateaux était composé de deux toiles métalliques dont l'une, celle du dessous, était tissée à espaces de 3/16 de pouce. La toile du dessus, amovible était perforée de trous de trente mailles au pouce (1/64 de pouce de diamètre). L'air, circulant du plenum au plateau, doit passer à travers ces deux toiles.

La poussière qui tombe dans le plenum suit le chemin inverse. Cette poussière tombe dans le plenum au moment du grattage de la poudre sur la toile supérieure.

— Les débris des chariots, après le feu, ont été retrouvés à peu près là où le témoin les avait localisés au moment du déchargement, face aux plateaux nos 2, 3, 4 et 6.

— Les plateaux nos 1 et 5 du côté est, ainsi que les plateaux nos 1 à 5 du côté ouest ont brûlé sur place. Les plateaux nos 2, 3, et 4 du côté est ont brûlé, tournés sans dessus dessous; le plateau no 3 a été projeté un peu en dehors de son emplacement normal, sans dessus dessous. Les deux plateaux no 6, est et ouest, ont été complètement projetés à l'extérieur de leur emplacement normal, mais sans tourner. Le plateau no 1 est celui qui se trouve le plus près de la soufflerie, le plateau no 6, à l'extrémité du plenum.

— Le témoignage de M. Boyer indique clairement que la flamme qu'on essayait d'éteindre montait en minces colonnes au centre du plateau no 4.

— La poudre qu'il y avait dans les récipients des chariots n'a pas explosé, puisque les chariots ont été retrouvés là où ils devaient être. L'explosion les aurait propulsés, du moins les débris auraient été retrouvés un peut partout.

— Les tests qui ont été effectués par le comité formé pour étudier les causes de l'accident indiquent bien que cet accident est dû à un feu qui se serait propagé rapidement dans la poussière; la poudre à gros grains a brûlé sur place.

— Dans son témoignage, M. Boyer dit clairement: «*Avant de voir la flamme, j'avais entendu un crépitement sous le tamis...* » (Interrogatoire du 11 septembre 1980 par les inspecteurs à l'Hôpital Saint-Luc de Montréal).

1. Causes de l'accident

La Commission a étudié tous les témoignages et rapports publiés à la suite de cet accident. Elle retient les hypothèses que le feu sur le plateau no 4 fut amorcé soit:

— par une étincelle due au claquage d'une charge d'électricité statique,

— par un choc résultant du frappement des grattes sur les supports de la toile métallique perforée.

a) Étincelle

Le claquage d'une décharge d'électricité statique peut être produit, soit par les plaques d'aluminium isolées qui entourent les plateaux, soit par la décharge des condensateurs « humains » à travers les velostats des grattes qui ne sont pas mises à la terre.

La seule flamme qu'a vu le témoin était au centre du plateau no 4 et montait de 18 à 20 pouces au-dessus du plateau. On sait qu'un condensateur, tel une plaque d'aluminium isolée, le corps humain ou des tissus, se décharge lentement et ne conserve pas les différences de potentiel susceptibles de causer le claquage. Les plaques d'aluminium entourant le plateau sont plus susceptibles de claquer ou de décharger à travers la poudre qu'elles ne le seraient complètement isolées. De plus, les velostats des grattes, en touchant les plaques, auraient causé le claquage immédiatement et les flammes auraient été aperçues près des plaques et non au centre du plateau. De plus, des flammes causées par un tel claquage auraient l'aspect d'une « boule » de feu et non d'une colonne de flammes. Pour qu'il y ait colonne de flammes, il fallait que l'air passe à travers la toile métallique provenant du feu dans le plenum. Si le feu avait été amorcé dans le plenum, M. Boyer n'aurait pas eu le temps de voir cette flamme, l'explosion aurait tout fait sauter avant qu'on puisse voir une flamme et essayer de l'éteindre. D'ailleurs, pour reproduire la flamme telle que décrite par le témoin, il a fallu faire sauter les poussières dans le plenum, mais en très petites quantités.

Le témoin, sur qui repose toute la preuve, dit aussi avoir entendu des crépitements avant de voir la flamme. Si ces crépitements sont dus à des étincelles, il faut que le claquage ait eu lieu ailleurs qu'à la surface de la toile métallique.

b) Le choc

Il fut mis en preuve que l'opération « vidange » des plateaux comportait un ensemble de gestes qui consistait à frapper fortement sur la toile pour faire descendre la poudre sur le plan incliné, surtout celle qui demeurait dans les dépressions entre les supports des toiles.

Il fut mis en preuve aussi que de la poussière s'amassait entre les toiles et leurs supports. On sait que, dans le séchoir du bâtiment nº 280, il y avait séchage de poudre à double et simple bases. On sait aussi qu'il est très difficile de nettoyer complètement « toute la poudre » après un séchage, il en reste toujours des traces. Dans le rapport des experts, formés en comité pour étudier les causes de cet accident, il est mentionné que le choc ne peut être complètement éliminé comme cause de l'accident, sans toutefois retenir cette cause. Toutes les études portent sur la sensibilité au choc de la poussière du SPDN, sans se soucier si des grains de poudre à double base ne pouvaient être logés sur les supports des toiles métalliques sur lesquelles frappaient les deux grattes des opérateurs.

Qu'arriverait-il si un grain de poudre contenant de la nitroglycérine se trouvait entre les toiles et les supports sur lesquels on frappait? Si ce grain saute, il fournit l'énergie nécessaire pour faire sauter tous les grains de poudre à simple et double bases sous les deux toiles. Les gaz passent à travers la toile du dessus, émettent un nuage de poussière, d'ailleurs accentué par les frappements subséquents qui tentent d'éteindre le feu. Ces gaz poussent les flammes en jets vers le haut. Ceci expliquerait logiquement les crépitements entendus par le témoin. Les flammes sont alors poussées aussi bien vers le haut que vers le bas, l'explosion a lieu dans le plenum, renverse les plateaux vides à l'exception du plateau nº 1 qui est attaché au mur et loin du centre de l'explosion. Le plateau nº 5 est plein, il demeure en place. Le plateau nº 6 est en voie d'être vidangé. La poussière générée dans le plenum le fait sauter, d'autant plus qu'il reçoit un double choc; il est à l'extrémité du plenum. On remarque d'ailleurs que l'extrémité du plenum a aussi été arrachée par le choc. L'extrémité du plenum nº 2 (ouest), dans lequel il n'y a pas de poussière en suspension est demeurée en place. On remarque aussi que le conduit d'amenée d'air chaud vers le plenum nº 1 (est) a été éventré entre la soufflerie et le mur du bâtiment nº 280.

2. Conclusion

La Commission doit alors conclure, sur la foi du seul témoin de l'explosion que d'abord « des crépitements » ont été entendus et qu'une flamme est apparue au centre du plateau nº 4.

Ces crépitements ne pouvaient provenir du claquage d'une décharge d'électricité statique, le témoin ne les aurait pas entendus.

La conclusion la plus plausible et qui permet de relier toutes les déclarations du seul témoin, toutes les constatations après l'accident et toutes les démonstrations de tests réalisés pour expliquer l'explosion, serait la suivante:

1- d'abord un premier grain de poudre a sauté entre les deux toiles du fond du plateau nº 4,

2- cette explosion engendra une série de détonations de grains et de poussières de poudre sur les supports des toiles,

3- les gaz de ces détonations éjectèrent les flammes à travers les ouvertures des tamis vers le haut, flammes qu'aperçut M. Boyer,

4- le battement des opérateurs sur la grille activa le feu en projetant de la poussière vers le haut sur le tamis et vers le bas dans le plenum,

5- la poussière dans le plenum prit feu et l'explosion qui s'en suivit projeta les plateaux nºs 2, 3, 4 et 6,

6- l'ouverture créée par le déplacement des plateaux permit à la poussière de se répandre dans le bâtiment nº 280,

7- cette poussière explosa à son tour et le feu se généralisa à tout bâtiment,

8- le reste de la poudre a brûlé sur place,

9- les flammes de la dernière explosion ont rejoint M. Boyer à l'extérieur du bâtiment et mirent le feu à ses vêtements.

3. Recommandations

La Commission acquiesce à toutes les recommandations du comité spécial chargé d'enquêter sur cette tragédie. Ce rapport est signé par messieurs Léo Saulnier et Jacques Benoit en date du 14 janvier 1981. En plus de ces recommandations elle tient à insister sur les points suivants:

1. que l'usage de chaque séchoir soit préférablement unique, c'est-à-dire à base simple ou à base double,
2. que le nettoyage des séchoirs après chaque usage soit confié à une équipe spécialisée, selon une procédure prédéterminée,
3. que le contremaître ait l'obligation de vérifier, avant la vidange proprement dite des plateaux, si les travaux préliminaires obligatoires à ce travail, ont bien été exécutés,
4. que le contremaître ait l'obligation de vérifier, pendant la vidange des plateaux, que le rythme et les méthodes de travail n'engendrent pas de danger pour les opérateurs des séchoirs.

G. Feu qui a détruit le bâtiment de la tour de mélange nº 295

Dans les jours qui ont précédé le 25 mai 1978, la tour nº 295 fut vidée de son contenu et la poudre empaquetée dans le bâtiment nº 297.

Le 25 mai 1978, vers 14 heures 30 minutes, un feu prit naissance très rapidement à l'extrémité du corridor reliant les deux bâtiments nºs 295 et 297, près du bâtiment nº 297. Un homme fut blessé légèrement. La tour à mélange et son corridor furent complètement détruits. Le bâtiment nº 297, fabriqué de briques, fut endommagé, une partie du toit et du mur nord ont brûlé.

Au moment de l'incident, il y avait 6 800 livres de poudre propulsive humide qu'on était à mettre dans des contenants dans le bâtiment nº 297. Ces barils de poudre furent transportés loin du foyer de l'incendie.

Après étude du dossier, la Commission a constaté les faits suivants:

1. Le feu ne peut être dû à la manipulation de la poudre; il n'y avait aucune activité dans le bâtiment nº 295 ni dans le corridor. Les équipements du bâtiment nº 297 servaient à peser les barils dans lesquels on empaquetait de la poudre humide.

2. Le bâtiment nº 295 et son corridor de 80 mètres de longueur étaient complètement fabriqués de bois et il est, à toute fin pratique, impossible de débarrasser les joints et les recoins de poussières de poudre propulsive.

3. Les installations électriques n'étaient pas du type « matériel à sécurité intrinsèque », c'est-à-dire que les fils, les contacts, les boîtes de transfert, ne sont pas anti-déflagrants. Les poussières peuvent à certains endroits se déposer sur des fils nus ou dans des boîtes à interruption manuelle.

4. Le système de gicleur automatique n'avait apparemment pas la puissance nécessaire pour freiner et arrêter un feu dans la structure de bois complètement saturée de poudre propulsive.

La cause de l'accident ne pouvant être reliée à l'utilisation des équipements de chargement de la poudre, ni à une charge d'électricité statique, ni à la foudre, ni à une flamme de chalumeau, ni au frottement d'un outil coupant dans le bois, ni à l'usage d'allumettes ou de briquet, il ne reste qu'une défectuosité du système de distribution du courant électrique à l'extrémité sud du corridor reliant la tour de mélange au bâtiment nº 297.

Une simple étincelle dans une boîte de contrôle du courant électrique suffit pour enflammer le bois imprégné et couvert de poussière de poudre propulsive. Les bruits qui ont été identifiés par les témoins interrogés lors de l'enquête interne indiquent que le feu s'est propagé à grande vitesse dans les joints des planches. Un témoin a été brûlé au visage parce qu'il se tenait à proximité du passage.

La Commission conclut donc à une défectuosité dans le système d'installation électrique, aidé par des dépôts poussiéreux dans les bâtiments faits de bois.

1. Recommandations

1- Il est recommandé que toutes les installations électriques soient révisée de manière à les rendre sécuritaires de façon « intrinsèque ».

2- Que toutes les structures de bois soient lavées de façon constante jusqu'à leur remplacement par des structures où les joints et les recoins n'existent pas, là où de la poudre sèche peut s'accumuler.

3- Qu'une attention très particulière soit portée, durant les périodes d'entretien, pour éviter tous risques dus à l'utilisation d'outils qui pourraient faire sauter les poussières accumulées dans les joints et recoins et en particulier les scies à main, les marteaux, les équipements de démolition, etc.

H. Feu qui a complètement détruit le secteur du RDX, en 1977

Le jeudi 21 avril 1977, à 10 h 45, un feu pris naissance dans une construction aérienne, un étroit couloir servant d'abri à la tuyauterie, entre les bâtiments nos 703 et 743 du secteur de la production du RDX. Le bâtiment no 703 abritait les équipements de récupération de l'acide acétique. Le bâtiment no 743 abritait les réservoirs d'acide usé.

Une série de conduites, en fer doux pour l'acide sulfurique (98%) et en aluminium pour l'acide acétique se trouvaient à l'intérieur de ce couloir. En plus, des conduits d'air comprimé et de vapeur y étaient placées. Ce tunnel reliant les deux bâtiments n'avait pas été ouvert pour inspection depuis plus de vingt ans.

Si le fer doux n'est pas attaqué par l'acide sulfurique concentré, on sait qu'il l'est par l'acide sulfurique dilué et par l'acide acétique. On sait que l'opération de production du RDX fut assez sporadique, des fermetures répétées créent des conditions qui permettent la corrosion de la tuyauterie par les vapeurs d'acide et les acides dilués.

1. Feu

Suite au premier feu dans le tunnel abritant la tuyauterie, une première explosion s'ensuivit et le feu se propagea à un grand nombre de bâtiments du secteur, accompagné de quelques explosions majeures et mineures durant toute la journée du 21 avril et jusqu'au lendemain matin. À toute fin pratique le secteur complet du RDX fut détruit.

2. Cause probable

La Commission tient à faire remarquer que si le RDX traité à la cire n'est pas sensible à une chaleur peu intense, il en est autrement du produit primaire de la réaction de nitration de l'hexamine si celui-ci se cristallise à l'intérieur du milieu acide ayant servi à la nitration. Il est à ce moment très sensible aux variations de température et détonne plus facilement. Son effet brisant est moins grand, mais il demeure très dangereux s'il est en quantité appréciable.

L'acide sulfurique concentré qui entre en contact avec le bois, l'eau, l'humidité, les papiers et autres matériaux dégage, à la réaction, une intense chaleur qui peut aller jusqu'à des flammes si la réaction est violente. Si l'acide sulfurique contient un peu d'acide nitrique et d'eau, il y a certitude de feu; il faut se rapporter à l'incident du réservoir no 40 pour voir comment une coulisse d'acide peut être à l'origine d'un feu.

Suite à tous les témoignages entendus et aux rapports de l'accident, il fut clairement établi que le feu prit naissance dans le couloir de la tuyauterie des acides près du bâtiment

nº 703, par l'action de l'acide sulfurique concentré. Le feu échauffa la tuyauterie d'aluminium contenant de l'acide acétique usé. Ces tuyaux étaient, à l'intérieur, tapissés d'une couche de RDX cristallisé; la chaleur fit détonner le RDX et le feu se généralisa.

La Commission retient comme causes du feu qui détruisit la section du RDX en 1977:

a) l'état corrodé des tuyaux servant au pompage de l'acide sulfurique concentré,

b) l'accumulation de RDX prématurément cristallisé dans la tuyauterie d'acide acétique et les rejets de nettoyage de ces tuyaux dans l'enceinte entourant la tuyauterie.

3. Recommandations

— LA COMMISSION recommande que tous les passages fermés abritant de la tuyauterie soient examinés à périodes fixes, pour y vérifier l'état de la tuyauterie.

— LA COMMISSION recommande que la tuyauterie pouvant contenir des dépôts de RDX (comme d'ailleurs de tous autres matières explosives) soit complètement nettoyée et flegmatisée à périodes fixes. Le coût de cette opération statutaire de prévention est, sans contredit, beaucoup plus économique du point de vue de la production que le coût d'un nettoyage obligatoire dû à un arrêt de la production, d'autant plus qu'il en assure la sécurité.

La Commission note que les travaux requis par les services d'inspection ont été effectués.

Conclusion générale

L'analyse et le contrôle des risques pour la sécurité des travailleurs d'Expro ne sont certainement pas chose facile. Les dirigeants actuels de l'entreprise ont fait preuve d'une volonté certaine d'encadrer leurs efforts dans les structures prévues dans la Loi sur la santé et la sécurité du travail. Il reste cependant à adopter des mesures précises, parfois rigoureuses pour y arriver. L'analyse des problèmes reliés à l'hygiène du milieu, à la santé des travailleurs et à l'organisation du travail, dans les sections qui suivent, viendra compléter l'image de la situation et permettra d'en arriver à une conclusion plus globale sur les causes des événements malheureux, les circonstances qui les ont précédés et les mesures à prendre pour en éviter la répétition.

4.2 Hygiène du milieu à Expro

Bien que l'industrie des substances explosives soit concernée au premier plan par le souci de sécurité du travail visant à prévenir les accidents, l'hygiène du travail ne doit pas être oubliée comme élément indispensable à la sécurité. L'ampleur des dangers et les conséquences néfastes tant pour l'homme que pour le matériel ont favorisé en priorité l'étude des questions de sécurité rattachées à la fabrication des explosifs. Malheureusement, les conditions de travail et la salubrité du poste de travail pouvant mener à une altération progressive de la santé des ouvriers ne semblent pas avoir fait l'objet d'une surveillance aussi sérieuse et ce, tant dans l'industrie pyrotechnique que dans l'industrie chimique en général. Le caractère insidieux des maladies professionnelles explique probablement en grande partie le retard qu'accuse l'hygiène industrielle sur la sécurité.

L'association américaine des hygiénistes industriels définit l'hygiène industrielle ainsi:

> *C'est un art et une science qui visent à reconnaître, évaluer et contrôler les agresseurs chimiques, physiques et ergonomiques qui sont susceptibles d'altérer la santé et l'intégrité physique et mentale des travailleurs exposés ou qui sont sources d'inconfort pour ceux-ci.*

De cette définition, ressortent trois termes essentiels à la prise en charge efficace des agresseurs industriels potentiellement néfastes pour la santé des travailleurs touchés,

à savoir, la reconnaissance, l'évaluation et le contrôle des facteurs de risque présents dans la place de travail.

La reconnaissance ou l'identification des facteurs ou contraintes propres au travail ou qui en résultent doit se faire en étant à l'écoute des travailleurs et en dressant un inventaire complet des dangers reliés aux machines, aux produits utilisés ou transformés et aux procédés utilisés. Il s'agit donc ici d'observer adéquatement le milieu de façon à inventorier les principaux problèmes d'hygiène industrielle. Connaissant les dangers potentiels, il faut alors procéder à leur appréciation quantitative en évaluant par divers moyens et avec l'aide de plusieurs spécialistes, autant l'intensité des facteurs nuisibles que l'atteinte physique des travailleurs. Cela consiste donc à procéder à un examen scientifique de l'environnement industriel et, si les résultats le suggèrent, il devient impérieux de faire passer aux employés visés les examens médicaux prescrits pour les effets causés par les agresseurs concernés. Enfin, l'étape de contrôle des polluants est l'aboutissement nécessaire à tout programme efficace d'hygiène industrielle. C'est aussi la plus longue à réaliser. Plusieurs types de contrôle des agents nocifs sont possibles tels, le contrôle à la source, les mesures administratives et le port d'équipement de protection individuel. Dans l'esprit de la Loi 17, l'élimination du risque à la source constitue le moyen de prévention primaire devant être privilégié dans toute la mesure du possible tenant compte de la technologie disponible et accessible.

La mise en œuvre et le suivi d'un programme d'hygiène industrielle efficace nécessitent, il va s'en dire, en plus des ressources humaines et physiques adéquates, un style d'approche et un leadership déterminant de la gérance en terme de prévention des accidents de travail et des maladies professionnelles. Il n'est pas suffisant de vouloir la prévention, il faut aussi agir, car elle peut se dérober si l'on se borne à la souhaiter.

Dans les paragraphes qui suivent, nous tenterons d'analyser, à la lumière des préceptes mentionnés ci-haut, l'effort d'hygiène industrielle accordé à l'usine d'explosifs de Valleyfield par les différents intervenants dans le domaine et surtout par les différents propriétaires impliqués durant la période couverte par le mandat de la Commission. Deux documents seront particulièrement utiles au déroulement de l'analyse; ces documents ont été préparés à la demande de la Commission par le Dr Jean-Pierre Farant de l'Université McGill et monsieur Michel Dubeau de la firme Santinel Inc. La première étude a permis l'identification des principaux facteurs de risques à l'usine en 1983 alors que la seconde a dressé un tableau chronologique de la situation environnementale de la même usine depuis 1975.

4.2.1 Développement et ressources en hygiène industrielle

Comme il a déjà été mentionné, le succès d'un programme d'hygiène industrielle dépend des ressources qu'on y consent et de la qualité de ces ressources tant personnelles que matérielles. La prévention des maladies professionnelles est le rôle du médecin du travail, mais l'ingénieur se doit aussi d'y collaborer en apportant ses connaissances techniques à la protection du personnel et à la conception de postes de travail adaptés aux capacités de l'homme. Pour mener à bien leur rôle de préventionniste, ces deux professionnels clefs doivent pouvoir bénéficier, en plus du support continu de la gérance, de personnels techniques compétents, de locaux et d'équipements de mesure et d'analyse adéquats. Le portrait ci-dessous tracé des ressources disponibles à l'usine d'explosifs de Valleyfield montre le développement chronologique des services en hygiène industrielle sous quatre différents propriétaires depuis 1975.

A. Ressources humaines

Bien que la composition des services d'hygiène industrielle sous C.I.L. jusqu'en 1977 soit quelque peu nébuleuse, il semble que la compagnie utilisait le personnel technique de son usine de Beloeil pour s'occuper des problèmes à l'usine de Valleyfield. Tant les problèmes d'hygiène du milieu que ceux relatifs à l'environnement extérieur étaient alors référés aux services environnementaux dont un chimiste d'expérience en était le

responsable. L'ampleur de certains rapports préparés par cette personne sur l'évaluation du milieu de travail démontre une bonne connaissance de la compagnie de son milieu de travail et indique qu'une expertise technique de qualité était alors présente. Cependant, la situation semble s'être détériorée au début de 1976, alors que C.I.L. a abandonné la production des poudres propulsives et, forcément, celle de la nitrocellulose et de la nitroglycérine. L'incendie dévastateur d'avril 1977 au secteur de la production du RDX a probablement accentué le désintéressement de C.I.L. pour ses installations de Valleyfield.

De novembre 1977 à janvier 1979, l'usine alors propriété de C.P.C.V., ne possédait aucun service d'hygiène industrielle. Ce n'est qu'au début de 1979 que la compagnie procède à l'engagement d'un ingénieur pour s'occuper surtout des problèmes environnementaux. Les échanges de lettres entre C.P.C.V. et le Service de protection de l'environnement (S.P.E.) indiquent nettement que C.P.C.V. est plus préoccupé par la pollution de l'environnement que par celle du milieu de travail. À la fin de 1979, deux autres personnes viennent s'ajouter au département de l'environnement, à savoir: un chimiste et un technicien de l'air et de l'eau. Ces trois personnes partagent leur temps de façon approximativement égale entre la surveillance de l'environnement et l'hygiène industrielle. L'ingénieur et le chimiste relèvent alors directement du directeur de l'usine. L'analyse de la documentation dépouillée semble indiquer que la compagnie n'a jamais eu de programme structuré d'hygiène industrielle mais que sa politique consistait surtout à répondre de façon plutôt administrative que technique aux différentes plaintes soulevées par le S.P.E., particulièrement.

La période de décembre 1980 à mars 1982 est celle de la tutelle de Price Waterhouse. Le chimiste du groupe environnemental quitte le service et n'est pas remplacé. Les services de l'environnement et de la sécurité sont restructurés et un nouveau coordonnateur en santé et sécurité est engagé à l'été 1981. L'ingénieur et le technicien du département de l'environnement relèvent dorénavant du coordonnateur nouvellement engagé.

L'année 1982 marque l'achat de l'industrie par la compagnie Expro. À l'été 1982, l'ingénieur du département d'environnement quitte la compagnie et n'est pas remplacé dans l'immédiat. Il ne reste donc au département de l'environnement qu'un technicien pour s'occuper des problèmes d'hygiène du milieu et de pollution de l'environnement. En pratique, il consacre la majorité de son temps à des problèmes de pollution des eaux.

Pour ajouter aux mouvements de personnels en santé et sécurité, mentionnons le départ du coordonnateur en santé et sécurité en mars 1983 et la retraite du médecin de l'usine au printemps 1983. En février 1983, Expro procède à la nomination d'un directeur de la prévention des accidents et maladies professionnelles qui relève du directeur de l'usine. Son mandat de courte durée est principalement de préparer le programme de prévention de l'usine pour dépôt à la Commission de la santé et de la sécurité du travail après avoir franchi les différentes étapes internes d'adoption dont celle surtout du comité paritaire de santé et sécurité. Un nouveau médecin est aussi engagé à l'usine à l'été 1983. Avec le départ du directeur des ressources humaines à l'été 1983, Expro procède à une réorganisation interne conduisant à l'abolition des postes de directeur des ressources humaines et de directeur de la prévention des accidents et maladies professionnelles. On procède alors à la création de deux nouveaux postes de chef de service, l'un en relations industrielles et l'autre en santé-sécurité. Dans ce dernier cas, un nouveau titulaire d'expérience est engagé dès le 1er août 1983 avec comme responsabilité la mise en œuvre et le suivi des programmes de prévention santé-sécurité à l'usine. Il relève du directeur général et a sous ses ordres un technicien en environnement et un technicien en sécurité. Enfin, selon le mémoire de la compagnie déposé au début des audiences publiques, au-delà d'une vingtaine de cadres comprenant superviseurs, contremaîtres, ingénieurs et techniciens occupent des postes reliés à la santé et sécurité. De plus, on a récemment ajouté à l'équipe un spécialiste en entretien préventif chargé d'établir les cédules et les méthodes pratiques d'entretien préventif à l'usine.

B. Ressources matérielles

1. Équipement d'échantillonnage

Il n'a pas été possible de confirmer l'existence, à l'usine de Valleyfield sous C.I.L., d'équipements d'échantillonnage et de mesure des agresseurs du milieu de travail, pas plus qu'un support bibliographique pour les problèmes d'hygiène industrielle. Cependant, nous sommes amenés à croire que la structure du laboratoire de C.I.L. à Beloeil rendait disponible tout un ensemble adéquat de techniques, appareils et références pour l'étude et l'analyse du milieu de travail à Valleyfield. De plus, il paraît raisonnable de penser, et certains faits le confirment, qu'une partie de l'équipement inventorié chez Expro a pu être acquise partiellement par C.I.L. et par C.P.C.V. et laissée sur place au moment du changement de propriétaire.

En tout état de cause, Expro possède actuellement une instrumentation d'échantillonnage et d'analyse qui semble satisfaisante pour une industrie de cette nature. On y retrouve l'équipement de base nécessaire à l'hygiéniste industriel pour l'échantillonnage tant personnel que général des polluants principaux relevés à l'usine (gaz, vapeur, poussières, bruit, éclairage). Différents types d'appareils sont aussi disponibles pour de l'échantillonnage instantané (tubes détecteurs colorimétriques, analyseur d'oxygène pour espaces confinés, explosimètre, sonomètre et photomètre). L'analyse des échantillons peut se faire au laboratoire de contrôle de la qualité de la compagnie lequel est pourvu de différents appareils de mesure dont une balance analytique et un chromatographe en phase gazeuse. Ce dernier facilite l'analyse des gaz et vapeurs échantillonnés par la technique très répandue d'adsorption sur milieu inerte (v.g. charbon activé, gel de silice). La compagnie a aussi fait l'acquisition d'une cabine audiométrique pour l'analyse de l'étendue de la surdité professionnelle parmi ses ouvriers.

2. Laboratoire environnemental

C'est sous C.P.C.V. en 1980 que l'on procéda à l'installation d'un laboratoire environnemental devant répondre aux besoins des activités reliées à l'air et aux eaux usées rejetés à l'extérieur et à celles reliées à la surveillance du milieu de travail. C'est dans ce laboratoire que furent mises au point les méthodes d'échantillonnage et d'analyse devant être utilisées pour les divers polluants présents à l'usine. Il semble que ce laboratoire était adéquat et répondait bien aux besoins. Pour des raisons de besoins urgents d'espace, Expro a démantelé ce laboratoire à son arrivée en 1982. L'équipement d'analyse a été relocalisé dans le laboratoire de contrôle de la qualité et l'instrumentation de mesure et d'échantillonnage a été transférée dans le bureau du technicien en environnement. En mai 1983, les instruments y étaient entassés sans ordre dans des boîtes par terre.

3. Documentation

Si l'on considère la liste des livres et références à la disposition du service santé-sécurité de l'usine et le fait qu'Expro possède les fiches toxicologiques de la C.S.S.T. et a accès aux services du D.S.C. et de la C.S.S.T., on peut pratiquement en conclure qu'une documentation technique adéquate est disponible ou facilement accessible. Plusieurs manuels de références ont trait aux méthodes d'échantillonnage et d'analyses standards de divers polluants en milieu de travail, aux données physiques, chimiques et toxicologiques de nombreuses substances et aux lois, règlements et normes relatives à la qualité du milieu de travail et de l'environnement. De plus, la bibliothèque contient une gamme intéressante de volumes techniques et de rapports d'experts traitant du contrôle de l'environnement industriel (ventilation, équipement de protection individuel, qualité de l'eau et de l'air, dangers chimiques et physiques, maladies professionnelles, etc.).

C. Analyse de la situation

1. Ressources humaines

Les différents événements qui ont entouré le développement des services d'hygiène industrielle à l'usine de Valleyfield au cours des sept dernières années n'ont certes pas

contribué à bâtir une équipe de taille et de stabilité suffisantes pour définir et réaliser les objectifs de prévention d'un programme régulier d'hygiène industrielle dans un tel milieu de travail. L'équipe n'a toujours été affectée que partiellement à l'identification et à la mesure des polluants du milieu de travail étant surtout préoccupée par les problèmes de pollution de l'eau et de l'air rejetés à l'extérieur. La taille de cette équipe est aussi déficiente aujourd'hui qu'elle l'a été sous les administrations passées. Il est difficile d'établir de façon mathématique le ratio idéal personnel en hygiène industrielle/nombre de travailleurs à l'usine. Pour établir un chiffre réaliste, il faut entre autre tenir compte de la complexité des opérations en cours, des modes de production utilisés et du niveau de risque engendré. En comparant avec d'autres industries importantes, nous croyons que l'équipe minimale souhaitable devrait comprendre trois personnes dont deux seraient strictement affectées à l'hygiène industrielle. Ces personnes devraient pouvoir se compléter par des formations et attributs différents. Ainsi, en plus du responsable du groupe, reconnu pour ses capacités administratives et ayant un accès direct à la gérance de l'usine, il faut prévoir un hygiéniste industriel pour la gestion du programme d'hygiène et un technicien pour la mesure des polluants et l'entretien de l'instrumentation. Ces spécialistes auront, bien entendu, des relations étroites avec le personnel médical et para-médical de l'usine de même qu'avec celui de la sécurité. À titre indicatif et pour fins de comparaisons, il est peut-être intéressant de noter que l'usine Bofors en Suède possède une importante équipe de 14 personnes à plein temps dont cinq ingénieurs, un médecin du travail et trois infirmières pour s'occuper des problèmes de santé et de sécurité des 2 000 ouvriers de sa division Nobel.

Le rôle de conseiller et d'expert du personnel régulier en hygiène industrielle devrait être alimenté particulièrement, par la supervision et les agents de maîtrise de l'équipe de production, d'entretien et d'ingénierie. Ce sont ces personnes qui, étant à l'écoute des travailleurs et connaissant bien les différents postes de travail en cause, pourront définir les éléments principaux des contraintes existantes ou potentielles dans leur milieu de travail. Tous les participants à l'effort d'hygiène industrielle requièrent une formation adéquate selon ce qu'on attend d'eux. Les conclusions que nous pouvons tirer tant des audiences publiques que des discussions personnelles nous amènent à dire que cet élément capital de tout programme de prévention a été, sinon complètement oublié sous les administrations précédentes, du moins passablement réduit à sa plus simple expression. Même encore aujourd'hui, bien qu'Expro considère la formation comme un élément prioritaire du programme de prévention en santé et sécurité, plusieurs étapes restent à franchir afin que les cadres et les ouvriers soient informés des conditions auxquelles ils pourraient être exposés et des mesures à prendre pour se protéger. Pour activer l'opération, il serait opportun de dégager quelques formateurs à plein temps qui travailleraient sous la direction du personnel de santé et/ou de sécurité selon les besoins identifiés. C'est justement le personnel de santé et de sécurité, aidé s'il y a lieu par des consultants extérieurs, qui sera responsable de la formation de ces formateurs au plan du contenu scientifique et objectif des cours et exercices. La compagnie a engagé au cours de l'été 1983 deux stagiaires du Collège de Jonquière pour travailler à la confection des registres des caractéristiques des postes de travail. C'est une initiative louable qui mérite d'être amplifiée. Certains collèges et universités du Québec forment des techniciens et spécialistes en hygiène et sécurité industrielles qui pourraient contribuer, pour un temps déterminé, à la reconnaissance et à l'évaluation des risques de l'usine dans le cadre des travaux académiques requis par leur institution respective pour l'obtention de leur diplôme. Tous ces travaux préliminaires pourraient constituer un excellent réservoir de données utiles au cours des stages de formation du personnel de l'usine.

2. Ressources matérielles

Au plan des ressources matérielles, il faut déplorer la disparition, sous Expro, du laboratoire environnemental qu'avait créé C.P.C.V. en 1980. Bien qu'il soit avantageux de séparer le lieu où sont préparés les instruments d'échantillonnage de celui où sont analysés les échantillons, évitant ainsi les risques de contamination, il demeure tout à fait

inadmissible que le bureau du technicien en environnement serve de laboratoire d'hygiène industrielle. Dans une industrie de cette importance, comme c'est le cas dans plusieurs autres usines de taille similaire, il serait normal d'y trouver un local convenablement aménagé et réservé à la préparation et l'entretien de l'instrumentation utilisée pour l'échantillonnage des différents polluants. Ce local devrait être assez éloigné des bâtisses de production pour éviter toute pollution possible d'un échantillon avant même son prélèvement sur les lieux visités.

D'autre part, l'équipement de base pour l'échantillonnage et l'analyse des principaux agresseurs rencontrés à l'usine est satisfaisant en qualité et nombre. Il serait cependant très approprié d'y ajouter quelques appareils à lecture directe spécifiques à certains polluants majeurs, tels l'éther et le dioxyde d'azote. Ces appareils auraient l'avantage de fonctionner en continu. Le raccordement du capteur à un enregistreur graphique donnerait l'image du comportement de ces contaminants à tout moment de la journée, de même que leur évolution. Enfin, il est possible d'y ajouter une sonnerie d'alarme qui avertirait les ouvriers au moment où une situation jugée excessive se présente. Il existe sur le marché de tels appareils tant pour les vapeurs organiques que pour le dioxyde d'azote. Dans les deux cas, il est possible de faire l'échantillonnage de plusieurs postes sur une base de partage de temps en plaçant les capteurs électro-chimiques aux endroits stratégiques voulus, l'enregistreur demeurant à l'extérieur du lieu de mesure. Ces analyseurs à canaux multiples et à lecture directe, avec ou sans enregistrement, comprennent des alarmes sonores et visuelles réglables aux points de concentration pré-établis. Des instruments portatifs, munis d'alarme sont aussi disponibles et certains, dont celui pour l'évaluation du dioxyde d'azote, peuvent être portés par l'ouvrier tout au long de sa journée de travail.

Enfin, Expro possède une bibliothèque adéquate en santé et sécurité pour répondre à ses besoins essentiels, et ses liens avec différents organismes impliqués dans le domaine lui permettent de combler les lacunes, s'il y a lieu. Le développement éventuel d'une vidéothèque pourrait constituer un élément utile à l'implantation et au suivi d'un programme solide en formation et information en santé et sécurité au travail pour les cadres et les ouvriers de l'usine.

4.2.2 Interventions en hygiène industrielle

Une revue la plus complète possible des différentes évaluations du milieu de travail qui se sont déroulées à l'usine depuis 1975 a été faite en dépouillant tous les documents recueillis auprès des principaux intervenants dans le dossier, à savoir:

- l'usine elle-même (les différents propriétaires),
- le D.S.C. de Valleyfield,
- le Service de protection de l'environnement, direction de l'Hygiène industrielle (S.P.E.),
- le bureau régional de la C.S.S.T. à Longueuil,
- les différents consultants engagés par la compagnie.

Le tableau chronologique ci-après (4.2.1) résume les informations les plus intéressantes retenues lors de l'analyse de la documentation fournie.

Nous tenterons d'apprécier dans les paragraphes suivants, l'ampleur et la nature des données répertoriées depuis 1975 en tentant d'y dégager l'effort relatif des différents dirigeants de l'usine dans la reconnaissance et l'évaluation des différents polluants de leur milieu de travail.

Bien que le mandat de la Commission ne couvre que la période de 1977 à 1982, il nous est apparu nécessaire de façon à inclure chaque propriétaire concerné, de remonter jusqu'en 1975 dans la recherche des données, puisqu'aucune évaluation ne semble avoir été faite par C.I.L. dans les derniers vingt mois précédant la vente de l'usine à C.P.C.V.

Tableau 4.2.1 Revue de la documentation pertinente à l'hygiène du milieu de travail de janvier 1975 à mai 1983

Date	Origine	Résumé de l'information
Janv. 1975	C.I.L.	Identification des principaux contaminants.
Juin 1975	C.I.L.	Évaluation des principaux contaminants.
Sept. 1975	S.P.E.	Évaluation acide nitrique et acide acétique.
Nov. 1975	C.I.L.	Projets de correction de ventilation concernant l'acide acétique et le trinitrotoluène.
Janv. 1976	C.I.L.	Évaluation de contaminants au laboratoire, à la concentration de l'acide, au RDX et à la première passe.
Nov. 1977	—	Prise de possession de l'usine par C.P.C.V.
Janv. 1978	C.P.C.V.	Demande d'autorisation de la mise en opération de la nitrocellulose (NC), nitroglycérine (NG), poudres propulsives, concentration des acides et RDX.
Fév. 1978	C.P.C.V.	Engagement à assainir le milieu de travail avant la mise en opération de chaque ligne de production.
Mai 1978	S.P.E.	Concentrations trop élevées d'éther aux bâtisses nos 160, 162, 170 et 174 et de dinitrotoluène à la bâtisse no 164.
Août 1978	C.P.C.V.	Émissions de différents polluants au RDX en bas des normes permises.
Août 1978	C.P.C.V.	Modifications au système de ventilation au RDX.
Sept. 1978	C.P.C.V.	Relation possible entre le taux de methémoglobine chez certains travailleurs et leur exposition au TNT et à la NG.
Oct. 1978	C.P.C.V.	Engagement formel du respect des normes permises.
Oct. 1978	C.P.C.V.	Octroi d'un contrat à la firme S.N.C. inc. pour l'amélioration de la ventilation aux bâtisses nos 160, 162, 170 et 174 afin de réduire les concentrations d'éther et d'alcool.
Mars 1979	S.N.C. inc.	Rapport du consultant sur les mesures à prendre pour réduire les expositions à l'éther et à l'alcool aux bâtisses nos 160, 162, 170 et 174.
Nov. 1979	S.N.C. inc.	Discussion d'une méthode d'échantillonnage de l'éther qui tient compte de l'humidité de l'air.
Nov. 1979	S.P.E.	Concentrations d'éther trop élevées aux bâtisses nos 160, 162, 170 et 174.
Déc. 1979	C.P.C.V.	Promesse de procéder à l'amélioration de la ventilation aux bâtisses nos 160, 162, 170 et 174.
Janv. 1980	C.P.C.V.	Programme de relevés de bruit dans chaque bâtisse et début d'examens audiométriques.
Mars 1980	C.P.C.V.	Échantillonnage des fumées de plomb dans l'atelier de soudure.
Déc. 1980	S.P.E.	Avis de correction concernant les concentrations d'éther aux bâtisses nos 162, 170 et 174.
Déc. 1980	—	Prise de possession de l'usine par P.W.H.
Janv. 1981	P.W.H.	Évaluation des concentrations d'éther dans les bâtisses nos 162, 170 et 174.
Juin 1981	D.S.C.	Évaluation de la contrainte thermique à la bâtisse no 275.
Juin 1981	P.W.H.	Évaluation des concentrations de nitroglycérine à la bâtisse no 920.
Sept. 1981	D.S.C.	Évaluation de la contrainte thermique à la bâtisse no 110.
Oct. 1981	C.S.S.T.	Évaluation des expositions des travailleurs à l'éther, à l'acétone et à l'alcool aux bâtisses nos 150, 160, 161, 162, 170, 173 et 174.
Janv. 1982	C.S.S.T.	Avis de correction concernant les concentrations d'éther aux bâtisses nos 160, 162, 170 et 174.
Mars 1982	—	Prise de possession de l'usine par EXPRO.
Avril 1982	C.S.S.T.	Avis de correction concernant les concentrations d'éther aux bâtisses nos 160, 162, 170 et 174.
Juin 1982	Expro	Échantillonnage de la nitroglycérine à la bâtisse no 772.
Sept. 1982	Syndicat	Intoxication de neuf (9) travailleurs à l'éther à la bâtisse no 174.
Sept. 1982	C.S.S.T.	Intensité d'éclairement aux bâtisses nos 240 et 241 ne respecte pas la norme.
Oct. 1982	Expro	Évaluation de l'éther à la bâtisse no 160 après la mise en service d'un prototype de ventilation.
Oct. 1982	C.S.S.T.	Nouvel avis de correction concernant l'éther aux bâtisses nos 160, 162, 170 et 174.
Déc. 1982	D.S.C.	Rapport général d'inspection de l'usine.
Janv. 1983	C.S.S.T.	Accident mortel à la bâtisse no 108 dû à une intoxication aux vapeurs nitreuses.
Fév. 1983	Expro	Document d'informations concernant les sources possibles d'émanations de vapeurs nitreuses à la bâtisse no 108.

Date	Origine	Résumé de l'information
Fév. 1983	C.S.S.T.	Enregistrement d'un avis d'accident concernant l'intoxication à l'éther de deux groupes de travailleurs à la bâtisse nº 174.
Fév. 1983	C.S.S.T.	Pose de scellés sur les bâtisses nºs 160, 162, 170 et 174 et exigence de mesures correctives.
Mars 1983	Expro	Rapport synthèse des évaluations des contaminants à l'usine depuis mai 1978.
Mars 1983	Expro	Présentation d'un échéancier d'évaluation de certains contaminants pour la période s'étendant d'avril 1983 à mars 1984.
Avril 1983	C.S.S.T.	Avis d'expiration des délais pour la correction du problème d'éther aux bâtisses nºs 160, 162, 170 et 174.
Avril 1983	C.S.S.T.	Échantillonnage de poussière totale aux bâtisses nºs 104 et 108.
Avril 1983	C.S.S.T.	Nouveau délai de correction du problème d'éther aux bâtisses nºs 160, 162, 170 et 174.
Avril 1983	Expro	Présentation du mémoire de la compagnie à la Commission d'enquête.
Mai 1983	C.S.S.T.	Évaluation du niveau d'éclairement aux bâtisses nºs 241 et 245.
Mai 1983	C.S.S.T.	Évaluation des poussières nuisibles et des niveaux sonores à la bâtisse nº 288.

A. Ampleur des interventions

Il est intéressant, au début de cette analyse, de fournir quelques statistiques sur l'effort d'évaluation consenti par chacun des intervenants à l'usine depuis 1975. Ainsi le tableau 4.2.2. indique le nombre de données recueillies par chacun des intervenants selon le polluant et le secteur d'activités étudiés. Globalement au-delà de mille mesures de l'environnement de travail ont été effectuées à l'usine de 1975 à 1983 selon la répartition percentile suivante:

C.I.L. : 24%
C.P.C.V. : 35%
P.W.H. : 3%
EXPRO : 11%
S.P.E. : 11%
C.S.S.T. : 16%
D.S.C. : 0% (∿)

Ces chiffres, pris de façon absolue et hors contexte, peuvent conduire à une appréciation biaisée de l'effort d'évaluation du milieu; aussi une grande prudence s'impose lors de leur utilisation. Ainsi, on serait porté à croire que C.P.C.V. a été le chef de file de l'étude des conditions du milieu de travail avec 35% des données recueillies. Cependant, on remarque, à la lecture du tableau 4.2.2 que son effort s'est particulièrement concentré sur l'évaluation du niveau de bruit dans la majorité des bâtisses de chacun des sept secteurs d'activités de l'usine. Étrangement, par ailleurs, cet agresseur, comme on le verra plus tard au moment de traiter des risques d'exposition, ne paraît pas être particulièrement important dans la majorité des postes de travail de cette industrie.

C.P.C.V. a donc probablement mal défini ses priorités d'intervention dans le milieu si on exclut l'importante étude qu'elle a confiée à la firme d'ingénieurs-conseils S.N.C. inc. en 1979 dans le but d'identifier et d'évaluer les risques d'émanations d'éther et d'alcool éthylique aux bâtisses nºs 160, 162, 170 et 174 du secteur de la première passe et de proposer des solutions appropriées. Sans vouloir minimiser l'effort de surveillance qu'a alors entrepris C.P.C.V. en commandant cette étude, force nous est d'admettre que l'action de différents intervenants d'alors, dont le S.P.E. a favorisé ce dénouement. D'ailleurs les tableaux 4.2.1 et 4.2.2 montrent bien les multiples interventions du S.P.E. dans ce dossier tant par les nombreux échantillons qu'il a pris que par les avis de correction qu'il a donnés à la compagnie concernant l'exposition souvent excessive des travailleurs à l'éther.

D'autre part, le tableau place clairement C.I.L. au premier rang pour la diversité des polluants évalués ce qui indique que la compagnie a su identifier préalablement les risques

Tableau 4.2.2 Portrait global de l'effort d'évaluation du milieu de travail par les intervenants concernés

Secteur d'activités	Facteur de risque	Nb de données recueillies							
		C.I.L.	C.P.C.V.	P.W.H.	EXPRO	S.P.E.	C.S.S.T.	D.S.C.	TOTAL
RDX	Acide acétique	33	4	–	–	5	–	–	42
	Ammoniac	3	–	–	–	–	–	–	3
	Cyclohexanone	3	–	–	–	–	5	–	8
	Trinitrotoluène	14	–	–	–	–	–	–	14
	Vapeurs nitreuses	2	–	–	–	2	–	–	4
	Bruit	–	31	–	–	12	–	–	43
ACIDES	Vapeurs nitreuses	1	6	–	–	–	–	–	7
	Bruit	–	19	–	–	7	–	–	26
NITROCELLULOSE	Acide nitrique	–	–	2	7	–	–	–	9
	Poussière totale (cellulose)	3	–	–	30	–	2	–	35
	Poussière respirable (cellulose)	–	–	–	–	–	1	–	1
	Vapeurs nitreuses	1	–	–	–	–	–	–	1
	Bruit	–	52	–	–	14	–	–	66
	Contraintes thermiques	2	–	–	–	–	–	–	2
NITROGLYCÉRINE	Acétone	2	–	–	–	–	–	–	2
	Nitroglycérine	9	–	–	–	–	6	–	15
	Bruit	–	9	–	–	–	–	–	9
PREMIÈRE PASSE	Acétone	17	3	–	21	–	10	–	51
	Alcool éthylique	50	14	–	–	8	8	–	80
	Benzène	4	–	–	3	–	–	–	7
	Dinitrotoluène	4	–	–	–	–	–	–	4
	Éther éthylique	32	65	8	18	46	27	–	196
	Nitroglycérine	18	9	–	12	–	–	–	39
	Plomb	3	–	–	–	–	–	–	3
	Poussière totale	–	–	1	2	–	–	–	3
	Bruit	–	38	–	–	3	–	–	41
DEUXIÈME PASSE (finition)	Acétone	–	–	–	2	–	–	–	2
	Nitroglycérine	–	3	18	12	3	–	–	36
	Poussière totale	7	4	3	2	–	3	–	19
	Bruit	–	39	–	–	–	–	–	39
	Contraintes thermiques	–	–	–	–	–	–	4	4
	Éclairement	–	–	–	–	–	105	–	105
ANNEXES ET SERVICES	Chlorure de méthylène	8	–	–	–	–	–	–	8
	Mercure	4	–	–	–	–	–	–	4
	Monoxyde de carbone	11	–	–	–	–	–	–	11
	Plomb	7	4	–	–	8	–	–	19
	Tétrachlorure de carbone	4	–	–	–	–	–	–	4
	Trichloroéthylène	6	–	–	–	–	–	–	6
	Bruit	1	57	–	–	11	–	–	69

possiblement présents dans chacun des départements de l'usine. D'ailleurs, dans toute la documentation dépouillée, C.I.L. est le seul intervenant qui, déjà en 1975, avait établi une liste des contaminants principaux et des bâtisses impliquées où une vérification approfondie était nécessaire. Malheureusement, des raisons administratives et économiques l'ont amené à se désintéresser de ses installations de Valleyfield dès 1976 sans redresser au préalable la situation environnementale.

Le peu d'interventions en hygiène industrielle imputables à P.W.H. correspond, sans pour autant l'approuver, au mandat prioritaire que le gestionnaire a reçu du fiduciaire, à savoir, faire tourner l'usine et chercher un acheteur éventuel.

L'implication à ce jour d'Expro dans l'évaluation de son milieu de travail telle qu'indiquée par le portrait global de l'effort consenti se situe passablement bien dans l'axe des priorités qui avaient été dégagées par les propriétaires précédents d'une part, et d'autre part, par une action répétée du bureau régional de la C.S.S.T. à Longueuil et du Syndicat national des produits chimiques de Valleyfield (C.S.N.) à propos de certains dossiers importants dont celui des concentrations chroniques et aiguës d'éther aux mélangeurs, aux presses et aux couteaux du département de la première passe. Dans ce cas, la C.S.S.T. s'est manifestée à six occasions différentes depuis avril 1982 par des évaluations du milieu de travail concerné et par des avis de correction adressés à la compagnie. Comme nous le verrons plus tard, l'assainissement de ce secteur semble être en bonne voie d'être complètement réalisé, particulièrement par l'ajout d'une ventilation à la source sur les principaux équipements de production fautifs. Cependant, sans être moralisateur, il est déplorable de constater, tout au long de ce dossier complexe, une attitude aussi laxiste des différents dirigeants de l'entreprise et des inspecteurs du travail qui ont mis plus de huit ans à régler cet épineux problème susceptible de mettre en danger la santé des travailleurs impliqués.

Enfin, selon les renseignements fournis, le seul autre élément nouveau digne de mention, dont s'est occupé Expro depuis son arrivée est l'évaluation du niveau de poussière totale de cellulose aux bâtisses nos 108 et 128 du département de la nitrocellulose. Dans le cas de la bâtisse no 128 où la pulpe est déchiquetée, les concentrations importantes de poussière constatées ont été réduites à un niveau acceptable par l'installation d'une hotte de ventilation au poste de travail de l'opérateur qui prépare les barils de flocons de cellulose à nitrer.

B. Nature des interventions

Il s'agit ici d'analyser les lignes directrices suivies dans l'évaluation du milieu de travail et la stratégie d'échantillonnage choisie par les intervenants au dossier, à la lumière des règles de l'art qui prévalent habituellement en hygiène industrielle. Une appréciation objective des méthodes d'échantillonnage et d'analyse utilisées est aussi présentée.

1. Historique

Comme nous l'avons déjà dit, seul C.I.L. a établi en 1975 une liste prioritaire de contaminants susceptibles d'être retrouvés dans les postes de travail et l'ambiance générale d'un certain nombre de bâtisses de production. Déjà, il apparaissait clairement que l'acide acétique, le benzène, l'éther éthylique, le dinitrotoluène, les fumées de plomb, l'acide nitrique, le dioxyde d'azote, la nitroglycérine et le trinitrotoluène présentaient des risques possibles pour les travailleurs exposés dans les bâtisses où ces substances sont présentes. Par ce travail d'identification des agresseurs chimiques potentiels et la recommandation d'évaluer ces derniers périodiquement, la compagnie a fait preuve d'une connaissance du déroulement normal des étapes d'un programme d'hygiène industrielle.

Aucun autre propriétaire n'a franchi cette première étape. Au contraire, la documentation dépouillée révèle que c'est le département de santé communautaire de Valleyfield qui a procédé, en décembre 1982, à l'établissement d'une fiche d'analyse des agents agresseurs par zone de travail à l'usine. Le rapport systématique et complet que le D.S.C. a alors produit ne contient cependant pas de mesures environnementales, et l'analyse

des risques se fonde sur une appréciation subjective du milieu visité. Pour véritablement prendre en charge, de façon responsable, la santé et la sécurité de ses salariés, la compagnie elle-même devra procéder à l'identification des risques inhérents à ses procédés et machines. Il faut devancer l'intervention de l'inspectorat et des organismes extérieurs par une attitude agressive conduisant à l'action préventive plutôt qu'à la correction imposée comme cela a été trop souvent le cas dans cette usine. En toute objectivité nous nous devons de dire, par ailleurs, à la décharge d'Expro, que la compagnie a amorcé, dès sa prise de possession de l'usine en 1982, une étude sur les conditions de sécurité et de productivité sous la conduite d'un consultant expert de la société Nec-Nobel Explosives Company, en Écosse. De plus, après certaines tergiversations pénibles au niveau de son personnel-cadre en santé et sécurité du travail, elle a embauché en août 1983 une personne ayant plusieurs années d'expérience à la direction d'un service comparable dans une industrie chimique de la région de Valleyfield. Les discussions que les membres de la Commission ont tenues avec ce nouveau chef de service en santé et sécurité du travail permettent d'envisager un avenir meilleur quant à l'établissement et au suivi d'un programme de surveillance du milieu de travail.

2. Stratégie d'échantillonnage

Avant d'entreprendre l'analyse de la synthèse des données environnementales recueillies, il est utile de comprendre la stratégie d'échantillonnage qui semble avoir prévalu à l'usine au fil des années couvertes par l'étude. L'ensemble des rapports consultés indiquent assez clairement que très peu d'échantillons sont représentatifs d'une mesure d'exposition des travailleurs. En étant très large sur l'interprétation des approches utilisées par les différents intervenants, on peut estimer qu'au maximum, 25% des données recueillies reflètent le niveau de concentration du contaminant très près du travailleur ou dans la zone respiratoire de celui-ci et à ce titre, peuvent être considérées comme des mesures d'exposition personnelle. Cependant, comme la plupart de ces expositions mesurées se réfèrent à des périodes d'échantillonnage relativement courtes, de une minute à trente-cinq minutes, et que les échantillons ont été pris, dans la majorité des cas, au point d'une opération ou dans l'ambiance générale de travail plutôt que sur le travailleur lui-même, leur extrapolation en moyenne pondérée sur huit heures de travail doit être considérée avec la plus grande prudence. Sans diminuer l'importance de la pollution créée par certaines opérations, il faut se rappeler que ce qui importe au plus haut point, c'est la dose reçue par le travailleur au cours de sa journée régulière de travail pour une exposition chronique ou la valeur maximale atteinte sur une courte période de temps pour une exposition aiguë. Les normes relatives à la qualité du milieu de travail au Québec sont ainsi faites, ce qui permet de distinguer une situation à risque d'une situation dangereuse pour la santé du travailleur impliqué.

La difficulté d'interprétation des données recueillies découle d'une stratégie d'échantillonnage confuse qui ne précise pas clairement les objectifs spécifiques poursuivis. Par exemple, il peut être suffisant de prendre deux échantillons instantanés pour évaluer l'efficacité d'un système de ventilation nouvellement installé ou de s'en remettre à un réseau de postes d'échantillonnage fixes pour déterminer les sources de contaminants. Par ailleurs, plusieurs échantillons couvrant toute la période de travail et pris dans la zone respiratoire du travailleur sont nécessaires pour prédire les effets d'une exposition à un ou plusieurs contaminants. Il est très difficile de transposer les résultats obtenus par échantillonnage statique (ambiance générale ou poste particulier) à l'exposition réelle d'un travailleur, surtout si celui-ci se déplace beaucoup durant la journée. D'autres techniques permettent aussi de décider le plus objectivement possible du nombre de travailleurs à évaluer, de la période couverte par l'échantillonnage, du type d'échantillons nécessaires, de leur durée respective et de leur nombre de sorte qu'il soit possible de recueillir le maximum d'informations sur le niveau d'exposition chronique ou aiguë des travailleurs avec le minimum de contraintes de temps d'échantillonnage, de disponibilité des ressources affectées à l'opération et de coûts afférents pour la compagnie. Une stratégie efficace de surveillance du milieu de travail nécessite aussi la participation

volontaire des travailleurs. Dans plusieurs cas, il est nécessaire pour documenter une exposition personnelle en la comparant aux normes établies, de placer le train d'échantillonnage sur le travailleur lui-même qui doit porter l'équipement tout au long de sa journée de travail. Le succès de l'opération dépend fortement de la collaboration du travailleur qui devra adopter une attitude franche et objective tout au long de l'essai. Cette attitude de franche collaboration et de confiance mutuelle entre la compagnie et ses travailleurs peut se cultiver au cours de séances d'explication du but poursuivi et de formation du personnel et en rendant disponibles aux travailleurs les résultats de l'investigation. C'est la base du principe d'échange et de participation des principaux intéressés au développement harmonieux d'un programme d'hygiène industrielle à l'usine. Il faut modifier les attitudes développées au fil des ans pour en arriver à travailler les uns avec les autres plutôt que les uns contre les autres.

Un programme d'échantillonnage doit être conçu pour fournir l'information désirée et la stratégie utilisée doit être appropriée à l'objectif poursuivi. Dans le cadre de l'usine de Valleyfield, nous avons particulièrement constaté une absence de stratégie à long terme au profit d'actions, souvent spontanées, commandées par une situation de crise et déclenchées soit par les pressions des travailleurs eux-mêmes soit par celles des organismes réglementaires d'inspection, tels la C.S.S.T. ou le S.P.E. qui ont précédé. De telles situations urgentes cadrent difficilement avec le déroulement méthodique d'une stratégie d'échantillonnage efficace normalement requise pour documenter adéquatement un problème potentiel d'hygiène du milieu. Néanmoins, un fait positif doit être mentionné à ce moment-ci; il s'agit de l'établissement d'un échéancier d'évaluation de certains polluants pour la période d'avril 1983 à mars 1984 élaboré par le technicien en hygiène industrielle d'Expro. Bien que très peu détaillé, cet échéancier permet d'envisager une certaine planification des interventions en hygiène industrielle dans l'avenir à cette usine. Cette note encourageante ajoutée au développement graduel d'une équipe suffisante et compétente en hygiène du milieu attestent d'une certaine volonté de la compagnie d'exercer à moyen terme une surveillance plus étroite de son milieu de travail pour le mieux-être des travailleurs.

3. Méthodes d'échantillonnage et d'analyse

Selon les rapports consultés, la plupart des méthodes d'échantillonnage et d'analyse utilisées pour mesurer les concentrations des divers polluants répertoriés à l'usine depuis 1975, correspondent au plan strictement technique, aux méthodes décrites dans les références officielles. Cela contribue, il va s'en dire, à valider les résultats bruts obtenus sans pour autant permettre leur extrapolation au-delà du contexte qu'ils décrivent. Depuis 1979, les différents intervenants se sont attachés à conformiser les méthodes d'échantillonnage et d'analyse utilisées ou à trouver des facteurs de corrélation entre deux méthodes différentes proposées pour évaluer un polluant spécifique. Cette action est essentielle de façon à pouvoir comparer les résultats obtenus par deux sources différentes. À titre d'exemple, mentionnons que, suite à une étude comparative effectuée par C.P.C.V. et le S.P.E., il a été possible d'avancer que la méthode d'évaluation de l'éther éthylique par barbotteur (méthode C.P.C.V., C.I.L.) sous-évaluait les concentrations réelles par un facteur de 2.2 comparé aux résultats obtenus par la méthode du charbon activé (méthode S.P.E., C.S.S.T.). Il reste encore un certain travail à effectuer pour assurer la précision et l'adéquation des méthodes employées. A ce titre, il est utile de rappeler l'importance du choix approprié des instruments de captage et d'analyse et de leur étalonnage (pompe, débitmètre, limites de détection, interférences, efficacité d'adsorption ou d'absorption de la substance sur le milieu de capture, température et pression ambiantes, etc.). L'étape préparatoire à l'étude du milieu de travail ajoutée à la conduite de l'étude elle-même et à l'interprétation des résultats obtenus peuvent facilement justifier la création d'une équipe compétente en hygiène industrielle.

Un nombre important d'échantillons sont prélevés et analysés dans cette usine en utilisant la méthode rapide du tube colorimétrique attaché à une pompe à soufflet qu'il faut comprimer un nombre variable de fois selon le gaz étudié avant de repérer le niveau de la démarcation colorée sur le tube de verre gradué. La concentration ambiante

exprimée en ppm (parties par million) est directement lue sur le tube. Un tel équipement ne permet généralement qu'une lecture instantanée de la concentration immédiatement présente au lieu d'échantillonnage et encore plus, dans les meilleures conditions d'usage, la précision du résultat obtenu avec des tubes certifiés ne dépasse guère ± 25% de la concentration réelle du contaminant. Il est donc irréaliste de tirer une conclusion rapide quant à l'exposition moyenne des travailleurs à partir de quelques échantillons analysés par tube colorimétrique. Au mieux, la méthode nous renseigne sur le niveau approximatif de la concentration du gaz ou de la vapeur à un endroit donné de la bâtisse ou du poste de travail sur une petite fraction de la période normale de travail. Dans le cas où la valeur excède une limite permise, il est sage de procéder à une évaluation plus approfondie de la situation en utilisant une méthode d'échantillonnage plus précise et conforme aux méthodes officielles reconnues. Chez Expro, on procède encore à l'évaluation des niveaux d'éther dans les bâtisses nos 160, 162, 170 et 174 par tube colorimétrique quatre fois par jour soit, deux échantillons le matin et deux échantillons l'après-midi. L'opérateur affecté à cette tâche a malheureusement suivi pendant près d'une année un mode opératoire discutable en ce qui concerne la validité et l'interprétation des résultats obtenus. En effet, la coloration du tube à chaque échantillon était le résultat de l'ensemble des coups de pompe recommandés pour l'éther pris à différents endroits dans les bâtisses investiguées plutôt qu'être représentative d'une situation particulière d'un poste fixe de travail ou d'ambiance générale en un point donné du secteur. Cette pratique, qui a maintenant été modifiée pour correspondre aux règles généralement acceptées en échantillonnage de l'air, illustre jusqu'à un certain point, le besoin d'expertise et de formation requis par le personnel affecté à l'hygiène industrielle afin qu'il soit en mesure d'établir des modes d'échantillonnage et d'analyse appropriés et fiables.

Enfin, il est opportun, en concluant cette section, de faire la lumière sur l'usage d'un explosimètre dans le secteur de la première passe pour la mesure du niveau ambiant d'éther. Certaines déclarations semblaient indiquer que la compagnie utilisait cet appareil pour vérifier si la concentration d'éther dépassait ou non les normes d'exposition permises par le règlement relatif à la qualité du milieu de travail. La vérité est toute autre selon la preuve faite en audiences publiques. En effet, l'usage de l'explosimètre s'est toujours situé dans un cadre de sécurité-incendie et non d'hygiène du milieu de travail. Le principe de l'explosimètre est de provoquer l'oxydation catalytique d'un gaz ou d'une vapeur et de mesurer l'échauffement produit. Cette réaction se fait sur un filament de platine chauffé par un courant électrique constituant l'une des branches d'un pont de Wheatstone. La résistance du filament variant avec l'échauffement produit par la combustion catalytique, le pont de Wheatstone est déséquilibré et le courant qui y passe, fonction de la quantité de chaleur produite, est lu sur le galvanomètre (cadran de l'appareil). L'échelle du cadran est graduée en pourcentage de la concentration LIE (Limite inférieure d'explosivité du gaz). Pour l'éther, la valeur LIE retenue par la compagnie était d'environ 1,8% soit 18 000 ppm. Or, avant l'introduction des pompes et tubes Dräger au printemps 1983 pour mesurer la concentration de l'éther à la première passe, l'opérateur affecté à cette tâche se servait de l'explosimètre et devait aviser le contremaître du département chaque fois que la lecture sur l'appareil dépassait 4%, soit une concentration équivalente à 4% de 1,8% ou 4% de 18 000 ppm ou 720 ppm. Cette valeur limite de 720 ppm était nettement acceptable pour assurer une protection suffisante contre le danger d'incendie ou d'explosion. Par contre, la même valeur était au-dessus des valeurs limites d'exposition moyenne ou maximum permises de 400 ppm et 500 ppm respectivement pour l'éther. Puisque avant le printemps 1983 aucun autre appareil outre l'explosimètre servait pour mesurer la concentration de l'éther et que le seuil limite d'alarme se situait au-delà des normes d'hygiène permises, le syndicat a cru que la compagnie exposait délibérément les employés impliqués en adoptant une limite critique trop élevée par rapport aux normes connues, alors que la compagnie effectuait les tests dans un but unique de protection-incendie.

Il serait plus juste, selon les témoignages entendus et la preuve faite en audiences publiques, de conclure qu'avant le printemps 1983, aucune mesure régulière de la

concentration d'éther dans certaines bâtisses de la première passe n'était effectuée dans un but de protection de la santé des travailleurs qui y séjournaient. L'intérêt de la compagnie était plutôt alors d'éviter que des concentrations dangereuses d'éther s'établissent à ces endroits et puissent conduire à un incendie dévastateur.

La confusion créée dans le cas de la mesure des concentrations d'éther à la première passe amplifie la situation précaire dans laquelle s'est trop longtemps trouvée l'usine au plan de la protection de la santé de ses travailleurs et appelle à un besoin urgent de redressement que semble vouloir effectuer les nouveaux propriétaires.

4.2.3 Analyse des risques d'exposition

Toutes les données métrologiques utilisées dans les tableaux, figures et discussions qui suivent ont été tirées du dépouillement de la documentation recueillie auprès des nombreux intervenants à l'usine de Valleyfield depuis 1975 jusqu'à 1983; cela comprend tant les organismes extérieurs que les différents propriétaires qui se sont succédés depuis 1975. Notre but vise essentiellement à dégager certaines tendances relatives à l'évolution de la pollution du milieu de travail et aux risques prioritaires associés et à analyser l'effort d'évaluation et de contrôle consenti par l'usine pour protéger la santé de ses travailleurs.

A. Présentation des données environnementales

Pour en arriver à produire une approximation des expositions possibles des travailleurs à l'un ou l'autre des contaminants évalués dans chacune des principales bâtisses de production de l'usine, nous avons dû faire une synthèse de quelque mille données recueillies depuis 1975. En réalité cette synthèse fournit, par secteur d'activités et par bâtisse, une tendance centrale de la concentration de chaque facteur de risque évalué au fil des années depuis 1975 plutôt qu'une véritable mesure d'exposition. Due à l'inconstance des méthodes d'échantillonnage et d'analyse utilisées et des coordonnées spacio-temporelles des données brutes recueillies, la synthèse proposée ne peut qu'être relative et doit être utilisée avec réserve et circonspection. Parmi les problèmes majeurs qui rendent la synthèse proposée quelque peu fragile, mentionnons, en plus de ceux indiqués plus haut, le fait que:

— la plupart des données fournies sont des mesures de concentration ambiante prises sur des périodes de temps relativement courtes,
— certaines d'entre elles réfèrent à une moyenne de trois échantillons instantannés pris à trois endroits différents de la place de travail. Par exemple, le bruit a été mesuré à la porte du bâtiment, à l'endroit le plus bruyant et au centre du bâtiment dans la majorité des cas,
— relativement peu d'échantillons ont été prélevés dans la zone respiratoire immédiate des travailleurs et ceux qui l'ont été ne couvrent qu'une infime fraction de la période régulière de travail,
— la stratégie d'échantillonnage suivie par les différents intervenants rend difficile, sinon impossible, l'extrapolation des concentrations obtenues en mesures d'exposition moyenne pondérée sur huit heures ou d'exposition maximale sur quinze minutes. En conséquence, la comparaison des mesures avec les valeurs limites d'exposition réglementaires, VLE_{8h} ou $VLE_{15\ min}$ est sujette à discussion et doit être faite avec toutes les précautions nécessaires.

1. Données métrologiques globalisées par secteur d'activités

Conscients des réserves ci-haut mentionnées, nous avons néanmoins procédé à l'analyse des données environnementales en considérant qu'elles représentaient des concentrations auxquelles ont pu être exposés les travailleurs ou encore, des concentrations représentatives des conditions du milieu de travail. Le fait que les concentrations ont été mesurées dans l'environnement immédiat des travailleurs atténue quelque peu le problème « mesure-exposition vs mesure-concentration ». Malgré tout, nous estimons que les valeurs obtenues surévaluent le risque réel encouru par les travailleurs dans la majorité

des cas. En effet, beaucoup d'échantillons ont été pris au cours de la phase critique d'une opération durant laquelle un contaminant pouvait être massivement dégagé dans la place de travail sur une période de temps relativement courte par rapport à l'opération globale. Les concentrations élevées alors enregistrées en relation avec ces courtes opérations ont certainement contribué à augmenter la moyenne générale du milieu ambiant dans une proportion trop importante par rapport aux concentrations obtenues en opération normale. En d'autres termes, il est incorrect d'accorder le même poids aux concentrations obtenues lors d'opérations dont l'ampleur du risque est très différente, au moment de calculer une mesure d'exposition moyenne des travailleurs impliqués. Une façon statistique d'atténuer le problème est de calculer la médiane des concentrations plutôt que la moyenne, comme nous l'expliquerons lors de l'étude des tableaux des données globalisées par secteur présentés ci-après.

Cependant, les valeurs astronomiques obtenues à certaines occasions, comme dans le cas de l'éther à la première passe où des concentrations de 4 à 60 fois la VLE_{8h} ont été enregistrées, indiquent, sans l'ombre d'un doute, un problème urgent à corriger, même si elles surévaluent l'exposition réelle des travailleurs impliqués. D'autres cas limites sont plus difficiles à interpréter et peuvent tout aussi bien surévaluer ou, dans des situations moins nombreuses, sous-évaluer l'exposition réelle des travailleurs.

C'est donc en tenant compte des difficultés attribuables à une stratégie d'échantillonnage confuse et déficiente que nous présentons, dans les tableaux ci-après les données métrologiques qui en découlent.

Les tableaux élaborés par secteur d'activités sont au nombre de sept, à savoir:

Tableau 4.2.3 : Secteur RDX
" 4.2.4 : " Récupération des acides
" 4.2.5 : " Nitrocellulose
" 4.2.6 : " Nitroglycérine
" 4.2.7 : " Première passe
" 4.2.8 : " Deuxième passe (finition)
" 4.2.9 : " Annexes et Services.

Les données suivantes sont fournies pour chaque secteur d'activités:

— le facteur de risque évalué (chimique ou physique),

— le numéro d'identification du bâtiment,

— le nombre de données disponibles pour la période de 1975 à 1983,

— la concentration calculée ou l'ampleur du facteur de risque, exprimée en

mg/m³ pour les contaminants chimiques,
dB (A) pour le bruit,
°C (WBGT) pour la contrainte thermique,
lux pour l'éclairement.

N.B. La concentration calculée représente la tendance centrale du niveau de pollution sur toute la période couverte par les données recueillies. Deux valeurs sont fournies, à savoir: la médiane (MED.) et la moyenne arithmétique (MOY.).

Nous favorisons l'usage de la médiane plutôt que celui de la moyenne pour exprimer la tendance centrale du bloc de données recueillies et nous utiliserons cette dernière dans l'analyse des risques. La raison qui motive notre position tient au fait qu'il est plus réaliste et correct au plan de la statistique de trouver la valeur centrale d'un ensemble incohérent de données disparates en divisant les données en deux blocs égaux que de procéder au calcul de cette valeur en donnant la même importance pondérale à chacune des données disparates du même ensemble incohérent. La médiane représente la tendance centrale des données calculées de la première façon alors que la moyenne est issue du deuxième mode de calcul.

Nous fournissons quand même, pour fins de référence, la moyenne arithmétique de l'ensemble des données recueillies pour chaque facteur de risque. Il faut noter ici que la moyenne arithmétique a été préférée à la moyenne géométrique qui s'emploie généralement en ce qui a trait aux données environnementales étant donné que celles-ci sont généralement distribuées de façon lognormale.

Cependant, étant donné la multiplicité des facteurs contributifs mis en jeu tels:

- périodes d'échantillonnage différentes,
- intervenants différents,
- méthodes d'échantillonnage et d'analyse différentes,
- stations d'échantillonnage différentes,

il nous est apparu qu'une distribution lognormale de données aussi disparates était peu probable et qu'en conséquence, la moyenne arithmétique simple des données était suffisante pour exprimer la tendance centrale de l'ensemble.

Tableau 4.2.3 Données métrologiques globalisées par secteur

SECTEUR: **RDX**

Facteur de risque	N° de bâtisse	Nb de données disponibles	Concentration calculée		Valeur limite admissible VLE		MED. / VLE %		Nb de travailleurs touchés: 1983
			Med.	Moy.	8 h	15 min	8 h	15 min	
Acide acétique	703	15	195,0	185,0	25,0	37,0	780	527	1
	704	12	29,5	40,3			230	155	1
	708	1	29,4	29,4			118	79	2
	742	12	19,0	31,5			76	38	4
	743	2	80,8	80,8			323	218	1
Ammoniac	741	3	6,6	6,5	18,0	27,0	37	24	4
Cyclohexanone	708	8	49,0	112,3	1 050,0	1 300,0	5	4	2
Trinitrotoluène	713	13	0,7	1,0	0,5 (T)	–	140	–	5
	746	1	$37x10^3$	$37x10^3$			$7,4x10^6$		3
Vapeurs nitreuses	703	4	0,9	2,5	9,0 (P)	–	10	–	1
Bruit	703	7	73	75	90	–	2	–	1
	704	11	80	80			10	–	1
	708	8	79	79			8	–	2
	713	6	83	88			20	–	5
	740	2	79	79			8	–	–
	741	7	81	83			13	–	4
	743	2	83	83			20	–	1

Tableau 4.2.4 Données métrologiques globalisées par secteur

SECTEUR: **RÉCUPÉRATION DES ACIDES**

Facteur de risque	N° de bâtisse	Nb de données disponibles	Concentration calculée		Valeur limite admissible VLE		MED. / VLE %		Nb de travailleurs touchés: 1983
			Med.	Moy.	8 h	15 min	8 h	15 min	
Vapeurs nitreuses	312	6	0,9	0,8	9,0 (P)	–	10	–	3
	316	1	1,0	1,0			11	–	1
Bruit	312	19	80	83	90	–	10	–	3
	316	7	70	73			1	–	1

— la valeur limite d'exposition (VLE) exprimée en

mg/m³ pour les contaminants chimiques,
dB (A) pour le bruit,
°C (WBGT) pour la contrainte thermique,
lux pour l'éclairement.

N.B. Deux valeurs limites sont données conformément au règlement sur la qualité du milieu de travail à savoir, la valeur limite d'exposition moyenne pondérée sur huit heures (VLE_{8h}) et la valeur limite d'exposition maximum sur quinze minutes ($VLE_{15\ min}$).

Les valeurs utilisées sont celles citées dans le Règlement sur la qualité du milieu de travail au Québec, 1982. Dans certains cas, une lettre entre parenthèses suit la valeur fournie. Cette lettre indique selon le cas:

(T) : la substance a une toxicité percutanée,
(P) : la valeur indiquée ne doit jamais être dépassée même instantanément. Il s'agit d'une valeur plafond,
(C) : la substance a des propriétés cancérigènes scientifiquement reconnues.

— le rapport, exprimé en pourcentage (%), de la médiane de toutes les données divisée par la VLE_{8h} ou la $VLE_{15\ min}$, renseigne sur l'ampleur du risque encouru par rapport à la norme acceptée en terme de pourcentage d'atteinte de cette norme,

— le nombre de travailleurs affectés au bâtiment en question durant l'année 1983, pour chaque quart de travail. Dans certains cas, le nombre est variable, aussi nous avons indiqué le nombre moyen. Il faut préciser cependant que certaines opérations ne fonctionnent pas vingt-quatre heures par jour.

Tableau 4.2.5 Données métrologiques globalisées par secteur

SECTEUR: **NITROCELLULOSE**

Facteur de risque	N° de bâtisse	Nb de données disponibles	Concentration calculée		Valeur limite admissible VLE		MED. / VLE %		Nb de travailleurs touchés: 1983
			Med.	Moy.	8 h	15 min	8 h	15 min	
Acide nitrique	108	9	0,0	0,7	5,0	10,0	0	0	15
Poussière totale (cellulose)	108	21	11,0	20,6	10,0	–	110	–	15
	128	14	53,0	53,6			530	–	1
Poussière respirable (cellulose)	108	1	0,3	0,3	5,0	–	6	–	15
Vapeurs nitreuses	108	1	1,0	1,0	9,0 (P)	–	11	–	15
Bruit	104	3	70	70	90	–	1	–	3
	108	16	80	85			10	–	15
	110	6	78	81			6	–	2
	114	7	83	84			20	–	1
	116	7	81	81			16	–	1
	118	8	78	78			6	–	1
	120	6	86	85			40	–	4
	126	3	86	91			40	–	2
	127	3	92	91			158	–	2
	128	4	76	97			4	–	1
	130	3	85	85			32	–	1
Contraintes thermiques	110	2	26,9	26,9	29,5	–	–	–	2

Tableau 4.2.6 Données métrologiques globalisées par secteur

SECTEUR: **NITROGLYCÉRINE**									
Facteur de risque	**N° de bâtisse**	**Nb de données dispo-nibles**	**Concentration calculée**		**Valeur limite admissible VLE**		**MED. / VLE %**		**Nb de travailleurs touchés: 1983**
			Med.	Moy.	8 h	15 min	8 h	15 min	
Acétone	773	2	490,0	490,0	2 400,0	3 000,0	20	16	1
Nitroglycérine	770	3	0,0	0,0	2,0 (P,T)	–	0	–	2
	772	12	0,1	0,14			5	–	1
Bruit	770	5	80	80	90	–	10	–	2
	771	3	87	88			50	–	2
	772	1	67	67			0,5	–	1

Tableau 4.2.7 Données métrologiques globalisées par secteur

SECTEUR: **PREMIÈRE PASSE**									
Facteur de risque	**N° de bâtisse**	**Nb de données dispo-nibles**	**Concentration calculée**		**Valeur limite admissible VLE**		**MED. / VLE %**		**Nb de travailleurs touchés: 1983**
			Med.	Moy.	8 h	15 min	8 h	15 min	
Acétone	161	22	1 000,0	3 063,0	2 400,0	3 000,0	42	33	3
	173	15	280,0	437,7			12	9	10
	902	14	980,0	2 758,0			41	33	3
Alcool éthylique	140	8	1 555,5	1 737,9	1 900,0	–	81	–	4
	141	6	492,5	948,8			26	–	3
	143	2	982,5	982,5			52	–	4
	149	9	197,5	159,5			10	–	1
	150	4	262,5	261,2			14	–	3
	160	4	627,5	642,5			33	–	6
	161	5	622,0	623,0			33	–	3
	162	14	873,0	1 115,0			46	–	4
	170	8	635,0	657,0			33	–	10
	173	3	95,0	95,0			5	–	10
	174	17	735,0	920,8			39	–	12
Benzène	140	5	20	15	30,0 (C)	–	66	–	4
	141	1	0	0			0	–	3
	143	1	0	0			0	–	4
Dinitrotoluène	160	2	0,7	0,7	1,5 (T)	5,0	47	14	6
	164	2	4,2	4,2			280	84	1
Éther éthylique	149	7	600,0	989,9	1 200,0	1 500,0	50	40	1
	150	7	575,0	532,7			48	38	3
	160	50	6 053,0	$2{,}3 \times 10^4$			504	403	6
	162	50	2 965,0	3 974,0			247	198	4
	170	17	2 799,0	3 305,0			233	187	10
	174	65	2 530,0	3 644,0			210	169	12
Nitroglycérine	161	11	,08	,09	2,0 (P,T)	–	4	–	3
	173	15	,18	,21			9	–	10
	902	13	,29	,29			8	–	3
Plomb	162	2	,55	,55	0,15	0,45	367	122	4
	174	1	,05	,05			33	11	12
Poussière totale	164	3	123,0	112,6	10,0	–	1230	–	1
Bruit	143	3	84	85	90	–	25	–	4
	149	3	70	70			1	–	1
	150	5	81	80			13	–	3
	160	3	74	79			3	–	6
	162	3	80	83			10	–	4
	164	12	84	86			25	–	1
	170	3	85	87			32	–	10
	173	3	82	83			16	–	10
	174	3	78	83			6	–	12
	902	3	72	90			2	–	3

Tableau 4.2.8 Données métrologiques globalisées par secteur

SECTEUR: **DEUXIÈME PASSE (finition)**									
Facteur de risque	**N° de bâtisse**	**Nb de données disponibles**	**Concentration calculée**		**Valeur limite admissible VLE**		**MED. / VLE %**		**Nb de travailleurs touchés: 1983**
			Med.	Moy.	8 h	15 min	8 h	15 min	
Acétone	195	2	355,0	355,0	2 400,0	3 000,0	15	12	2
Nitroglycérine	195	4	,06	,05	2,0 (P)	–	3	–	2
	289	5	1,3	1,9			65	–	2
	904	7	0,8	0,9			40	–	2
	920	20	1,0	6,9			50	–	5
Poussière totale	231	7	1 455,0	1 455,0	10,0	–	$1,4x10^4$	–	4
	241	2	11,9	11,9			119	–	8
	282-283	4	92,4	92,4			924	–	5
	288	3	2,0	30,8			20	–	2
	920	3	38,9	38,9			389	–	5
Bruit	195	3	91	92	90	–	125	–	2
	200	15	81	83			13	–	1
	231	3	70	70			1	–	4
	241	1	69	69			1	–	7
	245	3	76	79			3	–	8
	275	3	72	73			2	–	5
	278	3	76	75			3	–	2
	282-283	2	78	78			6	–	5
	288	6	97	99			501	–	2
Contraintes thermiques	275	4	23,7	23,8	28,2	–	–	–	5
Éclairement	240	47	15,0	28,0	50	–	333	–	7
	241	25	23,0	28,0			217	–	7
	244	14	17,5	20,8			286	–	8
	245	19	33	28,8			152	–	8

Tableau 4.2.9 Données métrologiques globalisées par secteur

SECTEUR: **ANNEXES ET SERVICES**									
Facteur de risque	**N° de bâtisse**	**Nb de données disponibles**	**Concentration calculée**		**Valeur limite admissible VLE**		**MED. / VLE %**		**Nb de travailleurs touchés: 1983**
			Med.	Moy.	8 h	15 min	8 h	15 min	
Chlorure de méthylène	421	8	400,0	395,5	700,0	870,0	57	46	15
Mercure	421	4	0,4	0,4	0,05	0,45	800	89	15
Monoxyde de carbone	101	11	32,1	31,0	55,0	440,0	58	7	1
Plomb	105	19	0,2	0,25	0,15	0,45	133	44	2
Tétrachlorure de carbone	421	4	23,5	36,8	65,0	130,0	36	18	15
Trichloroéthylène	421	6	187,5	198,7	535,0	800,0	35	23	15
Bruit	101	6	82	82	90	–	16	–	1
	102	6	80	80			10	–	1
	105	6	74	82			3	–	1
	148	2	80	80			10	–	1
	405	2	70	70			1	–	2
	415	13	78	104			6	–	15
	416	1	84	84			25	–	–
	419	6	97	111			501	–	4
	421	3	68	80			–	–	15
	433	3	78	89			6	–	1
	437	3	78	89			6	–	3
	440	7	90	92			100	–	10
	467	3	76	88			4	–	3
	486	7	85	87			32	–	2
	505	1	80	80			10	–	5

2. *Évolution de la concentration de certains polluants en fonction du temps et du lieu*

De façon à apprécier la tendance générale de l'évolution de l'hygiène du milieu de travail à l'usine depuis 1975, certaines données globalisées par secteur d'activités ont été replacées dans une perspective temporelle permettant de visualiser les fluctuations de concentrations de différents polluants au fil des années.

Cependant, il est impossible de faire une présentation schématique pour tous les types de polluants dans tous les bâtiments, étant donné que plusieurs mesures disponibles ne couvrent qu'une seule année ou deux années consécutives au plus. C'est le cas, par exemple, de l'acide acétique et du trinitrotoluène au secteur du RDX, du dioxyde d'azote au secteur de la récupération des acides, des poussières de dinitrotoluène et de carbonate de plomb à la première passe, et fort étrangement par ailleurs, des vapeurs nitreuses (NO_2) au secteur de la nitrocellulose. Dans ce dernier cas, la situation est alarmante lorsqu'on connaît l'ampleur du problème associé aux nombreuses émanations de vapeurs nitreuses au bâtiment nº 108 tel que décrit lors des audiences publiques.

Devant cet état de fait, nous avons sélectionné les polluants pour lesquels des mesures de concentrations sont disponibles sur au moins deux années séparées par au moins une année de façon à pouvoir déceler, le cas échéant, une certaine tendance ou un profil de concentrations. Ainsi, les figures 4.2.A à 4.2.H incl. représentent la variation, en fonction des années, de la concentration du polluant concerné aux bâtiments indiqués, exprimée en:

— % de la médiane des données sur la VLE_{8h}, (courbe « a »),

— % du nombre de données > $VLE_{15\ min}$ ou VLE_{8h} selon le cas, sur le nombre total de données disponibles pour le polluant et le bâtiment concerné (courbe « b »).

Dans le cas où le polluant n'a pas de $VLE_{15\ min}$ nous avons utilisé la VLE_{8h} pour tracer la courbe « b ».

La première courbe « a » de chaque figure trace le profil du risque chronique encouru et la seconde « b » celui du risque aigu. L'interprétation donnée à chacune des deux courbes de chaque figure, s'il y a lieu, trouve son sens dans les explications suivantes:

— Toute proportion gardée, le nombre de fois où la concentration du polluant dépasse la $VLE_{15\ min}$ est plus important que la grandeur du dépassement en soi dans l'appréciation de l'acuité d'un risque. Plus le rapport $\frac{\text{nb de données} > VLE_{15\ min}}{\text{nb total de données}}$ est grand, plus le risque est aigu.

— Par opposition, il semble plus logique, jusqu'à un certain point, d'associer la chronicité d'un risque au dépassement de la valeur limite d'exposition moyenne sur huit heures (VLE_{8h}).
Plus le rapport $\frac{\text{médiane des concentrations}}{VLE_{8h}}$ est grand, plus il représente un risque chronique.

Pour être plus juste dans l'appréciation de la chronicité du risque, il faudrait aussi tenir compte du nombre de fois que la concentration dépasse la VLE_{8h}. Cependant, comme première approximation, le niveau de dépassement de la VLE_{8h} est suffisant.

Figure 4.2.A: Variation de la concentration de poussière totale au bâtiment 128 (nitrocellulose) exprimée en:
1) % de la médiane sur la VLE_{8h} — courbe a,
2) % du nb de données > VLE_{8h} sur le nb total de données — courbe b.

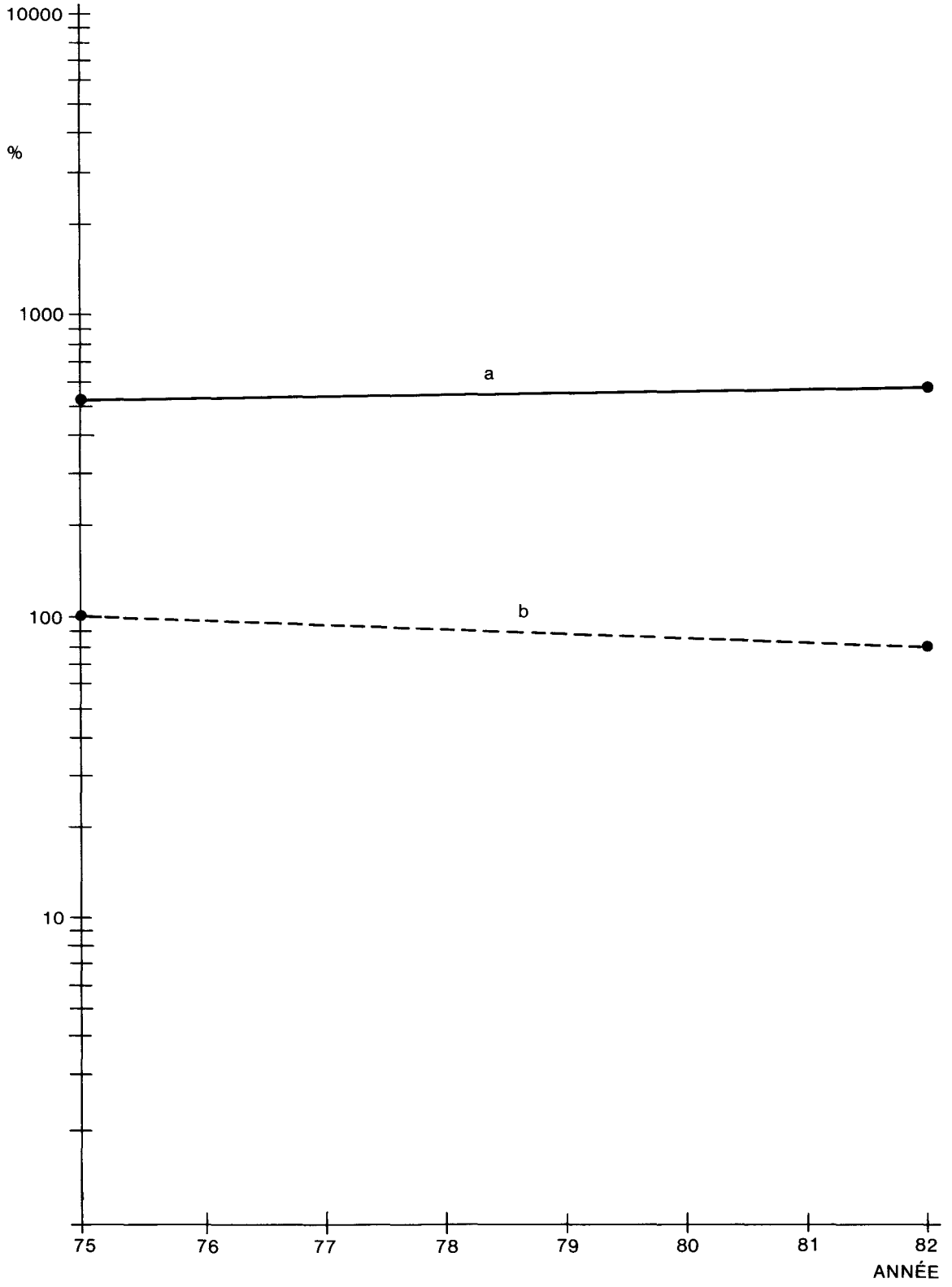


Figure 4.2.B: Variation de la concentration d'acétone au bâtiment 902 (première passe) exprimée en:
1) % de la médiane sur la $VLE_{15\ min}$ — courbe a,
2) % du nb de données > $VLE_{15\ min}$ sur le nb total de données — courbe b.

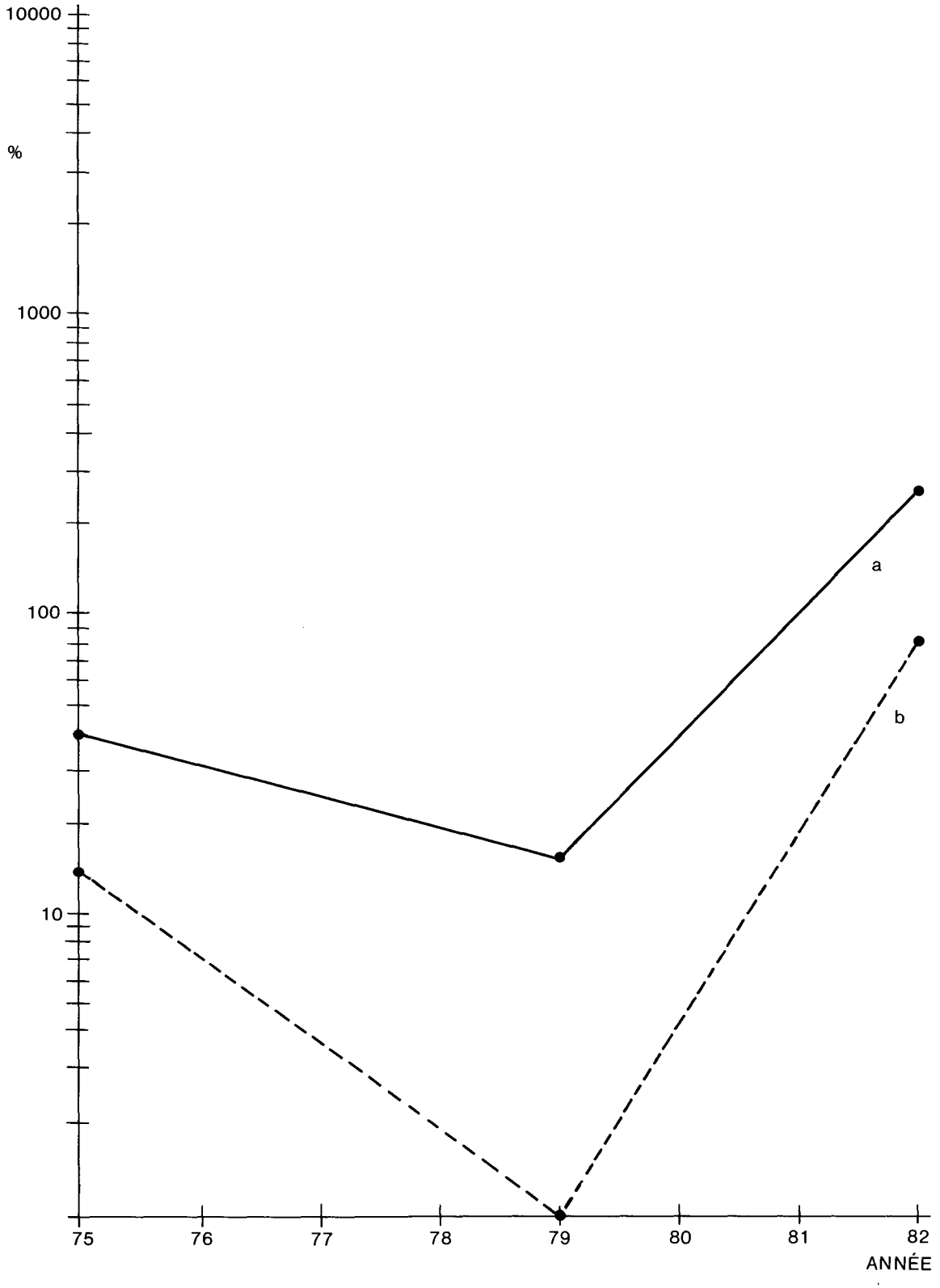


Figure 4.2.C: Variation de la concentration d'acétone au bâtiment 161 (première passe) exprimée en:
1) % de la médiane sur la VLE_{8h} — courbe a,
2) % du nb de données > $VLE_{15\ min}$ sur le nb total de données — courbe b.

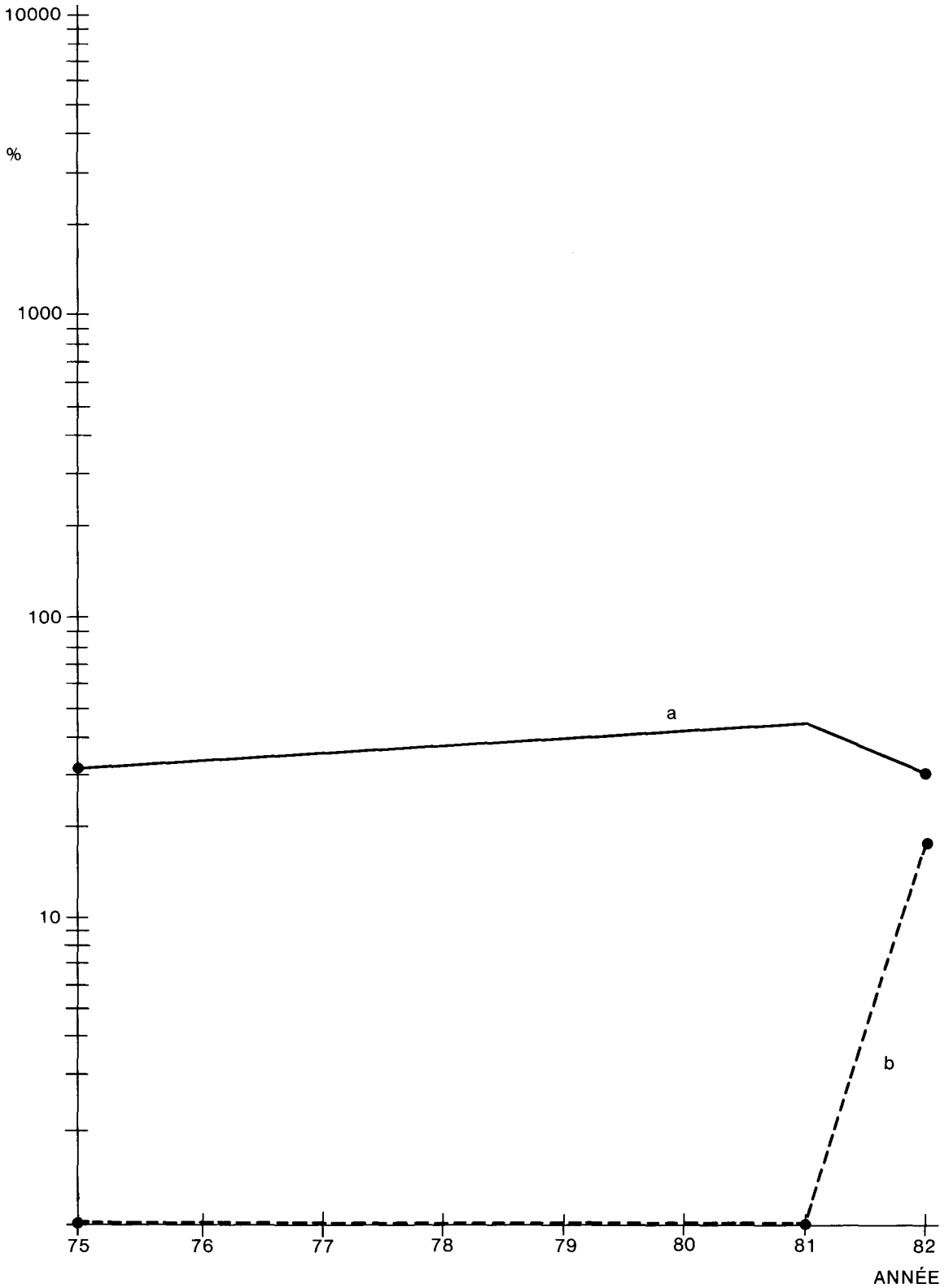


Figure 4.2.D: Variation de la concentration d'éther éthylique au bâtiment 160 (première passe) exprimée en:
1) % de la médiane des données sur la VLE_{8h} — courbe a,
2) % du nb de données > $VLE_{15\ min}$ sur le nb total de données — courbe b.

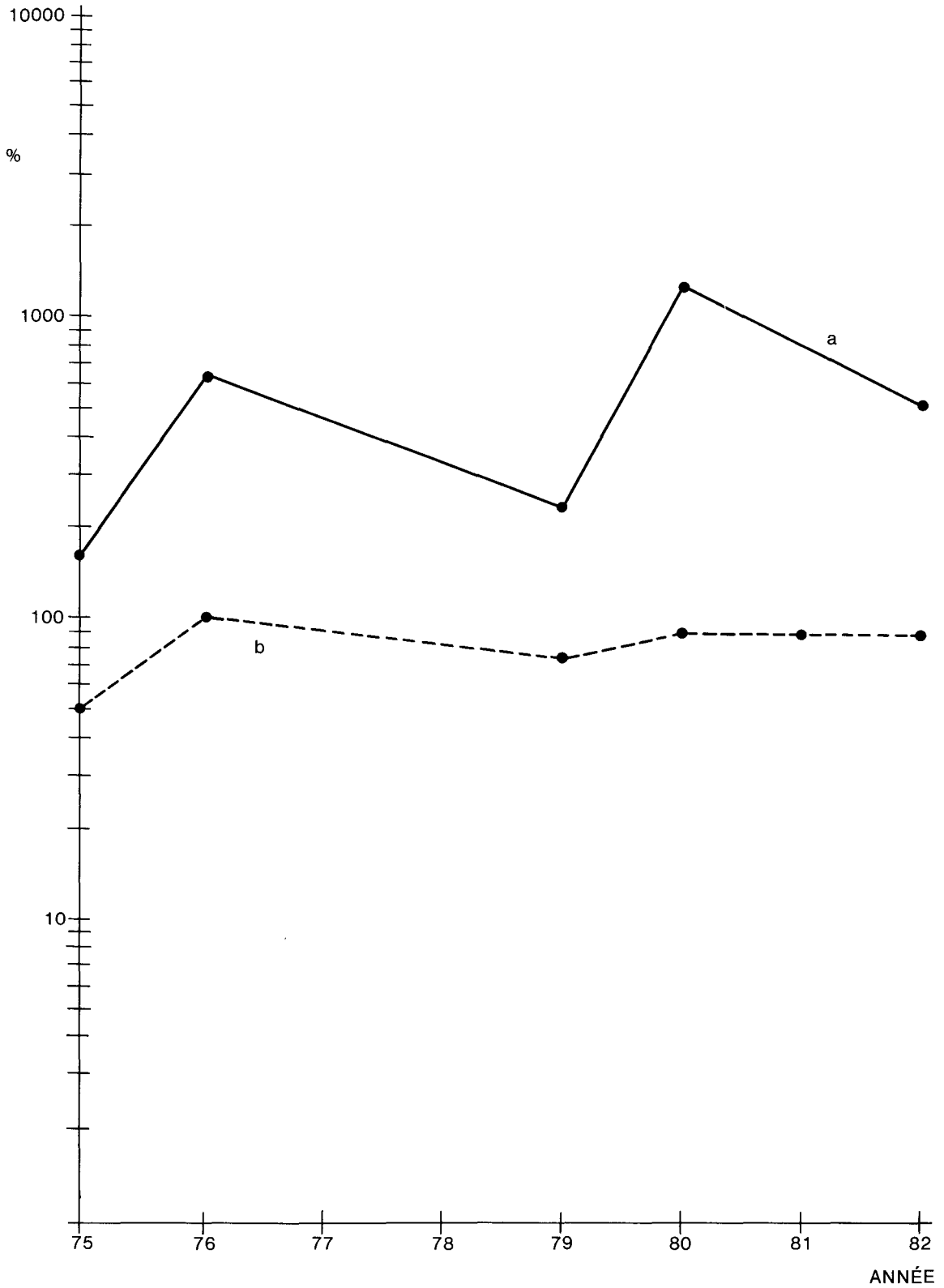


Figure 4.2.E: Variation de la concentration d'éther éthylique au bâtiment 162 (première passe) exprimée en:
1) % de la médiane des données sur la VLE_{8h} — courbe a,
2) % du nb de données > $VLE_{15\ min}$ sur le nb total de données — courbe b.

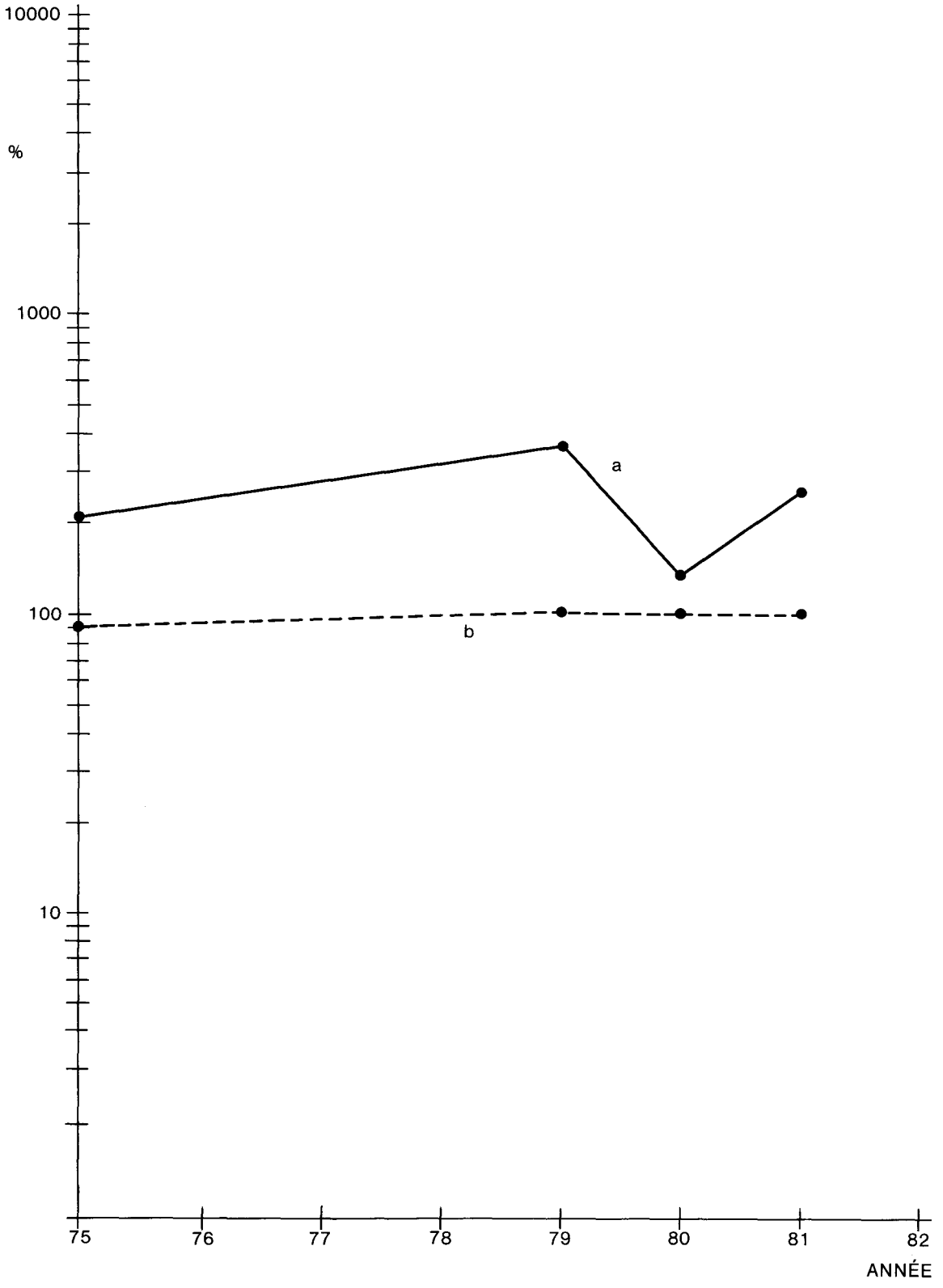


Figure 4.2.F: Variation de la concentration d'éther éthylique au bâtiment 170 (première passe) exprimée en:
1) % de la médiane des données sur la VLE_{8h} — courbe a,
2) % du nb de données > $VLE_{15\ min}$ sur le nb total de données — courbe b.

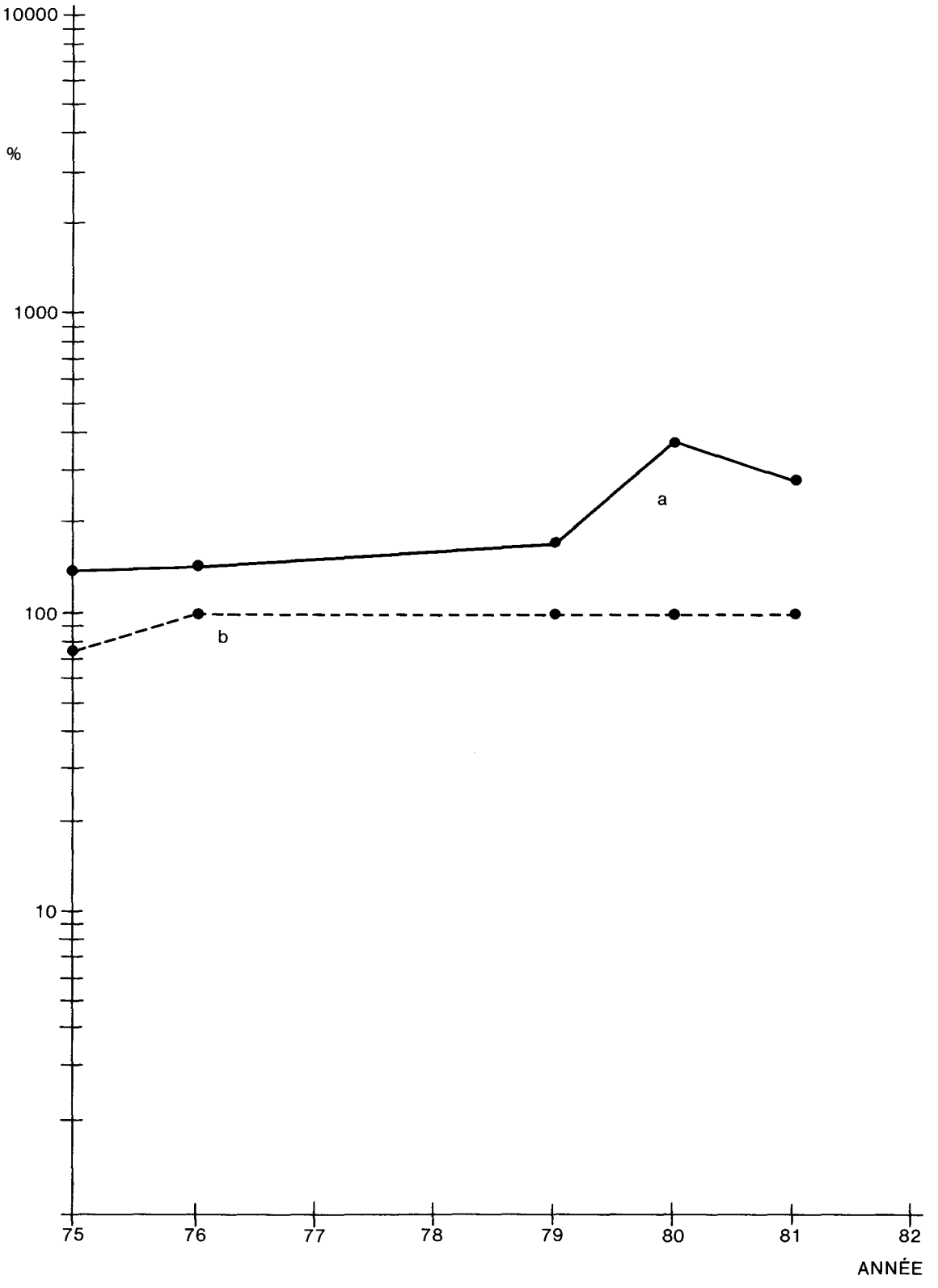


Figure 4.2.G: Variation de la concentration d'éther éthylique au bâtiment 174 (première passe) exprimée en:
1) % de la médiane des données sur la VLE_{8h} — courbe a,
2) % du nb de données > $VLE_{15\ min}$ sur le nb total de données — courbe b.

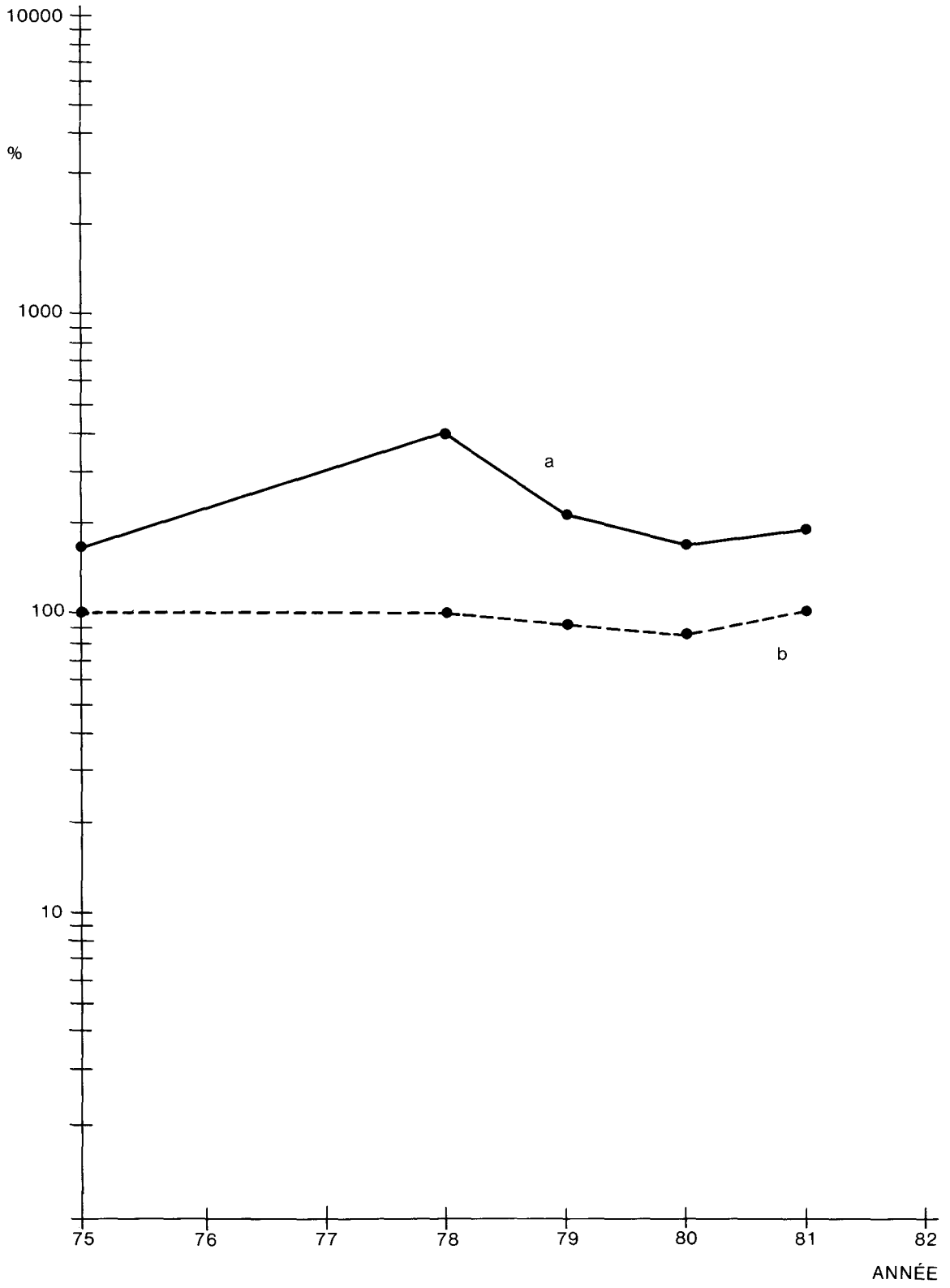
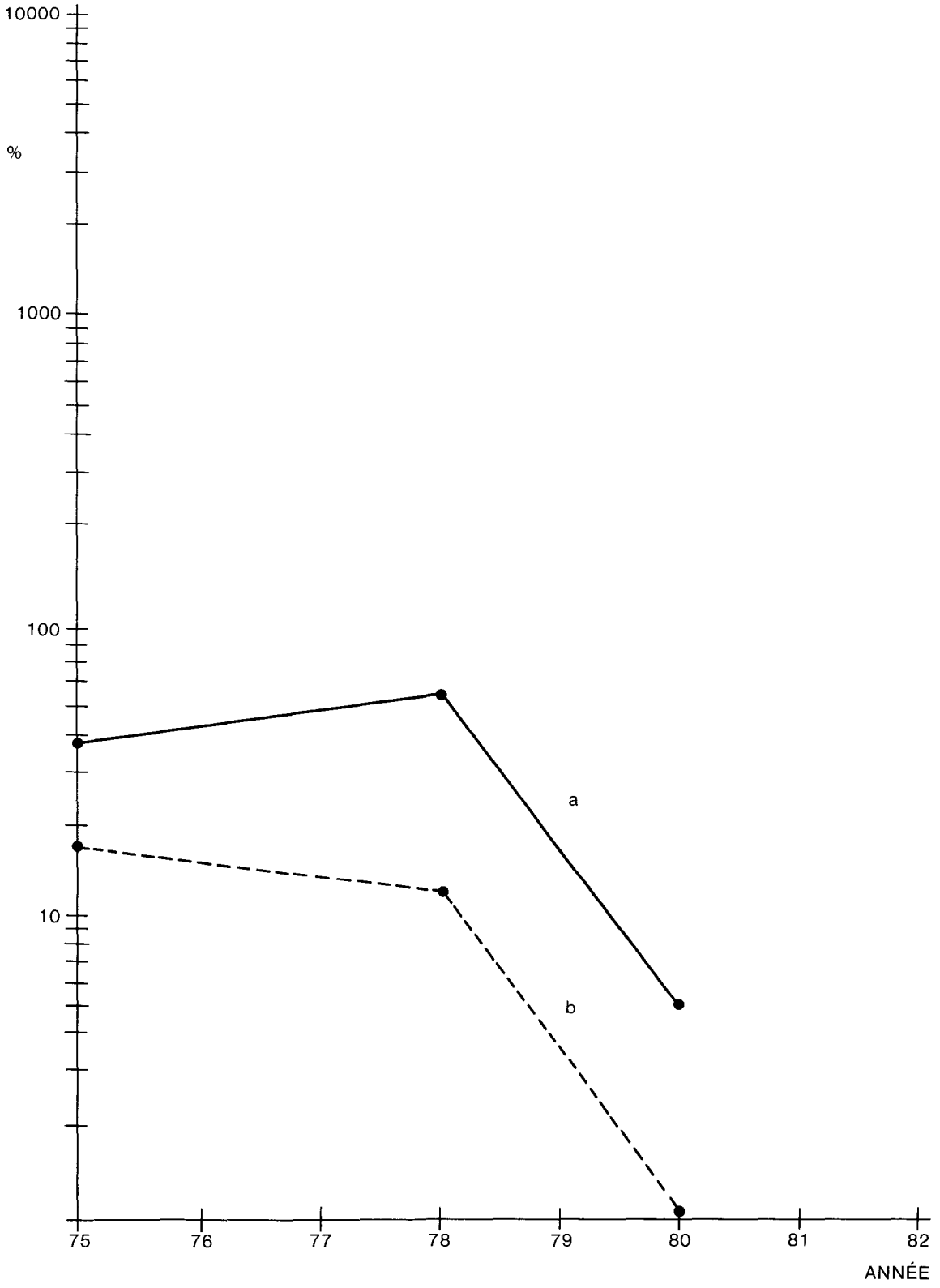
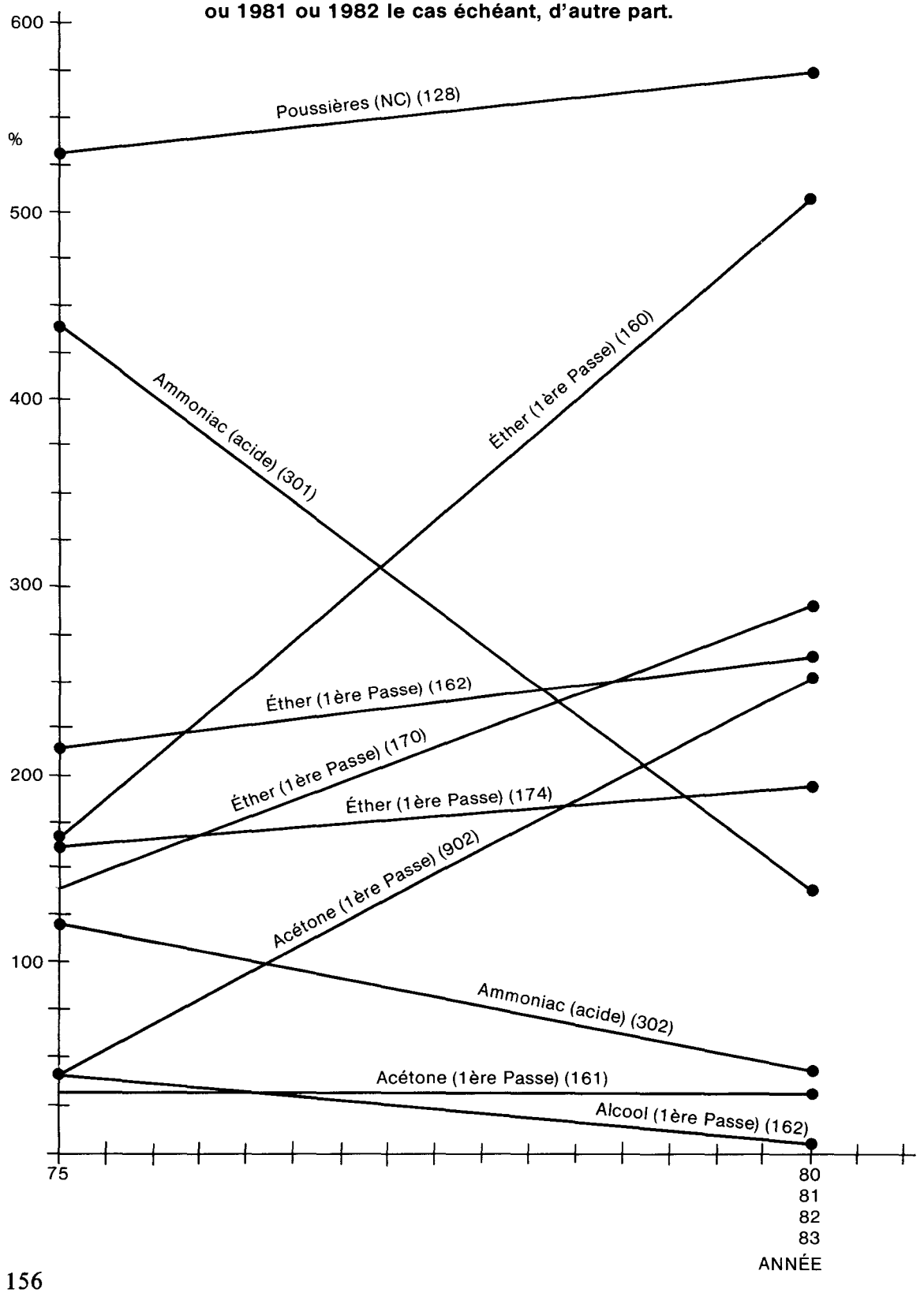


Figure 4.2.H: Variation de la concentration d'alcool éthylique au bâtiment 162 (première passe) exprimée en:
1) % de la médiane des données sur la VLE_{8h} — courbe a,
2) % du nb de données > VLE_{8h} sur le nb total de données — courbe b.



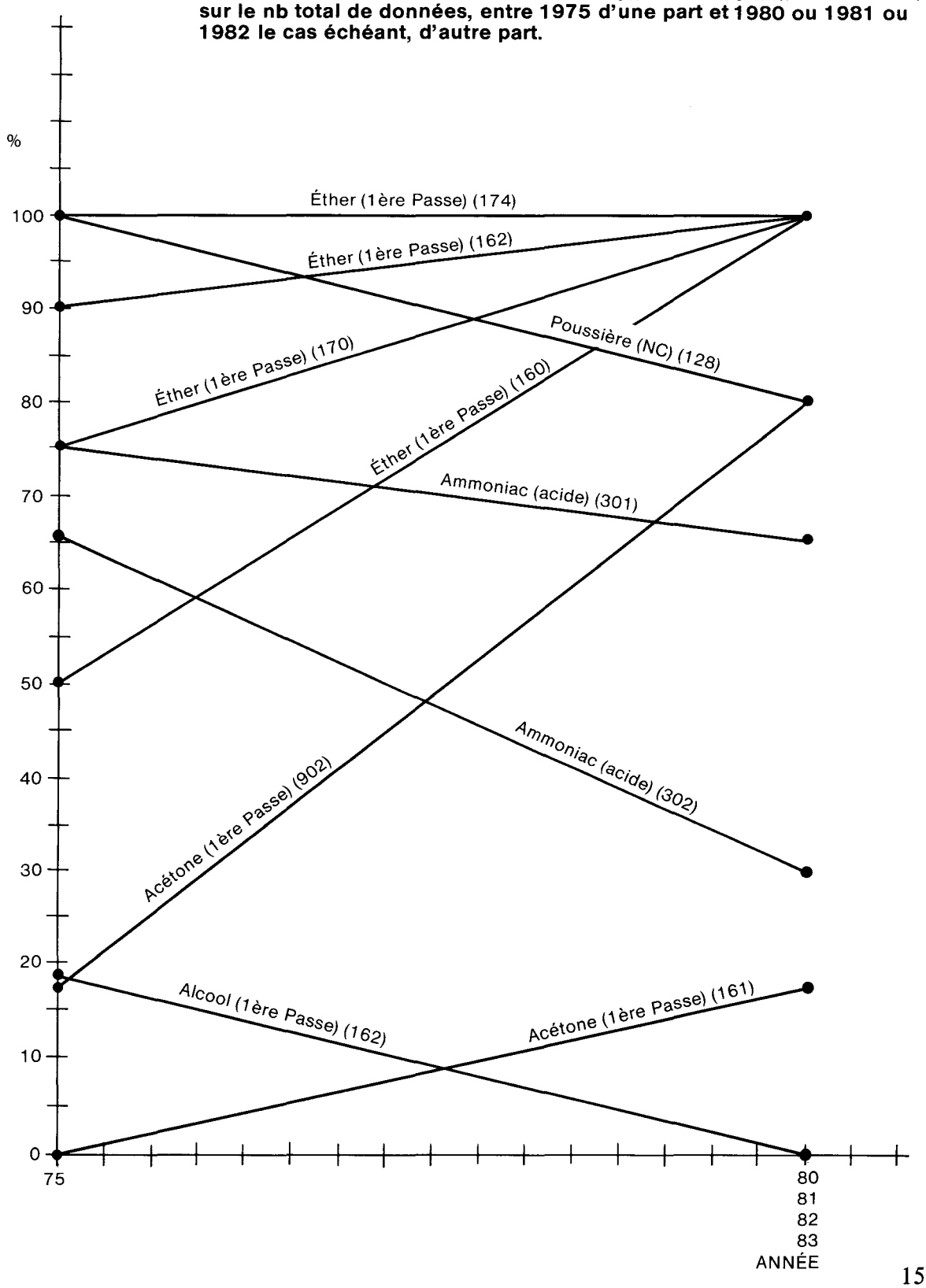
Finalement, les figures 4.2.J et 4.2.K sont un condensé des profils dessinés aux figures 4.2.A à 4.2.H inclusivement où deux années seulement ont été retenues pour le tracé des courbes, à savoir l'année 1975 d'une part et d'autre part, les années 1982 ou 1981 ou 1980, selon la disponibilité la plus récente des données environnementales. Nous retrouvons encore ici une tendance générale pour le risque chronique (figure 4.2.J) et

Figure 4.2.J : Tendance générale de la variation de la concentration de certains polluants exprimée en % de la médiane sur la VLE_{8h}, entre 1975 d'une part, et 1980 ou 1981 ou 1982 le cas échéant, d'autre part.



pour le risque aigu (figure 4.2.K) entre deux points extrêmes du spectre d'évaluation des polluants concernés dans leur bâtiment respectif. Sur ces figures apparaît aussi le profil des concentrations de l'ammoniac au secteur de récupération des acides. Bien que le problème d'émanation d'ammoniac dans ce secteur n'existe plus, depuis l'abandon par Expro de la fabrication de l'acide nitrique par le procédé d'oxydation catalytique de

Figure 4.2.K: Tendance générale de la variation de la concentration de certains polluants, exprimée en % du nb de données > VLE_{8h} ou $VLE_{15\ min}$ selon le cas, sur le nb total de données, entre 1975 d'une part et 1980 ou 1981 ou 1982 le cas échéant, d'autre part.



l'ammoniac, il est quand même intéressant de comparer son évolution par rapport à celle de certains solvants au secteur de la première passe. Pendant que le premier profil indique une nette amélioration du milieu de travail, l'autre révèle une détérioration de l'atmosphère du secteur concerné.

B. Indices de tendance

Avant de tirer certaines conclusions sur les tendances que suggèrent les tableaux et les figures présentés à la section précédente, il apparaît judicieux d'apprécier, le plus objectivement possible, le niveau de risque associé aux polluants étudiés, la qualité et la suffisance de l'effort d'évaluation consenti par l'usine pour la mesure des facteurs de risques et l'effort fourni par l'usine pour réduire ou contrôler les agresseurs présents dans le milieu de travail. Pour ce faire, nous nous référons à un ensemble d'indices élaborés par les experts-consultants Farant et Dubeau dans leur rapport respectif à la Commission. Ces indices relatifs à l'ampleur, à l'évaluation et au contrôle des risques, au nombre de quatre, sont décrits ci-après et font l'objet des sept tableaux récapitulatifs présentés à la fin de cette section.

1. Indice de risque qualitatif (I_{QUAL})

Cet indice représente une appréciation subjective du risque chronique et aigu de chaque polluant identifié lors de la visite approfondie de l'usine en avril et mai derniers et dont on a parlé au chapitre 3. Il s'agit d'un indice purement qualitatif basé sur les connaissances et l'expérience personnelles de l'évaluateur. Dans les tableaux synthèses ci-après, la symbolique suivante est utilisée pour évaluer l'ampleur du risque:

- – : aucune appréciation,
- 0 : absence de risque ou risque minime,
- 1 : risque moyen,
- 2 : risque important,
- 3 : risque majeur.

2. Indice de risque quantitatif (I_{QUANT})

Connaissant l'appréciation subjective du risque associé aux polluants présents dans la place de travail, il est intéressant d'en dégager une certaine grandeur physique et objective basée sur les données environnementales disponibles. À cause des différences qui existent entre la chronicité et l'acuité d'un risque au plan des effets sur la santé et des facteurs normatifs qui les identifient, il est cependant nécessaire d'aborder séparément l'établissement de l'indice quantitatif de risque chronique de celui de l'indice quantitatif de risque aigu.

a) Indice quantitatif de risque chronique

Cet indice repose sur deux hypothèses, à savoir:

— plus le nombre de concentrations au-dessus de la VLE_{8h} est grand comparé au nombre total de données disponibles, plus le risque est grand et plus l'indice est élevé,

— plus la médiane de toutes les données disponibles est élevée par rapport à la VLE_{8h}, plus le risque est grand et plus l'indice est élevé.

Ainsi, on peut établir l'indice de risque chronique par l'équation empirique suivante:

$$I_{QUANT}\ \%\ (\text{chronique}) = \frac{\text{nb de données} > VLE_{8h} + 1}{\text{nb total de données}} \times \frac{\text{médiane}}{VLE_{8h}} \times 100$$

Dans cette équation, le chiffre « 1 » a été ajouté au numérateur du premier rapport pour parer aux difficultés d'interprétation qui se présenteraient dans le cas où aucune donnée ne serait plus grande que la VLE_{8h}.

Selon l'étendue du pourcentage obtenu par le calcul de l'indice et de nombreux essais de situations, l'ampleur du risque est ainsi qualifiée:

- – : aucune appréciation,
- 0 : $I_{QUANT} \leq 10\%$, absence de risque ou risque minime,
- 1 : $10\% < I_{QUANT} \leq 30\%$, risque moyen,

2 : $30\% < I_{QUANT} \leq 90\%$, risque important,
3 : $90\% < I_{QUANT}$, risque majeur.

b) Indice quantitatif de risque aigu

Le facteur important dans l'appréciation de l'acuité du risque réside dans le nombre de fois que la concentration du polluant dépasse la $VLE_{15\ min}$ plutôt que dans la grandeur du dépassement en soi.

L'indice de risque aigu peut donc être établi au moyen de l'équation simple suivante:

$$I_{QUANT\ (aigu)}\ (\%) = \frac{\text{nb de données} > VLE_{15\ min}}{\text{nb total de données}} \times 100$$

D'une façon similaire à celle utilisée dans la qualification de l'indice de risque chronique, nous utilisons les balises suivantes pour l'indice de risque aigu:

– : aucune appréciation,
0 : $I_{QUANT} = 0$, absence de risque,
1 : $0\% < I_{QUANT} \leq 5\%$, risque moyen,
2 : $5\% < I_{QUANT} \leq 25\%$, risque important,
3 : $25\% < I_{QUANT} \leq 100\%$, risque majeur.

3. Indice de la suffisance de l'effort d'évaluation (I_{EVAL})

Le but de cet indice est de vérifier l'adéquation entre la grandeur du risque et l'effort consenti par l'usine pour l'évaluer. Plus le risque est grand (indice s'approchant de 3), plus il aurait dû être évalué, c'est-à-dire, plus le nombre de données environnementales pour ce risque devrait être grand.

Pour des raisons déjà formulées plus haut, il est nécessaire d'élaborer deux indices de suffisance de l'effort d'évaluation, à savoir, l'un pour les risques chroniques et l'autre pour les risques aigus.

a) Indice de la suffisance de l'effort d'évaluation des risques chroniques

L'établissement de la formule empirique pour le calcul de cet indice est basé sur les principes et hypothèses suivants:

— le nombre de mesures environnementales effectuées doit être proportionnel à la grandeur de la population à risque,

— conformément à l'article 11 du Règlement sur la qualité du milieu de travail au Québec, un employeur devrait mesurer l'exposition de ses travailleurs au moins une fois l'an. Prenant en compte certains facteurs atténuants qui ont secoué l'usine depuis 1975, tels les nombreux changements de propriétaires, les nombreux arrêts de la production dans plusieurs secteurs, on peut généreusement avancer qu'au moins deux mesures par travailleurs auraient dû être effectuées à l'usine au cours des huit dernières années comparativement aux huit mesures exigées par règlement,

— le nombre de mesures doit être fonction de la grandeur de l'exposition ou des risques. Plus la situation est dangereuse, plus il est important de l'évaluer fréquemment.

L'équation empirique, ci-dessous, tient compte de ces principes et hypothèses dans le calcul de l'indice de la suffisance de l'effort d'évaluation du risque chronique.

$$I_{EVAL\ (chronique)} = \frac{\text{nb de données disponibles}}{\text{nb de travailleurs x 2}} \times \frac{VLE_{8h}}{\text{médiane}}$$

b) Indice de la suffisance de l'effort d'évaluation des risques aigus

Les mêmes principes et hypothèses servent encore dans l'établissement de cet indice. Cependant, comme nous l'avons déjà dit, le nombre de données dépassant la norme ou le temps de dépassement de cette norme reflète mieux l'acuité d'un risque que l'ampleur du dépassement de cette même norme.

L'équation empirique suivante tient compte de ce principe:

$$I_{EVAL\ (aigu)} = \frac{\text{nb de données}}{\text{nb de travailleurs x 2}} \times \frac{\text{nb de données}}{\text{nb de données} > VLE_{15\ min}} \times \frac{1}{10}$$

$$I_{EVAL\ (aigu)} = \frac{(\text{nb de données})^2}{2 \times \text{nb de travailleurs x nb de données} > VLE_{15\ min}} \times \frac{1}{10}$$

Le facteur 1/10 de l'équation permet d'obtenir un indice se situant entre 0 et 3.

Pour contrer l'impossibilité mathématique dans laquelle se retrouverait l'équation ci-haut, advenant le cas où aucune donnée environnementale ne serait plus grande que la $VLE_{15\ min}$, la formule suivante est alors utilisée:

$$I_{EVAL\ (aigu)} = \frac{\text{nb de données}}{2 \times \text{nb de travailleurs}} \times \frac{VLE_{15\ min}}{\text{donnée la plus élevée du groupe}}$$

Le résultat obtenu par le traitement des données au moyen de l'une ou l'autre des deux formules de l'indice de la suffisance de l'effort d'évaluation s'échelonne généralement de 0 à 3. La pondération suivante sert à catégoriser l'effort d'évaluation.

– : aucune appréciation,
0 : $0 \leq I_{EVAL} < 0{,}5$, effort d'évaluation très insuffisant,
1 : $0{,}5 \leq I_{EVAL} < 1{,}5$, effort d'évaluation insuffisant,
2 : $1{,}5 \leq I_{EVAL} < 2{,}5$, effort d'évaluation suffisant,
3 : $2{,}5 \leq I_{EVAL}$ effort d'évaluation majeur.

4. Indice de l'effort de contrôle du facteur de risque (I_{CONT})

Contrairement aux indices de risque quantitatif et de la suffisance de l'effort d'évaluation, l'indice de l'effort de la compagnie pour réduire les expositions a été établi d'une manière beaucoup plus subjective. Cette situation reflète le peu d'informations en notre possession pour permettre une étude rigoureuse des projets de contrôle des polluants accomplis par les différents propriétaires de l'usine. Cependant, il est possible de définir grossièrement un certain indice d'effort de contrôle en complétant pour chaque type de risque, une grille d'analyse basée sur des critères généralement reconnus et acceptés en hygiène industrielle comme éléments importants d'un programme de contrôle des facteurs de risques chroniques ou aigus.

Par exemple, les critères de contrôle d'un risque chronique comprennent les éléments suivants:

— contrôle technique du polluant (v.g. ventilation à la source, modification du procédé, isolation de la machine ou du travailleur, etc.),
— contrôle administratif du polluant (v.g. variation du temps d'exposition, retrait préventif, modification des cédules de production ou de travail, etc),
— protection individuelle (port de masque, gants, coquilles ou bouchons, monocoques, etc.),
— programme de formation et d'information des travailleurs et des agents de maîtrise sur la nature du risque et les moyens de s'en prémunir,
— personnel et programme en santé et sécurité du travail. Pouvoir compter sur un programme d'hygiène industrielle structuré et efficace et sur un personnel compétent et en nombre suffisant pour en assurer la gestion est essentiel à la lutte contre les polluants du milieu de travail.

Quant aux risques aigus, les critères de contrôle sont sensiblement les mêmes que ceux mentionnés pour les risques chroniques en ajoutant les deux éléments supplémentaires suivants:

— la surveillance continue de la place de travail à risque aigu par un monitoring continuel du polluant au moyen d'un appareil à lecture directe et enregistrement automatique des données,

— procédure et équipement d'urgence. Si les contrôles normaux habituels tombent en panne, il faut prévoir des alarmes et une procédure d'évacuation rapide du lieu contaminé et d'évacuation sécuritaire des blessés ou intoxiqués le cas échéant.

Pour apprécier l'indice de contrôle du risque chronique ou aigu, nous avons attribué à chacun des critères sous-jacents une valeur numérique respective dont la somme totalise 3. Le niveau 3 est proposé de façon à rendre plus pratique et facile la comparaison de l'indice de l'effort de contrôle avec les autres indices définis plus tôt. Un indice de niveau 3 correspond à un effort majeur de contrôle d'un polluant. La pondération maximale accordée à chaque critère de contrôle varie selon qu'il s'agisse d'un risque chronique ou d'un risque aigu.

La distribution idéale des cotes se présente ainsi:

	Risque chronique	**Risque aigu**
Contrôle technique	1,5	0,8
Contrôle administratif	0,3	0,1
Protection individuelle	0,2	0,1
Formation et information	0,5	0,5
Personnel et programme en santé et sécurité	0,5	0,5
Monitoring continue de la place de travail	N.A.	0,5
Procédure et équipement d'urgence	N.A.	0,5
TOTAL:	3,0	3,0

Pour chacun des risques identifiés dans les tableaux récapitulatifs ci-après, l'indice de contrôle a été établi en accordant une cote à chacun des critères retenus. Cette cote a été déterminée à partir des informations de contrôle obtenues des différentes sources telles, les manuels d'opération de la compagnie, les visites d'investigations des experts de la Commission et les faits déclarés en audiences publiques.

L'indice de l'effort de contrôle du facteur de risque est classé selon les catégories pondérales suivantes:

– : aucune appréciation,
0 : $0 \leq I_{CONT} < 0,5$, absence d'effort,
1 : $0,5 \leq I_{CONT} < 1,5$, effort minime,
2 : $1,5 \leq I_{CONT} < 2,5$, effort moyen,
3 : $2,5 \leq I_{CONT}$ effort majeur.

Les tableaux 4.2.10 à 4.2.16 donnent par secteur d'activités, la synthèse des différents indices de risque évalués par polluant et bâtisse. Les données des tableaux sont distribuées dans trois groupes distincts d'évaluation qui facilitent l'appréciation première des risques prioritaires. Le premier groupe traite des agresseurs qui ont déjà été mesurés à l'usine et dont au moins une donnée environnementale est plus grande que la valeur limite d'exposition moyenne sur huit heures, VLE_{8h}. Le second indique les agresseurs évalués quantitativement dont toutes les données environnementales sont plus petites que la VLE_{8h}. En théorie du moins, ces polluants ne poseraient ou n'ont jamais posé de problèmes d'exposition. Enfin, le troisième groupe est intéressant du fait qu'il indique les polluants qui n'ont jamais été mesurés à l'usine bien qu'ils présentent un risque potentiel.

Tableau 4.2.10 Synthèse des indices relatifs à l'ampleur, à l'évaluation et au contrôle des risques identifiés par secteurs d'activités

SECTEUR: **RDX**										
Facteur de risque	**N° de bâtisse**	**RISQUE CHRONIQUE INDICE**				**RISQUE AIGU INDICE**				**Nombre de travailleurs touchés 1983**
		I_{QUAL}	I_{QUANT}	I_{EVAL}	I_{CONT}	I_{QUAL}	I_{QUANT}	I_{EVAL}	I_{CONT}	
1) Agresseurs évalués quantitativement dont au moins une donnée est > VLE_{8h}										
Acide acétique	703	2	3	1	2	3	3	1	1	1
	704	2	3	3	2	2	3	–	1	1
	742	2	3	1	2	1	3	3	1	4
	743	2	3	1	2	1	3	0	0	1
Trinitrotoluène	713	1	3	1	2	0	3	0	1	5
	746	–	3	0	1	–	3	–	1	3
Bruit	713	–	1	3	2	–	–	–	–	5
2) Agresseurs évalués quantitativement dont toutes les données sont < VLE_{8h}										
Cyclohexanone	708	2	0	3	2	2	0	3	1	2
Vapeurs nitreuses	703	–	0	3	2	–	0	2	1	1
Ammoniac	741	–	1	2	2	–	0	2	1	4
Bruit (toutes les bâtisses sauf n° 713)		–	0	3	2	–	–	–	–	
3) Agresseurs évalués qualitativement qui présentent un risque potentiel										
Nitrate d'ammonium	741	1	–	–	2	–	–	–	–	4
Hexamine	741	2	–	–	2	–	–	–	–	4
Anhydride acétique	741	2	–	–	2	2	–	–	1	4
	742	2	–	–	2	2	–	–	1	4
RDX	704	1	–	–	2	–	–	–	–	1
	708	2	–	–	2	–	–	–	–	2
	713	1	–	–	2	–	–	–	–	5
	742	1	–	–	2	–	–	–	–	4
	486A-486	2	1	–	1	–	–	–	–	2
Ammoniac	742	1	–	–	2	–	–	–	–	4
Vapeurs nitreuses	742	1	–	–	2	2	–	–	1	4
Acide nitrique	741	2	–	–	2	2	–	–	1	4
	742	2	–	–	2	–	–	–	–	4
Acide sulfurique	703	1	–	–	2	–	–	–	–	2
Acétone	708	2	–	–	2	–	–	–	–	2
Cyclohexanone	486A-486	1	1	–	1	–	–	–	–	
Contraintes thermiques	704-713	1	–	–	–	–	–	–	–	
	741-742	2	–	–	–	–	–	–	–	
	703-708-486A-486									

Tableau 4.2.11 Synthèse des indices relatifs à l'ampleur, à l'évaluation et au contrôle des risques identifiés par secteurs d'activités

SECTEUR: **RÉCUPÉRATION DES ACIDES**										
Facteur de risque	**N° de bâtisse**	**RISQUE CHRONIQUE INDICE**				**RISQUE AIGU INDICE**				**Nombre de travailleurs touchés 1983**
		I_{QUAL}	I_{QUANT}	I_{EVAL}	I_{CONT}	I_{QUAL}	I_{QUANT}	I_{EVAL}	I_{CONT}	
1) Agresseurs évalués quantitativement dont au moins une donnée > VLE_{8h} N.B. - Suite à un réaménagement de bâtisses dans le secteur ACIDES les évaluations effectuées sous ce chapitre ne sont plus pertinentes.										
2) Agresseurs évalués quantitativement dont toutes les données sont < VLE_{8h}										
Vapeurs nitreuses	312	2	0	3	3	2	0	2	2	3
	316	1	1	2	1	2	0	1	2	1
Bruit	312	2	0	3	3	–	–	–	–	3
	316	1	0	3	1	–	–	–	–	1
3) Agresseurs évalués qualitativement qui présentent un risque potentiel										
Vapeurs nitreuses	303	1	–	–	0	2	–	–	0	1
Acide nitrique/ sulfurique	303	2	–	–	0	2	–	–	0	1
	312	3	–	–	3	3	–	–	2	3
	316	2	–	–	1	2	–	–	2	1
Bruit	303	1	–	–	0	–	–	–	–	1
Contraintes thermiques	303-312	1	–	–	–	–	–	–	–	
	316									

Tableau 4.2.12 Synthèse des indices relatifs à l'ampleur, à l'évaluation et au contrôle des risques identifiés par secteurs d'activités

SECTEUR: **NITROCELLULOSE**

Facteur de risque	N° de bâtisse	RISQUE CHRONIQUE INDICE				RISQUE AIGU INDICE				Nombre de travailleurs touchés 1983
		I_{QUAL}	I_{QUANT}	I_{EVAL}	I_{CONT}	I_{QUAL}	I_{QUANT}	I_{EVAL}	I_{CONT}	
1) Agresseurs évalués quantitativement dont au moins une donnée > VLE_{8h}										
Poussière totale (cellulose)	104	2	3	0	0	–	3	0	0	3
	108	2	2	0	0	–	3	0	1	15
	128	2	3	1	3	–	3	1	1	1
2) Agresseurs évalués quantitativement dont toutes les données sont < VLE_{8h}										
Vapeurs nitreuses	108	3	1	0	0	3	0	0	1	15
Acide nitrique/ sulfurique	108	2	0	3	0	–	0	1	1	15
	110	1	0	3	0	–	0	3	0	2
Poussière totale (N/C)	108	1	0	0	0	–	0	1	1	15
Bruit	104-108 110-116 118	1	0	3	0	–	–	–	–	21
	114	2	0	3	0	–	–	–	–	1
	120	2	0	2	0	–	–	–	–	4
	128	2	3	0	3	–	–	–	–	1
Contraintes thermiques	110	2	2	1	0	–	0	1	0	2
3) Agresseurs évalués qualitativement qui présentent un risque potentiel										
Bruit	101	1	–	–	–	–	–	–	–	
Vapeurs nitreuses	110	2	–	–	0	2	–	–	0	2
	114-116 118-120	1	–	–	0	1	–	–	0	5
Poussière totale (N/C)	110-114 116-118	1	–	–	0	–	–	–	–	5
	120	2	–	–	0	–	–	–	–	4
Contraintes thermiques	101-104 108-114 120	1	–	–	–	–	–	–	–	22
	116-118	2	–	–	–	–	–	–	–	2

Tableau 4.2.13 Synthèse des indices relatifs à l'ampleur, à l'évaluation et au contrôle des risques identifiés par secteurs d'activités

SECTEUR: **NITROGLYCÉRINE**

Facteur de risque	N° de bâtisse	RISQUE CHRONIQUE INDICE				RISQUE AIGU INDICE				Nombre de travailleurs touchés 1983
		I_{QUAL}	I_{QUANT}	I_{EVAL}	I_{CONT}	I_{QUAL}	I_{QUANT}	I_{EVAL}	I_{CONT}	
1) Agresseurs évalués quantitativement dont au moins une donnée > VLE_{8h} N.B. AUCUN										
2) Agresseurs évalués quantitativement dont toutes les données sont < VLE_{8h}										
Nitroglycérine	770	1	0	3	1	2	0	3	0	2
Acétone	772	2	1	–	1	–	–	–	0	1
Bruit	770-772-774	1	0	3	1	–	–	–	–	4
3) Agresseurs évalués qualitativement qui présentent un risque potentiel										
Vapeurs nitreuses	770-770A	1	–	–	1	2	–	–	0	2
Acide nitrique/ sulfurique	770	1	–	–	1					2
	770A	2	–	–	–	–	–	–	–	–
Nitroglycérine	772-774	2	–	–	1	3	–	–	0	1
Éthylène glycol	770	1	–	–	1	–	–	–	–	2
Contraintes thermiques	770-770A 772-774	1	–	–	–	–	–	–	–	3

Tableau 4.2.14 Synthèse des indices relatifs à l'ampleur, à l'évaluation et au contrôle des risques identifiés par secteurs d'activités

SECTEUR: **PREMIÈRE PASSE**										
Facteur de risque	**N° de bâtisse**	**RISQUE CHRONIQUE INDICE**				**RISQUE AIGU INDICE**				**Nombre de travailleurs touchés 1983**
		I_{QUAL}	I_{QUANT}	I_{EVAL}	I_{CONT}	I_{QUAL}	I_{QUANT}	I_{EVAL}	I_{CONT}	
1) Agresseurs évalués quantitativement dont au moins une donnée > VLE_{8h}										
Alcool éthylique	140	1	2	0	1	–	3	0	1	4
	141	1	0	–	1	–	2	1	1	3
	143	1	1	0	1	–	0	0	1	4
	162	1	0	3	2	–	2	2	2	4
Éther éthylique	149	1	0	3	2	1	0	3	2	1
	160	2	3	0	3	2	3	0	2	6
	162	3	3	2	2	3	3	1	2	4
	170	3	3	0	2	3	3	0	2	10
	174	3	3	2	2	3	3	0	2	12
Acétone	161	1	0	3	2	–	2	3	2	3
	902	–	2	3	1	–	3	1	1	3
Benzène	140	–	2	0	1	–	0	0	1	4
Plomb	162	–	3	0	2	–	3	0	2	4
Dinitrotoluène	164	2	3	1	1	–	3	1	2	1
Poussière totale	164	–	3	0	1	–	3	0	2	1
2) Agresseurs évalués quantitativement dont toutes les données sont < VLE_{8h}										
Alcool éthylique	149-150 160-161 170-173 174	1	0	2	2	–	0	2	2	44
Éther éthylique	150	2	0	2	2	2	0	1	0	3
Benzène	141-143	–	0	0	1	–	0	3	1	7
Dinitrotoluène	160	2	2	0	3	–	0	1	2	6
Acétone	173	1	0	3	1	–	0	2	2	10
Plomb	174	–	1	0	2	–	0	0	2	12
Nitroglycérine	161	1	0	3	2	–	0	3	2	3
	173	1	0	3	1	–	0	2	2	10
	902	2	0	3	1	–	0	3	1	3
Bruit	140-143	1	0	0	1	–	–	–	–	7
	160	1	0	3	3	–	–	–	–	6
	149-150	2	0	3	2	–	–	–	–	4
	164	2	1	3	1	–	–	–	–	1
	162-170 174	1	1	2	2	–	–	–	–	16
	173	1	1	1	1	–	–	–	–	10
	902	1	2	0	1	–	–	–	–	3
3) Agresseurs évalués qualitativement qui présentent un risque potentiel										
Alcool éthylique	200-902	1	–	–	1	–	–	–	–	3
Éther éthylique	200	2	–	–	–	2	–	–	–	1
Ammoniac	176	1	–	–	1	–	–	–	–	1
Plomb	160	1	–	–	–	1	–	–	–	6
	164	2	–	–	1	2	–	–	2	1
Dibutylphthalate	160-162 170-174	1	–	–	2	–	–	–	–	32
Diphénylamine	160-162 170-174	1	–	–	2	–	–	–	–	32
Dinitrotoluène	162	2	–	–	2	–	–	–	–	4
	170-174	1	–	–	2	–	–	–	–	22
Graphite	161	2	–	–	2	–	–	–	–	3
	173	1	–	–	1	–	–	–	–	10
Nitroguanidine	161-173	1	–	–	2	–	–	–	–	13
Nitrocellulose (toutes les bâtisses sauf nos 150-164-176-200-902		1	–	–	–	–	–	–	–	79
Centralite	164	1	–	–	1	–	–	–	–	1
Poussière poudre	160-1-2 170-3-4	1	–	–	2	–	–	–	–	43
Contraintes thermiques	140-150-176	2	–	–	–	–	–	–	–	6
	autres	1	–	–	–	–	–	–	–	84

C. Analyse de la situation

Il est impossible de faire une analyse numérique détaillée des conditions du milieu de travail dans tous les bâtiments de chaque secteur d'activités de l'usine. D'une part, le nombre relativement faible de données environnementales concentrées sur une ou deux années consécutives ou diluées ici et là au fil des années depuis 1975 et leur qualité précaire, tributaire d'une stratégie d'évaluation déficiente, causent une difficulté majeure de conversion des concentrations obtenues en mesures d'exposition des travailleurs. D'autre part, l'appréciation subjective de certains facteurs de risque nécessite d'être pondérée par des données métrologiques valides avant de faire l'objet de conclusions fermes. En conséquence, la multiplicité et la variabilité des facteurs en présence, ajoutées à la qualité discutable de certains d'entre eux, ne peuvent nous conduire qu'à accorder

Tableau 4.2.15 Synthèse des indices relatifs à l'ampleur, à l'évaluation et au contrôle des risques identifiés par secteurs d'activités

SECTEUR: **DEUXIÈME PASSE (finition)**										
Facteur de risque	**N° de bâtisse**	**RISQUE CHRONIQUE INDICE**				**RISQUE AIGU INDICE**				**Nombre de travailleurs touchés 1983**
		I_{QUAL}	I_{QUANT}	I_{EVAL}	I_{CONT}	I_{QUAL}	I_{QUANT}	I_{EVAL}	I_{CONT}	
1) Agresseurs évalués quantitativement dont au moins une donnée est > VLE_{8h}										
Nitroglycérine	289	–	0	2	1	–	2	3	3	2
	920	1	1	0	1	–	2	2	2	5
Poussière totale	231	2	3	0	0	–	3	0	1	4
(poudre)	241-920	2	3	0	1	–	3	1	2	12
	282-3	2	3	0	1	–	3	0	2	5
	288	2	2	3	1	–	3	0	3	2
Bruit	195	1	2	–	–	–	–	–	–	2
	288	1	3	–	–	–	–	–	–	2
Éclairement	240-1 244-5	–	3	1	1	–	–	–	–	32
2) Agresseurs évalués quantitativement dont toutes les données sont < VLE_{8h}										
Nitroglycérine	195	1	0	3	0	–	0	3	1	2
	904	1	1	3	0	–	2	1	1	2
Acétone	195	–	1	3	0	–	0	3	1	2
Bruit	231-241 245	2	0	–	–	–	–	–	–	20
	275-278 282-3 904	1	0	–	–	–	–	–	–	17
Contraintes thermiques	275	2	1	2	1	–	–	–	–	5
3) Agresseurs évalués qualitativement qui présentent un risque potentiel										
Éther éthylique	221-275	1	–	–	1	–	–	–	–	5
Poussière totale (poudre)	195-226-240-244-5 275-278-286-289	2	–	–	1	–	–	–	–	35
Dinitrotoluène	278	2	–	–	1	–	–	–	–	2
Centralite	278	2	–	–	1	–	–	–	–	2
Graphite	195-278-286-288-289	2	–	–	1	–	–	–	–	8
Diphénylamine	278	2	–	–	1	–	–	–	–	2
Nitroglycérine	231-919	1	–	–	0	–	–	–	–	6
Stéarate de calcium	278	1	–	–	1	–	–	–	–	2
Bruit	221-226-227-240-244-289-920	1	–	–	1	–	–	–	–	25
Contraintes thermiques	221-231-	2	–	–	0	–	–	–	–	6
	195-226-227-240-241-244-245-278-282-283-286-288-289-904-919-920	1	–	–	1	–	–	–	–	55

une confiance toute relative à l'ensemble des observations et mesures effectuées. Cependant, certains faits et certaines tendances relatifs à l'effort d'évaluation et de contrôle des facteurs de risque à l'usine se dégagent de l'analyse et il est opportun de les signaler.

1. Situations à documenter

Plusieurs polluants à indice de risque important ou majeur ($I_{QUAL} = 2$ ou 3) selon l'évaluation subjective qui en a été faite n'ont jamais été mesurés dans cette usine alors que certains ont une VLE_{8h} contraignante (v.g., VLE_{8h} RDX = 1,5 mg/m^3). Parmi les principaux polluants mentionnons selon le secteur d'activités et la bâtisse impliquée:

Secteur RDX - hexamine (nº 741), poussière de RDX (nº 708), anhydride acétique (nos 741, 742), nitrate d'ammonium (nº 741), ammoniac (nº 742), contraintes thermiques (nos 703, 708).

Secteur récupération des acides - vapeurs d'acide nitrique/sulfurique (nos 303, 312, 316).

Secteur nitrocellulose - vapeurs nitreuses (nº 110), contraintes thermiques (nos 116, 118).

Secteur nitroglycérine - nitroglycérine (nº 774).

Secteur première passe - éther éthylique (nº 200), dinitrotoluène (nº 162), graphite (nº 161), contraintes thermiques (nos 149, 150).

Secteur deuxième passe - poussière totale (nombreux bâtiments), dinitrotoluène (nº 278), centralite (nº 278), diphénylamine (nº 278), graphite (nos 195, 278, 286, 288, 289), contraintes thermiques (nos 221, 231).

Pourtant certains problèmes de santé ou d'inconfort tout au moins, tels une irritation cutanée sur certaines parties du corps («rash») et un taux de methémoglobine supérieur à la moyenne, sont respectivement présents parmi certains travailleurs du secteur RDX exposés à différentes substances, et ceux de la première et deuxième passes exposés à la poudre propulsive contenant de la nitroglycérine. Bien que la découverte du facteur étiologique de ces affections soit complexe, il importe d'en documenter toutes les sources

Tableau 4.2.16 Synthèse des indices relatifs à l'ampleur, à l'évaluation et au contrôle des risques identifiés par secteurs d'activités

SECTEUR: **ANNEXES ET SERVICES**

Facteur de risque	Nº de bâtisse	RISQUE CHRONIQUE INDICE				RISQUE AIGU INDICE				Nombre de travailleurs touchés 1983
		I_{QUAL}	I_{QUANT}	I_{EVAL}	I_{CONT}	I_{QUAL}	I_{QUANT}	I_{EVAL}	I_{CONT}	
1) Agresseurs évalués quantitativement dont au moins une donnée > VLE_{8h}										
Monoxyde de carbone	101	–	0	3	2	–	0	3	0	1
Plomb	105	–	3	3	1	–	0	3	2	2
Mercure	421	–	3	0	2	–	0	0	2	15
Tétrachlorure de carbone	421	–	0	1	2	–	0	1	2	15
Chlorure de méthylène	421	–	0	1	2	–	1	0	2	15
Bruit	419	–	3	0	2	–	–	–	–	4
	433	–	0	3	1	–	–	–	–	1
	440	–	2	0	2	–	–	–	–	10
	467	–	0	0	1	–	–	–	–	3
2) Agresseurs évalués quantitativement dont toutes les données sont < VLE_{8h}										
Trichloroéthylène	421	–	0	1	2	–	0	1	2	15
Bruit (toutes les bâtisses sauf nº 440)		–	0	3	2	–	–	–	–	40
	440	–	2	0	2	–	–	–	–	10
3) Agresseurs évalués qualitativement qui présentent un risque potentiel N.B. Aucune évaluation sous ce chapitre.										

possibles. Une analyse environnementale détaillée des secteurs impliqués est alors indiquée pour déceler tout agent agresseur potentiellement coupable.

De façon générale, l'effort d'évaluation du milieu de travail est faible. Plusieurs polluants n'ont pas été suffisamment évalués relativement au risque qu'ils présentent. Ainsi, dans plus de 60% des cas, l'indice de la suffisance de l'effort d'évaluation (I_{EVAL}) est inférieur ou égal à 2. Parmi les cas les plus importants, il convient de citer:

— le trinitrotoluène à la bâtisse nº 713 du RDX qui n'a été évalué que par C.I.L. et dont la concentration dépassait nettement les normes. Le risque associé à cette substance est amplifié par le fait qu'elle est absorbée aussi par la voie cutanée. Le système de ventilation locale placé sur le réservoir servant à l'introduction du TNT chauffé dans le bassin de RDX était en mauvais état lors de notre visite des installations en mai dernier. Le tuyau flexible d'extraction des vapeurs de TNT était perforé à plusieurs endroits, diminuant ainsi l'efficacité du système de captage à la source du polluant et augmentant la probabilité de sa dissipation dans l'atmosphère de la place de travail,

— les vapeurs nitreuses à la bâtisse nº 108 de la nitrocellulose qui n'ont été mesurées qu'une seule fois par C.I.L. et dont la concentration était très faible. Ce qui surprend au dépouillement de la documentation consultée depuis 1975, c'est l'absence totale de référence aux émanations massives (« fume-off ») de vapeurs nitreuses au bâtiment nº 108 si on fait exception de l'incident tragique de janvier 1983. C'est comme si tous les intervenants étaient parfaitement ignorants de l'existence de « fume-off » au secteur de la nitrocellulose,

— les poussières de carbonate de plomb et de dinitrotoluène à la bâtisse nº 164 de la première passe. La situation est lamentable, compte tenu de la toxicité des substances, et le contrôle à toute fin pratique inexistant, si ce n'est le retrait préventif de l'opérateur selon le résultat du test de plombémie que la compagnie lui fait passer à certaines périodes,

— le benzène aux bâtisses nºs 140, 141 et 143 où la nitrocellulose est déshydratée par l'alcool éthylique dénaturé à 0,5% de benzène. Le benzène est une substance cancérigène reconnue. La compagnie et le syndicat ont entrepris des démarches auprès des autorités compétentes visant à remplacer ce dénaturant par un produit moins toxique,

— les poussières totales et respirables dans différentes bâtisses du secteur de la deuxième passe (finition) où s'effectuent les opérations de glaçage, mélange, tamisage, séchage et empaquetage. Non seulement le nombre de mesures est insuffisant mais aussi la composition de la poussière ambiante n'est pas connue. Il serait impératif de mesurer la teneur de cette poussière en composés nocifs, tels la nitrocellulose, la nitroglycérine, la nitroguanidine, le graphite, le dinitrotoluène, le centralite, le carbonate de plomb, etc,

— le mercure au laboratoire de contrôle de la qualité de l'usine (bâtiment nº 421) où des quantités importantes sont utilisées dans les appareils servant à déterminer la teneur en azote de la nitrocellulose (« pyro » et « high grade »). L'inhalation chronique des vapeurs de ce métal très toxique est souvent associée au développement d'une maladie professionnelle, appelée hydrargyrisme, affectant le système nerveux central,

— les niveaux d'éclairement de certaines bâtisses du secteur de la deuxième passe (nºs 240, 241, 244, 245). Une quantité d'éclairement suffisante est essentielle à la prévention des accidents,

— les niveaux de contraintes thermiques (chaleur et humidité élevées) dans certaines bâtisses de chaque secteur d'activités. Toute situation anormale risque d'entraîner une gamme de désordres physiologiques et de comportements dangereux chez les travailleurs affectés.

2. Situations documentées

a) Éther

Plusieurs situations critiques ont été largement documentées et certaines ont mené à des actions correctives de la part de la compagnie alors que d'autres restent sans solution permanente. Parmi les cas les plus typiques, il y a celui des solvants au secteur de la

première passe et particulièrement, l'éther éthylique aux mélangeurs (nos 160, 162), aux presses et aux couteaux (nos 170, 174). Comme l'indiquent le tableau 4.2.7 et les figures 4.2.D, 4.2.E, 4.2.F, 4.2.G, les niveaux moyens d'éther dans ces places de travail se sont toujours situés au-dessus des valeurs limites d'exposition permises, (VLE_{8h} ou $VLE_{15\ min}$). De plus, les figures 4.2.J et 4.2.K font observer que tout le secteur de la première passe s'est sensiblement dégradé comparativement à la situation de 1975 en ce qui concerne les concentrations ambiantes d'éther dans ce milieu de travail. Les mêmes figures indiquent une plus grande acuité du problème sur la ligne de production de la poudre propulsive à canon (nos 160, 170) ce qui justifie la décision de la compagnie d'avoir choisi en priorité ces bâtisses pour initier son programme de réduction de la concentration d'éther dans le secteur de la première passe. Pour fins de comparaison, nous avons aussi présenté sur ces deux figures le profil de la variation des concentrations d'ammoniac au secteur des acides de 1975 à 1982, période pendant laquelle l'usine produisait son propre acide nitrique par l'oxydation catalytique de l'ammoniac. Malgré la nette amélioration du secteur que suggèrent les figures 4.2.J et 4.2.K eu égard aux niveaux d'ammoniac dans l'atmosphère, il fut décidé, sous Expro, d'abandonner la production d'acide nitrique et d'acheter cette matière première de la compagnie Nitro Chem, en Ontario.

Relativement au programme de réduction des vapeurs de solvants (éther et alcool éthylique) aux bâtisses nos 160, 162, 170 et 174 de la première passe, il est opportun de faire un bref résumé de l'état des travaux. Le programme en trois phases recommandé par la firme d'ingénieurs-conseils S.N.C. Inc. a été entrepris sous C.P.C.V. en 1979. Dans un premier temps, le système de ventilation existant a été reconditionné et des nouveaux coupes-flammes ont été installés dans le système de façon à augmenter sa capacité d'extraction des vapeurs, tout en assurant une sécurité maximale des équipements contre les risques d'incendie et d'explosion. Des compteurs volumétriques ont aussi été installés près des mélangeurs et macérateurs et la pratique consistant à transporter de l'éther pur dans des contenants ouverts est maintenant abandonnée. Malheureusement, il arrive encore aujourd'hui, pour la préparation de certaines sortes de poudre spéciale que l'éther contenant différents stabilisants soit versé manuellement dans les mélangeurs à même un baril de quelques centaines de litres transporté par chariot dans le département. Cette façon de faire crée une pollution importante de la place de travail durant la courte période que dure l'opération.

La deuxième phase du programme a conduit Expro à procéder à l'installation de hottes individuelles de ventilation sur les mélangeurs et macérateurs des bâtisses nos 160 et 162 lesquelles sont reliées à une nouvelle conduite principale d'extraction menant au système de récupération des solvants de la bâtisse no 149. Le système permet d'aspirer les vapeurs d'éther à l'intérieur des hottes, seulement lors de l'ouverture des couvercles. C'est une des phases critiques de l'opération qui engendre l'émission massive d'éther dans la place de travail. Aux presses et aux couteaux des lignes fusil (no 174) et canon (no 170), les améliorations projetées sont en bonne voie d'être réalisées et devraient être complétées vers la fin d'octobre 1983. Déjà, un plénum de ventilation abritant les barils à la sortie de chaque couteau de même qu'une nouvelle conduite de ventilation dans la tranchée ont été installés à la bâtisse no 170. Un prototype de cage du type enceinte de ventilation a été installé sur l'une des quatre presses horizontales et doit être évalué avant de procéder à la modification des autres presses du département. L'installation de plénum de ventilation pour les barils des six couteaux de la bâtisse no 174 a commencé dans la semaine du 1er août 1983. Un prototype de cage a été mis en service sur une des quatre presses verticales de la bâtisse no 174. Sa performance ayant été jugée efficace, trois autres cages ont été commandées et devraient être installées au début de septembre 1983.

Avant de procéder à la troisième phase du programme de correction, il faudra effectuer une évaluation exhaustive des niveaux d'éther dans le milieu de travail suite aux modifications apportées. Si nécessaire, certains autres travaux sont projetés pour contrer le problème, à savoir:

— installer des hottes autour des presses à l'entrée des blocs et au détecteur de métal,
— installer des partitions devant chaque mélangeur et macérateur (solution retenue en Suède et en France),
— augmenter la capacité du ventilateur.

Les résultats d'une étude conduite par Expro en juillet 1983, alors que les modifications de la deuxième phase du programme de réduction n'étaient pas complétées, ont montré une diminution importante des niveaux d'éther aux bâtisses nos 160, 162, 170 et 174 comparativement aux valeurs obtenues par C.P.C.V., P.W.H. et la C.S.S.T. en 1980 et 1981, par un facteur variant de 1,5 à 10. Les meilleurs résultats appartiennent à la ligne fusil (nos 162, 174) où les nouvelles concentrations se situent sous les normes. La ligne canon (nos 160, 170) présente encore, cependant, des concentrations supérieures aux normes et devrait, en conséquence, faire l'objet d'une attention spéciale.

Bien qu'il soit déplorable qu'on ait mis tant d'années à s'attaquer au problème d'émanation dangereuse d'éther au secteur de la première passe et qu'il reste encore certains travaux à exécuter avant de régler définitivement la situation, il faut admettre que certains facteurs concrets ont certainement contribué à compliquer la question et à retarder sa solution finale. À ce titre, il faut mentionner:

— les problèmes techniques associés à la conception d'équipements capables de répondre aux attentes tout en assurant une sécurité maximale à l'opération, de façon à éliminer toute possibilité d'erreur qui pourrait avoir des conséquences graves dans une usine d'explosifs,
— les multiples autorisations de personnes-ressources nécessaires avant de procéder à tout changement majeur,
— les contraintes de production et de rentabilité de l'usine et les délais de livraison de certaines pièces d'équipements nécessaires aux modifications projetées,
— les hésitations et incertitudes conséquentes aux changements de propriétaires qu'a connus l'usine de Valleyfield depuis 1977.

b) Acide acétique

Les niveaux excessifs d'acide acétique se situant entre une fois et sept fois la norme admissible dans l'environnement des postes de travail de plusieurs bâtisses du RDX, selon les indications du tableau 4.2.3, méritent une attention particulière. En effet, la plupart des données coupables ont été recueillies sous C.I.L. avant la destruction quasi-totale du secteur par un incendie au printemps de 1977. Le département a été reconstruit par C.P.C.V. en 1978 et une nouvelle conception de ventilation à la source a été intégrée à la majorité des équipements de production susceptibles de laisser échapper des vapeurs nocives dans le milieu de travail. De plus, la compagnie a fait construire une cabine ventilée et isolée pour l'opérateur de la bâtisse de récupération de l'acide acétique (no 703) qui était particulièrement à risque. Néanmoins, il semble y avoir encore aujourd'hui, un certain niveau d'inconfort pour les travailleurs du département engendré par les odeurs marquées d'acide acétique.

Cependant, aucune autre nouvelle mesure de contaminant n'a été faite pour documenter le problème auquel on a accordé un indice moyen de risque égal à 2, signifiant un risque important.

c) Nitroglycérine

Bien que la présence de nitroglycérine dans l'atmosphère des places de travail des bâtisses nos 195, 289, 904 et 920, où l'on traite la poudre propulsive commerciale à double bases, ne semble pas indiquer une exposition importante des travailleurs par voie respiratoire selon les données du tableau 4.2.8, il est quand même nécessaire d'y exercer une étroite surveillance en raison de l'absorption rapide du contaminant par la voie cutanée et les muqueuses. La ventilation à la source étant inexistante dans la majorité de ces bâtisses, à l'exception du tamisage (no 288), les travailleurs doivent porter des vêtements de protection individuels dont un masque respiratoire spécial pour vapeur

organique et poussière nuisible, modèle nº 3M-8250, lors de l'opération de la vidange du séchoir (nº 920). La situation est encore plus critique à la bâtisse nº 161 où la poudre à base double ou triple venant de la bâtisse nº 902 est mélangée avec de l'acétone dans des alcôves fermées. Le problème de contamination potentielle à la nitroglycérine se situe au niveau de l'absorption cutanée de la substance plutôt que son inhalation (concentration moyenne < VLE) lors de la manipulation de la poudre pour en vérifier la texture. Ce contact se fait en moyenne à deux reprises par mélange. Des gants suffisamment minces permettant de vérifier la texture de la poudre et imperméables à la nitroglycérine sont à l'essai (gants « Tru-Touch ») dans ce département. Cependant, il faut signaler ici qu'aucun gant sûr, qui puisse être utilisé sur une longue période de temps, ne semble exister sur le marché. Il faut remarquer que cette pratique presque artisanale de vérifier au toucher la texture de la poudre se répète également dans les bâtisses nºs 160 et 162 où sont mélangées et macérées les poudres propulsives à base simple. Toute la question mérite une attention particulière!

d) Poussières totales

Les niveaux de poussière totale dans certains départements de l'usine dont les bâtisses nºs 128 et 104, du secteur de la nitrocellulose, nºs 231, 241, 282, 283 et 920 du secteur de la deuxième passe (finition) ont pris des proportions alarmantes au cours des dernières années comparativement à la valeur limite d'exposition permise (VLE_{8h}), selon les indications fournies par les tableaux 4.2.5 et 4.2.8 et par les figures 4.2.J et 4.2.K. Dans le premier cas, Expro a procédé à l'installation d'une hotte ventilée au poste de l'opérateur chargé de peser les barils de cellulose en flocons pour la nitration à la bâtisse nº 108. Le système de ventilation à la source gagnerait en efficacité si l'ouverture de la hotte était plus petite tout en permettant une manœuvre facile pour l'opérateur qui doit y avoir accès au moyen d'une fourche servant à remplir les barils. L'opérateur doit aussi porter un masque buccal pour poussière nuisible dans l'exécution de son travail. La situation est plus corsée dans le cas des poussières de poudre propulsive émises dans certaines bâtisses du secteur de la deuxième passe (nºs 231, 241, 282, 283). Il n'y a aucun système de ventilation à la source et les opérateurs concernés doivent porter un respirateur pour poussière nuisible du type nº 3M-8710 lors de certaines opérations, telles la vidange des séchoirs. Fort heureusement, par ailleurs, personne n'est admis dans les bâtisses pendant les phases critiques des opérations de séchage, homogénéisation et tamisage de la poudre propulsive. C'est le moyen ultime de contrôle du risque d'exposition aux poussières nuisibles. Expro projette une modernisation en profondeur de tout le secteur de la deuxième passe qui réglerait la majorité des problèmes de sécurité et d'hygiène industrielle associés à la finition de la poudre propulsive, étant donné l'abolition de toute manutention de produits dangereux et le contrôle à distance des opérations que permettrait le nouveau procédé projeté.

e) Bruit

Enfin, l'évaluation exhaustive de l'ambiance sonore de presque toutes les bâtisses et annexes de l'usine faite par C.P.C.V. indique que le bruit n'est pas un problème majeur dans cette usine. Il y a quelques exceptions qui requièrent une surveillance plus étroite, particulièrement dans certaines bâtisses de la deuxième passe et des services telles, la bâtisse de glaçage de la poudre humide (Sweetie barrel, nº 195), la bâtisse de tamisage (nº 288), la salle de balistique (nº 419) et la centrale d'énergie (nº 440). Les opérateurs concernés doivent porter des coquilles pour se protéger de cet agresseur.

3. Mesures de contrôle

Tout au long de l'analyse de la situation, nous avons introduit les mesures de contrôle du risque que l'usine utilise pour protéger la santé des travailleurs. Dans certaines situations, les plus critiques, un véritable contrôle de polluant à la source s'effectue comme dans le cas de l'éther à la première passe. Dans d'autres, seule l'évacuation des lieux retire le travailleur du milieu dangereux comme dans le cas des vapeurs nitreuses au secteur de la nitrocellulose. Entre ces deux extrêmes, se retrouve la technique de contrôle du risque par le port d'équipement de protection individuel. Selon notre estimation,

tel que reflété par l'indice de l'effort de contrôle du risque présenté dans les tableaux 4.2.10 à 4.2.16, très peu de polluants sont contrôlés dès leur émission et trop le sont par l'obligation faite aux travailleurs d'assurer leur propre protection. Pour l'ensemble des polluants répertoriés aux tableaux 4.2.10 à 4.2.16, on estime à moins de 10% les situations dont l'indice de l'effort de contrôle est qualifié de majeur ($I_{CONT} = 3$) et dans plus de 15% des cas, le contrôle est à toute fin pratique inexistant.

La lecture des manuels d'opérations, dont la révision et la traduction française de même que les informations auxiliaires étaient complétées à environ 70% le 20 juin 1983, nous renseigne particulièrement sur les équipements de protection individuels que l'usine met à la disposition des travailleurs pour assurer la protection de leur santé et de leur intégrité physique de même que sur les mesures d'urgence à respecter en cas de problèmes majeurs et est très peu révélatrice d'un effort de contrôle à la source des différents facteurs de risque présents à l'usine.

À quelques exceptions près dont nous avons déjà largement parlé, il est indubitable que la technique de la protection personnelle est sur-utilisée compte tenu qu'elle met en place un simple moyen de défense faillible plutôt que d'éliminer ou réduire le danger à sa source. De plus, dans certains cas comme le port d'un masque respiratoire, l'effort physiologique supplémentaire qu'exigent certains travaux incite les travailleurs à rejeter cet équipement comme moyen de protection individuel. Dans la mesure où il est nécessaire de faire appel à cette alternative comme moyen de contrôle parce que les travaux d'ingénierie menant à une solution définitive sont en cours ou encore parce qu'il n'y a pas d'autres moyens disponibles, cinq facteurs doivent être considérés au préalable, à savoir:

- une compréhension claire du potentiel toxique du polluant par tous les intéressés,
- le degré de protection recherchée doit être proportionnel à l'ampleur du danger,
- les interférences possibles de l'équipement de protection individuel avec la performance du travailleur,
- l'équipement doit être approuvé par une agence reconnue,
- l'équipement de la plus haute qualité doit être choisi.

Parmi les problèmes les plus courants qui diminuent l'efficacité d'un équipement de protection individuel, mentionnons:

- le choix d'un équipement inapproprié pour le risque envisagé,
- le mauvais entretien de l'équipement,
- le port d'un équipement mal ajusté.

Encore une fois, la prise en compte de ces différents critères ajoutée au développement d'une stratégie efficace de contrôle des agresseurs du milieu de travail militent en faveur de la constitution d'une équipe d'hygiène industrielle compétente à l'usine de Valleyfield.

4.2.4 Conclusions et recommandations

Les nombreux changements de propriétaires survenus à l'usine depuis 1977 et les mouvements importants de personnel qui en ont résulté n'ont certes pas favoriser le développement harmonieux d'un programme efficace d'analyse des risques, de surveillance environnementale et de contrôle des agents agresseurs comme outil fondamental de prévention des accidents de travail et maladies professionnelles.

Durant la période de 1976 à 1982, la situation de l'usine au plan de la santé et de la sécurité des travailleurs se détériore graduellement. Aucun programme d'hygiène industrielle structuré selon les règles propres à cette discipline n'existe à l'usine et le personnel affecté à ce service est insuffisant. Il répond aux urgences tant bien que mal et essaie de maintenir des relations satisfaisantes avec les organismes réglementaires d'inspection et de surveillance du milieu de travail qui sont pour le moins très tolérants. Les propriétaires d'alors ont d'autres priorités qui les font négliger sinon oublier leurs

responsabilités d'assurer la santé, la sécurité et l'intégrité physique de leur personnel. Ainsi C.I.L. cherche à se départir de ses installations de Valleyfield et en conséquence, surveille de moins en moins les conditions de son milieu de travail. C.P.C.V. s'évertue à produire en acceptant consciemment ou pas les risques inhérents à ce type d'industrie, sans véritablement se préoccuper de la formation adéquate des travailleurs face aux dangers reliés à leur tâche. P.W.H. s'acquitte en priorité de son mandat de faire tourner l'usine et d'intéresser un nouvel acquéreur.

C'est dans cette atmosphère quelque peu houleuse, imprégnée du mécontentement grandissant des travailleurs, qu'Expro prend possession de l'usine en mars 1982, conscient des besoins de redressement requis au plan de la sécurité, de l'hygiène du milieu et de la productivité. Il est indubitable que la compagnie a procédé à de nombreuses corrections du milieu de travail depuis son arrivée à Valleyfield comme il est vrai aussi que beaucoup reste à faire ou à compléter pour placer l'usine parmi les leaders en matière de santé et sécurité du travail au Québec. Ainsi, au simple plan de l'hygiène du travail, il faudra renforcer les ressources humaines et physiques en hygiène industrielle, préparer et faire adopter un programme de surveillance du milieu de travail, accentuer le contrôle du risque à la source par la modernisation de certaines installations ou la modification importante des procédés coupables, former le personnel cadre et les travailleurs à la reconnaissance des agresseurs potentiels des postes de travail et des moyens de s'en prémunir et sensibiliser l'ensemble du personnel aux attitudes et comportements préventifs par une information de qualité.

L'amélioration de la qualité du milieu de travail exige chez les travailleurs comme chez les gestionnaires un changement d'attitude axé sur la prise de conscience de leurs intérêts communs. Le nouveau comportement préventif souhaité devra être fondé sur une concertation réaliste des intervenants et, un souci constant d'objectivité devra teinter toutes leurs démarches.

Confiante de la possibilité des partenaires à travailler ensemble à l'établissement progressif d'un milieu de travail sain et sécuritaire, la Commission retient les recommandations suivantes susceptibles d'améliorer la qualité de l'environnement du milieu de travail à l'usine Expro:

A. Ressources humaines

— la compagnie devrait procéder, dans les meilleurs délais possibles, à l'engagement d'un ingénieur-hygiéniste industriel à son service de santé et de sécurité;

— le technicien en hygiène industrielle de la compagnie devrait s'occuper à plein temps des problèmes d'hygiène du milieu sans être constamment appelé à traiter des questions de pollution de l'environnement extérieur;

— la compagnie devrait procéder, le cas échéant, à l'engagement d'un technicien en environnement (eau et air) relevant du chef des services techniques;

— la compagnie devrait dégager à plein temps, pour une période déterminée, deux personnes chargées de la formation de base des travailleurs en santé et sécurité du travail. Ces personnes recevraient au préalable une formation pertinente offerte par le personnel du service de santé-sécurité ou par des personnes-ressources extérieures;

— la compagnie devrait engager un chargé d'information dont le mandat serait particulièrement de communiquer à tout le personnel de l'usine les diverses informations relatives à la santé et sécurité du travail;

— le chef du service santé-sécurité, relevant du directeur-général de l'usine, devrait avoir sous ses ordres tout le personnel en santé et sécurité du travail, à savoir, l'ingénieur-hygiéniste, le médecin du travail, les techniciens en hygiène industrielle et prévention des accidents de travail, les infirmières et la secrétaire;

— en plus des membres réguliers, le comité paritaire de santé-sécurité devrait s'adjoindre au besoin, les personnes-ressources habilitées à commenter scientifiquement l'une ou l'autre des questions débattues;

— le service de santé et de sécurité devrait mettre à profit l'expérience des travailleurs en tenant compte des suggestions que ces derniers peuvent lui faire de temps à autre sur certaines améliorations susceptibles de diminuer les risques;

— le chef du service santé-sécurité assisté de son personnel et de concert avec le comité paritaire de santé et sécurité devrait procéder immédiatement à l'identification et à l'évaluation scientifique des agresseurs physiques et chimiques du milieu de travail;

— les stratégies d'échantillonnage utilisées devraient permettre d'établir adéquatement le niveau d'exposition des travailleurs concernés en comparaison avec les normes prescrites plutôt que simplement établir une concentration moyenne d'ambiance générale;

B. Ressources matérielles

— la compagnie devrait installer un laboratoire d'hygiène industrielle indépendant du laboratoire du contrôle de la qualité, muni des instruments de base nécessaires à l'échantillonnage des principaux agresseurs présents dans les places de travail et capable d'assurer l'étalonnage et l'entretien des équipements;

— le comité paritaire devrait faire la lumière sur les problèmes de manipulations trop fréquentes de poids moyens ou de manipulations de poids trop lourds dans plusieurs départements de l'usine et de faire des recommandations visant à corriger la situation;

— la compagnie devrait poursuivre les démarches amorcées auprès des autorités compétentes conduisant au remplacement du benzène par une substance moins toxique comme dénaturant de l'alcool éthylique;

— la compagnie devrait chercher par tous les moyens possibles à trouver une technique sécuritaire qui permettrait aux travailleurs des mélangeurs et macérateurs du secteur de la première passe de vérifier la texture de la poudre propulsive sans avoir à y toucher, particulièrement en ce qui concerne la poudre à base double ou triple qui contient de la nitroglycérine;

— la compagnie devrait immédiatement abandonner la pratique conduisant à ajouter manuellement des mélanges éther et stabilisants dans les mélangeurs à la première passe;

— la compagnie devrait prévoir un mécanisme avertisseur efficace aux endroits dangereux où se trouve un opérateur travaillant seul;

— la compagnie devrait compléter dans les plus brefs délais son programme de réduction des vapeurs d'éther et d'alcool éthylique aux bâtisses nos 160, 162, 170 et 174 de la première passe;

— advenant le cas où la situation reste fragile après les corrections effectuées, la compagnie devrait installer un appareil à lecture permanente dans ces départements couplé à un système d'alarme qui avertirait les travailleurs dans le cas où les concentrations d'éther dépasseraient une limite acceptable;

— la compagnie devrait mettre de l'avant son projet de modernisation aux départements de la nitrocellulose et de la finition de la poudre propulsive de façon à conduire à distance les opérations critiques qui s'y déroulent, et ainsi isoler les opérateurs des risques qu'elles comportent;

— si tout délai majeur est prévu dans le projet de nitration continue en circuit fermé, la compagnie devrait installer un équipement permanent de détection des vapeurs nitreuses à la bâtisse no 108 couplé à un système d'alarme déclenchant au-dessus d'une limite admissible;

— la compagnie devrait installer des douches supplémentaires et des bains d'urgence dans le secteur des acides et établir un programme de vérification de la qualité et de l'efficacité de ces équipements;

— la compagnie devrait viser à diminuer le plus possible l'utilisation des équipements de protection personnels par un programme de mesures correctives à la source;

— dans l'intérim, la compagnie devrait mettre à la disposition des travailleurs des équipements de protection personnels de la meilleure qualité, en quantité suffisante et

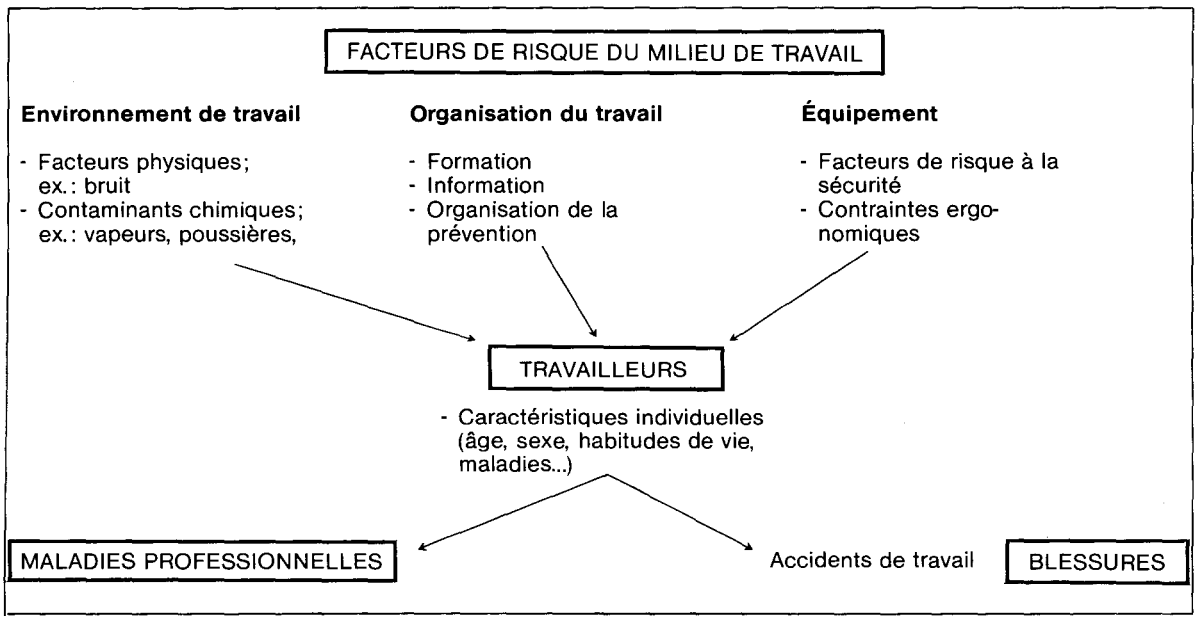
accessibles en tout temps. La compagnie devrait aussi s'assurer que les équipements fournis répondent au besoin, offrent un ajustement adéquat et soient soumis à un programme d'entretien préventif par un personnel qualifié.

4.3 Santé

L'organisation mondiale de la santé (O.M.S.) définit la santé comme étant un état de bien-être physique, mental et social qui résulte d'un équilibre constant entre, d'une part, les caractéristiques biologiques de l'individu et, d'autre part, son environnement physique et social. Une modification de cet équilibre, causée le plus souvent par un environnement insalubre (bruit, substances chimiques, stress, facteurs psycho-sociaux...) et des habitudes de vie néfastes (abus d'alcool, tabac, mauvaise alimentation) peut entraîner la maladie.

En milieu de travail, nous savons qu'un ensemble de facteurs de risque associés à l'environnement de travail, à l'équipement et à l'organisation du travail peut porter atteinte à l'intégrité physique et mentale et au bien-être du travailleur. *Les blessures* causées par les accidents du travail et *les maladies professionnelles* résultant d'une exposition de longue durée (chronique) à des contaminants de l'environnement de travail ou à des contraintes ergonomiques, constituent les principaux problèmes de santé au travail méritant notre attention (tableau 4.3.1).

Tableau 4.3.1 Les problèmes de santé au travail



Les première, deuxième et quatrième sections du présent chapitre nous permettent d'identifier les principaux facteurs de risque présents à Expro, respectivement au niveau de l'équipement (facteurs de risque à la sécurité et contraintes ergonomiques), de l'environnement de travail (risques physiques et chimiques) et de l'organisation du travail.

La présente section a pour but d'évaluer les conséquences de ces facteurs de risque sur la santé des travailleurs de la compagnie Expro, en termes de blessures liées au travail et de maladies professionnelles et de proposer les principaux paramètres d'un programme de santé à être mis en application par le personnel des services de santé.

Ainsi, la sous-section 4.3.1 présente une revue *théorique* des principaux effets aigus et chroniques des contaminants chimiques spécifiques auxquels sont significativement

exposés les travailleurs d'Expro (cf. section sur l'hygiène du milieu). À partir de diverses sources de données (statistiques de la réparation, études médicales, audiences publiques...), une liste des principaux problèmes de santé affectant les travailleurs d'Expro est dressée à la section 4.3.2. La section 4.3.3 décrit l'organisation et le fonctionnement des services de santé. Finalement, à la section 4.3.4, nous analysons la situation et nous proposons les principaux paramètres d'un programme de santé.

4.3.1 Toxicologie des principaux contaminants spécifiques à Expro

La section 3.3 du chapitre précédent nous a permis d'identifier les principaux facteurs de risque physique et chimique auxquels les travailleurs d'Expro sont exposés de façon aiguë et/ou chronique. Certains de ces facteurs sont communs à l'industrie manufacturière en général, tandis que d'autres sont spécifiques à la fabrication des explosifs et propulsifs (tableau 4.3.2).

Tableau 4.3.2 Principaux facteurs de risque physique et chimique auxquels les travailleurs d'Expro sont exposés

A) Facteurs de risque spécifiques à la fabrication des explosifs	B) Facteurs de risque non spécifiques
1. De type chimique: **Solvants:** - diéthyl éther - alcool éthylique - acétone - cyclohexanone **Dérivés nitrés et aminés:** - nitroglycérine (NG) - dinitrotoluène (DNT) - trinitrotoluène (TNT) - hexamine - cyclotriméthylènetrinitramine (RDX) - diphénylamine (DPA) - nitroguanidine **Oxydes d'azote** (vapeurs nitreuses NO_X) **Acides:** - acide nitrique - acide acétique - acide sulfurique **Autres:** - anhydride acétique - graphite naturel - phtalate de dibutyle - carbonate de plomb	**1. De type chimique:** - fumées de soudure - plomb - mercure - amiante **2. De type physique:** - bruit - chaleur - humidité **3. De type ergonomique:** - manutention de charges lourdes

La présente sous-section se propose de faire un inventaire théorique (revue bibliographique) des effets toxiques, résultant d'une exposition immédiate (aiguë) et à long terme (chronique), aux contaminants chimiques spécifiques à la fabrication des explosifs et propulsifs. Nous avons exclu de cette revue les contaminants et autres facteurs de risque qui n'étaient pas spécifiques, n'affectaient qu'un nombre limité de travailleurs, ne représentaient pas un risque important ou pour lesquels d'excellents documents étaient déjà disponibles.

Pour effectuer la revue de littérature, la Commission a entrepris certaines démarches auprès d'organismes étrangers. Ceci lui a permis d'obtenir d'importants documents, autrement peu accessibles. Les visites effectuées en Europe lui ont particulièrement été utiles en ce sens.

La revue de ces composés a été abordée par famille, telle que décrite au tableau précédent. Lorsqu'appropriée, une revue générale des propriétés toxicologiques d'une famille de composés a été incluse. C'est le cas des solvants organiques, pour lesquels nous discutons de leur neurotoxicité et des composés nitrés et aminés, pour lesquels nous discutons de la methémoglobinémie.

Tous les contaminants chimiques sont abordés dans un même ordre logique, sous forme de fiche toxicologique. Ces fiches sont présentées à l'annexe 3 du présent rapport. Leur lecture permettra de mieux comprendre les principales recommandations faites à la fin de cette section. Elles pourront servir de documents de référence pour l'élaboration du programme de santé. Le plan de ces fiches apparaît ci-après.

Plan des fiches toxicologiques

Nom de la substance
Synonymes
Propriétés physico-chimiques
Toxicocinétique
- a) Absorption
- b) Distribution
- c) Métabolisme
- d) Excrétion

Toxicité
- a) Généralités
- b) Toxicité chez l'humain
  1. Aiguë
  2. Chronique
- c) Toxicité chez l'animal
- d) Mutagénicité
- e) Cancérigénicité
- f) Tératogénicité

Normes ambiantes
- a) En vigueur (Québec et ailleurs)
- b) Proposées par divers organismes

Premiers secours et premiers soins
Surveillance médicale
Points importants
Bibliographie

Avertissement

La lecture de ces textes peut être difficile pour les personnes non initiées. Dans le but de rendre accessibles, le plus possible, les informations contenues dans quelques documents, nous avons ajouté à quelques unes de ces fiches, une section intitulée: «*Points importants*».

4.3.2 Problèmes de santé documentés à Expro

Certaines données sanitaires telles les statistiques d'indemnisation de la C.S.S.T. pour les années 1978 à 1982, les résultats de dépistage audiométrique, radiologique et spirométrique du service de santé d'Expro, l'enquête du Dr Arnold Aberman sur les symptômes liés à l'exposition à l'éther et à la nitroglycérine, etc. ont été transmises à la Commission lors des audiences publiques et lors de rencontres. Nous passerons en revue chacune de ces sources de données, en analyserons leur contenu et leur pertinence pour ensuite tenter de dégager un portrait des principaux problèmes de santé au travail des ouvriers d'Expro.

A. Statistiques d'indemnisation de la C.S.S.T.

En date du 11 avril dernier, suite à une demande de la Commission d'enquête, la Commission de la santé et de la sécurité du travail de la région de Longueuil lui faisait parvenir un relevé des accidents qui se sont produits aux installations des usines

« La Corporation des produits chimiques de Valleyfield » (C.P.C.V.) « Price Waterhouse » et « Expro » de 1978 à 1982 inclusivement. Ce relevé est composé de six listes; cinq de ces listes représentent le relevé annuel des accidents. Chaque accident est décrit par les six variables suivantes: numéro d'employeur, date de l'accident, siège de la lésion, nature de la lésion, numéro de réclamation et nombre de jours payés. La sixième liste concerne les maladies professionnelles déclarées. Une compilation des accidents de travail pour les années 1980-81 et 1982 est présentée aux tableaux 4.3.7 à 4.3.9.

1. Accidents de travail

Un nombre moyen de 540 ouvriers de production et de neuf cent mille heures travaillées annuellement a été comptabilisé pour ces trois années, de telle sorte qu'il est possible d'effectuer des comparaisons entre ces années.

Un total de 22 432 jours ont été payés par la C.S.S.T. pour 752 cas d'accidents de travail, soit une moyenne de trente jours par cas. L'année 1982 marque une nette régression du nombre de jours indemnisés avec 5 080 jours comparé à l'année 1981 avec 10 350 jours. Néanmoins, le nombre total de cas a augmenté à 308 (tableau 4.3.3).

Tableau 4.3.3 Nombre total de cas et de jours indemnisés — 1980-1982

	1980	1981	1982	Total
Nombre de cas	219	225	308	752
Nombre de jours indemnisés	7 002	10 350	5 080	22 432
Nb moyen de jours indemnisés/cas	32	46	16	30

Le tableau 4.3.4 nous permet de constater que les cas d'accidents ayant entraîné un arrêt de travail de plus de cinquante jours, soit en moyenne 15% du total des cas, cumulent plus de 75% du nombre total de jours indemnisés durant ces trois années. Ainsi, la majorité des accidents conduit à un retour au travail après de brefs délais et semble en conséquence de peu de gravité. Cependant, les cas d'arrêt de plus de cinquante jours résultent probablement d'une atteinte plus importante de l'intégrité physique du travailleur. Leur nombre a atteint un sommet en 1981 : 53 (24%) avec 82,5% des jours indemnisés, pour régresser subitement en 1982 à 29 (9,5%) avec seulement 58,5% des jours indemnisés, ce qui semble signifier que la gravité des lésions professionnelles ait régressé substantiellement.

Tableau 4.3.4 Les cas de plus de 50 jours: Nombre et pourcentage de cas et de jours indemnisés — 1980-1982

	1980	1981	1982	Total
Nombre de cas de plus de 50 jours	30	53	29	112
% du total de cas	14%	24%	9,5%	15%
Nombre de jours indemnisés	5 026	8 452	2 986	16 554
% du total de jours indemnisés	72%	82,5%	58,5%	74%

Plus de 75% des accidents de travail et 82% du nombre de jours indemnisés sont dus à des douleurs, des entorses, des foulures et des écrasements au niveau des membres supérieurs et inférieurs, de la colonne vertébrale et du tronc et ce, pour les années 1980 à 1982.

La colonne vertébrale constitue le site majeur pour le nombre de cas et de jours indemnisés et la gravité (nombre moyen de jours indemnisés/cas). Les lombalgies, entorses lombaires, contusions et hernies discales expliquent en moyenne 34% du nombre total de cas, avec 60% du nombre total de jours indemnisés. L'année 1982 indique une baisse marquée de la gravité des atteintes de la colonne, soit 30 jours indemnisés par rapport à 84 en 1981 et 46 en 1980; le pourcentage de cas a peu varié (tableau 4.3.5).

Les brûlures (eau chaude — acides...) semblent constituer un problème mineur d'après les données de la C.S.S.T., tandis que les cas indemnisés d'intoxication n'apparaissent qu'en 1981 avec 11 cas pour un total de 27 jours indemnisés et en 1982, 20 cas pour un total de 66 jours indemnisés. Il n'est malheureusement pas précisé quelles substances chimiques étaient en cause, mais si on se réfère aux audiences publiques, l'éther et la nitroglycérine sont les principales.

Tableau 4.3.5 Atteinte de la colonne vertébrale: lombalgie, entorse, contusion, hernie Nombre et pourcentage de cas et de jours indemnisés — 1980-1982

	1980	1981	1982	Total
Nombre de cas	83	83	90	256
% du total de cas	38%	37%	30%	34%
Nombre de jours indemnisés	3 877	7 000	2 650	13 527
% du total de jours indemnisés	55%	67%	52%	60%
Nb moyen de jours indemnisés/cas	46	84	30	52

Les données de la C.S.S.T. ne nous permettent pas de connaître dans quels départements de l'usine Expro sont survenus ces accidents de travail. Cependant, en faisant référence à un tableau sur les statistiques des accidents avec blessures, fourni par les autorités de la compagnie lors des audiences publiques (tableau 4.3.10), nous pouvons constater que les *différents problèmes de dos* se produisent surtout aux départements de la première et deuxième passe et de la nitrocellulose. Les contraintes ergonomiques notées lors de la visite des commissaires et des experts dans ces départements constituent hors de tout doute un des facteurs pouvant expliquer ces problèmes de santé. Les brûlures à l'acide sont surtout concentrées dans le département acide-nitrocellulose et les intoxications (surtout à l'éther) au niveau de la première passe.

2. *Maladies professionnelles*

Un total de 46 maladies professionnelles ont été déclarées à la C.S.S.T. depuis 1978. Les intoxications, incommodations et dermatoses constituent la majorité des cas déclarés (tableau 4.3.6). Seuls deux cas de surdité ont été déclarés. Aucune de ces maladies n'a conduit à un taux d'incapacité permanente.

Tableau 4.3.6 Nombre de cas et de jours indemnisés de maladies professionnelles déclarées à la C.S.S.T. — 1978-1982

Code C.S.S.T.	Nature de la maladie professionnelle	1978	1979	1980	1981	1982	Total nb de cas	Nb de jours indemnisés
100-199	Dermatose	2	3		4		9	69
202-299	Intoxication et incommodation	3	10	7	5	5	30	15
500	Surdité	1			1		2	-
604	Tendinite	2			2		4	33
923	Pathologie psychologique		1				1	25
TOTAL		8	14	7	12	5	46	142

Conclusion

L'analyse des données d'indemnisation de la C.S.S.T. ne peut que nous donner un portrait partiel de l'ampleur des problèmes de santé des travailleurs d'Expro. Nous savons déjà, grâce à des enquêtes menées aux États-Unis et ici au Québec, que le nombre total d'accidents avec blessures et dans une plus large mesure encore des maladies professionnelles est sous-estimé. Ainsi, la plupart des accidents avec blessures mineures, c'est-à-dire ceux ne conduisant à aucune perte de journée de travail, sont traités sur place et à l'occasion inscrits dans un registre de premiers secours. Les maladies professionnelles résultent le plus souvent d'une exposition de longue durée à des contaminants du milieu de travail. Les travailleurs, par manque d'information, reconnaissent difficilement leurs effets. S'ils les reconnaissent, ils ne les déclarent pas nécessairement au service de santé de la compagnie (cf. témoignage de monsieur Paul Boyer, volume 8, page 57). Les médecins, par une déficience de leur formation médicale, oublient souvent de faire le lien entre le travail du patient et les symptômes pour lesquels il consulte.

L'analyse des données de la C.S.S.T. nous a cependant permis de constater que les maux de dos constituent le problème de morbidité déclarée le plus important. Dans l'analyse des autres données disponibles, nous tenterons de mieux cerner le tableau de l'état de santé des travailleurs d'Expro.

Tableau 4.3.7 Nombre d'accidents de travail indemnisés par la C.S.S.T. en 1980 à la compagnie Expro, selon la nature et le siège de la lésion, et le nombre de jours indemnisés

Code C.S.S.T.	Nature de la lésion	Code C.S.S.T.	Siège de la lésion	Nombre de jours indemnisés et nombre de cas										Total	
				0 - 9 jours		10 - 49 jours		50 - 99 jours		100 jours & plus		nb de cas	%	nb de jours indemnisés	%
				nb cas	nb jours	nb cas	nb jours	nb cas	nb jours	nb cas	nb jours				
199	douleur (myalgie)	311-399	membres supérieurs	11	32	1	18	–	–	–	–	12	5,5	50	0,4
	maux de dos	420-429	colonne vertébrale	22	78	11	185	2	164	2	668	37	17	1 095	15,6
	douleur	511-599	membres inférieurs	7	19	1	24	1	59	–	–	9	4	102	1,4
	douleur		autres parties du corps	8	30	3	37	–	–	1	116	12	5,5	183	2,6
Total				48	159	16	264	3	223	3	784	70	32	1 430	20
188	entorse au dos	420-429	colonne vertébrale	14	68	18	493	6	406	6	1 563	44	20	2 530	36
	foulure, entorse,	511-599	membres inférieurs	4	19	9	173	1	52	1	405	15	7	649	9,2
	autres			4	17	1	47	–	–	1	173	6	3	237	3,8
Total				22	104	28	713	7	458	8	2 141	65	30	3 416	49
160	contusion, écrasement,	311-399	membres supérieurs	9	32	4	82	–	–	–	–	13	5,5	114	–
	traumatisme	420-429	colonne vertébrale	1	4	–	–	–	–	1	248	2	1	252	3,6
		511-599	membres inférieur	8	31	4	51	–	–	–	–	12	5,5	82	–
		autres		2	7	3	55	–	–	–	–	5	2,5	62	–
Total				20	74	11	188	–	–	1	248	32	14,5	510	7,3
261	bursite	313	coudes	–	–	2	34	–	–	1	215	3	–	249	–
		513	genoux	3	11	–	–	–	–	–	–	3	–	11	–
Total				3	11	2	34	–	–	1	215	6	2,5	260	3,7
263	épicondylite	313	coudes	1	3	1	40	1	78	1	233	4	–	354	–
178	fracture, luxation	311-399	membres supérieurs	–	–	4	151	–	–	2	450	6	–	601	–
170	coupure	311-399	membres supérieurs	6	32	1	13	–	–	1	60	8	–	105	–
120	brûlure (eau chaude)			–	–	1	10	1	86	–	–	2	–	96	–
203	brûlure acide			7	24	–	–	–	–	–	–	7	–	24	–
140	commotion cérébrale			–	–	–	–	–	–	1	100	1	–	100	–
145	choc nerveux			3	9	1	33	–	–	–	–	4	–	42	–
autres				13	21	1	43	–	–	–	–	14	–	64	–
Total				30	89	9	290	2	164	5	843	46	21	1 386	20
TOTAL				123	437	66	1 489	12	845	18	4 231	219	100	7 002	100
%				(56)	(7)	(30)	(21)	(5,5)	(12)	(8,5)	(60)	(100)	–	(100)	–

Tableau 4.3.8 Nombre d'accidents de travail indemnisés par la C.S.S.T. en 1981 à la compagnie Expro, selon la nature et le siège de la lésion, et le nombre de jours indemnisés

Code C.S.S.T.	Nature de la lésion	Code C.S.S.T.	Siège de la lésion	Nombre de jours indemnisés et nombre de cas										Total	
				0 - 9 jours		10 - 49 jours		50 - 99 jours		100 jours & plus		nb de cas	%	nb de jours indemnisés	%
				nb cas	nb jours	nb cas	nb jours	nb cas	nb jours	nb cas	nb jours				
199	douleur (myalgie)	311-399	membres supérieurs	22	62	5	112	–	–	1	361	28	12,5	535	5,5
	maux de dos	420-429	colonne vertébrale	13	69	13	345	7	516	8	1 874	41	18,5	2 804	27
	douleur	450	épaules	7	22	1	25	–	–	1	101	9	4,5	148	1,5
	douleur	511-599	membres inférieurs	17	65	9	183	–	–	3	570	29	12	818	8
	douleur	700	sièges multiples	1	4	1	29	–	–	2	527	4	2	560	5,5
	douleur		autres	8	37	2	33	–	–	–	–	10	4,5	70	,5
Total				68	259	31	727	7	516	15	3 433	121	54,0	4 935	48,0
188	entorse au dos	420-429	colonne vertébrale	6	41	10	233	7	464	13	2 704	36	16	3 442	33
	élongation	450	épaules	1	4	3	100	–	–	–	–	4	1,7	104	1,2
	entorse, foulure	511-599	membres inférieurs	–	–	5	130	1	96	–	–	6	2,6	226	2
			autres	2	12	–	–	–	–	–	–	2	1	12	,3
Total				9	57	18	463	8	560	13	2 704	48	21,3	3 784	36,5
160	contusion	311-399	membres supérieurs	3	11	1	10	–	–	–	–	4	–	21	–
	écrasement,	420-429	colonne vertébrale	2	6	–	–	1	53	1	273	4	–	332	–
	traumatisme	450	épaules	–	–	–	–	1	94	–	–	1	–	94	–
			autres	5	21	3	57	–	–	–	–	8	–	78	–
Total				10	38	4	67	2	147	1	273	17	7,5	525	5
182	hernie	424	lombaire	–	–	–	–	–	–	2	422	2	–	422	–
178	fracture	311-399	membres supérieurs	–	–	1	14	–	–	1	121	2	–	135	–
		513	genoux	–	–	–	–	–	–	1	148	1	–	148	–
Total				–	–	1	14	–	–	4	691	5	2,2	705	7
263	épicondylite, arthrite			–	–	3	67	1	86	–	–	4	–	153	–
270	intoxication			10	14	1	13	–	–	–	–	11	–	27	–
203	brûlure acide			1	7	1	16	–	–	–	–	2	–	23	–
	autres			13	34	2	32	2	132	–	–	17	–	198	–
Total				24	55	7	128	3	218	–	–	34	15	401	3,5
TOTAL				111	409	61	1 399	20	1 441	33	7 101	225	100	10 350	100
%				(49)	(4)	(27)	(13,5)	(9)	(14)	(15)	(68,5)	(100)	–	(100)	–

Tableau 4.3.9 Nombre d'accidents de travail indemnisés par la C.S.S.T. en 1982 à la compagnie Expro, selon la nature et le siège de la lésion, et le nombre de jours indemnisés

Code C.S.S.T.	Nature de la lésion	Code C.S.S.T.	Siège de la lésion	Nombre de jours indemnisés et nombre de cas								Total			
				0 - 9 jours		10 - 49 jours		50 - 99 jours		100 jours & plus		nb de cas	%	nb de jours indemnisés	%
				nb cas	nb jours	nb cas	nb jours	nb cas	nb jours	nb cas	nb jours				
199	douleur (myalgie)	311-399	membres supérieurs	38	135	5	106	1	52	–	–	44	14,2	293	–
	maux de dos	420-429	colonne vertébrale	29	125	16	196	7	510	3	499	55	17,8	1 330	–
	douleur	450	épaules	13	45	1	16	–	–	1	119	15	4,9	180	–
	douleur	498	parties multiples du tronc	1	3	2	33	–	–	2	326	5	1,6	362	–
	douleur	511-599	membres supérieurs	34	133	1	22	–	–	–	–	35	11,3	155	–
			autres	13	41	3	66	2	174	–	–	18	5,6	281	–
Total				128	482	28	439	10	736	6	944	172	55,6	2 601	51,2
188	entorse au dos	420-429	ccolonne vertébrale	6	36	20	363	6	403	3	418	35	11,3	1 220	–
	élongation	450	épaules	2	11	1	11	–	–	1	183	4	–	205	–
	entorse, foulure	511-599	membres inférieurs	2	8	5	116	–	–	–	–	7	–	124	–
			autres	5	25	3	95	–	–	–	–	8	–	120	–
Total				15	80	29	585	6	403	4	601	54	17,5	1 669	32,9
160	contusion, écrasement,	311-319	membres supérieurs	5	10	2	64	–	–	–	–	7	–	74	–
	traumatisme	511-599	membres inférieurs	4	18	–	–	1	90	–	–	5	–	108	–
			autres	2	8	2	20	–	–	–	–	4	–	28	–
Total				11	36	4	84	1	90	–	–	16	5,2	210	4,1
262	tendinite			3	13	1	11	1	63	–	–	5	–	87	–
264	kyste, abcès			–	–	1	38	–	–	1	149	2	–	187	–
203	brûlure acide			13	36	–	–	–	–	–	–	13	–	36	–
270	intoxication			18	29	2	37	–	–	–	–	20	–	66	–
170	coupure	311-399	membres supérieurs	10	34	1	29	–	–	–	–	11	–	63	–
	autres			10	31	6	132	–	–	–	–	16	–	163	–
Total				54	143	11	247	1	63	1	149	67	21,7	602	11,8
TOTAL				208	741	72	1 355	18	1 292	11	1 694	309	100	5 082	100
%				(67,3)	(14,6)	(23,3)	(26,7)	(5,8)	(25,4)	(3,6)	(33,3)	(100)	–	(100)	–

Tableau 4.3.10 Statistiques des accidents avec blessures Compagnie Expro — juillet 1982 - mai 1983

	RDX		Acide N/C		N/G		1e Passe		2e Passe		Entretien		Services		C. Énergie		Sûreté		Total	
Accidents avec blessures	Mois	À ce jour	Mois	À ce jour	Mois	À ce jour	Mois	À ce jour	Mois	À ce jour	Mois	À ce jour	Mois	À ce jour	Mois	À ce jour	Mois	À ce jour	Mois	À ce jour
Contusions, coupures...		9		60			2	41	1	44		49		9		1		2	3	215
Dos	1	4	2	28			3	39	1	27	1	7	1	1		1		1	9	108
Entorses diverses		3	2	37			2	30	1	29	1	14		4			1	3	7	120
Yeux		2		3			1	2		3	2	8		5				1	3	24
Brûlures à l'acide		2	1	17								4							1	23
Brûlures autres		3		2						2	1	7							1	14
Inhalation de vapeurs d'acide				13								5								18
Intolérance à l'éther								5												5
Intolérance au N/G							1	5		2		1							1	8
Autres		1		1								1				2				5
SOUS-TOTAL DES ACCIDENTS AVEC BLESSURES	1	24	5	161			9	122	3	107	5	96	1	19		4	1	7	25	540

B. Problèmes de santé révélés lors des audiences publiques

Les audiences publiques ont révélé que des travailleurs étaient exposés à des contaminants du milieu de travail pouvant entraîner des épisodes d'intoxication aiguë (nitroglycérine, éther), des lésions cutanées et même le décès (vapeurs nitreuses).

La présente sous-section a pour objectif de passer en revue les différents témoignages concernant ces problèmes de santé et de tenter, à la lumière des connaissances toxicologiques présentées à l'annexe 3, de préciser leur cause, leur gravité et de faire des recommandations s'il y a lieu.

1. « Rash » cutanés

Plusieurs témoins travaillant au département du RDX ont mentionné avoir été victimes de lésions cutanées (dermatites, ou « rash ») localisées au niveau des paupières. Cliniquement, ces lésions étaient caractérisées par de la rougeur, des démangeaisons et de l'enflure (oedème). Un retrait du département pour quelques jours et un traitement local avec des pommades suffisaient habituellement pour amener la guérison. Ceux qui manifestaient trop souvent des récidives étaient transférés vers un autre département.

Une compilation de tous les cas de dermatites déclarés au service de santé de la compagnie de 1978 à mai 1983 a été effectuée par l'infirmière à la demande de la Commission (tableau 4.3.11).

Tableau 4.3.11 Nombre de cas de dermatites de contact par année et par département déclarés au service de santé de la compagnie Expro — 1978 - mai 1983

Année	Département					
	RDX	TNT	Amorces	1ère passe	NC	Total
1978	5	1	2	1	0	9
1979	4	1	0	6	0	11
1980	3	0	0	1	1	5
1981	7	0	0	0	1	8
1982	2	0	0	0	2	4
1983	0	0	0	0	0	0
Total	21	2	2	8	4	37

Un nombre total de 37 cas a été rapporté. La majorité provient du département du RDX avec 21 cas (56%). Néanmoins, depuis 1982, l'incidence a chuté brusquement.

À l'analyse de ces 21 cas (tableau 4.3.12), nous constatons que le site privilégié des lésions est au niveau des yeux (70%), suivi des mains, bras et aisselles. Les travailleurs atteints sont répartis dans tous les bâtiments du département, sauf le nº 741.

Tableau 4.3.12 Répartition des cas de dermatites de contact selon le siège de la lésion et le bâtiment — département du RDX — 1978 - mai 1983

Département du RDX	Siège de la lésion				
Bâtiment nº	Yeux	Joues	Mains-bras	Aisselles	**Total**
742	3		1		4
704		1	1		2
708	6				6
703	2			1	3
713	1		2		3
486	2				2
746	1				1
Total	15	1	4	1	21

Les principaux contaminants identifiés dans l'environnement de travail de ces bâtiments sont les vapeurs d'acide et d'anhydride acétique, de cyclohexanone et les poussières de RDX et de TNT (cf. section 4.2 sur l'hygiène du milieu).

Les vapeurs d'acide, d'anhydride acétique et de cyclohexanone sont particulièrement irritantes pour les yeux, les membranes muqueuses et la peau et peuvent expliquer la majorité des cas de dermatites déclarés. Les témoignages abondent en ce sens. La diminution subite du nombre de cas déclarés en 1982 peut s'expliquer par une amélioration sensible apportée aux systèmes de ventilation du département du RDX en 1981.

L'exposition cutanée au TNT (trinitrotoluène) peut causer une dermatite de sensibilisation prenant la forme d'une rougeur avec démangeaisons au niveau des mains, des poignets et des avant-bras. Il est fort plausible que les deux cas du bâtiment nº 713 où de telles lésions ont été décrites, soient associés au TNT.

Conclusion

Le département du RDX a été sans équivoque un milieu de travail à risque pour les dermatoses professionnelles à Expro. Les niveaux d'acide et d'anhydride acétique, et de cyclohexanone dans l'air ambiant en étaient la principale cause; même si le problème semble moins aigu aujourd'hui, l'information des travailleurs sur les effets potentiels des différents contaminants présents sur la peau demeure importante. Une déclaration et une investigation de tout nouveau cas de dermatite sont essentielles pour une mise en application de mesures préventives adéquates.

2. Intoxications à la nitroglycérine

L'étude sur l'hygiène du milieu (cf. section 4.2) nous révèle qu'environ 80 travailleurs par quart de travail sont potentiellement exposés à la nitroglycérine au niveau des départements de la NG, première et deuxième passe (tableau 4.3.13). On a tenté de préciser les niveaux d'exposition de ce contaminant dans l'environnement de travail; les valeurs les plus élevées ont été notées dans le séchoir nº 920 et le bâtiment nº 289. Cependant, étant donné que la peau est une voie d'absorption prédominante, une connaissance des tâches des travailleurs de ces départements, surtout sur l'importance accordée à la manipulation de poudre à base double et triple, nous permettra d'évaluer de façon plus précise le risque d'une exposition aiguë et chronique.

Tableau 4.3.13 Nombre de travailleurs exposés, niveau moyen d'exposition et possibilité de contact cutané par bâtiment

Département	Nº du bâtiment	Nb de travailleurs exposés/quart	Niveau moyen d'exposition	Possibilité de contact cutané
Nitroglycérine	770	2	non détectable	–
	770A	–	–	–
	772-774	1	0,1 mg/m³	+
Total		3		
1ère Passe	161	3	0,08 mg/m³	+ +
	173	10	0,18 mg/m³	+ + +
	902	3	0,15 mg/m³	+ +
Total		16		
2ième Passe	231	4	–	+
	282	8	–	+
	283	8	–	+
	920	3	1,0 mg/m³	+
	904	2	0,8 mg/m³	+
	919	–	–	–
	195	2	0,6 mg/m³	+
	240	8	–	+
	241	8	–	+
	244	8	–	+
	245	8	–	+
	289	2	1,3 mg/m³	+
Total		61		
TOTAL		80		

Tel que mentionné à l'annexe 3, l'exposition initiale à la nitroglycérine conduit à un *syndrome d'imprégnation* dont le principal symptôme est la céphalée: céphalées pulsatiles, en casque, parfois donnant une impression de vide. Elles peuvent céder au bout d'un temps variable, jusqu'à quelques heures après la fin de l'exposition, spontanément, ou après absorption d'un analgésique. D'autres symptômes peuvent les accompagner:

étourdissements, bouffées de chaleur, rougeur du visage, nausées, vomissements, palpitations cardiaques et baisse de la tension artérielle. Au bout de deux à quatre jours d'exposition, ces symptômes disparaissent (phénomène d'accoutumance). Cependant, lors de périodes prolongées d'arrêt de travail, et lors de la reprise après de tels arrêts, les céphalées réapparaissent.

Un syndrome de sevrage a été aussi documenté. De vingt-quatre à soixante-douze heures après la fin de l'exposition, (surtout les fins de semaine), des douleurs d'origine cardiaque, à type de crises d'angine de poitrine peuvent apparaître. Elles s'estompent lors de la reprise du travail ou après absorption volontaire de nitroglycérine sous forme de médicaments ou de poudre. Ces crises angineuses peuvent conduire vers la mort subite (syndrome du lundi matin) chez des travailleurs exposés chroniquement depuis quelques années.

Le syndrome d'imprégnation à la nitroglycérine est un problème de santé chez les travailleurs d'Expro. Malgré ses défauts méthodologiques, l'enquête de symptômes chez les travailleurs de C.P.C.V., section première passe, menée par le Dr Arnold Aberman révèle que les maux de tête, au moins une fois par semaine et les battements de cœur sont significativement plus fréquents chez les travailleurs exposés à la nitroglycérine comparés à ceux exposés à l'éther. (88,8% vs 48,4% et 61,1% vs 39,3%). Il aurait été intéressant de mieux préciser le caractère clinique de ces maux de tête (pulsatilité), le moment de leur manifestation (lundi matin, le début de la journée de travail), et les conditions environnementales du travail (le numéro de bâtiment, la manipulation de la poudre, la présence de poussières de poudre...)

Les témoignages des victimes elles-mêmes nous éclairent beaucoup plus. Par exemple, Paul Boyer, lorsqu'il travaillait au drageoir (bâtiment nº 195), nous fait une très bonne description d'une exposition aiguë à la nitroglycérine (notes sténographiques, vol. 8, pp. 54-58); le contact cutané a été la voie d'absorption privilégiée. Le traitement prescrit par le médecin de l'époque, mérite une critique.

La prise d'une tasse de café noir pour soulager les maux de tête, d'un verre de jus d'orange, moitié eau fraîche, pour les nausées et l'interdiction de prendre de l'aspirine, ne repose sur aucun fondement scientifique pertinent. Au contraire, les auteurs recommandent un traitement symptomatique (air frais, repos) avec des analgésiques mineurs tels l'aspirine pour soulager les maux de tête. L'abstinence de boissons alcoolisées est indiquée dans ces circonstances, car elles potentialisent les effets de la nitroglycérine.

M. Jean-Guy Rochefort mentionne dans son témoignage que les travailleurs pouvaient manifester ce qui semble être un syndrome de sevrage. «*En ce moment-là, quand les gens étaient en grande période sans être en contact avec la nitroglycérine, ils ressentaient toutes sortes de malaises au niveau cardiaque*» (notes sténographiques, vol. 4, pp. 107).

Nous ne savons pas cependant si certains en sont décédés (mortalité du lundi matin).

Les témoignages ont aussi démontré que les travailleurs étaient peu informés des principaux effets aigus et chroniques de la nitroglycérine; ils ne déclaraient pas nécessairement leurs malaises au personnel des services de santé de l'usine. La compagnie n'a fait aucun effort valable pour mieux préciser l'ampleur de ce problème par des études environnementales et médicales afin de prendre par la suite les mesures préventives qui s'imposent.

Conclusion

L'exposition à la nitroglycérine est un problème de santé pour plusieurs travailleurs d'Expro, qui mérite d'être mieux documenté. La mise sur pied d'un programme de surveillance médico-environnementale par le service de santé permettra de préciser l'ampleur du problème du syndrome d'imprégnation et de sevrage, et d'évaluer les mesures préventives mises de l'avant par l'employeur pour éliminer totalement l'exposition par les voies pulmonaire et cutanée.

3. Brûlures à l'acide

Les brûlures à l'acide constituent un problème de santé spécifique à une usine de fabrication d'explosifs. Les statistiques fournies par les autorités de la compagnie Expro (tableau 4.3.10) révèlent que 23 cas de brûlures sont survenus de juillet 1982 à mai 1983; 17 de ces cas ont eu lieu aux départements de récupération d'acide et de nitrocellulose, là où les acides sulfurique et nitrique sont utilisés. Quatre cas concernent des travailleurs de l'entretien et deux du département RDX (acides acétique et sulfurique).

En se basant sur les données d'indemnisation fournies par la C.S.S.T., le taux de gravité des brûlures à l'acide est peu important, soit une moyenne de trois jours indemnisés par cas.

Le cas de la brûlure au visage de Jean-Marc Legault, deuxième opérateur à la bâtisse nº 312 (département de récupération des acides), survenue en octobre 1978, constitue une exception.

La preuve nous indique une accessibilité difficile à la douche par rapport au poste de travail de la victime, une absence de moyens de communication rapide pour appeler à l'aide, et de secouristes formés immédiatement disponibles. Heureusement qu'un compagnon de travail, qui était près des lieux de l'accident, a eu le réflexe d'amener immédiatement la victime sous la douche. Cette mesure de premiers secours est la plus efficace pour prévenir les complications tardives menant à des traitements de greffes cutanées. Elle doit durer au moins quinze minutes, et selon l'importance du contact cutané, peut durer jusqu'à trente minutes. Lorsqu'il fut transporté à l'hôpital de l'usine, la victime mentionne que cette mesure n'a pas été continuée par le personnel médical. Il n'y avait aucune douche ou bain sur les lieux, ce qui, de l'avis de la Commission, représente une grave lacune. La poursuite du traitement (l'arrosage abondant à l'eau, du visage) aurait pu minimiser les complications que Jean-Marc Legault a présentées par la suite. Les traitements n'ont recommencé qu'une heure après, lorsque l'ambulance le menant à l'hôpital de Valleyfield est arrivée.

Conclusion

L'accident survenu à Jean-Marc Legault en 1978, nous indique que le risque d'une brûlure sévère à l'acide pouvant amener des séquelles importantes, existe à Expro. La disponibilité de secouristes entraînés pour faire face à ce type de problème, l'accessibilité rapide à des douches, les mesures de premiers soins prodigués par le personnel du service de santé, le transport ambulancier et le système de communication en cas d'urgence se sont avérés nettement déficients. Le port d'une visière, non disponible à cette époque, aurait pu sûrement prévenir cette brûlure. Mentionnons enfin qu'il est déplorable que cinq ans après l'accident, une douche ou un bain ne soit pas encore disponible au service de santé pour traiter de tels cas de brûlures.

4. Problèmes de santé causés par l'exposition au mélange éther-alcool

a) Rappel sur la toxicocinétique de l'éther

L'éther est un solvant très volatil absorbé rapidement par inhalation au niveau de la voie pulmonaire pour se distribuer surtout au niveau des tissus adipeux et du système nerveux central. Il est peu métabolisé par le foie et est excrété principalement via l'expiration pulmonaire. Suivant l'arrêt de l'exposition, la période totale d'excrétion est très prolongée en raison de son élimination lente des graisses. L'exposition à un solvant comme l'éther peut entraîner des effets à court (effets aigus) et à long terme (effets chroniques), qui ont été partiellement documentés lors des audiences publiques (cf. chapitre 2 — les intoxications à l'éther).

b) Effets aigus

La monographie sur l'éther (annexe 3) décrit bien ces effets. Pour être bref, nous savons qu'une surexposition à l'éther est principalement caractérisée par des symptômes de dépression du système nerveux central soit, euphorie, désinhibition et troubles de l'équilibre avec sensation de vertige ou d'étourdissement (ataxie). On ne sait pas trop

à quelle dose d'exposition cet « état d'ébriété » peut survenir, mais certains auteurs auraient estimé qu'une exposition à 2 000 ppm pendant une période de temps assez longue (non définie) serait suffisante pour certains individus. Si l'exposition est plus élevée, un état d'excitation, d'irritabilité et d'agressivité survient, suivi de confusions, de somnolence, de nausées, de vomissements, de variations de la température, de la fréquence cardiaque et de la respiration. Ces symptômes peuvent néanmoins varier selon les individus et la dose totale d'éther absorbée. L'éther cause aussi une irritation nasale, oculaire et cutanée.

c) Situation à Expro

Environ 95 travailleurs sont exposés quotidiennement à un mélange de vapeurs d'éther-alcool au département de la première passe de l'usine Expro. Selon les données d'hygiène industrielle compilées pour la période 1975-1982, (cf. section hygiène du milieu), ce sont les travailleurs des bâtiments nos 160, 162, 170 et 174 qui sont les plus exposés, là où les taux de vapeurs d'éther dans l'ambiance de travail dépassent en général de deux à cinq fois la valeur limite d'exposition (VLE) pour une période de huit heures (tableau 4.3.15). L'exposition aux vapeurs d'alcool éthylique atteint en moyenne le tiers de la VLE. Toutefois, ces données ne nous permettent pas de tirer des conclusions valables sur la dose d'exposition réelle des travailleurs, qui doit tenir compte d'une part, des concentrations mesurées aux différents postes de travail et d'autre part, du temps passé par l'opérateur dans chacun de ces postes, compte tenu de ses tâches. La disponibilité de ces données d'exposition aurait pu nous permettre de mieux préciser quels sont les groupes de travailleurs les plus exposés. Toutefois, tel que mentionné dans la monographie sur les effets neurotoxiques des solvants, la quantité totale de solvant absorbée par les poumons dépend non pas seulement de la dose d'exposition, mais aussi des paramètres biologiques individuels (âge, sexe, poids, maladies acquises, prise de médicaments, etc.) et de l'importance de l'effort physique durant le travail.

Les concentrations mesurées aux bâtiments nos 162, 170 et 174, et surtout le bâtiment no 160, seraient théoriquement assez élevées pour causer un « état d'ébriété » (ether jag) quotidiennement chez la majorité des travailleurs de ces bâtiments à la fin de leur quart de travail, s'ils étaient soumis à une exposition continue de huit heures. Les audiences publiques n'ont toutefois pas mis en preuve cette hypothèse, ce qui pourrait signifier que les valeurs de concentration mesurées ne correspondent pas nécessairement à la dose d'exposition réelle des travailleurs pour une période de huit heures.

Tableau 4.3.14 Concentrations mesurées (médiane) pour l'éther et l'alcool selon les bâtiments

Bâtiments no	Concentrations mesurées (médiane) en mg/m³		Nombre de travailleurs exposés
	Éther	Alcool éthylique	
149	600	197,5	3
150	575	262,5	12
160	6 053	627,5	18
162	2 965	873	12
170	2 799	635	30
174	2 530	735	30
TOTAL			95

La lecture du rapport S.N.C. (Report on improvement of ventilation and reduction of ether ambiant concentration in building No. 160, 162, 170 and 174) peut nous aider à mieux définir les caractéristiques de l'exposition et expliquer les symptômes décrits par certains témoins. Les travailleurs des bâtiments nos 160 et 162 sont exposés de façon intermittente, et pour de courtes périodes de temps à de très fortes émanations d'éther. Des concentrations aussi élevées que 37 200 ppm et 90 000 ppm ont été respectivement

mesurées, lors des opérations de vérification de la texture de la poudre dans les mélangeurs du bâtiment nº 162, et de chargement des macérateurs au bâtiment nº 160.

C'est lors de ces deux opérations que Marc Thibault mentionne dans son témoignage (vol. 7, pp. 105-107) qu'il était souvent incommodé par les vapeurs d'éther: irritation des yeux, nausées, état d'ébriété et fatigue. Le fait d'aller dans un corridor entre les bâtisses pour prendre de l'air durant quelques minutes le soulageait de ces symptômes. Il a aussi observé plusieurs de ses compagnons de travail dans la même situation. Il semble donc qu'en mai 1979, des épisodes de surexposition aiguë, au niveau des bâtiments nºs 160 et 162, pouvaient être fréquents parmi les travailleurs, mais ces derniers complétaient malgré tout leur quart de travail.

Aucun épisode d'intoxication, de modérée à sévère, caractérisée par les symptômes d'excitation, d'irritabilité, de vomissements et de perte de connaissance n'a été documenté. Ce n'est que quatre ans plus tard, le 24 février dernier, que quatre travailleurs du bâtiment nº 160 ont décidé de quitter les lieux de travail à cause de symptômes compatibles avec une surexposition et de porter ce problème à l'attention des autorités médicales de la compagnie.

Les caractéristiques de l'exposition aux départements des couteaux (nºs 170-174) sont différentes. Telle que mentionnée dans le rapport S.N.C., l'exposition aux vapeurs d'éther est beaucoup plus uniforme. Les travailleurs sont moins mobiles qu'aux mélangeurs et devraient théoriquement être soumis à une dose totale d'exposition pour huit heures plus élevée (ce qui serait à vérifier). Quatre épisodes « d'intoxication massive » affectant la plupart des opérateurs ont eu lieu de décembre 1981 à février 1983. Les symptômes décrits sont compatibles avec une surexposition. Seuls deux opérateurs ont fait l'objet d'un traitement de deux heures à l'oxygène, au Centre hospitalier de Valleyfield lors de l'épisode du 7 décembre 1982. Tous les autres ont été examinés par le médecin pour recevoir par la suite un congé avec un retour au travail le lendemain ou quelques jours après. Outre les symptômes décrits (maux de cœur, étourdissements...), l'examen médical était normal, aucun des intoxiqués ne manifestait le comportement typique de « l'état d'ébriété » (ether jag) sauf pour les deux cas envoyés pour traitement au Centre hospitalier de Valleyfield.

En résumé, la Commission est d'avis que des problèmes de surexposition (intoxication bénigne) affectent les travailleurs exposés à l'éther aux concentrations mesurées. Ces problèmes de santé ont peu retenu l'attention des services de santé de la compagnie durant les cinq dernières années et auraient dû être objectivés par d'une part, une enquête sur les symptômes avec groupe contrôle et d'autre part, une évaluation de la dose d'exposition sur une base de huit heures. Il est cependant heureux de constater que depuis le printemps 1983, un effort vers la réduction à la source des vapeurs d'éther ait été entrepris. Néanmoins, une surveillance des effets aigus en favorisant la déclaration des symptômes de la part des travailleurs au personnel du service de santé est toujours indiquée pour évaluer l'efficacité du programme d'hygiène.

d) Effets chroniques

Nous avons vu que l'exposition chronique à des mélanges de solvants peut amener des problèmes de santé particuliers au niveau du système nerveux central (syndrome psycho-organique) et périphérique (neuropathie (cf. annexe 3, monographie sur les effets neurotoxiques). Ces effets n'ont jamais été documentés pour l'exposition industrielle à un mélange éther-alcool. Néanmoins, les audiences publiques ont révélé que certains travailleurs pouvaient présenter des symptômes d'impuissance sexuelle caractérisée par une diminution dans la fréquence des rapports sexuels, de troubles du sommeil, de fatigue constante, de problèmes de mémoire, ... Des examens électroencéphalographiques effectués par le Dr Aberman en décembre 1981 chez huit travailleurs de la première épisode d'intoxication se sont avérés anormaux chez quatre de ceux-ci. Ces quatre tracés révélaient une activité thêta au niveau de toutes les régions du cerveau. Il est intéressant de mentionner ici qu'une scientifique finlandaise du nom de Seppalaïnem décrit une

incidence accrue d'une telle activité chez les travailleurs exposés à des mélanges de solvants, laquelle peut représenter un effet précoce. Deux travailleurs d'Expro ont passé des électromyographies et les résultats se sont avérés normaux.

Conclusion

Ces résultats sont trop fragmentaires pour évaluer si les travailleurs d'Expro présentent des problèmes de santé associés à une exposition chronique. Si on se fie aux études cliniques effectuées par le Dr Axelson, en Suède, des effets neurotoxiques irréversibles ne surviennent pas avant dix ans d'exposition en moyenne. Or, la majorité des travailleurs d'Expro exposés à l'éther ont moins de cinq ans d'exposition. Malgré tout, la Commission est d'avis qu'il devient important de documenter ces effets. Les scandinaves nous proposent une méthode d'approche qui pourrait être adaptée au contexte québécois. Une telle méthode ne pourrait être menée sans la collaboration du département de santé communautaire et de consultants experts. La section 4.3.4 du présent chapitre élabore plus en détails sur ce sujet.

5. Intoxications aux vapeurs nitreuses

Comme nous l'avons vu précédemment, le procédé de nitration de la cellulose peut à l'occasion dégager des vapeurs nitreuses (NO_x). Lorsqu'inhalées, ces vapeurs, surtout sous la forme chimique de NO_2 (dioxyde d'azote), peuvent causer le décès immédiat, l'oedème aigu pulmonaire quelques heures suivant le début de l'exposition, ou bien la bronchiolite fibrosante oblitérante quelques semaines plus tard (cf. annexe 3, monographie sur la toxicité des oxydes d'azote). Il semble que les problèmes aigus pulmonaires étaient fréquents au début des opérations de la compagnie durant la seconde guerre mondiale; le personnel des services de santé aurait traité environ 300 cas (communication verbale du Dr Ernest Talbot). Aucun travailleur n'est décédé. Le décès de Michel Bernier semble unique dans les annales de cette compagnie.

Ce décès de Michel Bernier est survenu à la suite d'une exposition aiguë à des vapeurs nitreuses. Les audiences publiques sont claires là-dessus. Les opérateurs, Robert Léger et Jacques Leduc, l'ont aperçu à l'intérieur du bâtiment, baignant dans les vapeurs nitreuses jaunâtres qui se dissipaient, en train de nettoyer sa visière et le tamis (« screen »). Il semble qu'il y serait resté durant une période minimale de cinq minutes avant de quitter le lieu de son travail. Si l'on se fiait au tableau C-2 du rapport Roireau (couleurs caractéristiques des vapeurs nitreuses), Michel Bernier aurait été exposé à une concentration de 50 000 ppm. Il faut noter que cette illustration du rapport Roireau représente le résultat ponctuel d'une expérience en laboratoire, pas nécessairement représentative d'une situation industrielle.

Cependant, en se référant à la monographie sur la toxicité des oxydes d'azote, l'inhalation de telles concentrations causerait immédiatement le décès. Il semble plus plausible que Michel Bernier ait inhalé des concentrations moindres, mais suffisamment importantes pour causer quelques heures plus tard, un oedème aigu pulmonaire. Il est intéressant de mentionner que Robert Thibeault a vu à un moment donné Michel Bernier sur la passerelle. Il toussait un peu, ce qui témoigne d'une inhalation de vapeurs nitreuses.

Les opérateurs Leduc, Thibeault et Léger ont tous présenté des symptômes d'une inhalation de vapeurs nitreuses: une légère toux et des nausées qui n'ont duré que deux minutes.

La conduite dictée par le chef-opérateur Johnson à ses hommes, au moment de l'émission des vapeurs nitreuses de couleur orangée, a été pour le moins téméraire. Elle peut être expliquée d'une part, par l'absence à cette époque de procédures écrites exhaustives sur la conduite à tenir en cas d'émanations subites de vapeurs nitreuses et d'autre part, à cause de l'ignorance des caractéristiques toxicologiques spécifiques aux vapeurs nitreuses (ex.: léger irritant des voies respiratoires supérieures, effet souvent retardé...). Ainsi, l'ordre donné aux opérateurs de réintégrer leur poste de travail suite aux premiers

dégagements de vapeurs nitreuses, sans respirateur autonome et sans avoir mesuré de façon objective (plutôt qu'à l'œil et au nez) avec un appareillage d'échantillonnage adéquat la concentration de ces vapeurs, est un exemple de cette conduite téméraire.

Les mesures de premiers secours et premiers soins ont été déficientes, faute de l'existence de procédures écrites par le service de santé de la compagnie et d'un programme systématique d'information sur les dangers que peuvent représenter l'inhalation de vapeurs nitreuses.

Deux opérateurs, Léger et Leduc, sont retournés chez eux, sans retenir aucunement l'attention médicale malgré qu'ils aient déclaré au contremaître l'inhalation de vapeurs nitreuses. Les deux autres, Thibeault et Bernier, n'ont pas déclaré l'incident. En France, à l'usine d'explosifs de Bergerac, tous les travailleurs ayant inhalé des vapeurs nitreuses sont transportés dans un véhicule ambulancier au service médical de l'usine pour être examinés par un professionnel de la santé (médecin ou infirmiers, selon le cas), et recevoir par inhalation de l'oxygène barbotant dans une solution ammoniacale à deux grammes pour mille à la cadence de neuf litres par minute. Cette mesure de premiers soins préviendrait et/ou réduirait la gravité des complications de l'oedème aigu pulmonaire, selon le médecin de cette usine, le Dr Kermarrec. Cette pratique médicale semble avoir été introduite au cours de la première guerre mondiale dans les usines d'explosifs françaises, mais n'a jamais fait l'objet d'une évaluation scientifique. Elle est inconnue du personnel médical des usines similaires en Suède et aux États-Unis, d'un toxicologue consulté à l'I.N.R.S. de Paris, et du Dr Margaret Becklake de l'Université McGill. La Commission ne peut donner une opinion sur le bien-fondé de cette mesure médicale. Si elle doit être appliquée par le service de santé d'Expro, la Commission recommande qu'une évaluation scientifique soit au préalable effectuée (étude expérimentale). La seule mesure de premiers soins reconnue est le repos complet pour une période de vingt-quatre heures à la maison (cf. annexe 3 — fiche toxicologique sur les vapeurs nitreuses).

Après avoir quitté le milieu de travail vers 18 heures, Michel Bernier s'est rendu à la maison. Accompagné de sa mère, il a consulté le médecin de garde de l'urgence du Centre hospitalier de Valleyfield, le Dr Hamel, à 1 h 20 le 14 janvier 1983, pour des symptômes abdominaux et respiratoires: vomissements à trois reprises durant la soirée, nausées, douleurs abdominales en salve à la partie supérieure gauche de l'abdomen, toux et expectorations. Les principaux signes objectifs notés à l'examen sont les suivants: une sudation excessive (diaphorèse), un rythme respiratoire augmenté (56/min), des râles bronchiques (ronchi) à l'auscultation des plages pulmonaires droite et gauche, des lèvres légèrement cyanosées. Un soluté intraveineux est installé et de l'oxygène administré. La radiographie pulmonaire, prise à 2 h 45 révélait deux champs pulmonaires remplis de lésions alvéolaires et les gaz artériels, une pression partielle d'oxygène (pO_2) de 29 mmHg (normale: 100 mmHg).

Suite à un nouvel interrogatoire de M. Bernier à 3 h 20, une histoire d'exposition à des « vapeurs d'acide », tel que noté dans le dossier médical, est mise en évidence. Une consultation téléphonique avec le pneumologue de garde, le Dr Plourde, s'ensuit et un traitement pour de telles situations est mis en branle (oxygène, cortisone intraveineux, antibiotiques, surveillance continue des signes vitaux...). Devant la détresse respiratoire de plus en plus grave et la détérioration des gaz artériels, Michel Bernier est intubé à 10 h 25 pour recevoir de l'oxygène par ventilation mécanique. Ne pouvant obtenir une oxygénation sanguine adéquate, il est transféré par ambulance, accompagné d'un médecin, à l'Hôpital Royal Victoria, le 15 janvier à 1 h 15 pour recevoir une ventilation assistée avec un respirateur d'un type expérimental, utilisé depuis peu. Deux minutes avant son arrivée, il fait un arrêt cardiaque. L'équipe de l'urgence tente une réanimation cardio-respiratoire durant deux heures. Il est déclaré décédé à 5 heures. L'autopsie pratiquée à cet Hôpital par le Dr Chen a révélé *un oedème sévère du tissu pulmonaire*, compatible avec une inhalation importante de vapeurs nitreuses.

Les traitements administrés à Michel Bernier au Centre hospitalier de Valleyfield ont été dans l'ensemble adéquats. Signalons cependant qu'une période de deux heures s'est écoulée entre l'arrivée de M. Michel Bernier à l'urgence et l'établissement d'un diagnostic d'intoxication aux « vapeurs acides ». Il semble que d'une part, M. Bernier, en arrivant à l'urgence, n'associait pas les symptômes qu'il présentait aux vapeurs nitreuses qu'il avait inhalées et que d'autre part, le médecin de garde n'ait pas pensé à cette hypothèse, au départ, malgré les résultats de l'auscultation pulmonaire. Il est clair qu'une histoire professionnelle détaillant les activités de M. Bernier dans la journée n'a pas été faite par le médecin de garde. Une fois le résultat de la radiographie pulmonaire connu, le médecin de garde requestionne M. Bernier, probablement sur ses activités de la journée, pour éventuellement documenter l'épisode d'inhalation de vapeurs « acides ». Encore ici, ni M. Bernier, ni le médecin ne semblent connaître la composition chimique exacte de ces vapeurs « acides ».

Il semble évident, à partir de ces constatations, que M. Bernier ne connaissait pas les principaux dangers pour la santé résultant de l'exposition aux vapeurs nitreuses, tandis que le médecin de garde était très peu familier dans le diagnostic de ce type de maladies pulmonaires industrielles.

Conclusion

L'événement de M. Bernier nous a permis de déceler des déficiences importantes au niveau de la compagnie dans les procédures à suivre en cas d'émanations subites de vapeurs nitreuses, les programmes d'information sur les effets des risques chimiques sur la santé, et les programmes de premiers secours et premiers soins.

La compagnie a cependant initié depuis le printemps dernier certains efforts pour corriger ces déficiences. Nous recommandons qu'elle applique les mesures de premiers secours et de premiers soins décrites dans la monographie sur les vapeurs nitreuses, à l'annexe 3. La réintégration de tout travailleur à son poste de travail ne sera permise que si les niveaux de vapeurs nitreuses, mesurés à l'aide d'un appareil adéquat par une personne compétente, sont dans les normes établies.

Il est important que le diagnostic des maladies industrielles et leur traitement soient plus rapides dans la salle d'urgence du Centre hospitalier de Valleyfield et de façon générale dans toutes les urgences des hôpitaux du Québec. La mise en application de la stratégie décrite à la section 4.3.4 pourra corriger cette situation.

C. Enquêtes du syndicat

Au cours des audiences publiques, le syndicat a déposé le rapport d'une enquête de santé relative à l'exposition des travailleurs d'Expro à la NG et à l'éther. Il a été également mentionné qu'une investigation médicale, effectuée par le Dr Lacasse, concernant des travailleurs exposés à des dérivés nitrés, avaient révélé certaines anomalies. Cette sous-section vise leur description et leur analyse.

1. Enquête de symptômes chez les travailleurs de C.P.C.V., section première passe. Exposition à la nitroglycérine et à l'éther.

a) Description de l'étude

Il s'agit d'une enquête dont le rapport a été déposé lors des audiences publiques.

Cette enquête a été effectuée en 1979 par le comité syndical de santé et de sécurité du Syndicat national des produits chimiques de Valleyfield (C.S.N.).

Les objectifs de l'étude sont les suivants:

> « *Sensibiliser les travailleurs au danger d'exposition des deux produits* (la NG et l'éther), *établir l'état de santé actuel des travailleurs de ces départements, en vue de les mobiliser pour de bonnes conditions de travail.* »

L'enquête consiste en un questionnaire médical de trente-quatre items qui a été développé par le Dr Arnold Aberman, avec l'aide de Claude Mainville, ingénieur du service de génie industriel de la C.S.N.

Elle visait particulièrement les travailleurs nouvellement engagés et parmi ceux-ci, les travailleurs exposés à la nitroglycérine et à l'éther.

Le questionnaire fut distribué à l'ensemble des 125 travailleurs exposés à la NG et à l'éther, mais seulement 51 y ont répondu, pour un taux de réponse de 41%.

Les répondants se répartissent selon le type d'exposition et les bâtiments comme suit: 18 travailleurs œuvraient aux bâtiments nos 161 et 173 et ont été considérés exposés à la NG; les 33 autres œuvraient aux bâtiments nos 160, 162, 170 et 174 et étaient considérés exposés à l'éther. Nous n'avons pas de chiffres concernant le nombre total de travailleurs exposés à la NG et à l'éther en 1979. Cependant, des chiffres actuels nous indiquent que sur un total de 130 travailleurs, pour les mêmes bâtiments, environ 40 sont exposés à la NG et 90 à l'éther. Ceci nous donne un taux de participation légèrement supérieur pour les travailleurs exposés à la NG (45% vs 37%).

Ces sujets sont en général jeunes (moyenne d'âge de 23,9 ans; âge variant de 19 à 43 ans) et récemment engagés à l'usine (ancienneté moyenne à la première passe de 6,6 mois).

Le Dr Aberman a d'abord expliqué le questionnaire aux membres du comité syndical et ces derniers l'ont distribué aux travailleurs. On ne précise pas davantage la façon dont il fut administré.

Parmi les trente-quatre questions, sept se rapportent au système respiratoire; celles-ci ont probablement été adaptées du questionnaire bâti par le British Medical Research Council. Dix questions concernent le système nerveux en général, dont neuf sur le système nerveux central. Quatre autres se rapportent aux phénomènes d'irritation, six au système digestif en général, deux à la peau, une au système cardiovasculaire, deux au tabagisme et une où l'on s'interroge sur la présence de plus d'un symptôme au travail.

Les résultats sont présentés séparément pour le groupe exposé à l'éther et celui à la NG et ceci, pour chaque question. Les réponses aux questions sont exprimées en pourcentage du nombre total de «*oui*», pour chaque groupe.

Il n'y a pas eu de traitement statistique des données, ni de tentative de regroupement des données sous une forme, ou une autre, ni de corrélation avec des données environnementales.

Aucune analyse, ni discussion des résultats n'est présentée. Les auteurs sautent d'emblée au chapitre des conclusions.

Les citations suivantes résument ces conclusions:

> *«C'est la question no 34 (plus d'un symptôme à la fois au travail) qui peut vraiment nous permettre de supposer que la cause de ces symptômes sont l'éther et la NG... Mais lorsqu'un travailleur a, à la fois un mal de tête, la nausée, des vomissements, des battements de cœur, il ne fait aucun doute que la NG en est la cause. Le même cas se vérifie pour l'éther... Suite aux résultats mentionnés, il est clair que la santé des travailleurs est attaquée.»*

b) Analyse des résultats

Puisque la lecture des réponses aux trente-quatre questions successives ne nous permet pas vraiment de tirer des conclusions, nous avons tenté de regrouper les données de la façon suivante. Les questions où il apparaît un pourcentage élevé de «*oui*» dans les deux groupes d'exposition sont présentées au tableau 4.3.15. Les questions où il apparaît une différence marquée dans le pourcentage de «*oui*» entre les deux groupes sont inscrites au tableau 4.3.16. Les autres questions ont été jugées moins importantes.

La division entre le groupe «éther» et le groupe «NG» nous apparaît rationnelle, puisqu'il ne devrait pas y avoir de juxtaposition dans les types d'exposition en provenance

Tableau 4.3.15 Questions où il apparaît un pourcentage élevé de «*oui*» dans les deux groupes d'exposition

Questions (forme synthétique)	Pourcentage de «*oui*»	
	Groupe «éther»	Groupe «NG»
1. Épisodes d'étourdissement au travail	48,4	61,1
2. Périodes d'affaissement ou de fatigue complète au travail	60,6	66,6
3. Se sentir «gelé» (?) au travail ou juste après	42,4	55,5
4. Être nerveux (facile à rendre de mauvaise humeur au travail)	63,6	66,6
5. Souvent de l'irritation des yeux au travail ou juste après	30,3	44,4
6. D'avoir le nez bouché	48,4	61,1
7. D'avoir des nausées ou vomissements au travail	30,3	44,4
8. Brûlements à l'estomac au travail	54,5	55,5
9. Ne pas avoir le goût de manger au travail	54,5	50
10. Problèmes de relation avec votre amie ou femme (surexcitation ou impuissance)	30,3	44,4
11. Tabagisme	63,6	61,1

Tableau 4.3.16 Questions où il apparaît une différence marquée dans le pourcentage de «*oui*» entre les deux groupes d'exposition

Questions (forme synthétique)	Pourcentage de «*oui*»	
	Groupe «éther»	Groupe «NG»
1. Maux de tête (au moins une fois par semaine) au travail	48,4	88,8
2. Mal à la gorge (bouche sèche) au travail	68,6	33,3
3. Toux fréquente	30,3	16,6
4. Perte de poids sans diète	39,3	22,2
5. Démangeaisons de la peau (y compris les mains)	24,2	38,8
6. Battements de cœur au travail	39,3	61,1
7. Odeur nuisible à votre vie sociale	90,4	44,4

de ces bâtiments. Toutefois, il ne faut pas négliger le fait que divers contaminants chimiques peuvent produire les mêmes symptômes (l'éther et la NG en sont des exemples).

Les données environnementales à notre disposition démontrent que le groupe «éther» est exposé à l'éther à des concentrations élevées et qu'il est aussi exposé au DNT de façon significative. Le groupe «NG» est exposé à la NG (concentrations ambiantes inférieures à la norme québécoise, et présence de contact cutané) et, de façon occasionnelle, à des concentrations significatives d'acétone.

En considérant les effets connus de l'exposition à ces contaminants et les données environnementales disponibles, une analyse du tableau 4.3.15 nous suggère les commentaires suivants. Les réponses aux questions nos 1, 2, 5 et 7 du tableau nous apparaissent plausibles pour le groupe «NG». Les réponses aux questions nos 1, 2, 5 et 7 apparaissent aussi plausibles pour le groupe «éther». Chez ce dernier groupe, les réponses aux questions nos 3, 4 et 9 peuvent sembler plausibles, mais un pourcentage identique observé chez le groupe «NG» laisse un fort doute quant à la valeur de ce résultat.

L'analyse du tableau 4.3.16 nous suggère les commentaires suivants. Les réponses aux questions nos 1 et 6 nous sembleraient plausibles pour le groupe «NG», si ce n'était d'un pourcentage relativement élevé, observé à la question no 6 chez le groupe «éther». Les réponses aux questions nos 2, 4 et surtout 7 semblent plausibles pour le groupe «éther», mais on comprend difficilement le taux observé à la question no 7 pour le groupe «NG». Quant aux différences observées aux questions nos 3 et 5 nous ne pouvons les expliquer.

c) Critique de l'étude

Sans vouloir pécher par zèle ou excès de rigueur scientifique, il nous apparaît que cette étude souffre de nombreux et sérieux problèmes qui ne donnent pas à l'enquête tout le poids qu'y voit le syndicat.

Voici les principales remarques que nous suggère cette enquête:

— L'objectif «*d'établir l'état de santé actuel des travailleurs de ces départements*» se révèle trop ambitieux pour l'outil choisi; il ne s'agit que d'un questionnaire subjectif. L'objectif de «sensibiliser les travailleurs au danger d'exposition des deux produits» nous semble plus réalisable dans ce contexte.

— Un taux de participation de l'ordre de 40% nous semble bien faible. Il constitue de la sorte une source de biais important qui atténue la portée des résultats. En d'autres termes, on ne peut pas présumer que le portrait de ce groupe de travailleurs représente l'ensemble des travailleurs exposés. On peut d'ailleurs se demander la raison de ce faible taux de participation.

— Il est difficile de comprendre pourquoi cette enquête visait tout particulièrement les travailleurs nouvellement arrivés. La sélection de jeunes travailleurs représente une autre source de biais potentiel.

— Le groupe de la «NG» étant relativement restreint (18 travailleurs), cela atténue beaucoup la valeur statistique des résultats.

— Le choix d'un questionnaire subjectif seul comporte de nombreuses difficultés. Il constitue en effet un outil très peu spécifique, i.e. un outil qui nous permet difficilement de distinguer entre ceux qui présentent un phénomène anormal dû au travail et ceux qui n'en présentent pas, ou qui en présentent un, mais dont l'origine est autre. De plus, ces symptômes sont de caractère très général et se retrouvent par conséquent parmi la population générale à une fréquence assez élevée.

Pour minimiser l'absence de spécificité de ce questionnaire, on aurait pu utiliser un groupe contrôle, i.e. un groupe composé de travailleurs non exposés à des substances pouvant produire les mêmes symptômes et comparer les résultats entre les deux groupes (exposé vs non exposé).

Comme deuxième recours, on aurait pu d'une part, préciser le type et le degré d'exposition de chaque travailleur et d'autre part, comparer les résultats entre ceux qui sont fortement exposés à un agent chimique et ceux qui y sont faiblement ou aucunement exposés. Enfin, on aurait pu y adjoindre des méthodes objectives (examens biologiques; tests fonctionnels), essentielles à toute étude visant de tels objectifs.

— L'application de ce questionnaire présente aussi de sérieuses défaillances. L'usage d'un questionnaire doit d'abord comporter une étape de validation qui vise à tester divers aspects tels que la pertinence et la compréhension des questions. Une fois le questionnaire validé, l'administration du questionnaire doit être standardisée, i.e. que le questionnaire doit être appliqué dans les mêmes conditions, par un personnel entraîné, afin d'assurer une uniformisation dans les réponses. Sans ces précautions, il est impossible de comparer les réponses d'un individu à celles d'un autre et de produire des statistiques. Malheureusement, aucune de ces procédures ne semble avoir été respectée.

— Tel que déjà exprimé, aucune analyse des résultats n'est apportée et aucun argument sérieux ne vient supporter les conclusions.

Le questionnaire ne permet pas une analyse plus approfondie des symptômes afin d'aider à leur interprétation. Par exemple, il est inquiétant de constater que 88,8% des travailleurs du groupe «NG» ont des maux de tête et que 61,1% ont des battements de cœur. Mais nous n'avons pas de précisions sur: qui sont ces travailleurs? Quand développent-ils ces symptômes? Quels types de maux de tête? Etc.

— Nous ne comprenons pas l'inclusion de questions concernant la toux et la bronchite chronique puisque seul le tabagisme représente chez ces travailleurs un facteur de risque important à cet égard.

Nous pourrions ajouter d'autres commentaires, mais nous ne croyons pas qu'ils ajouteraient beaucoup aux critiques déjà faites.

En conclusion, nous aimerions préciser de nouveau certains commentaires afin de ne pas être mécompris.

Il est plausible et même probable, compte tenu des entretiens que nous avons eu avec certains travailleurs, des révélations aux audiences publiques, des connaissances actuelles sur la toxicité des contaminants chimiques retrouvés à Expro et des données environnementales disponibles, que certains symptômes recueillis par ce questionnaire représentent effectivement un signe d'atteinte à la santé des travailleurs, en relation avec leur travail. La présence de maux de tête, maux de cœur et de palpitations fréquents, pour ne citer que ceux qui nous apparaissent les plus pertinents, ne peuvent pas être réfutés. Ils méritent certainement d'être utilisés comme une piste de départ à d'éventuelles études.

Nous ne pouvons que regretter que cette étude serve d'outil à la «*mobilisation des travailleurs pour de bonnes conditions de santé*», puisqu'elle risque de les mobiliser vers de fausses priorités.

2. Évaluation toxicologique de cinq travailleurs

a) Description

En juillet 1975, cinq travailleurs ont été référés par le syndicaliste Michel Chartrand au toxicologue Yves Lacasse, de l'Hôpital Santa Cabrini, dans le but d'éliminer ou confirmer un diagnostic de fluorose (intoxication due au fluor).

L'évaluation du Dr Lacasse a permis d'éliminer avec certitude un problème de fluorose. Toutefois, elle a permis d'identifier un tout autre problème. Les résultats des analyses sanguines démontraient « une surexposition aux nitrates aliphatiques » (la nitroglycérine par exemple est un nitrate aliphatique), manifestée par la présence de methémoglobinémie et de corps de Heinz (anomalies sanguines). Un de ces cas «*présentait un tableau symptômatique compatible sinon pathognomique* (i.e. caractéristique) *d'une imprégnation nitritoïde marquée*».

Suite à ces résultats, le Dr Lacasse proposait une série de mesures médicales et techniques (sur le plan environnemental) qui se retrouvent dans la même lettre précisant les anomalies ci-haut décrites et adressée au Dr Talbot, avec copie conforme au Dr Gaétan Gauthier du département de santé communautaire, au Dr Gilles Thériault du service de Médecine du travail du ministère des Affaires sociales (MAS) et à Monsieur Michel Chartrand.

Parmi les recommandations médicales du Dr Lacasse, on retrouve principalement des mesures concernant la surveillance du système cardiovasculaire (tels qu'électrocardiogramme, surveillance du pouls et de la tension artérielle des employés, surveillance de symptômes tels que douleurs thoraciques et maux de tête) et du système sanguin (i.e. formule sanguine aveec recherche de réticulocytes et corps de Heinz, annuellement).

Le Dr Lacasse proposait aussi qu'une telle investigation soit entreprise auprès des autres travailleurs exposés.

Suite à cette lettre du Dr Lacasse, une rencontre fut organisée entre le Dr Gauthier du D.S.C. et le Dr Talbot du service de santé de l'usine, où l'on convenait qu'une étude médicale devait être entreprise auprès d'un échantillon représentatif des travailleurs des divers départements. Des démarches pour une aide financière ont été effectuées auprès du MAS, mais il semble qu'il n'y ait pas eu de suivi à cette initiative.

Notons que deux mois auparavant (mai 1975), un inspecteur du service de l'Inspection du travail et des lieux publics du ministère du Travail et de la main-d'œuvre, adressait une lettre au service de médecine du travail du MAS, dans laquelle il signalait que des

travailleurs de l'usine se plaignaient de « dermatites et d'hypotension » (tension artérielle basse). Il suggérait qu'un suivi soit assuré dans cette usine.

b) Analyse

Il nous fut impossible de retracer le département, l'occupation et le poste de travail précis de ces employés. Cependant, divers faits nous indiquent que ces travailleurs étaient au moins exposés à la nitroglycérine. En effet, le Dr Lacasse parle de nitrate aliphatique, de symptômes caractéristiques d'une atteinte par les nitrates et il fait une série de recommandations qui visent spécifiquement la surveillance d'effets dus aux nitrates. Aussi, les plaintes relevées par l'inspecteur indiquent que des travailleurs se plaignaient d'hypotension. Nous ne pouvons toutefois vérifier la véracité de ces affirmations.

Certaines observations nous portent cependant à croire que d'autres produits toxiques étaient impliqués. En effet, la présence de methémoglobinémie et de corps de Heinz (ces derniers indiquent la présence d'une hémolyse (destruction des globules rouges) nous fait songer, surtout en cette période (1975), que le TNT et le DNT seraient des agents en cause. Quant aux cas de dermatites, ils pourraient être en relation avec ce dernier ou d'autres produits chimiques.

En conclusion, ces observations indiquent qu'en 1975, des travailleurs présentaient des signes d'atteinte clinique et sub-clinique en relation avec une exposition aux dérivés nitrés. La nitroglycérine d'abord, puis le TNT et le DNT constituent les produits en cause les plus probables. Bien que cette évaluation toxicologique n'ait été pratiquée que chez cinq travailleurs, elle comporte néanmoins une preuve non négligeable en raison de son caractère objectif.

Nous ne pouvons que déplorer qu'une évaluation médicale adéquate n'ait pas suivi ces quelques révélations. Des recommandations figurent à la section 4.3.4 de ce chapitre.

D. Études de dépistage effectuées par le service de santé de l'usine

1. Dépistage radiologique annuel

a) Description

Depuis 1980, le service de santé de l'usine a fait appel à trois reprises à l'unité mobile de dépistage radiologique du D.S.C. de Lévis (communément appelée la « Roulotte de Lévis »). Cette unité mobile vise le dépistage de maladies pulmonaires non spécifiques à l'aide d'une radiographie pulmonaire standard. Elle fut utilisée la première fois en décembre 1980, puis en 1981 et récemment, à l'été 1983. On ne connaît pas les raisons médicales précises qui ont soulevé son utilisation.

La politique actuelle est de répéter ce dépistage annuellement, pour tous les travailleurs. Ceci fait partie d'une clause de la convention collective.

Tous les travailleurs de l'usine ont été invités à se présenter. Il n'y a donc eu aucun effort de sélection des groupes à plus haut risque de maladies pulmonaires. Il est à noter qu'un dépistage radiologique spécifique est effectué par l'Institut Bruchési depuis 1978, chez les travailleurs exposés à l'amiante.

Pour guider les radiologues qui ont interprété ces films, on a fourni une liste des produits chimiques utilisés à Expro, répartis par département. Chaque fiche d'inscription des travailleurs devait préciser le département où il est affecté.

Les taux de participation ont été les suivants: en 1980, 60% (soit 368 employés sur une possibilité de 614), en 1981, environ 70% (soit 420 sur environ 600) et en 1983, environ 84% (soit 588 sur environ 700).

b) Résultats

Les résultats de ces trois opérations de dépistage sont présentés au tableau 4.3.17. Il est à noter que ces statistiques ne sont pas effectuées de routine et que c'est suite à notre demande qu'elles ont été compilées par le service de santé.

L'emphysène constitue la principale pathologie pulmonaire identifiée par ce dépistage. Plusieurs de ces cas se chevauchent d'une année à l'autre ce qui diminue le nombre total de cas diagnostiqués à environ 20 sujets. On doit aussi préciser que certains cas ont eu un diagnostic positif une année et négatif l'année suivante. Ceci résulte probablement d'une variation dans la technique radiologique et/ou une variation dans l'interprétation. La majorité des sujets ont entre 50 et 69 ans, sauf deux qui ont 38 et 40 ans. La majorité sont fumeurs, sauf trois sujets. Leurs occupations (nous n'avons en fait que les données concernant leur dernière occupation) sont très diversifiées et nous ne pouvons en tirer aucune tendance. Les données d'exposition individuelle sont inexistantes.

Quant aux autres pathologies pulmonaires identifiées, elles ne présentent aucun intérêt particulier.

Tel qu'indiqué sur le tableau, tous les cas ont eu un suivi médical individuel.

c) Analyse

Nous voulons d'abord commenter la signification de ces résultats et deuxièmement la pertinence et l'utilisation de cette forme de dépistage.

Tableau 4.3.17 Dépistage par unité mobile: Résultats des rayons-X pulmonaires

1980	1981	1983
Nombre d'examens: 364	Nombre d'examens: 420	Nombre d'examens: 588
Examens négatifs: 341	Examens négatifs: 399	Examens négatifs: 529
Cas sous observations: 23	Cas sous observations: 21	Films à reprendre: 3
		Cas sous observations: 56
Cas sous observations	**Cas sous observations**	**Cas sous observations**
11- emphysème	5- emphysème	11- emphysème
1- ancienne tuberculose	4- ancienne tuberculose	5- ancienne tuberculose
7- granulome calcifié	2- bulle	3- bulle
1- bronchite chronique	2- granulome calcifié	12- granulome calcifié
1- scoliose dorsale	1- ancienne fracture de côtes	3- aug. volume cardiaque
1- ancienne fracture de côtes	1- lobectomie	1- nodule solitaire
1- lobectomie	3- cicatrice due à une ancienne infection	8- bronchite chronique
23 cas	1- opération pour kyste pulmonaire (cicatrice)	1- scoliose dorsale
	1- pontage cardiaque	1- maladie pulmonaire obs. chronique
	20 cas	4- ancienne fracture de côtes
	+ 1 dossier non disponible (Price Waterhouse)	2- cicatrice lobectomie
		1- cicatrice due ancienne infection
		3- athéromatose
		1- hile augmenté de volume
		56 cas
14 cas référés au md de famille	20 cas référés au md de famille	33 cas à refaire dans un an
9 cas examens cliniques seulement	1 cas examen clinique seulement	14 cas référés au md de famille
		8 rayons-x de contrôle
		1 examen clinique
		3 films à reprendre

Interprétation des résultats

Il nous est très difficile, en l'absence de plusieurs informations additionnelles, de déterminer si le nombre de cas d'emphysème observé représente un excès ou non, en comparaison avec la population générale. Pour ceci, nous devrions faire certaines recherches qui dépassent les limites de notre étude.

À notre connaissance, un seul type de contaminant chimique présent à l'usine, pourrait être associé à l'emphysème, soit les oxydes d'azote. Cependant, tel qu'expliqué à l'annexe 3 sur la toxicité des oxydes d'azote, cet effet chronique n'a pas été démontré avec certitude et de l'avis du NIOSH, des études épidémiologiques sont essentielles pour mieux trancher la question. Nous savons d'autre part que le tabagisme est un facteur de risque connu et démontré comme étant associé à l'emphysème et que plusieurs de ces cas sont des fumeurs. Le tabagisme constitue donc, à notre avis, la cause première et la

plus plausible. Il peut apparaître logique de chercher à pousser ces deux hypothèses plus loin, mais en raison d'un biais potentiel de sélection (dû à un taux de participation variable), il nous est difficile de suggérer des études qui sont très coûteuses. Pour cela, il serait d'abord nécessaire de recueillir pour tous les sujets, des données précises sur leur histoire professionnelle et sur leur profil d'exposition depuis l'embauche. Une analyse collective de ces données nous permettrait de décider s'il est nécessaire de proposer une étude plus approfondie. Si tel était le cas, seule une étude épidémiologique bien faite nous permettrait de répondre aux questions soulevées. Or ceci ne peut être réalisé que dans le cadre d'un projet de recherche.

2) Pertinence et utilisation du dépistage radiologique annuel

Afin d'évaluer cette opération de dépistage, nous allons tenter de répondre à trois questions concernant la pertinence, le suivi et la périodicité du dépistage radiographique.

Première question: ***Que veut-on dépister?***

En d'autres termes, quelles maladies respiratoires visons-nous par ce dépistage?

Autrefois, la radiographie pulmonaire était utilisée essentiellement pour le dépistage de la tuberculose. L'incidence de cette maladie a grandement diminué, si bien qu'il n'est pas utile, ni recommandé, de radiographier la population générale à la recherche de cette maladie. Nous n'avons aucune raison de croire que les employés de cette usine soient plus à risque de tuberculose que la population générale.

Outre la tuberculose, nous ne connaissons aucune autre maladie pour laquelle le dépistage de masse ait été recommandé.

Si le dépistage de la tuberculose ne constitue pas un objectif pertinent, qu'en est-il des maladies respiratoires d'origine professionnelle? À notre connaissance, seuls quelques contaminants présents à Expro, peuvent théoriquement être associés à des maladies respiratoires. Ce sont: l'amiante (amiantose), le graphite (la graphitose), les vapeurs d'acides (obstruction bronchique et bronchite chronique: non démontrées), les oxydes d'azote (emphysème: non démontré) et quelques composés aminés (asthme). L'ensemble de ces contaminants n'affecte toutefois qu'une minorité de travailleurs. Certains effets en regard des acides et des NO_x n'ont pas été démontrés et tous les contaminants ne représentent pas nécessairement un risque pulmonaire significatif. En conséquence, nous croyons que seul un groupe précis de travailleurs mériterait une surveillance radiographique pulmonaire en fonction de cet objectif.

Deuxième question: ***Que va-t-on faire des résultats et des cas dépistés?***

Si l'objectif est de dépister certaines maladies pulmonaires associées au travail, nous devons par conséquent analyser les résultats en fonction de cet objectif et assurer un suivi si nécessaire dans le milieu de travail. Ceci implique une analyse d'abord individuelle, puis collective des résultats, ainsi qu'un suivi individuel et collectif.

Les cas positifs doivent être référés pour une investigation médicale qui confirmera ou précisera le résultat radiologique. Si un traitement, ou des mesures individuelles particulières existent (exemple: broncho-dilatateurs; abandon du tabagisme), elles seront proposées individuellement.

Mais l'analyse et le suivi individuels des cas peuvent être insuffisants, ou ne révéler qu'une partie du problème. En regroupant les données selon certaines variables (âge, ancienneté, poste de travail, type et degré d'exposition, facteurs associés [tabagisme]) et en les comparant avec l'environnement de travail, il devient possible de tirer des conclusions, sinon des hypothèses quant à l'origine du problème.

Il faut cependant préciser que ce type d'analyse devient presqu'inutile si tous les sujets à risque (ou exposés aux contaminants susceptibles d'affecter le système respiratoire), ou un fort pourcentage de ces sujets, ne subissent pas le test de dépistage.

Troisième question: ***À quelle fréquence doit-on dépister et pourquoi?***

Il apparaît peu utile de répéter annuellement un examen chez le même individu, si cet examen ne peut nous apprendre autre chose que ce que nous savons déjà. Ceci concerne la majorité des cas emphysémateux dépistés à Expro.

Cette répétition peut cependant devenir utile si elle permet de déterminer l'évolution de l'état respiratoire du travailleur en fonction d'une exposition donnée, à la condition que cet état soit réversible, ou à tout le moins freinable. Cependant, la radiographie pulmonaire est un outil bien peu sensible pour déterminer si l'état respiratoire du sujet est affecté ou non par une exposition donnée. En conséquence, elle ne peut être utile que comme test complémentaire (par exemple à la spirométrie).

d) Résumé

Un dépistage radiologique pulmonaire, effectué à trois reprises à cette usine, a révélé la présence de 6,3% en 1980, 5% en 1981 et 9,5% en 1983 d'anomalies radiologiques. Le diagnostic le plus fréquemment relevé est l'emphysème (20% des cas au total pour les trois ans). Il est difficile de juger si ce taux représente un excès en raison de l'absence de certaines données à leur sujet et en raison du mode de participation volontaire.

Le tabagisme constitue certainement un facteur pouvant expliquer la présence d'emphysème. Toutefois, il existe une possibilité de relation avec l'environnement de travail, soit avec les oxydes d'azote. Ceci ne constitue qu'une hypothèse qui mériterait cependant d'être explorée.

En ce qui concerne la politique actuelle face au dépistage radiologique pulmonaire annuel de tous les employés, nous émettons les réserves suivantes. Ce dépistage peut être utile si l'on sait quelles maladies peuvent et valent la peine d'être recherchées, si l'on détermine le groupe de travailleurs visés et si l'on s'assure de leur participation à cet examen. Une analyse autant individuelle que collective des résultats doit être effectuée afin de déterminer la relation qui existe avec l'environnement de travail et le type de suivi à effectuer. Enfin, l'utilité du dépistage doit être globalement vérifiée avant de songer à le répéter annuellement.

2) Surveillance des travailleurs exposés au plomb

Un programme de prévention pour les travailleurs exposés au plomb a été mis sur pied en décembre 1979 (C.P.C.V. à l'époque), suite à un effort de collaboration entre divers secteurs de l'usine (service de prévention des accidents, service de santé, service de l'entretien et secteur de soudure au plomb).

Ce programme ne visait initialement que les soudeurs au plomb (à peine quelques travailleurs, soit trois ou quatre). Plus tard, s'ajoutèrent quelques travailleurs à la pesée et au mélange du carbonate de plomb (première passe). Au total, cela représente moins de dix travailleurs exposés.

Ce programme comprend une série de mesures (onze en tout) couvrant l'aspect technique (ventilation, aménagement des lieux, mesures d'échantillonnage,...) l'hygiène des lieux, de nombreuses mesures d'hygiène personnelle (telles que vêtements, respirateur, procédure de lavage,...) et la surveillance médicale.

L'aménagement des locaux afin d'isoler les sections de déshabillage, lavage et salle à manger n'a pas encore été réalisé (proposé depuis décembre 1979).

Les mesures d'échantillonnage de l'air ambiant ont révélé que les concentrations sont inférieures à la moyenne permise au Québec (i.e. inférieures à 0,15 $\mu g/m^3$). Il est à noter que les normes américaine et suédoise sont bien inférieures à celle-ci (toutes deux sont de 0,05 $\mu g/m^3$). Par conséquent, une concentration inférieure ou voisine de la norme en vigueur ne représente pas un objectif final en terme de prévention.

Il semble, selon certains porte-paroles, que les mesures d'hygiène personnelle soient peu respectées. À titre d'exemple, les travailleurs continuent de manger sur les lieux de

travail. Toutefois, les travailleurs ne disposent pas encore d'une salle à manger telle que proposée depuis décembre 1979. Il faut aussi noter que ces mesures sont très nombreuses et astreignantes pour le travailleur. Mais considérant l'importance de l'hygiène personnelle en regard du plomb (mesure qui est complémentaire aux autres), il est important de sensibiliser les travailleurs aux bénéfices qu'elle peut apporter. Une attitude positive est essentielle pour les éducateurs sanitaires face au non respect de l'hygiène personnelle; autrement, cela ne fera qu'accentuer la non observance des règles émises.

Les mesures de surveillance médicale ont été mises en œuvre en collaboration avec le département de santé communautaire (D.S.C.) et le centre de toxicologie du Québec (C.T.Q.). Ce dernier effectue les analyses sanguines (plomb sanguin et F.E.P.) et a déjà publié un document sur la surveillance des travailleurs exposés au plomb. Le D.S.C. avait produit un formulaire pour le questionnaire et l'examen médical (d'ailleurs amplement basé sur le document du C.T.Q.), mais il ne semble pas avoir été utilisé de façon formelle. Comme autre élément de surveillance, il est indiqué que tous les travailleurs devront subir annuellement un électrocardiogramme et une radiographie pulmonaire. Nous ne voyons pas la pertinence de ces examens en fonction de l'exposition au plomb.

La politique concernant le retrait préventif est celle proposée par le C.T.Q., qui correspond à ce que l'O.M.S. et les principaux groupes d'experts recommandent. Cette politique définit qu'un travailleur doit être retiré de l'exposition au plomb (et réaffecté à un autre poste) dès que le taux de plomb sanguin atteint la « norme optimale » de 400 μg/1 (et non la norme maximale de 800 μg/1). Il ne peut réintégrer ses fonctions que lorsque ce même taux est inférieur ou égal à la « norme optimale ».

Nous avons regroupé les résultats de plombémie et F.E.P. de trois travailleurs (soudeurs au plomb, pour lesquels nous possédons plus de données que les autres) sur une même figure (4.3.A). Ces données originent de 1977, puisque certains prélèvements avaient été effectués avant que le programme complet de décembre 1979 ne soit proposé.

On remarque que les sujets (1) et (2) ont des taux de plomb sanguin (Pb_{Sg}) qui se situent en général au-dessus de la « norme optimale » de 400 μg/1, alors que le sujet (3) n'a jamais atteint le niveau de 400. Ce dernier sujet aurait d'ailleurs un travail de supervision qui diminue son temps d'exposition. Les taux de Pb_{Sg} des sujets (1) et (2) oscillent beaucoup et plusieurs de ces variations sont dues à l'application du retrait préventif. Les taux de F.E.P. demeurent dans les limites acceptables.

Pour cinq autres travailleurs à la pesée et au mélange du carbonate de plomb, nous ne possédons qu'une ou deux valeurs, par travailleur, pour un total de sept valeurs. Deux de ces valeurs (chez deux sujets différents) dépassent la « norme optimale ».

La valeur de Pb_{Sg} la plus élevée enregistrée est de 660 μg/1.

Le tableau 4.3.18 présente le nombre de valeurs de Pb_{Sg}, parmi tous les travailleurs, qui dépassent 400, 500 et 600 μg/1.

Tableau 4.3.18 Résultats des plombémies

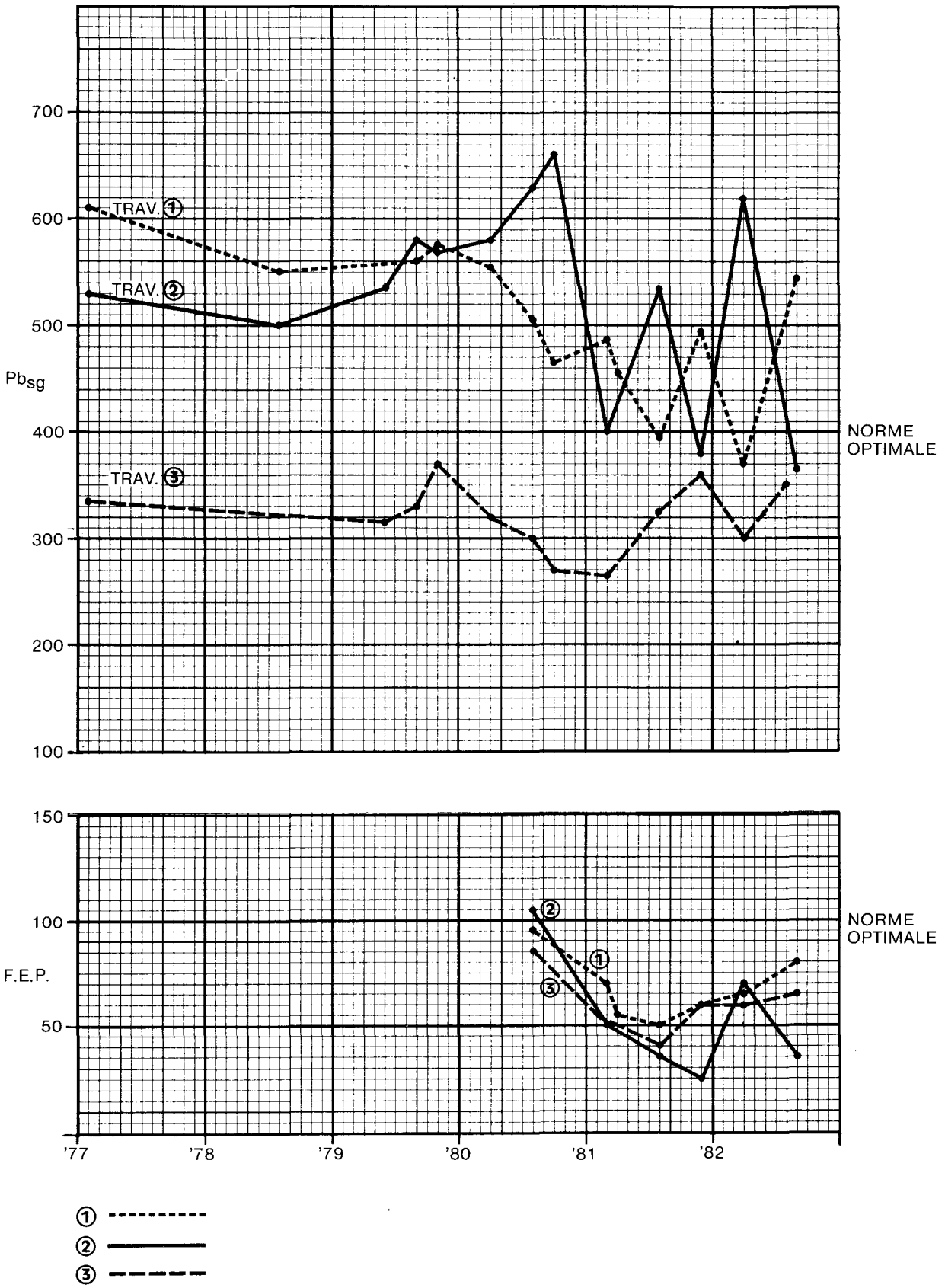
Niveau de Pb_{Sg} (μg/1)	Nombre de valeurs
< 400	22
≥ 400	24
≥ 500	18
≥ 600	5

Sur 46 valeurs disponibles, 24 sont supérieures à la « norme optimale » et parmi ces 24, 22 proviennent de deux sujets.

Plus le niveau de plombémie s'élève, plus la possibilité de trouver des signes cliniques d'intoxication augmente. À des niveaux aux environs de 500 et 600 μg/1, cela demeure

Figure 4.3.A

Évolution des résultats de plombémie et F.E.P.
("Free Erythrocytic Protoporphyrin") de trois travailleurs



relativement peu fréquent et il faut questionner et examiner attentivement le sujet pour découvrir des signes précoces. Le questionnaire et l'examen neurologique sont particulièrement importants. Nous n'avons pas de données à ce sujet concernant les travailleurs d'Expro.

En conclusion, moins de dix travailleurs exposés au plomb à l'usine Expro ont fait l'objet de dépistage. Bien que ce problème n'en constitue pas un d'importance proiritaire, les niveaux de plombémie indiquent que des mesures efficaces de prévention à la source n'ont pas encore été appliquées.

3. Surveillance audiométrique des travailleurs exposés au bruit

a) Description

Un dépistage audiométrique des travailleurs exposés au bruit a été effectué au printemps 1982. L'unité mobile des Services d'audiométrie industrielle de Cornwall limitée (Ontario) a effectué les examens et les résultats ont été analysés par le Dr Victor Villeneuve, otologiste industriel au McConnell Medical Centre, Cornwall.

Tous les travailleurs potentiellement exposés au bruit ont été inclus. Au total, 72 travailleurs ont subi l'examen. Les résultats sont les suivants:

Type A (normal):	16 sujets
Type B:	31 sujets
Type C:	7 sujets
Type D (doivent être référés):	28 sujets
Total:	72 sujets

La définition des catégories (types A à D) a été fournie par le Dr Villeneuve.

La typologie ne semble correspondre à aucune classification standard. Les sujets appartenant à la classe « D » auraient une atteinte fonctionnelle. Pour ces derniers seulement, une évaluation spécialisée est recommandée. Cependant, aucun suivi n'a été fait pour les 28 sujets concernés. Nous ne possédons aucune donnée concernant le degré d'exposition individuelle des travailleurs, ni le nombre d'années d'exposition, ni d'information sur leurs occupations antérieures en milieu bruyant.

b) Analyse

— Les catégories utilisées pour la classification des sujets sont imprécises.

— Seuls les sujets de la catégorie « D » sont référés, ce qui nous porte à croire que l'analyse est exclusivement faite en fonction d'une éventuelle compensation financière. Les sujets dans la catégorie « B » et « C » semblent porteurs d'une anomalie précoce, mais aucun suivi et aucune importance ne leur sont accordés.

— Le suivi des 28 cas requérant une évaluation spécialisée, n'a jamais été appliqué.

— Il n'existe pas de données permettant le calcul d'une dose cumulative d'exposition (i.e. pas d'histoire professionnelle et pas de données d'échantillonnage). En conséquence, aucune analyse des résultats ne peut en être tirée.

— Les seules recommandations préventives proposées concernent le port de protecteurs auditifs.

c) Conclusion

D'après cette étude, des travailleurs semblent porteurs d'une atteinte précoce et/ou significative de leur audition. Les informations disponibles ne nous permettent pas de préciser davantage le type de perte auditive, ni l'origine (origine de la compagnie actuelle ou d'autres compagnies). Le suivi médical et environnemental est incomplet.

d) Recommandations

— Revoir globalement l'organisation de la surveillance environnementale et médicale concernant le bruit.

— Préciser par une étude d'hygiène le groupe de travailleurs visés, quantifier le risque auquel ils sont exposés et évaluer par la suite la pertinence d'implanter un programme de surveillance audiométrique.

— Avant de démarrer un tel programme, consulter les documents officiels précisant les objectifs, les avantages et les inconvénients, les difficultés et les modalités d'application. S'assurer de la qualité et de la standardisation des procédures audiométriques. Il est essentiel que les audiogrammes soient standardisés selon une procédure stricte si l'on veut comparer les valeurs prospectives d'un travailleur ou si l'on veut analyser collectivement les résultats.

— Assurer un suivi adéquat des cas dépistés.

— Être conscient de l'efficacité relative des protecteurs auditifs. On ne saurait s'appuyer sur cette mesure comme mode unique de contrôle de l'exposition au bruit.

4.3.3 Le service de santé à Expro

Cette section décrit le service de santé, sa structure et ses principales activités. Nous discuterons de son évaluation à la section 4.3.4 sur l'analyse de la situation. Une évaluation des services de santé a déjà été abordée à la section précédente 4.3.2, lorsque nous avons discuté de programmes de surveillance spécifiques (tels que: plomb, audiogramme, radiographies...).

Suite à un bref historique, nous décrivons la structure du service de santé, au niveau des ressources humaines et matérielles, en terme quantitatif et qualitatif. L'organisation du service est également traitée, principalement sous l'angle des relations internes avec les autres secteurs de l'usine, et les relations externes avec les organismes de santé. Nous décrivons enfin les principales activités du service de santé, regroupées sous différents thèmes: les premiers soins, les premiers secours, la surveillance médico-environnementale, l'information et les activités découlant de la convention collective.

Nous tenterons de préciser, autant que possible, les changements qui se sont opérés en fonction du temps, ou qui sont en voie de s'opérer.

A. Historique

Le service de santé, communément appelé « l'hôpital », fut créé en même temps que l'usine pendant la seconde guerre mondiale, soit vers 1941. Cette appellation commune origine probablement du fait qu'il constituait un réel hôpital pour la communauté de l'époque.

En effet, six médecins y assuraient un service jour et nuit, assistés de trois infirmières; l'hôpital pouvait accueillir onze patients hospitalisés et il permettait de desservir une population d'environ quatre mille travailleurs et leur famille.

La période d'après-guerre a complètement transformé la situation. Avec une baisse importante de la population ouvrière, les effectifs médicaux ont aussi été réduits pour ne laisser qu'un médecin et une infirmière. Les services de radiologie et d'ambulance ont aussi été progressivement abandonnés.

Le D[r] Ernest Talbot fut un des premiers médecins à pratiquer à l'hôpital. C'est lui qui fut responsable du service de santé jusqu'à tout récemment (mai 1983).

L'administration et le financement du service de santé ont toujours relevé de la compagnie propriétaire de l'usine.

Depuis l'avènement de la Loi sur la santé et sécurité du travail du Québec, la compagnie a entrepris des démarches en vue d'une reconnaissance de son service de santé par le D.S.C. de Valleyfield, en vertu de l'article 130 de la Loi, mais un désaccord entre les parties patronale et syndicale a empêché jusqu'à maintenant que cette demande soit soumise.

B. Structure

1. Ressources humaines

Le service de santé emploie un médecin à mi-temps (i.e.: cinq avant-midi par semaine; ce ratio n'a pas changé depuis de nombreuses années), deux infirmières à temps plein dont une est infirmière-chef (ceci depuis 1980 alors qu'auparavant il n'y avait qu'une seule infirmière), et une secrétaire.

L'augmentation du nombre d'employés (environ 300 ont été engagés en 1979) et du nombre d'accidents constituent probablement deux facteurs importants qui ont motivé l'augmentation du personnel infirmier en 1980.

Aucune de ces personnes n'a de formation certifiée en santé au travail.

Le médecin possède une expérience d'une durée d'environ cinq ans, auprès de trois compagnies et il pratique la médecine familiale depuis 1976. Il a acquis la plus grande partie de sa formation théorique en santé au travail, grâce aux sessions de formation organisées par une des trois compagnies (la Compagnie Dupont) où il œuvrait. Il n'a aucun crédit de cours universitaires en santé au travail.

Les deux infirmières possèdent un diplôme d'infirmière licenciée. L'une d'elles a acquis une expérience en milieu hospitalier d'une durée de cinq ans; elle est en poste à l'usine depuis 1979 et a suivi des cours de secourisme (durée de seize heures) et d'instructeur (durée d'une semaine) en secourisme de l'Ambulance Saint-Jean, pour lesquels elle possède les certificats. L'autre infirmière a débuté sa pratique au service de santé de l'usine en juillet 1982 et a suivi un cours en audiologie d'une durée d'une semaine.

2. Ressources matérielles

a) Locaux

Les locaux comprennent les items suivants: le bureau du médecin, le bureau des infirmières et de la secrétaire, une salle d'examen, une salle d'attente, une salle d'utilité et une salle des archives, pour une superficie totale de 73,4 m².

b) Mobilier et équipements

Outre le mobilier de base (table d'examen, bureau, lit...) et les instruments médicaux de base (sphigmomanomètre, stétoscope,...), les équipements comprennent: un électrocardiographe, un hémoglobinomètre optique, une carte de la vue, une cabine audiométrique (non encore fonctionnelle), divers types de respirateurs portatifs, un cabinet de pansements, une pharmacie, un stérilisateur, un réfrigérateur et un spectrophotomètre (non utilisé).

Des trousses de premiers secours sont aussi disponibles dans l'usine, au bureau des contremaîtres et au bureau des gardes de sécurité.

Enfin, on note l'absence d'une bibliothèque de base en médecine du travail.

c) Examens de laboratoire

Certains examens sont effectués sur place, tels que l'électrocardiogramme (les tracés sont cependant lus par un cardiologue de Valleyfield), le dosage de l'hémoglobine et l'analyse d'urine (analyse qualitative à l'aide d'un indicateur colorimétrique « multistix »). D'autres ont été effectués par des laboratoires indépendants; ce sont: le Centre de toxicologie du Québec (pour le dosage du plomb et du mercure), l'unité mobile de radiologie du D.S.C. de Lévis (pour les radiographies pulmonaires annuelles), les Services d'audiométrie industrielle de Cornwall ltée (pour les audiogrammes) et l'Institut Bruchési (pour les spirométries et les radiographies pulmonaires des travailleurs exposés à l'amiante). Pour les divers examens biochimiques et hématologiques, des soumissions sont en cours. Enfin, notons que les audiogrammes et spirogrammes seront prochainement faits par le service de santé.

3. Organisation

a) Horaire

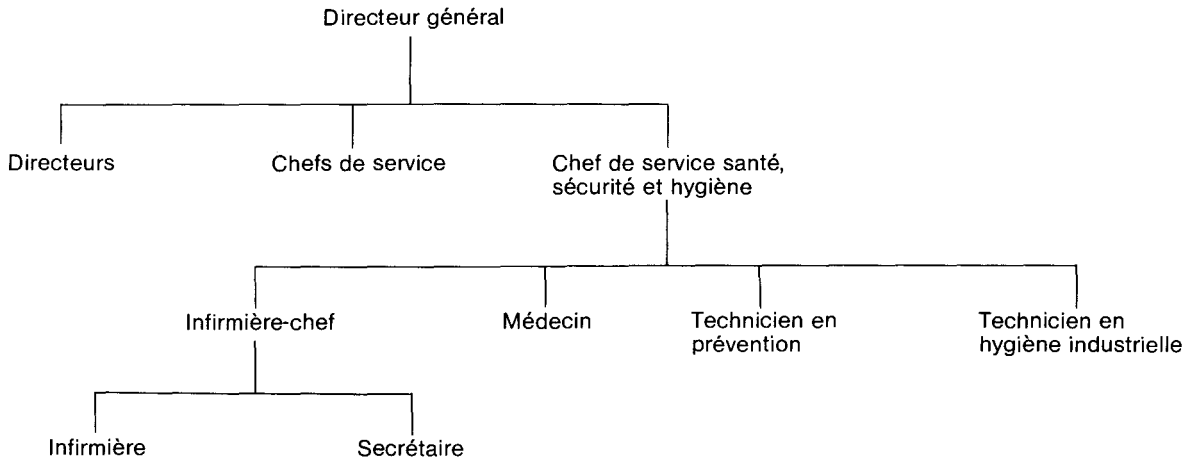
Le service de santé n'est ouvert que le jour (8 h 30 à 16 h 30), mais une infirmière demeure constamment disponible en cas d'urgence majeure.

b) Organigramme

Les changements ont été nombreux au niveau de la structure des relations entre l'administration de la compagnie et les services d'hygiène, de sécurité et de santé (elle a d'ailleurs été récemment modifiée).

Le personnel en santé, sécurité et hygiène est regroupé dans un même service, coordonné par un chef qui relève directement du directeur général de l'entreprise. Le chef du service a des relations de même ordre avec les autres chefs de service et directeurs. Au sein de l'équipe de santé, le médecin et l'infirmière-chef relèvent directement du chef de service et c'est à ce dernier qu'ils doivent acheminer leurs demandes ou recommandations.

Organigramme du service de santé, sécurité et hygiène



c. Relations avec les autres secteurs et services de l'entreprise

Bien qu'en théorie, selon l'organigramme, les services de santé, hygiène et sécurité soient interreliés, en pratique cependant, il ne semble pas avoir existé de liens fonctionnels notables entre le service de santé et les deux autres.

Lorsque des liens devenaient nécessaires dans certains dossiers spécifiques (exemple: celui du plomb), les contacts étaient principalement assurés par l'infirmière du service de santé.

Les liens avec les secteurs de production et d'entretien semblent surtout s'opérer par la voie hiérarchique.

d) Relations avec les organismes de santé

Le Département de santé communautaire (D.S.C.) constitue l'organisme avec lequel le service de santé a eu le plus de contacts. Ceux-ci ont débuté vers 1975, peu de temps après la création du D.S.C.

Les contacts ont été fréquents à certaines périodes, mais quelques fois espacés d'une longue période. Parmi les dossiers traités conjointement par le D.S.C. et le service de santé de l'usine, notons: l'élaboration et la mise sur pied de programmes spécifiques de surveillance (plomb, bruit, amiante), l'investigation de problèmes de santé particuliers (évaluation toxicologique du Dr Lacasse en 1975, le problème des contraintes thermiques à certains bâtiments, une plainte concernant l'usage de colle [enduit] à la deuxième

passe), et des dossiers administratifs (contacts afin d'obtenir des examens de dépistage, demande de reconnaissance du service de santé).

Peu de liens ont existé jusqu'à tout récemment entre la salle d'urgence de l'hôpital de Valleyfield et le service de santé de l'usine. Suite à l'accident mortel de Michel Bernier, le D.S.C. a amorcé un programme de formation concernant l'approche thérapeutique face aux principales intoxications professionnelles chez Expro et d'autres industries de la région. Notons que le médecin actuel est aussi médecin à l'urgence de l'hôpital de Valleyfield et qu'il est disponible sur appel pour tout problème de santé à l'usine.

Les services de consultants de l'hôpital (surtout en médecine interne) ont été utilisés à quelques reprises particulièrement pour l'investigation de problèmes respiratoires.

C. Activités

1. Activités régies par la convention collective

L'article 8.13 de la convention collective (pour la période du 1er mars 1983 au 28 février 1985) définit les principaux services et examens médicaux fournis par la compagnie. Parmi les dix-huit paragraphes, on retrouve principalement la description des examens de pré-embauche et périodiques, le contenu de certains programmes spécifiques de surveillance et les examens offerts en cas d'accidents et de maladies professionnelles ou non. Les activités d'information et de formation ne sont pas incluses.

Il est à noter que la participation du personnel professionnel du service de santé est à peu près exclue dans la négociation de ces clauses.

La description des activités ci-haut mentionnées sera reprise à l'intérieur des trois thèmes suivants: les premiers soins et premiers secours, la surveillance médicale et les activités d'information et formation.

2. Premiers soins, premiers secours

Tel qu'inscrit à l'article 8.13a de la convention collective, tous les cas d'accidents sont examinés au service de santé et un formulaire de déclaration des accidents, (Re-1) est émis. Lors de son retour au travail, le sujet est de nouveau examiné par le médecin. Advenant un accident majeur, l'ambulance d'un service privé est demandée et l'accidenté est immédiatement transporté à l'hôpital. Une infirmière est constamment de garde, sur appel, en cas d'urgence. Ce service n'a été requis qu'à deux occasions lors d'accidents majeurs.

Depuis l'été 1982, tous les accidents (mineurs ou majeurs), incidents, maladies et intoxications sont comptabilisés par le service de santé. Des statistiques mensuelles et annuelles sont produites, par département, type de lésions, gravité et autres variables.

Il n'existe pas de protocoles établis qui définissent les procédures à suivre pour différents types d'urgence. Un premier document a été écrit concernant les procédures à suivre en cas de surexposition aux oxydes d'azote, mais il n'est pas encore en vigueur.

Chez les brûlés à l'acide, les procédures suivantes sont généralement appliquées: douche sur les lieux mêmes du travail, puis référence au service de santé où l'on applique une pommade de flamazine. On considère présentement l'installation d'une douche au service de santé; au besoin, le bain peut être utilisé.

Il n'y a pas de plan d'urgence médicale en cas de désastre (feu ou explosion).

Enfin, la formation de secouristes n'a débuté que cet été. À ce jour, une dizaine de surveillants ont suivi un cours et tous les contremaîtres devraient éventuellement faire de même. Le cours dure six heures et vise à donner une formation générale sur les principes du secourisme. Il n'est donc pas orienté spécifiquement sur les problèmes susceptibles de survenir à Expro. Le cours est donné par l'infirmière qui a un certificat d'instructeur en secourisme.

3. Surveillance médico-environnementale

a) Surveillance médicale

Ces activités sont presqu'entièrement déterminées par la convention collective. Nous aborderons les activités de surveillance médicale sous trois aspects: l'examen pré-emploi, l'examen périodique standard et les programmes spécifiques de surveillance médicale.

— Examen pré-emploi

Il s'agit d'un examen standard (dont les données sont contenues dans un formulaire standard) pour tous les nouveaux employés, comprenant un questionnaire, un examen physique et une radiographie pulmonaire. La radiographie de la colonne vertébrale a récemment été abandonnée. Les formulaires remis au bureau du personnel signalent seulement que le candidat est apte ou inapte à l'emploi.

— Examen périodique annuel pour tous les employés

Cet examen comprend un questionnaire médical et un examen physique généraux (dont les renseignements sont inscrits sur un formulaire standard), un examen de la vue, une analyse d'urine (« multistix »), un électrocardiogramme et un dosage de l'hémoglobine (hémoglobinomètre optique).

La radiographie pulmonaire est offerte à tous annuellement, via l'unité mobile du D.S.C. de Lévis.

L'ensemble des examens périodiques annuels (généraux et spécifiques) constituaient l'activité principale du précédent médecin.

— Programmes spécifiques de surveillance médicale

Outre l'examen ci-haut décrit, certains groupes de travailleurs subissent des examens complémentaires.

En relation avec l'exposition à la nitroglycérine, une prise mensuelle de la tension artérielle est effectuée par l'infirmière, sur le lieu même du travail, à tous les travailleurs de la section NG et des départements de la première et deuxième passe (ce qui représente environ 250 employés). L'infirmière surveille principalement un abaissement de la tension artérielle et une accélération du pouls. Toutefois, depuis que l'infirmière est en fonction (1979), elle ne se souvient pas avoir détecté une tension artérielle, ou un pouls anormaux. Cette activité exige deux demi-journées par semaine du temps d'une infirmière.

Ces mêmes travailleurs (NG, première et deuxième passe) ont aussi une vérification annuelle de leur taux d'hémoglobine. Depuis au moins 1979, aucun cas d'anémie ne serait apparu.

Les programmes spécifiques de surveillance des travailleurs exposés au plomb (soudeurs au plomb, pesée et mélange de carbonate de plomb) et au bruit (divers bâtiments) sont décrits et évalués à la section 4.3.2.

Une douzaine de travailleurs du laboratoire sont exposés au mercure. Ils subissent à tous les trois mois un dosage urinaire de mercure. À ce jour, les taux observés n'auraient pas dépassé la norme optimale acceptée.

Les travailleurs exposés aux dérivés nitrés ou aminés, autres que la NG, et les travailleurs exposés aux solvants n'ont pas d'autres examens spécifiques.

Il n'existe pas de programme de prévention et de réhabilitation concernant le problème des lombalgies.

b) Surveillance environnementale

Puisqu'un registre des postes de travail n'a jamais été conçu (il semble qu'actuellement le service d'hygiène soit en train de le bâtir), nous ne retrouvons aucune donnée environnementale, concernant le profil individuel d'exposition du travailleur, ni d'histoire professionnelle dans les dossiers du service de santé. En conséquence, aucune véritable comparaison n'a pu être établie entre les données sanitaires et les données environnementales.

4. Activités d'information

Les activités d'information et formation de groupe et/ou systématiques sont relativement récentes à l'usine.

Elles ont débuté vers 1980 lorsqu'a été organisé le programme de surveillance des travailleurs exposés au plomb. L'information vise ici essentiellement à enseigner les mesures d'hygiène personnelle aux travailleurs afin de prévenir l'absorption digestive de plomb.

Suite aux incidents survenus cet hiver au bâtiment nº 108, l'infirmière a produit un document et structuré un cours visant à expliquer les effets dus aux oxydes d'azote et les mesures à prendre en cas de surexposition. Ce cours a été donné à des travailleurs et superviseurs du département NC. Cependant, tel que déjà mentionné, les mesures d'urgence incluses dans ce document n'ont pas encore été adoptées.

Toutes les activités d'information et de formation sont exécutées par l'infirmière et sont sous sa responsabilité. Le médecin ne participe pas à ces activités collectives. Il livre ses conseils aux travailleurs principalement lors des examens périodiques.

4.3.4 Analyse de la situation

Les sections précédentes nous ont permis d'identifier quelques problèmes de santé d'importance à Expro et d'analyser dans quelle mesure les services de santé se sont acquittés de leur tâche face à ces problèmes. La présente section a pour but de proposer, après une analyse de la situation, certaines recommandations pouvant se regrouper dans le cadre d'un programme de santé au travail, afin d'améliorer la santé et la sécurité des travailleurs d'Expro.

A. Programme de santé au travail, quelques considérations d'ordre théorique

L'analyse des activités des services de santé d'Expro et la preuve apportée aux audiences publiques nous ont fait réaliser que les objectifs et activités devant être poursuivis par un programme de santé au travail étaient plus ou moins bien compris. Nous nous proposons donc dans cette sous-section d'y apporter quelques précisions.

1. Objectifs et principales activités

Tel que précisé dans la Loi sur la santé et la sécurité du travail, le programme de santé fait partie intégrante du programme de prévention (art. 59). Tandis que le programme de prévention vise l'élimination des dangers à la source par des méthodes techniques, le programme de santé vise à protéger et à améliorer la santé des travailleurs exposés aux différents risques du milieu de travail ainsi qu'à adapter le travail à l'homme et chaque homme à son emploi.[1]

Pour atteindre ce but, le programme de santé doit privilégier des activités de surveillance de l'environnement de travail et de la santé des travailleurs exposés (surveillance médico-environnementale), d'information et de premiers soins. L'article 113 de la Loi englobe tous ces éléments.

a) Surveillance environnementale

À partir des registres des caractéristiques concernant les postes de travail et le travail exécuté par chaque travailleur, il est possible de dresser une liste des travailleurs exposés aux différents contaminants du milieu de travail. Par la suite, avec le support d'un hygiéniste industriel, la dose d'exposition, c'est-à-dire la concentration du contaminant associé au temps passé en sa présence, peut être déterminée et inscrite au dossier environnemental du travailleur. Ces données d'exposition nous permettent de prévoir le risque d'altération à la santé, de déterminer la population de travailleurs devant faire

1. Organisation mondiale de la santé (O.M.S.), 1976. Détection précoce des altérations de la santé résultant de l'exposition professionnelle.

l'objet d'une surveillance médicale spécifique et d'orienter l'employeur dans la fixation des priorités du programme de prévention, section hygiène industrielle.

L'élaboration et la mise en application du programme de surveillance de l'exposition des travailleurs et de la qualité du milieu de travail suivent cette première évaluation. Les données environnementales générées évaluent le degré d'atteinte des objectifs fixés par le programme d'hygiène industrielle (contrôle des risques à la source) et permettent au médecin du travail de dresser un bilan de l'état de santé des travailleurs en fonction des risques.

b) Surveillance médicale

On a souvent associé les programmes de surveillance médicale en milieu de travail à des activités d'examens pré-embauche visant la sélection des candidats physiologiquement les plus aptes à remplir l'emploi postulé et d'examens généraux périodiques dont les objectifs étaient souvent nébuleux.

En médecine du travail, le programme de surveillance médicale poursuit des objectifs spécifiques qui ont déjà été bien définis par l'Organisation mondiale de la santé (O.M.S.)[1]. Il vise principalement la détection précoce de l'altération de la santé et la description des tendances de l'état de santé des travailleurs.

— Détection précoce

Comme on ne dispose pas toujours de mesures techniques appropriées ou que les mesures préventives mises en place peuvent s'échelonner selon un échéancier de plusieurs mois ou années, la détection précoce de l'altération de la santé demeure nécessaire.

Elle vise les travailleurs exposés significativement aux risques du milieu de travail. Elle peut se faire par deux méthodes différentes: 1. en évaluant les risques avant-coureurs de l'altération de la santé, avec un effort particulier pour dépister *des effets précoces réversibles*. Des questionnaires standardisés de symptômes (ex.: questionnaire sur les symptômes respiratoires), des tests de fonctions respiratoires et audiométriques ou les dosages de paramètres sanguins sont les principaux outils disponibles. — 2. en évaluant l'exposition par des paramètres biologiques (ex.: plombémie), ce qui peut signaler indirectement la présence de phénomènes précurseurs de l'altération de la santé si l'on connaît les relations dose-effet et dose-réponse.[2,3] Les méthodes d'évaluation périodique de la santé apparaissent comme des indicateurs de risque pour la santé beaucoup plus fiables que la mesure des contaminants atmosphériques, puisqu'elles tiennent compte d'une part, des caractéristiques biologiques individuelles (âge, sexe, maladies acquises, habitudes de vie) et, d'autre part, de la *dose totale* de contaminants effectivement absorbés par les voies pulmonaire, cutanée et digestive. Il faut noter cependant que les évaluations périodiques de l'état de santé ne permettront jamais de prévenir les intoxications aiguës résultant d'une forte exposition soudaine. Ces examens servent surtout à *prévenir les effets adverses d'une exposition chronique à un contaminant du milieu de travail*, et doivent répondre à un ensemble de critères spécifiés par l'O.M.S.[4] pour pouvoir être utilisés et ainsi éviter des abus encore trop fréquents.

Ces activités de dépistage s'actualisent au niveau des examens d'embauche et des examens périodiques. L'examen d'embauche permet de réunir des données de référence correspondant à une période de non exposition. Les examens périodiques recueillent les paramètres de santé de chaque individu exposé au cours du temps pour y déceler des changements éventuels (surveillance longitudinale).

---

1. O.M.S.: « Surveillance de l'environnement et de la santé en médecine du travail » Série de rapports techniques, nº 535, 1973.
2. *Relation dose-effet:* relation entre l'exposition et la gravité chez un *individu* d'un effet sur la santé qualitativement défini.
3. *Relation dose-réponse:* relation entre l'exposition et le nombre relatif (pourcentage) d'individus d'un *groupe* chez lesquels un effet qualitativement défini atteint une gravité définie quantitativement.
4. O.M.S.: Détection précoce des altérations de la santé résultant de l'exposition professionnelle — pp. 30-33.

Si une modification des paramètres de santé est mis en évidence dès le début de l'exposition chez les sujets sensibles, ceux-ci pourront être réaffectés à d'autres tâches en attendant que les modifications à l'environnement de travail soient apportées.

L'analyse statistique de ces données sanitaires appariées aux données environnementales d'exposition pourra évaluer la signification des différences apparues dans le temps chez les individus exposés et l'efficacité du programme de prévention mis de l'avant par les autorités de l'établissement pour prévenir les maladies professionnelles.

— Description des tendances de l'état de santé des travailleurs

L'analyse statistique des données de santé générées par les programmes de dépistage ne nous donne qu'un aperçu partiel de l'état de santé des travailleurs, à cause de la pénurie de bons outils de dépistage. Alors pour compléter cette description, d'autres techniques de surveillance peuvent être mises de l'avant. La déclaration et la compilation de tous les cas de malaises reliés au travail, de blessures avec ou sans arrêt de travail nous permettent d'avoir un portrait des effets aigus causés par le milieu de travail. Plusieurs effets chroniques (ex.: cancérigènes, tératogènes, etc.) ne pourront être documentés que par une étude épidémiologique bien structurée. Ces études sont souvent utiles pour valider les normes d'exposition existantes et améliorer nos connaissances encore restreintes des différents effets du milieu de travail sur la santé. La collaboration de chercheurs associés aux départements de santé communautaire, à l'Institut de recherche en santé et sécurité du travail (I.R.S.S.T.) et aux milieux universitaires devient alors nécessaire.

c) Examens pré-embauche

Outre l'obtention de données biologiques de référence permettant de mesurer les effets adverses précoces de l'exposition, les examens d'embauche peuvent servir à déterminer les caractéristiques de santé nécessaires à l'exécution d'un travail (aptitude au travail). L'identification des caractéristiques de santé des travailleurs peut protéger leur santé et celle des autres dans certaines situations. Ainsi, l'emploi d'un travailleur atteint de troubles auditifs (surdité) ou visuels (daltonisme) dans une fonction d'opérateur de pont roulant peut mettre en danger la santé et la sécurité de ses compagnons de travail. Il ne s'agit pas ici d'exercer une sélection à l'emploi des meilleurs sujets selon les exigences médicales trop sévères, comme c'est malheureusement le cas trop fréquemment.

Le choix de ces exigences doit être établi à partir de critères scientifiquement validés et *ils sont peu nombreux*. L'explication de ces critères aux membres du comité de santé et de sécurité évitera tout malentendu entre les parties.

La portée de l'article 113.4 de la Loi est peut-être trop exhaustive et ne devrait s'adresser qu'à certains travailleurs (et non pas à chaque travailleur) postulant sur des fonctions spécifiques où des exigences médicales scientifiquement validées ont été définies, afin de prévenir une sélection abusive et discriminatoire. L'adaptation du travail à l'homme (approche ergonomique) devrait plutôt faire l'objet d'un effort plus concerté des milieux de travail.

d) Information

L'information constitue une activité essentielle d'un programme de santé bien structuré. Elle vise à renseigner les travailleurs et les autorités de la compagnie sur les différents risques présents dans le milieu de travail et les niveaux d'exposition enregistrés, leurs principaux effets aigus et chroniques et les moyens de les prévenir et de les traiter, s'il y a lieu. L'affichage des résultats d'échantillonnage au niveau des départements concernés, la compilation des résultats des examens de santé en fonction des risques et leur diffusion sous forme de rapports dépersonnalisés aux membres du comité de santé et de sécurité sont des exemples de stratégies d'information qui pourraient être envisagées et mises en application.

e) Premiers soins, premiers secours

Une intervention médicale précoce chez un travailleur accidenté ou atteint d'une intoxication aiguë peut sauver la vie, minimiser les complications tardives et permettre

une réhabilitation plus rapide. Ce sont les objectifs visés par un programme de premiers secours, premiers soins.

Les premiers secours peuvent être définis comme étant des mesures d'urgence effectuées immédiatement sur les lieux même d'un accident par un personnel non médical (mais ayant de préférence reçu une formation de base en secourisme) et visant principalement le maintien des fonctions vitales de la victime pour le transport vers une ressource médicale.

Les premiers soins sont les mesures d'urgence effectuées par un personnel médical dès l'arrivée de la victime.

La présence de secouristes, formés en nombre suffisant, facilement accessibles en tout lieu et en tout temps au moment d'un accident, et d'un service de premiers soins sont les conditions nécessaires à la réussite du programme.

2. Élaboration et mise en application

L'élaboration et la mise en application du programme de santé demandent l'intervention d'une équipe multidisciplinaire composée au minimum d'un médecin du travail, d'une infirmière et d'un hygiéniste industriel, tel que proposé par la C.S.S.T. D'autres personnes pourront être consultées, dépendant des problèmes de santé au travail identifiés au sein de l'établissement (exemple: toxicologues, ergonomes, psychologues...). Tel que défini par la Loi sur la santé et la sécurité du travail, le médecin responsable est chargé de l'élaborer, de le faire approuver par le comité de santé et de sécurité et la C.S.S.T., et de le mettre en application (art. 112 et 60). Le médecin est nommé par le comité de santé et de sécurité pour une période de quatre ans. S'il n'y a pas entente entre les parties, la C.S.S.T., après consultation auprès du chef du département de santé communautaire (D.S.C.) procède à sa nomination pour une période de deux ans (article 118). Celui-ci doit obtenir au préalable des privilèges en médecine du travail de la part du comité d'examen des titres du conseil des médecins et dentistes du centre hospitalier – département de santé communautaire (C.H. — D.S.C.) (article 127.2), selon des critères déterminés.

B. Organisation des services de santé du travail

1. Services de santé au travail de la compagnie

a) Reconnaissance des services de santé et nomination du médecin responsable

Aucune demande de reconnaissance des services de santé n'a été adressée au C.H. — D.S.C. de Valleyfield par l'employeur depuis l'entrée en vigueur du Règlement sur les services de santé en juillet 1982 (article 130), faute d'entente entre les représentants patronaux-syndicaux du comité paritaire de santé et de sécurité de l'établissement. Cette situation retarde la normalisation du statut légal des services de santé et devrait être clarifiée le plus rapidement possible pour ensuite procéder à la nomination du médecin responsable, selon les exigences de la Loi.

Recommandations

— Que le statut des services de santé de la compagnie Expro soit défini au plus tard en novembre 1983 par le C.H. — D.S.C. de Valleyfield.

— Qu'un médecin soit nommé responsable des services de santé au travail de l'établissement, tel que défini par la Loi sur la santé et la sécurité du travail et ses règlements, dans les meilleurs délais.

b) Ressources humaines

— Suffisance

L'évaluation de la suffisance des ressources humaines sera faite en fonction des principales activités prévues pour l'élaboration et l'application du programme de santé au travail défini par la Loi sur la santé et la sécurité du travail. La Commission est consciente que l'employeur peut décider d'offrir plus de services que ce qui est prévu par la Loi à ses propres frais (exemple: contrôle de l'absentéisme, consultation en médecine familiale...), ce qui exigera plus de ressources.

Malgré la diversité et la complexité des différents problèmes de santé documentés à Expro, la Commission croit que les ressources humaines actuellement en place au service médical sont suffisantes (deux infirmières à temps plein, un médecin à mi-temps) pour appliquer le programme de santé au travail. Étant donné que le volet environnemental du programme de santé visant l'identification et la surveillance de l'exposition des travailleurs aux multiples contaminants présents chez Expro vient seulement de débuter, et que ce volet est indispensable pour la détermination des principales activités du programme de surveillance médicale, nous croyons que l'engagement d'un hygiéniste industriel, ajouté au technicien déjà en place, est nécessaire.

Dans l'éventualité où les services de santé de l'établissement ne soient pas reconnus par le C.H. — D.S.C. et qu'ils soient intégrés au réseau de santé publique du Québec, nous croyons que le ratio consenti par la C.S.S.T. pour le médecin responsable (un médecin / neuf mille travailleurs et 275 établissements) pour accomplir les activités prévues par la Loi est insuffisant pour ce type d'établissement. Ainsi en appliquant le ratio à Expro, nous obtenons un temps de trois heures/semaine consenti au médecin responsable. Nous croyons que la C.S.S.T., en fixant ses ratios, devrait tenir compte des particularités de chaque secteur d'activités économiques (complexité des procédés industriels, nature des risques à la santé et à la sécurité...), de l'ampleur et de la fréquence des problèmes de santé documentés, de la distribution géographique des établissements à couvrir et des ressources médicales, etc.

Recommandations

— Qu'un hygiéniste industriel soit engagé par la compagnie, afin de participer à l'évaluation et à la surveillance de l'exposition des travailleurs aux différents contaminants.

— Que la C.S.S.T. réévalue le mode de détermination des ratios consentis pour le médecin responsable.

— ***Formation des ressources***

L'analyse de la formation des ressources médicales du service de santé (médecin et infirmière) démontre des déficiences importantes, compte tenu des tâches qu'elles doivent réaliser dans le cadre d'un programme de santé au travail.

Médecin responsable des services de santé

Tandis que le rôle traditionnel du médecin est de soigner les gens malades (médecine curative), le rôle du médecin du travail est d'abord orienté vers une approche préventive. Cette approche consiste à évaluer l'ampleur des problèmes de santé au travail et des facteurs de risque associés affectant les travailleurs d'un établissement, de fixer des priorités d'intervention, d'élaborer pour chacun des problèmes de santé retenus prioritaires un programme de santé au travail visant leur prévention et d'évaluer le degré d'atteinte des objectifs. Pour réaliser ce mandat, le médecin doit visiter les lieux de travail, participer avec l'hygiéniste industriel à l'identification et l'évaluation des contaminants et des contraintes ergonomiques, évaluer les effets de ces risques sur la santé et la sécurité des travailleurs exposés (statistiques de la compagnie, résultats des différents examens de santé en fonction des risques, revue de littérature, études épidémiologiques, entrevues avec les travailleurs...), élaborer le programme de santé au travail, le faire approuver par le comité de santé et de sécurité, informer les travailleurs de toute situation les exposant à un danger, etc. Le médecin du travail doit posséder les connaissances pertinentes en toxicologie, épidémiologie, hygiène industrielle, ergonomie et relations industrielles, des aptitudes à travailler dans le cadre d'une équipe multidisciplinaire et des attitudes préventives (exemple: documenter des problèmes plutôt que de rester dans son bureau à soigner les blessés...). Nous croyons que le médecin en place ne possède pas encore ces qualifications de base.

Recommandation

— Que le médecin nommé responsable des services de santé s'engage, si tel n'est le cas, à acquérir une formation universitaire de base en toxicologie, hygiène industrielle, ergonomie et épidémiologie.

Infirmiers(ères)
Les infirmières d'Expro font partie de l'équipe des services de santé avec le médecin et l'hygiéniste industriel. Leurs tâches consistent à participer à l'élaboration du programme de santé, organiser des sessions d'information à l'intention des travailleurs, former des secouristes, prodiguer des premiers soins si nécessaires, participer au programme des examens de dépistage, etc. Des connaissances de base en éducation sanitaire, toxicologie, hygiène industrielle, relations de travail et secourisme sont nécessaires pour réaliser ces différentes tâches.

Nous croyons que la formation des infirmières d'Expro en santé et sécurité du travail est déficiente (sauf pour le secourisme). Un certificat en santé/sécurité du travail pourrait améliorer cette situation.

Recommandation
— Que les infirmières acquièrent une formation de base en santé et sécurité du travail dans le cadre d'un programme structuré de cours.

— Accessibilité des ressources
Le service de santé est ouvert de 8 h 30 à 16 h 30. Une infirmière demeure constamment disponible en cas d'urgence majeure et pourrait à l'avenir être plus souvent utilisée que par le passé.

2. C.H. — D.S.C. de Valleyfield
L'article 127 de la Loi sur la santé et la sécurité du travail définit le mandat du chef du département de santé communautaire (D.S.C.) en santé au travail. L'organisation des services de santé pour les établissements du groupe prioritaire I (industries chimiques, mines et carrières, construction, forêts, scieries, produits métalliques) constitue la priorité pour l'année 1983. Un contrat-type liant la C.S.S.T. et les D.S.C. de la province précise les différentes fonctions des membres de l'équipe de base en santé au travail responsables d'appliquer cet article de la Loi; des fonctions de planification, coordination, programmation et évaluation doublées d'une expertise spécifique en médecine du travail, hygiène industrielle et épidémiologie sont respectivement assumées par un coordonnateur, un médecin du travail, un hygiéniste industriel et selon le cas, un conseiller en recherche. Les membres doivent encadrer et supporter au départ les équipes des services de la santé au travail qui seront mises en place.

L'équipe de base du C.H. — D.S.C. de Valleyfield n'est pas encore complétée. Un coordonnateur et un hygiéniste industriel sont en fonction depuis deux ans environ, mais à cause de difficultés de recrutement (situation fréquente pour les D.S.C. de régions périphériques), une expertise stable en médecine du travail est déficiente. La Commission croit, qu'à cause des particularités spécifiques au territoire du C.H. — D.S.C. de Valleyfield (concentration importante d'usines chimiques, dont Expro), une expertise en médecine du travail, notamment en toxicologie industrielle, devrait être disponible le plus rapidement possible, sur une base permanente au niveau régional. Le mandat de cette personne-ressource pourrait être le suivant:

— Développer un programme de formation en maladies professionnelles à l'intention des médecins de première ligne du territoire, avec un accent sur le diagnostic et le traitement des intoxications professionnelles.

— Apporter un support aux médecins responsables des établissements lors de l'évaluation des effets des différents contaminants chimiques auxquels les travailleurs sont exposés et proposer les méthodes de surveillance médicale.

— Veiller à la formation et au perfectionnement des médecins responsables.

— Collaborer au contrôle et à l'appréciation de la qualité des actes médicaux effectués par les médecins responsables.

Il devient urgent qu'une liste de médecins du travail ayant obtenu des privilèges dans ce champ d'activités auprès du Conseil des médecins et des dentistes du C.H. de

Valleyfield, selon les critères établis, soit dressée dès l'automne 1983 et rendue disponible aux différents milieux de travail.

Recommandations

— Qu'une expertise en médecine du travail, notamment en toxicologie, soit disponible au niveau régional, dans le cadre de l'équipe de base en santé au travail du C.H. — D.S.C. de Valleyfield, sur une base permanente.

— Qu'une liste de médecins du travail soit dressée par le C.H. — D.S.C., et rendue disponible aux différents établissements du territoire.

C. Premiers secours, premiers soins

1. Premiers secours

Les audiences publiques ont mis en évidence une nette déficience au niveau de l'organisation des premiers secours offerts par la compagnie jusqu'à tout récemment (cf. événements sur la brûlure à l'acide de Jean-Marc Legault, le décès de Michel Bernier, l'incendie au séchoir nº 280), principalement au niveau de la formation de secouristes certifiés et du transport ambulancier au niveau même du site de l'établissement.

a) Formation de secouristes certifiés

La présence au niveau même des lieux de travail de secouristes détenteurs d'un certificat reconnu, en nombre suffisant, pour prodiguer dans les premières minutes qui suivent un accident les premiers secours aux travailleurs blessés, constitue la clef d'un programme efficace. D'après les renseignements fournis à la Commission, il semble que seuls deux travailleurs (préposés à la barrière) répondent aux exigences de formation requise. Constatant cette déficience, les autorités de la compagnie ont initié, sous la responsabilité d'une des infirmières, un programme de formation en secourisme au début de l'année 1983 visant tous les agents de protection, les contremaîtres et les chefs-opérateurs; 264 hommes-heures de cours ont déjà été donnés. Ce programme de six heures, calqué sur celui offert par l'Ambulance Saint-Jean, ne vise qu'une formation générale sur les principes de secourisme et *devrait être complété par l'enseignement de mesures spécifiques à prendre par rapport aux problèmes de santé au travail susceptibles de survenir à Expro* (ex.: intoxication aux vapeurs nitreuses, à l'éther, à la nitroglycérine, brûlures à l'acide, brûlure par le feu...). Le médecin du travail pourra être consulté pour définir des mesures spécifiques de premiers secours dans un protocole.

Il est important de noter à ce stade-ci qu'il existe un règlement sur les services de premiers secours actuellement en vigueur (Loi des accidents du travail, L.R.Q., c.A-3, r.12) disant que «*dans les industries où il n'y a pas de médecin, d'infirmière ou d'infirmier à plein temps durant les heures de travail, l'employeur, suivant la nature de son établissement doit avoir un ou plusieurs préposés qualifiés*». Ce règlement ne précise pas cependant le temps maximum requis pour avoir accès aux trousses de premiers secours et aux services du secouriste, le nombre minimum de secouristes par travailleur et les critères de leur qualification. Le projet de règlement sur les normes minimales de premiers secours publié dans la Gazette officielle du Québec le 28 avril 1982 (pp. 1695-1696) répond à ces questions. La Commission comprend mal pourquoi ce règlement n'est pas encore adopté, alors que les travailleurs blessés ne bénéficient pas encore de premiers secours adéquats dans une grande majorité d'établissements du groupe prioritaire nº 1 (communication verbale des résultats d'enquêtes effectuées par les D.S.C. de Sacré-Cœur, Laval et Valleyfield). La Commission croit qu'il est urgent que ce projet de règlement soit adopté et qu'un programme de formation de secouristes axé d'une part, sur l'enseignement des principes généraux de secourisme et, d'autre part, sur les mesures spécifiques à prendre face aux principaux problèmes de santé et de sécurité rencontrés dans les différents secteurs d'activités économiques, soit mis sur pied. Un cours de seize heures serait suffisant.

b) Transport ambulancier

Les installations d'Expro sont éparpillées sur un terrain de 1 100 acres, ce qui rend l'accessibilité aux services de premiers soins problématique. Les audiences publiques

ont mis en évidence (surtout les événements entourant l'incendie du séchoir nº 280) de nettes déficiences à ce niveau. La Commission recommande donc qu'un véhicule spécialement équipé pour le transport des blessés soit disponible en tout temps sur le site de l'établissement. Les principales pièces d'équipement qu'on pourrait y retrouver sont les suivantes:

— trousse de premiers secours,
— appareil de réanimation cardio-respiratoire,
— deux civières,
— oxygène,
— couvertures.

Recommandations

— Que les secouristes soient formés en nombre suffisant et qu'ils soient accessibles, durant les heures de production, dans les premières minutes qui suivent un accident. Cette formation devra viser l'enseignement des principes généraux en secourisme et des mesures spécifiques à prendre face aux différents problèmes de santé documentés à Expro.

— Que le projet de règlement sur les normes minimales de premiers secours soit adopté le plus rapidement possible.

— Qu'un programme provincial de formation de secouristes soit organisé et mis en application par la C.S.S.T. dans les plus brefs délais.

— Qu'un véhicule spécialement équipé pour le transport des blessés soit disponible en tout temps sur le site d'Expro.

2. Premiers soins

a) Au niveau du site de la compagnie

Des premiers soins sont offerts actuellement durant le quart de jour (8 h 30 à 16 h 30) par les deux infirmières et le médecin (chaque matin, du lundi au vendredi). De 16 h 30 à 8 h 30, une infirmière est de garde. Cette situation est comparable à ce qui prévaut dans des usines semblables en Suède et en France. Tous les cas d'intoxication aux vapeurs nitreuses et de brûlures sévères à l'acide doivent faire l'objet de mesures de premiers soins sur le site même de l'usine à toute heure de la journée, avant le transfert à l'hôpital, s'il y a lieu. L'élaboration de protocoles spécifiques de premiers soins doit être effectuée dans les cas d'intoxications (NO_X, éther, nitroglycérine), de brûlures à l'acide (acides nitrique, acétique et sulfurique, oléum, anhydride acétique), de brûlures par le feu ou la chaleur, de fractures et de lombalgies.

Dans le cas de transfert d'un travailleur intoxiqué à l'urgence d'une polyclinique, d'un C.L.S.C. ou d'un centre hospitalier, le secouriste ou le préposé aux premiers soins, selon le cas, remettra au médecin traitant un document indiquant le contaminant auquel le travailleur a été exposé et, si possible, le niveau d'exposition, les principaux effets aigus pouvant en résulter, les mesures de premiers secours et premiers soins administrés; l'élaboration du fichier toxicologique et son accessibilité au niveau de chacun des départements de l'usine est nécessaire pour atteindre ce but.

b) Au niveau du Centre hospitalier de Valleyfield

Comme nous l'avons vu dans le cas du décès de Michel Bernier, les médecins d'urgence ont généralement peu de formation en médecine du travail. Il est, par ailleurs, utopique de penser que ces médecins puissent tous acquérir une « spécialité » dans ce domaine. La disponibilité d'une expertise en médecine du travail, pour répondre aux demandes de consultation, pourrait améliorer cette situation; une liste de « garde » en médecine du travail indiquant le nom et le numéro de téléphone du médecin (médecin responsable ou de l'équipe de base du D.S.C.) devrait être affichée dans la salle d'urgence.

Néanmoins, la Commission croit que tout médecin d'urgence devrait avoir une formation minimale dans le diagnostic et les mesures de premiers soins et de traitement à administrer lors d'une intoxication aiguë.

Recommandations

— Que tous les cas d'intoxication aux vapeurs nitreuses et de brûlures à l'acide, fassent l'objet de premiers soins sur le site même de la compagnie.

— Qu'un document contenant les informations pertinentes soit remis au médecin traitant pour les cas d'intoxication.

— Qu'une liste des médecins de garde ayant une expertise en médecine de travail soit disponible dans la salle d'urgence du Centre hospitalier de Valleyfield, des polycliniques et du C.L.S.C. de la région.

D. Surveillance médico-environnementale

La surveillance médicale et environnementale constituent deux composantes étroitement reliées devant faire partie d'un même ensemble ou d'un même programme.

Si nous en avons fait une analyse séparée, c'est en raison de leur ampleur respective.

Suite à la critique et aux recommandations concernant la surveillance environnementale, énumérées à la section 4.2, nous désirons reprendre certains aspects qui ont un impact majeur sur l'organisation de la surveillance médicale.

Puis, nous analysons globalement l'organisation de la surveillance médicale à Expro et nous en tirons des recommandations d'ordre général.

Enfin, nous analysons la surveillance médicale en regard des principaux polluants et nous ajoutons des recommandations spécifiques.

1. Surveillance environnementale

Une surveillance environnementale structurée et efficace est une condition de base essentielle (ou en d'autres termes un pré-requis) à l'organisation d'une surveillance médicale. Les déficiences que nous avons identifiées dans la première, handicapent certainement la seconde, comme nous tenterons de l'expliquer. Nous nous limiterons à celles qui ont un impact direct sur la surveillance médicale.

a) Constatations

Le registre des postes de travail et/ou des fonctions est inexistant. Le service d'hygiène est actuellement en train de le bâtir, ce qui comblera une déficience majeure. En effet, sans cet outil, il est impossible de planifier adéquatement l'échantillonnage des divers contaminants et il est impossible de connaître la répartition des travailleurs en fonction de diverses variables, dont le type et le degré d'exposition. En somme, ce registre constitue un outil essentiel si l'on veut que la surveillance médicale soit reliée à l'environnement de travail.

L'évaluation quantitative (mesures d'échantillonnage des polluants et autres facteurs de risque) s'avère déficiente pour la majorité des agents agresseurs (insuffisance ou absence de données, méthodes d'échantillonnage inadéquates...), ce qui empêche de graduer l'ampleur des problèmes, ne permet pas un choix précis des priorités et nuit par conséquent à l'organisation de la surveillance médicale. Nous tenons ici à souligner l'absence d'évaluation ergonomique des tâches et en conséquence, l'absence de mesures efficaces de prévention des problèmes musculosquelettiques qui y sont associés.

Les déficiences dans la connaissance et la compréhension des opérations et des procédés de production, limitent l'identification des agents agresseurs qui peuvent y être associés.

Le lien entre le travailleur et les diverses caractéristiques de l'environnement de travail, telles que le département, le bâtiment, le poste de travail, la fonction, les tâches, les produits toxiques utilisés, le degré d'exposition (dose) aux divers agents agresseurs, est à toute fin pratique impossible. Il est essentiel que les variables environnementales soient non seulement mises en corrélation entre elles (par exemple, que l'on puisse facilement identifier les produits utilisés dans un bâtiment, ou dans une opération, ou un poste de travail; que l'on puisse identifier tous les postes de travail présentant une exposition

significative à un agent donné; etc.), mais aussi en corrélation avec les individus (que l'on sache qui est assigné à tel poste de travail et qui est exposé à telle substance).

b) Conclusion

La surveillance environnementale appliquée à Expro nous empêche de tirer un tableau descriptif adéquat et représentatif de l'ensemble des problèmes et du risque qu'ils comportent pour les travailleurs. Elle ne fournit pas certains pré-requis et certains outils essentiels à la surveillance médicale.

Recommandations

— Qu'un registre des postes de travail et/ou fonctions permettant la collecte d'informations précises sur le type et le niveau d'exposition des travailleurs, soit préparé le plus rapidement possible.

— Qu'une évaluation ergonomique des postes de travail comportant des manipulations, soit effectuée et que des mesures préventives soient appliquées, en accordant un effort particulier à la conception des tâches et des postes de travail.

— S'assurer que les liens entre les divers fichiers de données environnementales soient possibles et que les liens entre les données environnementales et les travailleurs le soient aussi.

— Que la connaissance du personnel du service de santé concernant les opérations et les procédés de fabrication soit améliorée.

— Que les activités du service d'hygiène et du service de santé soient planifiées conjointement, en les axant sur les mêmes objectifs généraux. Ces objectifs pourront être déterminés suite à une évaluation globale de la situation et suite au choix des problèmes prioritaires. Une évaluation périodique de ces activités s'impose.

2. Surveillance médicale

En plus d'être étroitement reliée à la surveillance environnementale, la surveillance médicale poursuit aussi le même but et les mêmes objectifs spécifiques (i.e. concourir à la prévention des problèmes de santé au travail, par l'identification des facteurs de risque à la santé et l'évaluation du risque qu'ils comportent, l'évaluation de l'efficacité des mesures de prévention et le suivi de cette évaluation par la proposition de mesures correctives dans l'environnement de travail).

La surveillance médicale est particulièrement essentielle dans le cas des polluants dont l'absorption dans l'organisme provient d'autres voies que la seule voie pulmonaire. Cette situation correspond précisément à celle retrouvée à Expro. Cependant, même dans le cas où l'absorption est uniquement par voie pulmonaire, on sait que plusieurs variables influent sur le degré d'absorption et qu'une évaluation environnementale seule ne peut en tenir compte. Aussi, la surveillance médicale permet de tenir compte des variations individuelles. En conséquence, est-il nécessaire de le rappeler, ces deux méthodes demeurent complémentaires dans la poursuite d'un même objectif de prévention. Des considérations d'ordre pratique feront souvent que l'accent sera tantôt mis sur l'un, tantôt sur l'autre.

Il est important de préciser que les outils servant à la surveillance médicale sont encore, d'une façon générale, peu développés et probablement moins que ceux de la surveillance environnementale. Pour les contaminants spécifiques retrouvés à Expro, cette remarque est particulièrement pertinente. Nous retrouvons en effet peu de propositions spécifiques dans la littérature scientifique et la majorité d'entre elles n'ont pas été évaluées suffisamment. Pour aucun de ces polluants, nous ne retrouvons de norme biologique (sauf pour le plomb). Il n'est donc pas question pour nous de proposer des « recettes » (ce n'eut pas été de toute façon notre objectif) et on devra en tenir compte dans l'application des recommandations.

a) Pré-requis

Outre les pré-requis déjà cités concernant la surveillance environnementale, mentionnons certains autres qui relèvent d'attitudes, de comportements et de connaissances, sans lesquels une surveillance médicale ne peut être réellement efficace.

— La surveillance médicale constitue une composante du programme de santé et par conséquent, du programme de prévention. Son objectif premier est donc de contribuer à la prévention des problèmes de santé associés ou reliés plus ou moins étroitement au travail. Pour être efficace, elle doit viser une détection précoce des problèmes de santé, avant qu'ils ne produisent de manifestations apparentes, avant l'apparition de changements irréversibles et avant qu'il en résulte un impact fonctionnel significatif. Dans ce contexte, une attitude passive (pouvant être décrite de façon imagée par: «*les travailleurs vont venir se plaindre si ça va mal*») est incompatible avec un objectif de prévention. Cela requiert plutôt un désir de chercher attentivement que d'attendre passivement. Cette attitude est malheureusement encore trop prévalente dans nos institutions de santé.

— Un souci d'évaluation constant est absolument essentiel et doit être présent à toutes les étapes des activités du service de santé. On doit particulièrement évaluer la qualité des outils de dépistage disponibles et être conscients de leurs limites. Les résultats doivent être analysés, puis évalués, avant de songer à répéter aveuglément une procédure de surveillance.

— Une connaissance approfondie des effets dus aux divers agents agresseurs et une bonne connaissance des principales sciences méthodologiques nécessaires à leur évaluation constituent des pré-requis essentiels (telles que toxicologie, épidémiologie, ergonomie, hygiène industrielle).

b) Analyse générale de l'organisation de la surveillance médicale à Expro

Il n'existe pas de liens étroits entre les données de nature environnementale et celles de nature médicale: il n'y a pas de section environnementale dans le dossier du travailleur, peu ou pas de profil d'exposition des travailleurs, pas d'analyse collective des résultats en fonction des facteurs environnementaux.

Les liens entre le service de santé et le service d'hygiène sont peu fonctionnels. Il n'y a pas de définition conjointe des objectifs.

On ne retrouve pas d'histoire professionnelle au dossier du travailleur.

Les connaissances concernant la toxicité des polluants et les sciences fondamentales de la santé au travail sont pauvres. Très peu de recherches ont à ce jour été entreprises sur la toxicité des polluants chimiques spécifiques à Expro. On ne retrouve aucun document qui témoigne d'une telle recherche.

La connaissance du personnel en santé et sécurité des procédés, opérations et tâches est insuffisante pour permettre une appréciation précise des risques d'exposition à certains agents agresseurs (en particulier les tâches exigeant la manipulation des produits absorbés par voie cutanée et les tâches comportant des facteurs ergonomiques).

La définition des groupes à risque est peu précise. Il en résulte dans plusieurs cas, l'application d'une surveillance à un trop grand nombre de travailleurs (citons en exemple l'utilisation de l'électrocardiogramme annuel à tous les employés, quel que soit leur âge; la radiographie pulmonaire et le dosage de l'hémoglobine sont aussi utilisés de la même façon), et possiblement dans d'autres cas, l'exclusion de certains travailleurs pourtant exposés, ceci en raison des données environnementales déficientes au dossier du travailleur.

Les méthodes utilisées pour la surveillance médicale sont en général peu sensibles (ne permettent donc pas de détecter précocement les problèmes de santé), peu spécifiques (ne permettent pas de préciser l'origine de l'atteinte dépistée) peu précises (grande marge d'erreur), et peu objectives. À titre d'exemple, mentionnons l'usage omniprésent, et sans distinction précise des groupes exposés, de la radiographie pulmonaire, du dosage de l'hémoglobine à l'aide de l'hémoglobinomètre optique, de l'analyse d'urine à l'aide d'un colorant-indicateur («multistix») et de l'examen clinique, sans questionnaire validé. L'examen clinique (questionnaire et examen physique) constitue en fait le principal outil d'évaluation médicale, ce qui limite beaucoup la réalisation d'un objectif de prévention.

Une analyse collective des résultats des examens de dépistage n'est pas effectuée, sauf dans le cas du plomb où un tableau statistique permet de suivre l'évolution des trois principaux travailleurs visés. Aucun objectif précis ne préside à l'usage du dépistage, ce qui enlève la motivation à produire une analyse des résultats (puisqu'on ne voit pas l'objectif en fonction duquel ces résultats doivent être évalués). Une analyse des données sanitaires, couplée aux données environnementales constitue un principe fondamental de l'épidémiologie, science de base essentielle à l'observation sanitaire des groupes.

Les résultats de la surveillance médicale ne sont pas suffisamment utilisés comme mode d'évaluation des mesures de prévention primaire (i.e. à la source). En d'autres termes, elle ne permet pas une véritable rétroaction (ou « feed back») sur l'environnement de travail et elle ne sert pas vraiment à orienter les mesures de contrôle appliquées. L'absence d'évaluation médicale en regard des effets chroniques dûs à l'éther est un facteur (parmi plusieurs) qui pourrait expliquer la lenteur des mesures de contrôle. La situation en regard du plomb est demeurée inchangée depuis 1979. Une exposition significative à la nitroglycérine persiste toujours et des travailleurs continuent de présenter des symptômes caractéristiques d'une surexposition.

Il n'y a pas d'évaluation globale et périodique des activités et des résultats, ce qui produit une répétition indue de certains examens et monopolise le temps du personnel à des activités qui n'ont pas vraiment d'utilité. Le meilleur exemple constitue sans doute la prise du pouls et de la tension artérielle chez environ 250 travailleurs qui n'a jusqu'à maintenant jamais révélé d'anomalies. Il en est de même du dosage de l'hémoglobine.

Aucun objectif précis n'est énoncé. En conséquence, les activités sont déterminées sans motif clairement exprimé et aucune évaluation n'en résulte. Les activités sont principalement dirigées vers des individus au lieu d'être aussi dirigées vers des problèmes précis (sauf pour quelques problèmes affectant peu d'employés, tels que le plomb, le bruit, l'amiante et le mercure). La convention collective comporte de nombreuses failles et ne correspond pas aux principes de surveillance médicale déjà mentionnés. Les mêmes recommandations se retrouvent à peu près inchangées d'une convention collective à l'autre, sans évaluation de leur utilité et pourtant le syndicat, dans son mémoire, a énoncé des principes qui viennent en contradiction avec ces clauses. Mentionnons à titre d'exemple: l'usage d'une radiographie pulmonaire annuelle pour tous les travailleurs exposés aux produits toxiques, mais sans spécification; l'analyse d'urine annuelle ou plus souvent, de tous les employés; l'électrocardiogramme annuel de tous les employés; l'examen du sang de tous les cas d'exposition toxique mais sans spécification; la visite des vestiaires bimensuelles avec rapport aux autorités; et enfin l'analyse du sang au « methémoglobinomètre» alors qu'il s'agit d'un tout autre appareil, un hémoglobinomètre.

Enfin, la surveillance médicale spécifique effectuée à Expro s'adresse à une minorité de travailleurs (surveillance des travailleurs exposés au plomb, bruit, amiante et mercure), *alors que la majorité, pourtant exposée à des agresseurs notables, se retrouve sans surveillance spécifique adéquate. Notons dans cette catégorie, les travailleurs exposés aux solvants, aux dérivés nitrés et aminés et aux acides.*

Conclusion

En plus des déficiences signalées au niveau de la surveillance environnementale, on doit reconnaître que l'organisation de la surveillance médicale souffre de plusieurs problèmes, inhérents à sa propre organisation.

La pauvreté des liens avec l'aspect environnemental, à plusieurs niveaux, l'absence d'objectifs clairement définis, l'importance disproportionnée accordée à certains problèmes, ou à certaines activités, l'usage d'instruments peu adéquats, l'absence de portée des résultats, la rigidité d'une convention collective désuète à certains égards (section 8.13) constituent les principales critiques de cette analyse. Ces déficiences

contribuent potentiellement à sous-estimer l'ampleur des problèmes de santé associés au travail.

Nous tenons à préciser que nous n'avons, en principe, aucune objection à la pratique d'activités médicales reliées à la médecine générale, ou à la médecine familiale, bien au contraire. Toutefois, ces activités ne devraient pas faire obstacle à l'organisation et la mise en application d'un programme de santé au travail.

Recommandations générales

— Établir des liens étroits et fonctionnels entre le service de santé et le service d'hygiène industrielle.

— Revoir globalement l'organisation de la surveillance médicale.

— Revoir l'article 8.13 de la convention collective.

— Bâtir de façon intégrée des programmes de surveillance médicale et environnementale.

— Élaborer un dossier environnemental du travailleur.

— Établir l'histoire professionnelle des travailleurs.

— Assurer un lien entre les données des divers fichiers et registres et les travailleurs.

— Revoir et préciser la définition des groupes à risque.

— Choisir les examens de dépistage en fonction de leur valeur prédictive (i.e. sensible et spécifique et permettant une détection précoce) et en fonction des agresseurs spécifiques auxquels sont exposés les travailleurs. En particulier, doivent être revues les activités de surveillance concernant les travailleurs exposés à la NG et aux autres dérivés aminés et nitrés et les travailleurs exposés aux solvants (éther-alcool surtout). Se référer à l'analyse spécifique de ces familles de composés.

— Analyser collectivement les résultats des examens effectués, en combinant les données environnementales aux données sanitaires.

— Réévaluer périodiquement les activités et les résultats.

— Améliorer le « feed back », ou la rétroaction de la surveillance médicale sur l'environnement de travail (i.e. faire en sorte que les résultats de la surveillance médicale soient davantage utilisés pour inciter les modifications à la source).

c) Analyse spécifique de la surveillance médicale par famille d'agents agresseurs

Nous reprenons ici l'analyse de la surveillance médicale mais de façon beaucoup plus précise, pour les principaux agents agresseurs que l'on retrouve à l'usine Expro. L'analyse de ces quelques exemples pourra servir de modèle explicatif. Les informations contenues dans les fiches toxicologiques devraient être suffisantes pour orienter l'organisation d'une surveillance médicale spécifique pour les composés chimiques non traités.

Chaque facteur de risque sera abordé de la façon suivante. Les principaux faits provenant de trois sources sont d'abord présentés: 1°) les données d'hygiène, 2°) les données médicales concernant les travailleurs d'Expro, et 3°) les données provenant de la littérature scientifique. Une conclusion résume l'analyse de ces faits, suivie d'une liste de recommandations, de même que certains objectifs lorsqu'appropriés.

Facteurs ergonomiques (le soulèvement et le transport de charges)

Hygiène: Aucune étude ergonomique précise n'a été réalisée. Une évaluation subjective de la charge de travail que comportent certains postes de travail, nous démontre cependant qu'un bon nombre de travailleurs doivent soulever des poids de l'ordre de 20 à 50 livres, ou plus et ce à une cadence variable, constituant ainsi un risque non négligeable d'atteinte musculo-squelettique.

Données médicales: Les statistiques nous révèlent que les lombalgies constituent un problème de santé chronique de premier ordre à Expro. Il nous est impossible de déterminer leur cause exacte, ni de déterminer la véracité de plusieurs de ces cas, ni d'inférer de leur relation précise avec l'environnement de travail.

Littérature scientifique: Les études réalisées dans ce domaine (en particulier celles réalisées par Snook aux États-Unis) nous démontrent que les lombalgies sont associées à certaines occupations. Les stratégies utilisées pour prévenir les lombalgies sont de trois ordres (Snook):[1, 2] la sélection à l'embauche, l'entraînement physique et la conception ergonomique des postes de travail. Parmi ces trois méthodes, la troisième constitue la seule qui ait permis de façon significative de réduire l'incidence des maux de dos. La première semble inefficace, en plus d'être préjudiciable et la seconde semble logique, mais elle exige une observance rigoureuse, ce qui est en pratique difficile. Elle peut cependant s'avérer une méthode complémentaire utile.

Conclusion

Bien qu'il nous est impossible d'affirmer avec certitude qu'il existe une relation entre certaines tâches et la fréquence des lombalgies observées chez les travailleurs d'Expro, il nous semble important de ne pas attendre de telles confirmations avant de concevoir des actions concrètes qui permettraient de prévenir à la source un certain nombre de ces cas.

Recommandations

— Qu'une évaluation ergonomique des tâches comportant des manipulations soit effectuée.

— Que la conception des postes de travail comportant des manipulations soit revue et que les modifications techniques appropriées soient instaurées.

— Qu'un protocole standardisé d'évaluation médicale des cas souffrant de lombalgies soit développé.

— Que les résultats des examens médicaux effectués soient compilés et analysés périodiquement ainsi que les statistiques de compensation de la C.S.S.T., en établissant un lien avec les données de l'évaluation ergonomique.

— Que la pertinence d'établir un programme de réhabilitation conjointement avec les ressources médicales locales (physiatrie, physiothérapie au Centre hospitalier de Valleyfield) soit évaluée.

Solvants (éther-alcool)
Hygiène: Les données environnementales nous indiquent que les travailleurs ont été généralement exposés depuis toujours à des concentrations importantes. Le niveau d'exposition a été progressivement réduit, si bien qu'actuellement la situation est nettement améliorée. Les modifications à la source permettent d'atteindre des concentrations qui demeurent cependant voisines de la norme actuelle. Aussi, certains bâtiments ne jouissent pas encore des mêmes modifications. Il risque donc de persister une exposition significative à l'éther et ce, pour de nombreuses années.

Données médicales: Nous savons que des manifestations aiguës, en relation avec une surexposition à l'éther, sont survenues. Cependant, nous n'avons pas d'indications claires concernant les effets chroniques. L'étude du D[r] Arnold Aberman ne nous permet pas de conclure si des effets chroniques sont réellement apparus chez les travailleurs et le service de santé n'a pas, de son côté, tenté d'évaluer spécifiquement cet aspect.

Littérature scientifique: La norme a été proposée dans le but de prévenir les effets *aigus* d'irritation et de narcose (effets aigus sur le système nerveux central caractérisés par de la somnolence, céphalées, nausées...). Elle est basée sur un nombre limité d'études et les effets chroniques n'ont pas été considérés. Ces effets sont à toute fin pratique, inconnus. S'ils existent, ils se situent fort probablement au niveau du système nerveux central (S.N.C.), et possiblement au niveau du foie. Les études scandinaves en particulier nous démontrent que des effets chroniques au niveau du S.N.C. peuvent survenir suite

1. SNOOK, S.H.: Low Back Pain in Industry, tiré de: White, A.A. et Gordon, S.L. (Ed.), American Academy of Orthopaedic Surgeons Symposium on Idiopathic Low Back Pain. St-Louis, C.V. Mosbey Company, 1982.
2. SNOOK, S.H.: The Design of Manual Handling Tasks. Ergonomics, vol. 21, n° 12, 963-985, 1978.

à des expositions aux solvants, même à des niveaux bien inférieurs aux normes en vigueur. Enfin, les méthodes d'évaluation médicale disponibles ne sont pas facilement utilisables: en effet, on peut doser l'éther en milieu biologique, mais nous ne possédons pas de norme biologique de référence; d'autre part, les tests neuro-comportementaux ne sont pas facilement applicables pour le dépistage. L'emploi d'un questionnaire validé tel que celui utilisé par les scandinaves semble une solution acceptable, mais un tel questionnaire n'a pas encore été validé en milieu québécois et de l'avis des auteurs, il constitue un outil peu spécifique, ce qui entraîne de nombreux faux positifs déclarés et par conséquent, augmente de façon significative le nombre de cas devant être référés pour une évaluation spécialisée.

Conclusion

Une meilleure connaissance des effets chroniques s'impose et une évaluation de l'efficacité des mesures de contrôle à la source, autrement que par une évaluation environnementale seule, s'impose aussi. Cependant, l'évaluation d'une norme ambiante, ou l'établissement d'une norme biologique ne peuvent se faire dans le cadre d'une simple surveillance médicale, telle qu'elle est généralement conçue. Il faudra, soit innover et sortir des sentiers battus, soit faire appel à un projet de recherche.

Recommandations

- Au niveau du service de santé de l'usine:
  — Que la déclaration des symptômes d'une surexposition soit améliorée et qu'une évaluation environnementale, lorsque ces effets surviennent, soit complétée.
  — Suivant l'installation de mesures de contrôle permanentes, qu'une étude de prévalence sur les symptômes, signes et altérations biologiques pouvant résulter de l'exposition chronique au mélange éther-alcool, soit entreprise avec l'aide du D.S.C. ou de consultants experts.
- Au niveau provincial:
  — Qu'une équipe multidisciplinaire soit formée pour évaluer les effets neuro-comportementaux reliés à l'exposition chronique aux solvants. Cette équipe devrait inclure un toxicologue, un neurologue, un psychologue, un épidémiologue et un hygiéniste industriel.
  — Qu'un questionnaire concernant les altérations précoces du S.N.C. pour les travailleurs exposés aux solvants, soit validé et standardisé.

3) Dérivés nitrés et aminés

— Constatations générales

Une part importante de la main-d'œuvre à Expro est exposée à l'un ou l'autre de ces composés. Les données d'hygiène industrielle sont généralement pauvres, sauf en ce qui concerne l'exposition à la nitroglycérine.

Ces composés sont absorbés dans l'organisme de façon importante par la voie cutanée, en plus d'être absorbés par la voie respiratoire, ce qui constitue un facteur très important qui a été négligé à Expro.

Les effets chroniques de l'exposition à ces produits n'ont pas été évalués à l'usine Expro. Certains faits nous indiquent que des effets subaigus et chroniques sont déjà survenus chez les travailleurs de l'usine (révélés lors des audiences publiques et par l'analyse de certains documents; cf. section 4.3.2). Les effets chroniques ont peu été étudiés dans la littérature, sauf en ce qui concerne la NG où ils sont très bien démontrés.

Des méthodes de surveillance médicale relativement sensibles et spécifiques existent, mais elles nécessitent une évaluation plus poussée. Enfin, la surveillance médicale est un complément essentiel dans l'évaluation du risque posé par ces agents, en raison principalement de leur absorption préférentielle par la voie cutanée.

Recommandations générales

— Que le degré d'exposition par voie respiratoire (échantillonnage air ambiant) et cutanée (évaluation précise des tâches) à ces divers ccomposés soit évalué précisément, d'un point de vue environnemental.

— Que soit éliminé, sinon diminué, tout contact cutané avec ces substances et que soient fournis des équipements de protection adéquats dans le cas contraire.

— Que l'évaluation environnementale soit complétée par une évaluation médicale, qui constitue particulièrement dans ce cas, un complément essentiel.

— En raison du peu de développement des méthodes valides de détection précoce en regard de ces contaminants et en raison de leur importance pour la santé des travailleurs, le personnel du service de santé devra faire preuve d'initiative dans le choix et l'application des méthodes de surveillance médicale. Divers examens devront être utilisés de façon complémentaire, puisqu'aucun n'est suffisamment spécifique pris isolément et aucun ne permet une évaluation de tous les effets potentiels. Pour ces raisons, la collaboration de consultants-experts s'avère, à nouveau, indiquée.

— ***Nitroglycérine (NG)***

Hygiène: La norme ambiante est respectée dans tous les bâtiments. Cependant, les travailleurs doivent manipuler la poudre, ce qui entraîne une absorption importante de NG par la voie cutanée. Les travailleurs sont donc nettement surexposés à la NG. On ne prévoit pas de modification prochaine des opérations telle une automation de l'extrusion et du coupage de la poudre.

Données médicales: Les manifestations aiguës d'une surexposition à la NG ont bien été documentées en particulier chez les nouveaux employés lors des audiences et par d'autres sources d'informations. Elles confirment donc la présence d'une surexposition aiguë et chronique à la NG. Toutefois les manifestations chroniques (liées au sevrage) n'ont pu être mises en évidence de façon certaine. Les mesures de surveillance utilisées par le service de santé n'ont pas été utiles à cet égard (la prise de tension artérielle et du pouls n'a rien démontré, mais ces mesures ne sont pas appliquées de façon à en tirer le maximum de bénéfice) et l'enquête du syndicat, en plus d'être peu valide, ne nous permet pas de distinguer entre les manifestations aiguës et chroniques.

Littérature scientifique: Ont été démontrés de façon claire, les faits suivants: en présence d'un contact cutané et respiratoire, l'absorption est principalement d'origine cutanée; les effets chroniques liés au sevrage consistent en une augmentation de la mortalité cérébro et cardiovasculaire, qui peut survenir à un âge précoce. La norme ambiante actuellement en vigueur au Québec est de 2 mg/m^3 (VLE_{8h}, P,T). L'A.C.G.I.H. recommande une norme de 0,2 mg/m^3, alors que NIOSH considère, en excluant le contact cutané, qu'elle est encore trop élevée et propose plutôt une valeur de 0,1 mg/m^3. Enfin, il n'existe pas de méthodes de surveillance médicale simples pouvant contribuer de façon significative à la prévention de ces effets chroniques. La mesure périodique du pouls et de la tension artérielle est controversée; si elle est retenue on doit tenter d'en tirer le maximum de bénéfice, en l'utilisant dans des conditions bien précises.

Conclusion

Des travailleurs à Expro sont surexposés de façon aiguë et chronique à la NG. Nous avons plusieurs raisons de croire que des effets chroniques actuels, ou potentiels existent parmi eux. Un contrôle à la source de ce problème s'impose.

Recommandations

— Que la C.S.S.T. mette sur pied un groupe de travail pour étudier la pertinence de la norme québécoise actuelle, à la lumière des propositions de NIOSH et de l'A.C.G.I.H.

— Éliminer, ou réduire au minimum le contact cutané direct avec la NG.

— Améliorer la déclaration des manifestations aiguës et chroniques, potentiellement

associées à une exposition à la NG (y inclus celles pouvant survenir lors des périodes hors du travail).

— S'attarder particulièrement à la surveillance des travailleurs nouvellement exposés à la NG et des travailleurs venant de subir une réaffectation, d'un poste exposé à un poste non exposé à la NG, ou tout autre travailleur chez qui l'on suspecte un syndrome de sevrage.

— La prise de la tension artérielle et du pouls devrait être faite avant et après le quart de travail, de préférence au retour d'un congé de fin de semaine. Cette mesure pourrait être d'abord tentée chez un groupe à haut risque; une évaluation des résultats (données statistiques compilées périodiquement) permettra de déterminer la pertinence de cette méthode.

— La même remarque s'applique à l'électrocardiogramme. L'usage de cet examen, sans une connaissance du type et de la période d'exposition du travailleur, peut s'avérer totalement inutile. En revanche, son usage lors de manifestations suspectes d'un syndrome de sevrage peut être révélateur.

— L'objectif sanitaire visé par ce programme spécifique devrait être l'élimination à moyen terme de toutes les manifestations aiguës et chroniques associées à la NG.

— Dinitrotoluène (DNT)

Hygiène: Ce problème n'a pas reçu une attention suffisante, mais il semble qu'un grand nombre de travailleurs soient exposés de façon significative au DNT.

Données médicales: Aucune évaluation spécifique n'a été entreprise à Expro, en regard du DNT.

Littérature scientifique: Il est aussi absorbé par la peau de façon significative. Ses effets aigus (résultant d'une methémoglobinémie) semblent bien connus, mais ses effets chroniques ne le sont guère. Ce produit est cancérigène chez l'animal (cancer du foie). Un composé de la même famille, le trinitrotoluène, possède des effets bien démontrés au niveau sanguin et hépatique. Les méthodes de surveillance médicale pourraient inclure: le dosage de la methémoglobine, le dosage des enzymes hépatiques et des tests sanguins permettant d'évaluer l'anémie hémolytique.

Conclusion

Le DNT devrait être évalué sérieusement d'un point de vue environnemental et médical. Les effets sont peu connus, mais son absorption cutanée et son pouvoir cancérigène démontré chez l'animal militent en faveur d'une attention particulière.

Recommandations

— Évaluer d'un point de vue environnemental et médical le degré d'exposition et d'absorption du DNT chez les travailleurs d'Expro.

— Éliminer ou réduire au minimum le contact cutané avec ce composé.

— Utiliser les méthodes de surveillance médicale disponibles et proposées à la section 4.3.1.

— Surveiller les résultats des études toxicologiques et épidémiologiques en cours concernant le pouvoir cancérigène du DNT chez l'homme.

Oxydes d'azote (NO_x)

Hygiène: Les données environnementales sont pauvres autant en ce qui concerne les concentrations soudaines élevées et les niveaux de fond. Nous savons cependant que des travailleurs ont été itérativement exposés à de fortes concentrations.

Données médicales: D'une part, les audiences nous ont révélé que certains travailleurs ont présenté des manifestations plus ou moins sévères d'une intoxication aiguë aux oxydes d'azote. En ce qui concerne les effets chroniques (séquelles d'intoxication aiguë ou suite à une exposition prolongée), aucune évaluation n'a été entreprise par le service de santé. Une première analyse des résultats du dépistage radiologique effectué à trois reprises, ne nous révèle rien de plus.

Littérature scientifique: L'apparition de l'emphysème pulmonaire, résultant d'une exposition prolongée aux NO_x (plusieurs années), demeure controversée. La présence d'un facteur confondant majeur, à savoir le tabagisme, nuit considérablement à l'évaluation de ce phénomène. Les études expérimentales démontrent cependant que les NO_x produisent, même à de très faibles concentrations, des modifications au niveau des petites voies aériennes (bronchioles, acini et alvéoles), laissant présager qu'une exposition chronique puisse induire une atteinte permanente à ce niveau. Les tests spirométriques simples constituent malheureusement des outils de dépistage peu sensibles pour évaluer l'atteinte des voies aériennes périphériques.

Conclusion

Si un effet chronique résulte de l'exposition aux NO_x, il est fort probable que des manifestations puissent être mises en évidence parmi les travailleurs de cette usine, en raison de l'exposition importante dont ils ont été victimes. Ces manifestations ne peuvent cependant être dépistées par des moyens courants (tels un questionnaire, un examen physique, une spirométrie et une radiographie). Elles requièrent une évaluation spécialisée, qui déborde le cadre habituel de la surveillance médicale et se rapproche davantage du domaine de la recherche. On doit cependant tenir compte dans nos recommandations des modifications prochaines qui seront apportées au bâtiment nº 108 et qui, nous promet-on, vont éliminer virtuellement toute exposition aux NO_x.

Recommandations

— Améliorer la connaissance des travailleurs et de l'employeur concernant le danger d'exposition aux NO_x.

— Favoriser la déclaration de toutes manifestations aiguës résultant d'une surexposition aux NO_x et faire en sorte que des mesures d'échantillonnage soient effectuées lors de ces épisodes.

— Référer les victimes d'une intoxication aiguë afin qu'ils subissent une surveillance adéquate dans les premières quarante-huit heures et qu'ils reçoivent par la suite une évaluation spécialisée en pneumologie.

— Informer les travailleurs des effets chroniques et démontrés, résultant du tabagisme.

Acides

L'aspect chronique de l'exposition aux acides revêt, à priori, beaucoup moins d'importance que les brûlures qui peuvent en résulter.

Les données d'hygiène d'une part, ne nous permettent pas vraiment de juger de l'importance de l'exposition chronique aux vapeurs d'acides et d'autre part, leurs effets n'ont pas été spécifiquement évalués par le service de santé.

La norme en vigueur ne tient pas compte des effets chroniques potentiels. Les données disponibles dans la littérature scientifique ne nous permettent pas de conclure de façon définitive que des effets respiratoires chroniques surviennent, à savoir la bronchite chronique et l'obstruction des grandes voies aériennes. Toutefois, une atteinte respiratoire de ce type peut être évaluée de façon satisfaisante par des outils de dépistage, tels que le questionnaire standardisé sur les symptômes respiratoires (celui développé par le British Medical Research Council, ou celui développé par l'American Thoracic Society) et la spirométrie simple (mesure du volume expiratoire forcé en une seconde [VEF], et de la capacité vitale forcée [CVF]). Il est cependant essentiel de considérer l'usage du tabac, car celui-ci reproduit essentiellement les mêmes phénomènes respiratoires.

Recommandations

— Quantifier le risque résultant d'une exposition chronique aux acides par une surveillance environnementale adéquate.

— Définir la population à risque.

— En fonction du nombre de travailleurs visés, du niveau d'exposition enregistrée et de l'importance du phénomène de tabagisme, décider de la pertinence d'une évaluation médicale complémentaire.

Conclusion générale concernant la surveillance médicale

L'organisation de la surveillance médicale, telle que proposée ici, exige un remaniement important à plusieurs niveaux. En face de l'ampleur de la tâche, il serait important de choisir les priorités qui correspondent aux désirs des parties impliquées, via le comité paritaire de santé et sécurité. En raison des connaissances encore pauvres au sujet de plusieurs de ces contaminants, il importe pour le personnel de s'enquérir d'une bonne formation de base, de s'appliquer attentivement à l'étude des principaux problèmes, de conserver un œil critique face à l'usage des examens médicaux disponibles, d'éviter la tendance facile à l'usage de recettes et enfin de s'assurer la collaboration de consultants experts, même s'ils sont rares.

E. L'information

Il est clair que l'information des travailleurs sur les risques auxquels ils sont exposés et les principaux effets aigus et chroniques qu'ils peuvent causer a été nettement déficiente à Expro. Nous espérons que la volonté exprimée dans ce sens par la compagnie se traduise par des gestes concrets. Nous croyons que des sessions d'information sur les propriétés toxicologiques de certains contaminants (plomb, nitroglycérine, solvants, dinitrotoluène, acides) et sur la prévention des lombalgies, devraient être organisées pour l'année 1983-84.

Recommandations

— Que des sessions d'information sur les propriétés toxicologiques des principaux contaminants présents à Expro soient organisées à l'intention des travailleurs.

— Que les résultats de la dose d'exposition et des examens de santé spécifiques soient communiqués aux travailleurs concernés.

4.4 L'organisation du travail

La santé et la sécurité du travail est un problème humain, très souvent vécu comme une injustice sociale.

Selon les idéologies et les intérêts, les maladies professionnelles et les accidents du travail sont attribuables au système capitaliste, au machinisme, aux cadences et horaires de travail, à la témérité des travailleurs ou des contremaîtres, à l'erreur humaine, etc.

D'autre part, les analyses portant sur les maladies professionnelles et les accidents du travail réfèrent généralement à des concepts de réglementation, de normes ou standards, de consignes, d'infractions, de pénalités, d'indemnités, de coûts, de coûts-bénéfices et de statistiques.

Cependant, les références à l'organisation du travail sont beaucoup moins nombreuses et moins explicites. Or, la présente enquête nous permet d'affirmer que ce facteur interne de l'entreprise a joué un important rôle dans le problème global de santé et de sécurité à Expro.

4.4.1 La gérance et les cadres

On constate que l'action de la gérance et des cadres dans l'organisation de la santé et de la sécurité à Expro doit être considérée en tenant compte de la situation existante sous C.P.C.V. et Price Waterhouse et associés en premier lieu et sous Expro ensuite.

Notons, en passant, qu'avant la vente de l'entreprise à C.P.C.V., la compagnie C.I.L. possédait une organisation assez bien structurée, mais dont les responsabilités d'exécution, même en matière de santé et de sécurité, étaient le privilège des cadres. Ces derniers ont tous été choisis et formés selon les normes et usages de la grande famille C.I.L.

Les employés étaient représentés par des représentants syndicaux dans un « Comité consultatif de sécurité des employés à l'heure ». Il s'agissait d'un comité conjoint patronal et syndical, ayant un rôle purement consultatif.

L'information aux travailleurs des risques et dangers associés aux procédés de production n'était pas très structurée. On lit en effet dans le rapport d'enquête de l'inspecteur du travail sur l'explosion et l'incendie du département RDX, en avril 1977, que: « *Les employés ne considèrent pas la bâtisse nº 703 ou/et nº 743 comme ayant un potentiel explosif.* »

Après l'acquisition de cet ensemble industriel par C.P.C.V., la situation est relativement confuse puisque C.I.L. continue d'opérer certains secteurs, dont le TNT, et cela jusqu'en août-septembre 1979.

Plus encore, l'embauche de 300 travailleurs en deux mois en 1978, à l'occasion d'une reprise accélérée des opérations de production, portait le nombre des salariés à 550 environ. Au plan de l'organisation du travail, cette croissance précipitée de l'entreprise eut pour conséquence de provoquer l'instabilité et l'incohérence de l'organisation du travail. La formation des nouveaux travailleurs était généralement déficiente, incomplète et parfois même inexistante. La période d'entraînement, généralement faite par compagnonnage uniquement, était le plus souvent écourtée. On a même démontré que des travailleurs étaient assignés à une opération dès leur entrée en fonction.

De plus, l'engagement massif des 300 travailleurs fut l'occasion de promotions à des fonctions de supervision (contremaîtres, surveillants et surintendants) sans aucune forme de préparation aux responsabilités inhérentes à ces fonctions. De bons travailleurs qu'ils étaient, on en a fait, du jour au lendemain pour plusieurs de médiocres responsables de l'organisation du travail, plus particulièrement en ce qui concerne la santé et la sécurité du travail. L'enquête publique a révélé en effet que plusieurs cadres intermédiaires n'avaient qu'une connaissance très élémentaire des risques associés aux produits manipulés dans cette entreprise et qu'ils ignoraient la signification des éléments essentiels des procédés de production.

On comprend pourquoi les nouveaux travailleurs sont laissés à eux-mêmes dans l'étude des livrets contenant les procédures et règles de sécurité qui leur sont remis le premier jour de leur entrée au service de la compagnie.

N'est-il pas étonnant de constater le peu de respect manifesté par les directeurs-administrateurs de C.P.C.V. à l'égard des travailleurs? Au moment où cette entreprise fut mise en déconfiture, les travailleurs ont constaté un détournement de fonds d'environ 1 200 000 $ provenant du fonds de pension, des cotisations syndicales et des bénéfices de vacances accumulés. Il en est résulté un climat de méfiance des travailleurs à l'égard des employeurs subséquents Price Watherhouse et associés et Expro, et un durcissement rigoureux des relations syndicales à l'égard de ces derniers. Par la suite, le syndicat s'est employé à favoriser systématiquement l'application de l'article 8.04 de la convention collective concernant le droit de refus de travailler dans des conditions dangereuses. De même, les exigences syndicales au Comité paritaire de santé et de sécurité se sont avérées plus nombreuses, plus onéreuses et plus revendicatives.

Les recours par le syndicat au Service d'inspection de la C.S.S.T. sont devenus plus fréquents et persistants.

C'est dans cet état et dans cette atmosphère que les opérations de l'entreprise se sont poursuivies sous Price Watherhouse et associés et sous l'administration actuelle.

Expro semble avoir compris, du moins substantiellement, la situation. Elle a procédé à une réorganisation de l'infrastructure administrative de l'entreprise. Elle a procédé à l'engagement de contremaîtres, d'ingénieurs et de techniciens. En ce qui regarde l'état des installations, elle a investi une somme d'environ 1 700 000 $, dont une partie importante reliée au domaine de la santé et de la sécurité. Une procédure d'enregistrement, d'enquête

et d'analyse des accidents et incidents fut mise sur pied. Elle a entrepris une révision de l'ensemble des règles de sécurité relatives aux opérations de production. Elle a signé, le 1er mars 1983, une convention collective de travail comportant des avantages additionnels de salaire et de bénéfices marginaux. Elle s'est employée depuis quelques mois à faire revivre le comité paritaire de santé et de sécurité.

Il reste cependant à consolider les initiatives mises en œuvre et à parfaire l'organisation du travail en regard de la formation des travailleurs et des cadres, à adopter une meilleure compréhension de la lettre et de l'esprit de la Loi sur la santé et la sécurité du travail, à établir un système d'information aux travailleurs et cadres des risques associés aux substances dangereuses manipulées dans l'entreprise ainsi que des éléments essentiels des procédés de production et, de manière générale, à promouvoir la formulation et l'application d'un programme de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles avec la contribution du syndicat et des travailleurs.

Dans cette optique, la Commission fut informée à la fin de ses travaux d'un changement important dans la structure organisationnelle de l'entreprise au niveau de la responsabilité relative à la santé et à la sécurité. Jusqu'ici le directeur des ressources humaines exerçait son autorité sur les relations industrielles, le personnel, le service de santé et la protection (gardiens de sécurité). Cette responsabilité est maintenant répartie dans deux services. Le chef du service santé-sécurité relèvera du directeur général au même titre qu'un directeur administratif. Il assumera la fonction de coordonnateur en santé et sécurité et aura autorité sur le service de santé. Il agira comme principal représentant d'Expro au comité paritaire de santé et sécurité. Le chef de service des relations industrielles conserve les autres fonctions autrefois sous la responsabilité du directeur des ressources humaines.

Il est évidemment trop tôt pour évaluer cette transformation et ses effets sur le régime de santé et de sécurité à Expro. Les attributions et la dimension de la tâche du chef de service santé-sécurité ne semblent pas avoir été clairement définies.

Il importe que ce dernier ait une attitude et une autorité bien déterminées, sans quoi son action sera inévitablement entravée et les initiatives essentielles à l'instauration d'un régime adéquat de santé et de sécurité seront réduites à des vœux pieux. Le service qu'il dirige aura à démontrer par ses réalisations concrètes que la satisfaction de l'impératif rigoureux qu'implique la santé et la sécurité des travailleurs est compatible avec une saine gestion de la production.

4.4.2 Les relations patronales-ouvrières

Il n'est pas nécessaire de faire ici la démonstration de l'importance du facteur de coopération entre les travailleurs et leurs représentants syndicaux et l'employeur et ses représentants dans ses relations avec ses salariés, dans le contrôle des risques et l'administration d'un régime de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

Avant l'adoption de la Loi sur la santé et la sécurité du travail, en décembre 1979, on doit reconnaître que la participation des travailleurs et des associations syndicales à l'organisation de la santé et de la sécurité du travail était laissée en majeure partie à l'initiative et à la bonne volonté de l'employeur. Les comités conjoints formés sous la dictée du Règlement numéro 3787, adopté en application de la Loi des établissements industriels et commerciaux d'alors, n'ont qu'exceptionnellement donné satisfaction, étant donné que la participation des travailleurs était limitée à une vague et imprécise formule de consultation. S'il faut reconnaître que certains syndicats avaient réussi par la voie de la négociation collective à introduire des mécanismes de participation paritaire efficace, il est réaliste d'affirmer que dans l'ensemble du milieu industriel et commercial, cette pratique était très peu répandue. Dans les services publics, l'autorité légale des pouvoirs publics rendait les velléités de participation illusoires.

L'avènement de la nouvelle loi eut pour résultat de réformer en l'unifiant la législation québécoise en santé et sécurité du travail. À l'objet fondamental de cette législation — l'élimination des dangers à la source — est associé un régime de participation des travailleurs et des associations des salariés.

Au surplus, la Loi est d'ordre public. Cela signifie qu'il n'est pas admis d'y contrevenir directement, ni indirectement. On peut toutefois par convention collective ou par décret convenir de conditions plus avantageuses. On comprend qu'Expro ait refusé d'accepter la proposition syndicale de renoncer «*à la mise sur pied d'un comité de santé et de sécurité*» en vertu de la Loi sur la santé et la sécurité du travail (articles 68, 86 et 327).

Cette proposition du syndicat s'inscrit dans le contexte d'une politique syndicale de contestation de la Loi. Les revendications syndicales exigent le droit pour le syndicat de déclarer l'arrêt de travail dans les conditions jugées par lui dangereuses pour la santé et la sécurité, le droit de conduire ses propres enquêtes sur tout sujet relatif à la santé et à la sécurité, la pleine sécurité d'emploi et de salaire en cas d'accidents et de maladie du travail, et le choix exclusif du médecin et le paiement de toute compensation sur la base de son diagnostic exclusivement.

La Commission n'a pas à s'immiscer dans les revendications syndicales.

Dans les circonstances présentes, la Commission est d'avis que le syndicat ne possède pas les ressources nécessaires pour assumer seul, sans le secours de la loi, la responsabilité d'assurer la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs. Ainsi, lorsque la Commission a demandé à l'employeur et au syndicat de lui fournir leur proposition pour un programme de prévention, elle a constaté qu'aucun programme n'avait été formulé par le syndicat à cette date. Celui qui a été soumis par l'employeur était nettement incomplet. À l'acquis du syndicat, il faut ajouter cependant qu'il a fait un réel effort, en peu de temps, pour tracer des éléments très valables d'un programme de prévention. D'autre part, le syndicat n'a pas été en mesure de démontrer à la Commission qu'il pouvait formuler un rapport articulé et circonstancié d'une enquête d'accidents du travail.

A. Le comité paritaire de santé-sécurité

L'article 8.05 de la convention collective en vigueur, traitant du comité paritaire de santé et de sécurité reproduit presque textuellement l'ensemble des fonctions décrites à l'article 78 de la Loi sur la santé et la sécurité du travail. On a mis de côté l'approbation du programme de santé et la nomination du médecin responsable des services de santé; on y a substitué, à l'article 8.13, une série d'obligations relatives à l'hygiène et à des examens médicaux. Une analyse sommaire de cet article (à la section 4.3) permet de situer les aspects négatifs et positifs des services et examens qui y sont mentionnés en regard de l'établissement d'un programme de santé.

On s'est également abstenu de référer au paragraphe 8° de l'article 78, lequel prévoit la transmission par le comité paritaire, à la Commission, des «*informations que celle-ci requiert et un rapport annuel d'activités*». De l'avis de nos conseillers juridiques, même si ces dispositions sont écartées, elles n'en demeurent pas moins des obligations légales, de même que tous les autres articles de la Loi en vigueur concernant le comité paritaire.

Au sous-paragraphe d) de l'article 8.05 de la convention collective, les parties ont convenu d'une procédure relative au fonctionnement du comité paritaire. Cette initiative mérite d'être mentionnée, surtout en l'absence d'un règlement général de la C.S.S.T. à ce sujet.

Certaines dispositions de la convention collective sont considérées, avec raison, plus avantageuses. Au paragraphe 8.04 a), il est convenu qu'un représentant du comité paritaire ou le représentant syndical en sécurité-santé (expression servant à désigner «*le représentant à la prévention*» dans la Loi) a droit de recommander le refus de travailler à un travailleur ou à un groupe de travailleurs lorsque, pour des motifs

raisonnables, le travail expose à un danger pour la santé ou la sécurité. Aux paragraphes 8.05 a) et b), le syndicat peut formuler des revendications, qu'il doit acheminer au comité paritaire cependant, sur tout sujet relatif à la santé et à la sécurité. Au sous-paragraphe 10) du paragraphe 8.05 c), toute recommandation du comité paritaire doit être mise en application par l'employeur dans les délais prescrits.

Les paragraphes 22° et 23° de l'article 233 de la Loi sur la santé et la sécurité du travail donne à la C.S.S.T. le pouvoir de faire des règlements régissant les comités paritaires. À venir jusqu'ici, ces comités sont laissés à leurs seules initiatives dans l'adoption de leurs règles de fonctionnement. Deux projets de règlement sont accrochés, on ne sait où, ni pourquoi. Le premier projet, le Règlement sur les comités de santé et de sécurité du travail (groupe I et II) a été déposé pour étude au Conseil d'administration de la C.S.S.T. au mois de novembre 1980. Il a été adopté pour pré-publication le 5 février 1982, publié le 22 septembre 1982, adopté dans son texte définitif le 16 décembre 1982 et, au moment de la rédaction du présent rapport, il n'est pas encore en vigueur. Notons en passant que l'entreprise Expro fait partie du groupe I des secteurs et activités économiques prioritaires déterminés par la C.S.S.T.

Un second règlement, modifiant le Règlement sur les comités de santé et de sécurité du travail a été adopté pour pré-publication le 18 février 1982, publié le 29 septembre 1982. L'adoption du texte définitif n'est pas encore chose faite et, évidemment, il n'est pas encore en vigueur.

Il en va de même du Règlement sur le représentant à la prévention dans un établissement. Il a été adopté pour pré-publication le 20 août 1982, mais non encore publié.

La Commission s'interroge devant ces tergiversations. Il est fort certain que les travailleurs et leurs représentants syndicaux s'inquiètent de l'enjeu et du dilemme qui en résultent, d'autant plus que le Règlement sur le programme de prévention et le Règlement sur les services de santé du travail sont en vigueur depuis juillet 1982. L'employeur Expro attend avec impatience l'adoption de ces règlements, estimant que leur contenu servira à diminuer les difficultés présentes d'entente bilatérale dans l'organisation du régime de santé et de sécurité dans son établissement.

Le Ministre du Travail étant désigné par le gouvernement, ministre responsable de l'application de la Loi sur la santé et la sécurité du travail, la Commission lui recommande de prendre les mesures nécessaires pour que ces règlements soient adoptés le plus rapidement possible. On ne peut pas oublier que la participation des travailleurs constitue, selon la lettre et l'esprit de la Loi, un élément essentiel du système interne de santé et de sécurité du travail. L'expérience nous enseigne que l'organisation structurelle et légale des mécanismes de participation est généralement considérée essentielle à l'objectif primordial de la Loi, l'élimination des dangers à la source.

La convention collective actuellement en vigueur fut signée le 1er mars 1983 à la suite d'une négociation ardue. Les propositions patronales et syndicales étaient sous-jacentes à des positions idéologiques diamétralement opposées. L'employeur reprochait au syndicat une orientation d'extrême gauche et associait le grand nombre d'accidents et d'incidents survenus dans cette période (surtout en janvier et février 1983) pour une bonne partie à des actes volontaires. L'employeur invoque ce dernier motif comme justifiant le lock-out qu'il a décrété trois jours avant la signature du contrat de travail. Par ailleurs, le syndicat orientait ses revendications en prenant pour acquis l'insouciance et l'abstention de l'employeur face aux problèmes de santé et de sécurité du travail et l'incompétence du personnel de direction de l'usine.

Les déclarations et communiqués de presse précédant la signature de la convention collective, les mémoires, affirmations et dénonciations faites au cours de cette enquête par les parties, confirment abondamment les tensions dans lesquelles se sont déroulées les négociations. L'avenir dira si l'une ou l'autre des attitudes, ou les deux, ont été à l'origine de la décision des travailleurs de voter l'acceptation de la convention collective,

dans une proportion de 56%, à l'encontre de la recommandation des officiers et négociateurs syndicaux. Au cours de l'enquête publique, la Commission a recommandé aux parties, à plusieurs reprises, de faire un effort accru de concertation. Heureusement, il semble qu'un rapprochement des parties laisse présager une plus grande ouverture à la discussion et même à la concertation, principalement à l'égard des problèmes de santé et de sécurité.

B. Les quotas de production

On a vu dans le résumé de la preuve en audiences publiques que les préposés à la nitration de la cellulose (bâtiment nº 108), point de départ des opérations de la première passe, évaluaient leur production quotidienne selon des quotas pré-déterminés. Les travailleurs soutiennent que les spécifications du nombre de charges de nitrocellulose avaient été fixées par les contremaîtres et qu'ils devaient répondre des déficits notés sur leurs rapports de production. Par contre, les contremaîtres prétendent que ce sont les travailleurs eux-mêmes qui se sont fixés, depuis quelques années, une cadence de production ayant conduit aux quotas connus. La Commission n'a pas entrepris de démarches spéciales pour départager les opinions divergentes. Elle a cependant constaté que cette méthode, telle qu'appliquée, eût pour résultat inévitable d'amener progressivement les préposés à la nitration à réduire le cycle d'opération et à abréger leur temps de présence sur les lieux de travail. L'analyse des causes des nombreux feux (« fume off ») au bâtiment nº 108, démontre l'inévitable conséquence de cet accroc aux procédés de production.

Une rapide évaluation du rendement possible d'un travail normal au département de la nitration porte à réfléchir sur l'implication du régime actuel des quotas de production. Tenant compte que la compagnie exige des travailleurs qu'ils soient présents à leur poste de travail dès le début du quart de travail, d'un quart de travail normal de huit heures, il faut déduire:

1) Quarante-cinq minutes pour le repas (y compris le déplacement et les mesures d'hygiène personnelle).

2) Trente minutes pour les pauses quotidiennes (incluant le déplacement).

3) Quinze minutes pour les travaux de nettoyage et de mise en place avant de quitter le travail (y compris le déplacement du poste de travail à la salle de rechange et, de là, à la sortie).

Sur un total de 480 minutes que dure le quart de travail, on doit déduire 90 minutes d'activités non productives. Il reste donc un maximum de 390 minutes de travail effectif, si aucun inconvénient ne vient perturber la production temporairement.

Or, le cycle normal pour l'essorage de la nitrocellulose pyro est de sept minutes, trente secondes par charge. Au rythme de travail « exigé », soit 50 charges par quart de travail, cela nécessite 375 minutes de production, alors qu'au mieux, les opérateurs n'ont que 390 minutes pour y arriver. Il en résulte que le régime actuel des quotas de production, au département de la nitrocellulose, implique pour les opérateurs un effort correspondant à environ 96,1% d'un rendement maximum. Cette cadence de production est fondée sur un rendement et un fonctionnement idéals de la machinerie et des procédés et sur une performance optimale du travailleur. Pareille exigence dans l'organisation du travail doit être considérée comme source d'atteinte à l'intégrité physique des travailleurs concernés.

Un calcul de l'effort qui était exigé en janvier 1983, alors que le quart de travail était de douze heures permettrait d'en arriver à un résultat analogue.[1]

On comprend pourquoi les opérateurs avaient pris l'habitude de réduire le temps des cycles de nitration, à la connaissance des autorités, malgré les conséquences prévisibles

1. La Commission estime que l'établissement d'un quart de travail d'une durée de douze heures dans une usine de production d'explosifs constitue un régime de travail anachronique même si l'employeur obtient l'accord du syndicat. Rappelons que le dernier accident mortel (celui du 13 janvier 1983) est survenu vers la fin d'un quart de travail de douze heures. Depuis, les quarts de travail ont été rétablis à huit heures.

du système. Sous un autre aspect, il apparaît évident que ce régime doit être considéré comme facteur négatif dans l'organisation du travail.

D'où qu'elle provienne, la fixation de quotas de production, surtout dans une fabrique d'explosifs, ne doit pas être déterminée de manière rigoureuse, et encore moins péremptoire. Elle doit, au contraire, tenir compte des contingences et des éventualités inhérentes à l'organisation du travail, au rendement de la machinerie et de l'équipement, à la conformité des instruments de travail, aux incidents normalement prévisibles dans le processus opérationnel, aux divers facteurs de comportement psychologique et physiologique des travailleurs dans un milieu de travail précis et aux méthodes de travail spécifiques à la nature des opérations.

La Commission estime que le système en vigueur relativement aux quotas et à la cadence de production doit être révisé.

C. Quelques points de comparaison

La visite des commissaires, en Écosse, en Angleterre, en Suède et en France fut nécessairement de courte durée, faute de temps. Elle a permis cependant d'établir d'intéressantes comparaisons entre l'application du régime législatif de santé et de sécurité du travail mis en œuvre dans ces pays et celle qui prévaut au Québec, mais particulièrement à Expro. Évidemment, on doit tenir compte des usages et de l'organisation des politiques sociales existant dans chaque État. Aucune transposition n'est nécessaire, mais certaines initiatives et réalisations peuvent être inspiratrices de projets concrets.

Dans le Royaume-uni, la Loi de 1974 (Health and Safety at Work Act) prévoit la formation de comités de santé et de sécurité analogues à ceux qui sont prévus dans la Loi sur la santé et la sécurité du travail. Des règlements adoptés par la Commission de la santé et de la sécurité (Health and Safety Commission) régissent le rôle, les droits et les responsabilités des comités et des représentants à la sécurité (expression analogue à celle de représentant à la prévention). Il a été impossible aux commissaires d'établir un contact avec les représentants syndicaux des travailleurs des usines visitées, le programme fixé par nos hôtes ne l'ayant pas prévu, malgré une demande spécifique de la Commission. Il n'est donc pas souhaitable de commenter l'organisation du travail dans ces entreprises, celle-ci n'étant visible que sur information unilatérale.

De manière générale, on retient que les travailleurs portent toute plainte sur les problèmes de santé et de sécurité au représentant à la sécurité. Ce dernier transmet la plainte au contremaître et au gérant de la production si nécessaire. En cas de mésentente entre les deux parties, on fait appel à l'inspecteur, lequel prend la décision finale immédiatement après inspection. L'inspecteur agit de la même manière lorsqu'il y a divergence entre le comité de sécurité et la gérance; il possède une large discrétion dans l'exercice de sa fonction. Les réunions du comité de sécurité ont lieu mensuellement; tous les problèmes de santé et de sécurité y sont discutés, en particulier les accidents et les maladies professionnelles et les mesures à prendre pour les éviter.

La loi britannique ne contient aucune disposition légale concernant le droit de refus de travailler.

En France, dans l'usine de la Société nationale des poudres explosives, à Bergerac, le procédé de nitration de la cellulose a été transformé en procédé continu, de telle sorte que l'opération est contrôlée à distance, les opérateurs étant isolés dans une salle de contrôle climatisée.

Les travailleurs de cette usine sont représentés majoritairement par la Confédération générale du travail (C.G.T.). Le Code du travail français prévoit la formation de comités d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail (C.H.S.C.T.). Ces comités sont consultatifs, mais prépondance est donné, dans leur formation, aux représentants des travailleurs. Ainsi, à Bergerac, le comité est formé de quatre travailleurs élus et de trois cadres. Le secrétaire doit être un salarié. Le médecin du travail est membre d'office du

comité, mais n'a pas voie délibérante. Les travailleurs membres du comité ont le pouvoir d'effectuer des inspections des lieux de travail, des enquêtes et des études sur le milieu du travail. Le comité peut faire appel à un expert pour les études d'éléments matériels de risques à la santé et à la sécurité.

Le droit de refus individuel et collectif est reconnu dans la loi. Dans le cas du refus collectif, le C.H.S.C.T. conserve un droit d'alerte en cas de danger, si des motifs raisonnables de penser qu'un danger grave et imminent pour la vie ou la santé se présente. La procédure à suivre pour l'exercice du droit de refus est sensiblement la même qu'au Québec.

Lors de notre visite aux bureaux du syndicat local, les dirigeants syndicaux ont insisté sur l'intérêt qu'ils considèrent primordial de participer activement aux travaux du comité. Ils misent grandement sur les pouvoirs qui leur sont accordés par la loi actuelle (adoptée en décembre 1982), pour promouvoir à l'intérieur de l'entreprise la santé et la sécurité des travailleurs.

L'usine d'explosifs de Bofors en Suède présente un aspect assez exceptionnel au plan de la santé et de la sécurité. Les procédés à risques, qui autrement seraient comparables à ceux d'Expro, ont été automatisés de sorte que les travailleurs opèrent isolés des vapeurs nitreuses et des possibilités de feux et d'explosion dans des salles de contrôle modernes. Les technologies les plus récentes y ont été mises en place. L'entreprise a introduit des technologies nouvelles, souvent conçues dans ses propres ateliers, pour diminuer au minimum les efforts physiques nécessaires au soulèvement ou à la manipulation de charges.

De 1976 à 1982, Bofors-Nobel a investi une somme d'environ 70 millions de dollars pour la modernisation des édifices et de l'équipement et pour l'installation de procédés continus. Les dirigeants de Bofors-Nobel estiment à environ 50 millions de dollars la part de ces investissements pour la santé, la sécurité et la qualité de l'environnement.

Le secteur des poudres compte environ 1 200 travailleurs, dont la moitié sont des femmes. Un ergonome professionnel est assigné exclusivement à ce secteur. De plus, cinq ingénieurs en sécurité sont chargés de la conception et de l'organisation technique de la sécurité et de l'hygiène du milieu. Un médecin et deux infirmières à temps plein, un physiothérapeute et un travailleur social sur consultation, forment l'équipe de santé au travail. Ceux-ci peuvent compter, au besoin, sur l'expertise de toxicologues, épidémiologues et autres spécialistes, du service régional de médecine du travail de l'Hôpital d'Orebro.

La participation des travailleurs à l'organisation de la santé et de la sécurité est intrinsèquement liée à l'ensemble des moyens de prévention. Un délégué à la santé par vingt travailleurs est élu pour remplir des fonctions analogues à celles du représentant à la prévention au Québec. Il dispose d'une demi-journée par semaine pour s'occuper de santé et de sécurité, avec plein salaire.

Au comité de santé-sécurité, les délégués syndicaux sont majoritaires. La nomination du médecin de l'entreprise et de l'ingénieur responsable de la santé et de la sécurité est approuvée par le comité. Le comité élabore les programmes de prévention. Les services techniques à la santé et à la sécurité relèvent directement du comité. Le comité est présidé par le directeur de la production de l'usine, lequel consacre au moins 20% de son temps aux questions de santé et de sécurité.

Enfin, la formation des travailleurs à l'embauche dure huit semaines dans une école rattachée à l'usine qui leur permet de connaître les procédés de production, les réactions et les effets des substances chimiques et pyrotechniques. Des programmes spécifiques sont appliqués pour la formation des délégués à la santé et à la sécurité.

En conclusion, les visites des commissaires en Europe ont favorisé une meilleure compréhension et une meilleure approche des problèmes de santé et de sécurité dans une industrie d'explosifs du type Expro.

4.4.3 L'entretien préventif

L'article 51 de la Loi sur la santé et la sécurité du travail prescrit ce qui suit, en regard à l'entretien préventif:

> « *L'employeur doit prendre les mesures nécessaires pour protéger la santé et assurer la sécurité et l'intégrité physique du travailleur. Il doit notamment:*
>
> *1°) S'assurer que les établissements sur lesquels il a autorité sont équipés et aménagés de façon à assurer la protection du travailleur;*
>
> *3°) s'assurer que l'organisation du travail et les méthodes et techniques utilisées pour l'accomplir sont sécuritaires et ne portent pas atteinte à la santé du travailleur;*
>
> *5°) utiliser les méthodes et techniques visant à identifier, contrôler et éliminer les risques pouvant affecter la santé et la sécurité du travailleur;*
>
> *7°) fournir un matériel sécuritaire et assurer son maintien en bon état;*
>
> *8°) s'assurer que l'émission d'un contaminant ou l'utilisation d'une matière dangereuse ne porte atteinte à la santé ou à la sécurité de quiconque sur un lieu de travail;* »

Et à l'article 59:

> « *Un programme de prévention a pour objectif d'éliminer à la source même les dangers pour la santé, la sécurité et l'intégrité physique des travailleurs.*
>
> *Il doit notamment contenir, en outre du programme de santé visé dans l'article 113 et de tout élément prescrit par règlement:*
>
> *2°) des mesures de surveillance de qualité du milieu de travail et des mesures d'entretien préventif;* »

Les obligations ainsi édictées par la Loi, portent directement sur l'organisation d'un système d'entretien préventif dans l'entreprise. Nous devons à regret affirmer que ces obligations ont effectivement été ignorées. Le syndicat s'est inquiété de cette situation depuis plusieurs années. Encore aujourd'hui, il insiste avec raison pour qu'un programme d'entretien préventif soit mis sur pied.

Une industrie de substances explosives est soumise à des risques et à des dangers d'un caractère particulier, exceptionnel. Les dangers d'origine électrique, chimique et toxique sont nombreux dans les usines de produits explosifs: l'électricité statique ou dynamique provoque l'incendie des poudres et l'explosion de celles-ci; les réactions chimiques des substances explosives sont sources de feux et d'explosions; enfin, le dégagement de substances nocives, telles les vapeurs nitreuses, produisent dans l'organisme humain une variété d'atteintes à l'intégrité physique.

Il est donc essentiel de veiller en permanence, et de façon systématique, au bon état des bâtisses, de l'équipement et des instruments de travail. Cette forme d'intervention doit être considérée prioritaire dans l'ensemble des mesures de sécurité.

Un système efficace d'entretien préventif comporte un registre d'entretien des bâtisses, de la machinerie et de l'équipement, l'instrumentation et les outils nécessaires pour en assurer la surveillance et en déterminer la qualité, une équipe de travail spécifiquement assignée à cette responsabilité et possédant une autorité bien précisée de faire effectuer les modifications usuelles, de recommander les changements considérés majeurs et d'informer les travailleurs et cadres des risques et dangers constatés. Les travaux de l'équipe doivent être exécutés selon un programme précis, compte tenu de l'état des lieux de travail, des objectifs fixés à l'avance et de la fréquence estimée de l'usure, des bris et des incidents.

L'équipe doit être confiée à la direction d'un technicien expérimenté, de préférence un ingénieur. Le registre d'entretien préventif, les décisions et recommandations de l'équipe

de travail doivent être l'objet d'examens et de consultations au comité paritaire de santé et de sécurité.

4.4.4 L'organisation des moyens de secours

A. Le service d'incendie

La protection contre les incendies à l'usine a été placée sous la responsabilité du service de garde, composé de huit gardiens et quatre sergents. Cette situation existe depuis plusieurs années. Une dizaine de travailleurs agissent comme pompiers volontaires. Ils sont recrutés dans le département de l'entretien intentionnellement, à cause de leur spécialité dans certains métiers. On y trouve en effet des électriciens, des plombiers, des machinistes, etc., dans l'éventualité où leurs services pourraient être requis lors d'un incendie.

Il n'y a pas d'ambulance sur les lieux; au besoin on fait appel à un service ambulancier privé.

La caserne est située à environ 500 pieds du poste de garde. Aucun employé n'y est assigné de manière permanente. Sur le quart de travail de 8 h à 16 h, mais de façon plutôt irrégulière, un gardien-pompier est chargé de faire la vérification de l'équipement servant à la protection (extincteurs, respirateurs) et au combat des incendies (boyaux, échelles, camion). Cette vérification est effectuée selon un programme déterminé à l'avance.

Lorsqu'un appel d'incendie est signalé au poste de garde, le sergent alors en fonction actionne une sirène qui est entendue sur toute l'étendue du territoire de l'entreprise. Un gardien se rend alors à la caserne, s'il n'est pas déjà occupé à la vérification des appareils, tel que susdit, et se rend sur les lieux de l'incendie avec le camion à incendie. À son arrivée, il communique avec le sergent, au poste de garde, et l'informe de l'importance du sinistre. Pendant ce temps, les pompiers volontaires au travail se dirigent vers le lieu de l'incendie. C'est le sergent qui décide d'appeler les pompiers volontaires à leur domicile et, si l'incendie est jugé important, de signaler une deuxième alerte, laquelle implique automatiquement l'appel des pompiers de Saint-Timothée. Ces derniers sont en presque totalité des pompiers volontaires, résidants de cette municipalité.

Fait assez inusité, c'est le surintendant du département où s'est déclaré un incendie qui remplit de facto la fonction de chef-pompier. On prétend que son aptitude à remplir cette fonction réside dans sa connaissance des lieux, des produits qui s'y trouvent et des procédés de production. Ainsi, lors de l'incendie du séchoir nº 280, le surintendant de la deuxième passe, monsieur Saint-Michel, dirigeait le travail des sapeurs-pompiers. Au cours des audiences publiques, le procureur d'Expro a motivé cette formule par le fait que la grande majorité des villes du Québec sont protégés contre l'incendie par un corps de pompiers volontaires et que de toute manière dans une usine de fabrication d'explosifs la première règle à suivre, quand un incendie se déclare, consiste à s'éloigner du foyer de l'incendie à cause du danger d'explosion.

De plus, la preuve en audiences publiques nous révèle que les gardiens-pompiers, de même que les pompiers volontaires ne reçoivent aucune formation spécifique sur la prévention des incendies, ni sur la nature des produits manipulés dans les divers bâtiments de l'usine. Quant au combat des incendies, leur formation est limitée à un entraînement pour l'extinction de feux de granges ou de maisons de ville.

La Commission estime que l'organisation du service d'incendie d'Expro présente de sérieuses lacunes. Expro devrait pouvoir compter sur la compétence d'un chef-pompier, sur la présence permanente d'un pompier à la caserne et sur un entraînement des gardes-pompiers et des pompiers volontaires spécifiques à la prévention et au combat des incendies dans une entreprise de cette nature.

De plus, l'engagement d'un consultant en prévention des incendies, avec mission d'évaluer la pertinence d'installer des systèmes de détecteurs de feux, d'alarme et de gicleurs appropriés à ce type d'usine, contribuerait à l'élaboration d'un programme efficace de prévention et de combat des incendies.

B. Le plan d'évacuation

Advenant un incendie ou une explosion (comme celle du réservoir nº 17), les dangers de propagation rapide de l'incendie et de contamination de l'atmosphère ambiant par les vapeurs d'acides sont toujours présents. Un plan d'évacuation porté à la connaissance de toutes les personnes présentes sur les lieux, travailleurs, techniciens, pompiers et cadres permettrait d'éviter un désastre vu la vétusté de l'ensemble des bâtiments d'une part, et l'étendue du territoire sur lequel sont répartis les postes de travail, d'autre part.

Un plan spécifique d'évacuation devrait faire l'objet d'une consultation attentive au comité paritaire de santé et de sécurité. Entre autres, il devrait prévoir l'information au personnel, le mode d'affichage, le processus d'évacuation par bâtiment et par département et, le cas échéant, par l'ensemble des individus travaillant dans ce complexe industriel. Les chutes d'urgence pour l'évacuation rapide de certains bâtiments présentent en certains cas des dangers réels d'accidents pour les travailleurs qui auraient à les utiliser. Ces chutes devraient être vérifiées régulièrement par l'équipe d'entretien préventif.

4.4.5 Service d'inspection

A. Fédéral

L'inspection des bâtiments, pour fins de fabrication des explosifs, de la machinerie et de l'instrumentation requises à cette fin et des procédés de production est effectuée sous l'autorité des inspecteurs du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources fédéral. Ce sont eux d'ailleurs qui recommandent l'acceptation ou le refus de permis de construction, de modifications aux bâtisses, des procédés de production et de l'utilisation des produits (composantes et produits finis).

Ces inspecteurs sont également appelés sur les lieux lors de sinistres, d'accidents et d'incidents majeurs, causant la mort, des blessures graves ou des dommages matériels importants.

Ils émettent également les permis réglementaires pour le transport des explosifs et pièces pyrotechniques, excepté le transport sous surveillance militaire, et ceux sous l'autorité des lois et règlements provinciaux applicables aux mines et carrières. Ils assument la surveillance et le contrôle des explosifs d'importation et d'exportation. Ils ont aussi la fonction de surveillance et de contrôle des exigences et spécifications du ministère de la Défense nationale relativement:

a) au transport d'explosifs militaires sur véhicules civils, sans escorte militaire,
b) à l'émission des permis des fabriques d'explosifs militaires, sauf dans les endroits où se fait des recherches sous surveillance militaire.

Le ministère de l'Énergie, Mines et Ressources fédéral exige, comme pré-requis pour devenir inspecteur, une formation en chimie, en génie ou en physique. Priorité est donnée à ceux qui, possédant les pré-requis, viennent de l'industrie.

Une usine du genre Expro sera visitée au moins une fois par année par l'inspecteur-chef, son assistant et deux inspecteurs de la région de Québec.

Les inspecteurs fédéraux agissent selon un programme d'inspection que les entreprises ne connaissent pas. Les inspections sont faites à l'improviste, à moins qu'elles soient l'objet d'une demande spéciale.

La loi fédérale n'exige pas que les inspections soient faites en présence d'un représentant syndical ou d'un représentant des travailleurs. Le rapport d'inspection n'est pas remis au syndicat. Cette situation diffère de celle qui prévaut au Québec, en vertu de la Loi sur la santé et la sécurité du travail. Les représentants syndicaux forment de sévères critiques à l'endroit du service d'inspection fédérale, les accusant même de connivence secrète avec la compagnie. Ces critiques ne sont pas justifiées puisqu'il s'agit d'un usage

général dans ce service d'inspection. De plus, l'article 23 de la Loi sur les explosifs (fédérale) oblige les inspecteurs au secret, sous peine de sanction.

Par ailleurs, les enquêtes d'accidents et d'incidents sont effectuées en présence d'un représentant syndical. Les rapports d'enquêtes sont publics. Le syndicat en reçoit copie.

B. Provincial

Depuis l'organisation du service d'inspection de la C.S.S.T., vers la fin de l'année 1980, l'inspection relative à la santé et à la sécurité des travailleurs d'Expro est effectuée par les inspecteurs de ce service. Auparavant, l'inspection était confiée aux inspecteurs du ministère du Travail. Dans ce dernier cas, les inspections étaient en général bien conduites, mais le suivi des recommandations et ordonnances faisait souvent défaut. Il faut reconnaître toutefois que la Loi sur les établissements industriels et commerciaux et le Règlement numéro 3787, adopté en application de cette Loi, étaient loin de préciser les obligations de l'employeur à l'égard des travailleurs si on les compare à celles qui sont prévues dans la Loi sur la santé et la sécurité du travail. De plus, les pouvoirs et responsabilités des inspecteurs n'étaient pas aussi bien définis.

Depuis 1981, on doit reconnaître que, d'une manière générale, les inspections des lieux par la C.S.S.T. sont plus élaborées et beaucoup plus centrées sur les objectifs de la Loi, l'élimination des dangers à la source. Un certain laxisme a été remarqué quant au suivi des recommandations et ordonnances. Par ailleurs, il faut reconnaître que les inspecteurs, en certains cas, ont usé d'une certaine discrétion dans le temps fixé pour effectuer les modifications requises, dû aux circonstances particulières de vétusté des lieux de travail, et des difficultés administratives et financières pour effectuer les améliorations recommandées.

La Commission n'a pas l'intention d'analyser ni d'apprécier la contestation du syndicat à l'égard des inspecteurs de la C.S.S.T. Limitons nous à dire que, pour une bonne part, ce débat se situe au niveau de la contestation syndicale du principe même de la Loi sur la santé et la sécurité du travail. Les parties, employeur et syndicat, ainsi que les travailleurs eux-mêmes, sont appelées à réfléchir sur cette question, sur les conséquences qui en découlent et, si possible, à trouver un terrain d'entente propice à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles.

Conclusion

La Commission aurait pu prolonger davantage ses réflexions sur l'important problème de l'organisation du travail. Elle a cependant préféré en commenter les principaux aspects dans le but de susciter l'intérêt des parties à la concertation. La Commission s'est appliquée à éviter d'entrer dans le champs de la négociation des conditions de travail, laquelle relève des parties, à l'intérieur des mécanismes prévus par la loi.

Les changements successifs de propriétaires depuis 1977, la croissance rapide de l'entreprise, le manque de formation des travailleurs et des cadres intermédiaires, les mutations, départs et engagements au niveau des cadres supérieurs, les difficultés dans les relations patronales-syndicales et l'option syndicale à l'égard de la Loi sur la santé et la sécurité et les institutions qu'elle établit sont, bien sûr, facteurs de gêne dans l'organisation d'un travail sécuritaire.

Les lacunes constatées dans l'entretien préventif et l'organisation des moyens de secours font l'objet de persistantes revendications syndicales auxquelles la Commission souscrit. Ces lacunes ajoutent un élément additionnel d'inconvénients dans la restauration des relations de travail.

Il apparaît évident à la lumière du bilan des accidents, de l'analyse de l'organisation du travail et de la faiblesse de la formation, que le facteur production a largement été prioritaire dans cette usine et divorcé, dans les faits, de la fonction santé, sécurité et

environnement de travail, notamment de 1977 à 1982, même sous Expro, jusqu'à la tenue de la présente enquête. Le rang secondaire qu'occupait le personnel assigné à la santé et à la sécurité et l'ignorance manifeste de certains cadres des risques inhérents à la manipulation des divers agents chimiques en présence témoignent de sérieuses déficiences dans l'organisation du régime de santé et de sécurité au travail à Expro.

Recommandations

Expro doit consolider l'organisation du travail en fonction de la santé et de la sécurité.

Le système en vigueur des quotas et cadences de production doit être révisé.

Un système efficace d'entretien préventif et l'organisation des moyens de secours doivent être mis en œuvre au cours des prochains mois.

Le Ministre du Travail est invité à prendre les mesures nécessaires pour que les règlements de la Commission de la santé et de la sécurité du travail concernant les comités paritaires et le représentant à la prévention soient adoptés le plus rapidement possible.

CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

La lecture de ce rapport permettra de constater que la Commission n'a pas voulu se constituer juge de responsabilités dans son étude des événements qui ont ou qui étaient susceptibles de porter atteinte à l'intégrité physique des travailleurs. Dans l'évaluation globale de la situation existante dans cette entreprise depuis 1977, il est apparu impératif de tenir compte d'un facteur très important: la succession des propriétaires administrateurs de l'usine. Il n'est pas possible de confondre le comportement de chacun des employeurs en un seul faisceau de responsabilités sociales à l'égard des travailleurs. Expro a certainement démontré une meilleure attitude à l'endroit des problèmes de santé et de sécurité du travail.

La Commission a préféré faire un rapport circonstancié sur l'ensemble des problèmes de santé et de sécurité dans cette entreprise, depuis 1977, selon le mandat qui lui a été confié, et proposer des mesures spécifiques de prévention.

Dans le temps imparti, en réalité quatre mois et demi, la Commission a tenté de couvrir un sujet complexe, à volets multiples, comportant l'étude de la chimie et de la physique des explosifs, des procédés de fabrication des poudres propulsives et des explosifs brisants, des principales propriétés toxicologiques des nombreux contaminants de l'environnement de travail, des risques à la santé et à la sécurité dans ce genre d'industrie et des moyens de surveillance et de contrôle appropriés, sans oublier l'analyse de l'organisation du travail.

Cela a nécessité des études personnelles, des visites de l'entreprise, des rencontres avec les représentants du syndicat et de l'employeur, des analyses et des examens d'expertises, des consultations d'experts au Québec et à l'étranger, des audiences publiques d'une durée de deux mois, des visites en Europe (Angleterre, Écosse, Suède et France), et enfin la rédaction du rapport.

En résumé, la Commission retient comme principaux problèmes dans cette entreprise, les feux, les explosions, les intoxications, les brûlures à l'acide et les maux de dos pour lesquels elle recommande des activités préventives, des actions et des comportements propres à éviter la répétition d'événements regrettables et à instaurer un régime de santé et de sécurité pour les travailleurs.

Ces recommandations sont groupées sous les thèmes suivants:

A. LA SÉCURITÉ ET L'HYGIÈNE DU MILIEU
B. LA SANTÉ
C. L'ORGANISATION DU TRAVAIL

Précisons que les recommandations qui suivent portent sur les questions les plus importantes de l'avis de la Commission. D'autres recommandations spécifiques à certaines situations particulières et questions incidentes sont formulées dans les chapitres 3 et 4 du rapport.

Les causes retenues des principaux événements portés à la connaissance de la Commission, les circonstances qui les ont précédés et les moyens de les éviter font l'objet de la section un du chapitre 4.

La Commission s'est abstenue de commenter les problèmes relatifs à la qualité de l'environnement (air et eaux), vu l'absence de mandat sur cette question. Mais une rencontre avec un inspecteur du ministère de l'Environnement du Québec laisse prévoir que des actions correctives seront prises à court terme, selon l'échéancier déterminé par le ministère.

A. La sécurité et l'hygiène du milieu

La Commission recommande:

1) QUE la compagnie « Les produits chimiques Expro inc. » mette sur pied le projet de nitration continue de la cellulose, dont la conception technique est déjà réalisée, comportant le contrôle à distance du procédé, et cela, dans un délai maximum de deux ans.
2) QUE la compagnie « Les produits chimiques Expro inc. » mette en œuvre le projet de modernisation de la finition des poudres propulsives, dont les études d'ingénierie sont en cours, de façon à isoler les opérateurs des risques que le procédé actuel comporte, dans un délai maximum de trois ans.
3) QUE la compagnie « Les produits chimiques Expro inc. » complète d'ici décembre 1983, son programme de réduction à la source des vapeurs d'éther et d'alcool éthylique dans les bâtiments nos 160, 162, 170 et 174 du secteur de la première passe.
4) QU'UNE étude ergonomique des tâches comportant la manipulation de poids soit effectuée, afin d'instaurer là où un problème est identifié, les modifications techniques appropriées, dans les meilleurs délais.
5) QUE les techniques disponibles, ou à défaut les mesures de protection personnelle, soient immédiatement appliquées pour éviter tout contact cutané avec la poudre propulsive, particulièrement celle contenant la nitroglycérine et le dinitrotoluène.
6) QUE la vocation de chaque séchoir soit unique, c'est-à-dire pour poudres à base simple ou à base double et triple respectivement, et que la compagnie « Les produits chimiques Expro inc. » entreprenne les démarches nécessaires auprès des inspecteurs du ministère de l'Énergie, des Mines et Ressources fédéral pour modification des permis à ce sujet.
7) QUE l'acide usé contenant de la nitrocellulose ou RDX ne reste jamais stagnant dans des réservoirs pour une période plus longue que vingt-quatre heures, de façon à éviter le dépôt de ces produits et les réactions qui peuvent en résulter.
8) QU'UNE analyse scientifique des risques à la sécurité soit entreprise pour chaque procédé de l'usine, et que les résultats soient communiqués au comité paritaire de santé et de sécurité, aux travailleurs et cadres.
9) QUE les stratégies d'échantillonnage utilisées établissent adéquatement les niveaux d'exposition personnelle des travailleurs et que le résultat soit consigné au dossier médico-environnemental individuel et collectif, et transmis au comité paritaire de santé et de sécurité.
10) QU'UN système d'entretien préventif des bâtisses, de la machinerie et de l'équipement soit mis en place, d'ici le mois de mai 1984, sous la responsabilité d'une équipe spécialisée, sous la direction du service de génie.
11) QU'avec l'assistance d'un consultant en prévention des incendies, le service de génie de l'usine soit chargé de mettre en place un système approprié pour ce type d'établissement, de détecteurs de feux, d'alarme, de gicleurs et d'extincteurs d'incendie.
12) QUE cesse immédiatement la pratique conduisant à ajouter manuellement des mélanges éther et stabilisants dans les mélangeurs, à la première passe.
13) QU'UNE procédure ou un mécanisme avertisseur efficace soit mis à la disposition d'un opérateur travaillant seul, principalement au département des acides.
14) QUE des douches supplémentaires et des bains d'urgence soient installés dans le secteur des acides et qu'un programme de vérification de la qualité et de l'efficacité de ces équipements de premiers secours soit établi.
15) QU'UN ingénieur, hygiéniste industriel soit embauché au service de santé-sécurité de l'usine et que le technicien actuel en hygiène industrielle soit assigné à plein temps aux problèmes d'hygiène du milieu dans l'équipe du service de santé-sécurité.

B. La santé

La Commission recommande:

1) QUE le statut des services de santé de l'usine soit défini, au plus tard le 31 décembre 1983, par le Centre hospitalier, Département de santé communautaire de Valleyfield, conformément à l'article 130 de la Loi sur la santé et la sécurité du travail.

2) QU'UN médecin soit nommé responsable des services de santé au travail de l'établissement, au plus tard le 31 décembre 1983, et qu'il s'engage à acquérir, si tel n'est pas le cas, une formation de base en toxicologie, hygiène industrielle, ergonomie et épidémiologie.

3) QUE la compagnie « Les produits chimiques Expro inc. » assure aux infirmières des services de santé une formation de base en santé et sécurité au travail.

4) QUE la compagnie « Les produits chimiques Expro inc. » assure la formation de secouristes, avant décembre 1984, en nombre suffisant pour qu'ils soient disponibles en tout temps, durant les heures de production, dans les premières minutes qui suivent un accident.

5) QUE la compagnie « Les produits chimiques Expro inc. » mette à la disposition du personnel chargé des premiers soins et premiers secours un véhicule équipé pour le transfert de blessés.

6) QUE tous les cas d'intoxication aux vapeurs nitreuses et de brûlures importantes à l'acide fassent l'objet de premiers soins, sur le site même de la compagnie « Les produits chimiques Expro inc. », avant leur transfert, si nécessaire, à domicile ou à l'hôpital.

7) QU'UN programme de santé spécifique à l'établissement, intégrant les principaux éléments de surveillance médico-environnementale, soit établi par le médecin responsable, et approuvé par le comité paritaire de santé et de sécurité, avant mai 1984, et qu'en conséquence, le syndicat et l'employeur revisent la pertinence de l'article 8.13 de la convention collective (les divers éléments du programme de santé sont expliqués à la section 4.3.4 du rapport).

8) QUE les services de santé de l'usine, en collaboration avec les consultants du Département de santé communautaire de Valleyfield ou autres, entreprennent une étude de prévalence sur les symptômes, signes et altérations biologiques pouvant résulter de l'exposition chronique au mélange éther-alcool et à la nitroglycérine.

9) QU'UNE expertise en médecine du travail, notamment en toxicologie, soit disponible au niveau régional dans le cadre de l'équipe de base en santé au travail du Centre hospitalier, Département de santé communautaire de Valleyfield.

10) QUE le Centre hospitalier, Département de santé communautaire de Valleyfield dresse une liste de médecins de garde, ayant une expertise en médecine du travail, disponible dans les salles d'urgence des organismes de santé de la région.

11) QUE le projet de règlement de la Commission de la santé et de la sécurité du travail sur les normes minimales de premiers secours soit adopté dans les plus brefs délais.

12) QUE la Commission de la santé et de la sécurité du travail mette sur pied un groupe de travail pour étudier la pertinence de la norme québécoise actuelle d'exposition à la nitroglycérine.

13) QUE la Commission de la santé et de la sécurité du travail, de concert avec l'Institut de recherche en santé et sécurité au travail, prenne des mesures pour la mise sur pied d'une équipe de recherche multidisciplinaire chargée d'évaluer les effets neuro-comportementaux reliés à l'exposition chronique aux solvants.

14) QUE la Commission de la santé et de la sécurité du travail réévalue le mode de détermination des ratios consentis pour le médecin responsable, notamment pour les usines à risque élevé du type de la compagnie « Les produits chimiques Expro inc. ».

15) QUE le Ministre du Travail, responsable de l'application de la Loi sur la santé et la sécurité du travail, revise l'article 113.4 de la Loi, dont la portée actuelle relativement aux examens d'affectation à des tâches est difficilement réalisable parce que trop extensive.

C. L'organisation du travail

La Commission recommande:

1) QU'UN programme de formation et d'information spécifique aux travailleurs, comportant une connaissance éclairée des risques et de leurs effets, des procédés de production et de leur signification, soit établi par le comité paritaire de santé et de sécurité à la compagnie « Les produits chimiques Expro inc. ».
2) QU'UN programme de formation et d'information analogue soit établi par la compagnie « Les produits chimiques Expro inc. » pour les contremaîtres et autres cadres.
3) QUE les représentants de la compagnie « Les produits chimiques Expro inc. » et les représentants syndicaux au comité paritaire de santé et sécurité, s'entendent sur un programme d'action, selon la lettre et l'esprit de la Loi sur la santé et la sécurité du travail.
4) QUE le comité paritaire de santé et sécurité mette à profit l'expertise des professionnels en prévention du bureau régional de la Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec et du Département de santé communautaire de Valleyfield.
5) QUE la compagnie « Les produits chimiques Expro inc. » et le syndicat, et leurs représentants au comité paritaire de santé et de sécurité, le cas échéant, conviennent d'une priorité d'action pour la mise en œuvre des présentes recommandations qui les concernent mutuellement.
6) QUE le système de quotas et de cadence de production, à la nitration de la cellulose, soit révisé.
7) QUE le service d'inspection de la Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec assure une inspection de conformité par département de l'usine, sur une base annuelle et qu'il assure un suivi plus rigoureux des avis de correction.
8) QUE le Ministre du Travail, responsable de la Loi sur la santé et la sécurité du travail prenne les mesures nécessaires pour assurer l'adoption rapide des règlements sur les comités de santé et de sécurité du travail et le règlement sur le représentant à la prévention dans un établissement.

Note: Au moment où le présent rapport est entre les mains de l'imprimeur, la Commission est informée qu'un décret du Conseil exécutif, en date du 28 septembre 1983, approuve le Règlement de la Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec sur les comités paritaires de santé et de sécurité. Après publication dans la Gazette officielle, ce Règlement doit entrer en vigueur le 22 octobre 1983.

ANNEXES

Plan des annexes

Annexe 1 Règles de pratique et de procédure 247

Annexe 2 Déclaration d'ouverture 251

Annexe 3 Fiches toxicologiques

Plan des fiches toxicologiques 253
Définition des termes utilisés pour les fiches toxicologiques 253
Table des matières 257
Liste des tableaux 268
Fiches toxicologiques 269

Annexe 1

Règles de pratique et de procédure

COMMISSION D'ENQUÊTE SUR LES CONDITIONS DE SANTÉ ET DE SÉCURITÉ DES ÉTABLISSEMENTS DE LA COMPAGNIE « LES PRODUITS CHIMIQUES EXPRO INC. »

Règles de pratique et de procédure

ATTENDU QUE la Commission, constituée en vertu de la Loi des commissions d'enquête (L.R.Q., c. C.37) est chargée par décret du Conseil exécutif numéro 358-83, en date du 2 mars 1983, de faire une enquête sur les conditions de santé et de sécurité des établissements de la compagnie « Les produits chimiques Expro inc. » notamment:

a) déterminer les causes des événements qui ont affecté ou qui étaient de nature à affecter la santé ou la sécurité des travailleurs et qui sont survenus depuis 1977 aux établissements de la compagnie « Les produits chimiques Expro inc. » situés dans la municipalité de St-Thimothée, district de Beauharnois, ces établissements ayant également été exploités par d'autres personnes au cours de cette période;

b) enquêter sur les circonstances de ces événements et sur les conditions qui les ont précédés;

c) faire rapport et, s'il y a lieu, faire des recommandations sur les mesures à prendre pour éviter la répétition de tels événements notamment sur le plan de la prévention des accidents ou des maladies professionnelles sur ces établissements;

d) faire rapport sur toutes questions visant à assurer la santé et la sécurité des travailleurs de ces établissements.

ATTENDU QUE l'enquête de la Commission n'est pas un procès, qu'il n'y a devant elle ni accusateur, ni accusé, ni demandeur, ni défendeur et qu'il y a lieu d'adopter certaines règles de pratique et de procédure, afin d'assurer la bonne marche des travaux de la Commission tout en assurant la protection des droits individuels principalement dans le respect des droits fondamentaux relatifs à la réputation des personnes appelées à témoigner ou impliquées.

EN CONSÉQUENCE, la Commission adopte les règles de pratique et de procédure suivantes:

1- Les bureaux de la Commission sont situés à Montréal au numéro 255 est rue Crémazie, suite 227.

2- La Commission tiendra des audiences publiques à Valleyfield, au Palais de Justice, ou à tout autre endroit déterminé par la Commission au besoin.

3- Les audiences publiques de la Commission se dérouleront aux heures, dates et lieux mentionnés dans les avis publics ou autres avis de convocation.
Les avis de convocation seront donnés dans un délai raisonnable pour permettre aux témoins et intervenants d'y donner suite.

4- Conformément à l'article 5 de la Loi sur les commissions d'enquête (L.R.Q. c. C.37, art. 5), la date et le lieu de la première audience publique seront annoncés d'avance par avis dans deux journaux français et deux journaux anglais publiés dans les régions de Montréal et Valleyfield.

5- La photographie, la cinématographie, la télévision et la radio par les médias d'information et les parties intéressées sont permises, aux conditions fixées par la Commission, en autant qu'elles n'entravent pas la bonne marche des travaux de la Commission, et sous réserve de la protection des droits individuels des témoins et de la réputation des personnes.

6- La Commission peut tenir des audiences privées lorsqu'elle le juge nécessaire, principalement lorsqu'il s'agit d'assurer la protection des individus ou la réputation des personnes appelées à témoigner ou impliquées dans un témoignage.

7- Toute personne appelée à comparaître devant la Commission, en audience publique ou privée, a le droit d'être assistée de son avocat.

8- Lors des séances privées, outre les personnes autorisées par la Commission, seul le témoin est présent, accompagné de son avocat s'il désire exercer ce droit.

9- Un témoin ou son avocat peut prendre connaissance de sa déposition et des documents qu'il a produits en audiences privées.

10- Nulle autre personne ne peut prendre connaissance des dépositions recueillies et des documents produits en audiences privées sans l'autorisation de la Commission et aux conditions qu'elle fixe.

11- Tout témoin est appelé par la Commission et est interrogé par le procureur de celle-ci.

Le procureur du témoin peut ensuite l'interroger sur les faits révélés par l'interrogatoire, s'il y a lieu, pour rapporter des faits nouveaux ou donner des explications additionnelles pour la compréhension du témoignage du témoin.

À la suite de cet interrogatoire, le procureur de la Commission peut poser les questions qu'il croit utiles.

Un membre de la Commission peut poser toutes les questions qu'il croit utiles pour les fins de l'enquête.

Le président de la Commission peut aussi autoriser le représentant ou procureur d'une partie intervenante à poser des questions à un témoin, s'il est démontré à la Commission que cet interrogatoire est fait dans le but d'apporter des explications nécessaires ou utiles à la compréhension de son témoignage.

12- Toute personne physique ou morale, toute association ou corporation professionnelle, tout groupement de personnes, syndicat ou corps public qui désire apporter un fait de nature à lui rendre justice ou à éclairer la Commission, sur une matière relevant de son enquête, peut demander à celle-ci l'autorisation de se faire entendre ou de faire entendre d'autres personnes. Cette demande peut être faite verbalement à l'audience ou être adressée par écrit au Secrétaire de la Commission et doit indiquer les raisons pour lesquelles l'autorisation devrait être accordée, ainsi que les nom(s), prénom(s) et adresse(s) de la personne ou des personnes qui devraient être entendues et les faits sur lesquels elles devraient être entendues. La Commission peut accepter cette demande en tout ou en partie selon les modalités qu'elle détermine ou la refuser.

13- Toute personne peut témoigner en français ou en anglais devant la Commission.

14- Toute personne qui désire se prévaloir des services d'un interprète doit en aviser le Secrétaire de la Commission dans un délai raisonnable avant la date fixée pour son audition en indiquant la langue dans laquelle elle désire témoigner.

15- Exceptionnellement, la Commission peut fournir à ses frais les services d'un interprète à une personne dont la connaissance de la langue française et anglaise est insuffisante pour rendre témoignage.

16- Lors des audiences, le président de la Commission décide de toutes les mesures nécessaires pour assurer la bonne marche des travaux de la Commission. Il décide aussi de toutes questions relatives à la procédure durant les auditions publiques et privées de la Commission.

17- Lors des audiences, la Commission fait prendre les dépositions des témoins par sténographie ou par tout autre moyen qu'elle juge approprié.

18- Toute personne désireuse de prendre connaissance des pièces ou documents produits ou des dépositions recueillies devant la Commission doit en faire la demande au Secrétaire de la Commission. La Commission peut accorder cette autorisation selon les modalités qu'elle détermine. La personne ainsi autorisée doit se présenter au bureau de la Commission un jour juridique et pendant les heures de bureau.

19- Toute personne appelée à témoigner devant la Commission, en audience publique ou privée, a droit à des frais raisonnables de déplacement sur présentation des pièces justificatives approuvées par le Secrétaire de la Commission et à une taxe déterminée par la Loi pour chaque jour où elle sera requise de se présenter devant la Commission, qu'elle témoigne ou non.

20- Les présentes règles peuvent être modifiées à l'occasion sans avis préalable.

ADOPTÉES PAR LA COMMISSION
À MONTRÉAL

CE 20 AVRIL 1983

René Beaudry, j.c.p.,
Président de la Commission

Annexe 2

Déclaration d'ouverture

Déclaration d'ouverture lue le 26 avril 1983

La Commission d'enquête sur les conditions de santé et de sécurité des établissements de la compagnie « Les produits chimiques Expro inc. » procède à compter d'aujourd'hui aux auditions publiques sur les principaux événements qui sont reliés aux problèmes de la santé et de la sécurité du travail, depuis 1977, à l'entreprise désignée aujourd'hui sous le vocable « Expro ».

La Loi sur les Commissions d'enquête (L.R.Q., chapitre C-37) décrète que les commissaires, afin de découvrir la vérité, peuvent s'enquérir des choses dont l'investigation leur a été déférée, par tous les moyens légaux qu'ils jugent les meilleurs. Les visites des lieux, l'interrogatoire de témoins, la production de documents et l'expertise constituent les principaux moyens à la disposition de la Commission.

L'enquête étant publique, pour favoriser la tenue des audiences, nous avons adopté des règles de pratique et de procédure simples et flexibles dans le but de maintenir un décorum approprié, d'assurer le respect des règles de justice naturelle et de protéger l'honneur et l'intégrité des personnes. Ces règles de pratique et de procédure ont été distribuées aux intervenants connus de la Commission. Elles sont à la disposition de tout autre intervenant.

Je tiens à mentionner qu'une enquête comme celle-ci n'est pas un procès; il n'y a donc devant nous ni accusé ni accusateur, ni demandeur ni défendeur. Il ne s'agit pas non plus d'une enquête de la nature de celle que tient un coroner, dont le but est de constater s'il y a ou non responsabilité criminelle. Au contraire, l'enquête porte sur une matière se rattachant à la santé publique et au bien-être de la population.

J'invite les intervenants à tenir compte de cette mise au point, puisque la Commission entend accomplir sa tâche selon les termes du mandat qui lui est confié par le décret gouvernemental.

Même si l'enquête est publique, de manière générale, la Commission pourra procéder à l'audition de témoins en audiences privées, si la protection de témoins ou de personnes qui pourraient être lésés par des révélations le requiert.

Le rôle de la Commission étant de recueillir des faits, de les analyser, d'en faire rapport et de faire des recommandations, les procureurs et représentants des intervenants doivent considérer que leur tâche consiste à seconder les commissaires dans la recherche de la vérité. Ils le feront, nous l'espérons, dans le plus grand souci d'objectivité. À cette fin, la Commission compte sur l'appui de tous pour que cette enquête soit tenue dans la dignité et la sérénité requises en pareilles circonstances.

La Commission autorise la radio-diffusion, la télévision et le reportage de cette enquête dans le but bien précis de procurer aux travailleurs concernés et au public, en particulier évidemment aux citoyens de la région de Valleyfield, de leur procurer dis-je, une information adéquate, réaliste et objective des événements qui sont reliés aux problèmes de santé et de sécurité du travail dans cette entreprise d'envergure et de grande

importance économique à leurs yeux. Cependant, je tiens à souligner que l'on rencontre en certains milieux préoccupés par le respect des droits et privilèges de la personne humaine, tels que le Barreau et la Ligue des Droits et Libertés, une réticence fondée sur des expériences vécues et sur des appréhensions légitimes, à l'égard du reportage des audiences publiques des commissions d'enquête.

On se réfère en particulier à deux facteurs de dangers qu'il y a lieu d'éviter « à la source ». En premier lieu, il y a le reportage de parties de témoignages hors contexte dont l'effet est de produire la sensation ou le scandale. Puis, le reportage de témoignage qui est susceptible de porter atteinte à la réputation d'une autre personne, surtout si elle n'est pas présente à l'audition et ne peut offrir séance tenante sa propre version des faits.

J'invite donc avec insistance les spécialistes de l'information à éviter ces écueils et à circonscrire leur reportage à l'exposé objectif des faits relatés par les témoins et les intervenants.

Les commissaires sont assistés de monsieur André L'Heureux, secrétaire de la Commission, par Me Conrad Chapdelaine, procureur de la Commission et par Me Jean-Charles Hamelin, assistant procureur et recherchiste en matière juridique. Monsieur Pierre Vilaire agit comme sténographe officiel.

René Beaudry, j.c.p.,
Président de la Commission
d'enquête Expro

Annexe 3

Fiches toxicologiques

Plan des fiches toxicologiques

Nom de la substance
Synonymes
Propriétés physico-chimiques
Toxicocinétique
- a) Absorption
- b) Distribution
- c) Métabolisme
- d) Excrétion

Toxicité
- a) Généralités
- b) Toxicité chez l'humain
  1. Aiguë
  2. Chronique
- c) Toxicité chez l'animal
- d) Mutagénicité
- e) Cancérigénicité
- f) Tératogénicité

Normes ambiantes
- a) En vigueur (Québec et ailleurs)
- b) Proposées par divers organismes

Premiers secours et premiers soins
Surveillance médicale
Points importants
Bibliographie

Définition des termes utilisés pour les fiches toxicologiques

Toxicocinétique

La toxicocinétique ou la pharmacocinétique peut se définir comme l'étude du devenir d'un composé chimique lorsqu'il interagit avec l'organisme humain, depuis son contact et absorption dans l'organisme jusqu'à son excrétion.

On subdivise généralement cette étude en quatre phases, soient les voies d'absorption du composé dans l'organisme (pulmonaire, cutanée et digestive), sa distribution dans les divers compartiments et systèmes de l'organisme, les voies de transformation ou métaboliques (le plus fréquemment au niveau du foie) en sous-composés (aussi nommés métabolites) et enfin les voies d'excrétion hors de l'organisme (urinaire, pulmonaire, cutanée et digestive).

Relation dose-effet(*)

Relation entre l'exposition et la gravité, *chez un individu*, d'un effet sur la santé, qualitativement défini.

Relation dose-réponse(*)

Relation entre l'exposition et le nombre relatif (pourcentage) d'individus d'un *groupe*, chez lesquels un effet qualitativement défini atteint une gravité définie quantitativement.

Toxicité aiguë

Tout effet toxique caractérisé par une apparition brusque et une évolution rapide, résultant d'une exposition à court terme, voire d'une seule exposition à l'agent causal. Ces effets peuvent être mineurs ou majeurs, allant jusqu'à causer la mort.

Toxicité chronique

Tout effet toxique caractérisé par une apparition et une évolution lentes, résultant généralement d'une exposition à long terme à l'agent causal. Ces effets peuvent être mineurs ou majeurs, allant jusqu'à causer la mort.

Toxicité subaiguë

Tout effet toxique dont les caractères sont intermédiaires entre l'état aigu et chronique. Ces effets peuvent être mineurs ou majeurs, allant jusqu'à causer la mort.

Mutagénicité

Caractère de ce qui est mutagène. Un mutagène est un agent capable de provoquer une mutation, i.e. un changement dans le matériel génétique d'une cellule.

Plusieurs tests existent pour déterminer si une substance est mutagène ou non. Ces tests sont habituellement faits sur des bactéries, des levures, des drosophila (mouches), des fungi, etc. Ces tests ne sont pas dispendieux et sont faciles à réaliser. Un test souvent fait est le test de Ames qui utilise une bactérie, la Salmonella typhimurium.

L'importance de déterminer la mutagénicité chez de tels organismes est d'aider à prédire si une substance peut causer le cancer ou des malformations congénitales chez les animaux ou les humains.

Cancérigénicité

Caractère de ce qui est cancérigène. Une substance cancérigène est un agent capable de causer le cancer chez les animaux ou les humains. Afin d'établir si une substance est cancérigène, on procède à des études expérimentales chez les animaux (habituellement des souris ou des rats), à qui on administre la substance à des doses adéquates, durant une certaine période de temps. Les animaux sont par la suite examinés pour la présence de cancer.

Une substance peut être cancérigène chez une espèce animale et ne pas l'être chez les autres espèces, ou chez l'humain. De même, une substance peut se révéler cancérigène chez l'humain et ne pas l'être chez les animaux. Toutefois, lorsqu'un composé est trouvé cancérigène chez une espèce animale, il est considéré comme potentiellement cancérigène chez l'humain. L'exposition à une telle substance devrait être réduite au minimum.

Chez l'humain, une substance peut être démontrée cancérigène par l'intermédiaire d'études épidémiologiques.

(*) O.M.S.: Détection précoce des altérations de la santé résultant de l'exposition professionnelle — pp. 30-33.

Tératogénicité

Caractère de ce qui est tératogène. Un agent tératogène est un agent qui agit durant la grossesse pour produire une malformation congénitale physique ou fonctionnelle chez le nouveau-né. Pour évaluer si une substance est tératogène, la substance est administrée à des femelles (animaux) enceintes (eg. souris, rates) et la progéniture est examinée, afin de détecter la présence de malformations congénitales.

Normes ambiantes

a) C. moy.: Concentration moyenne
Concentration moyenne pondérée pour une journée de travail de huit heures et une semaine de travail de quarante heures. La majorité des travailleurs exposés à cette concentration de façon répétitive, jour après jour, ne devrait pas manifester de réaction adverse.

Terme anglais: « treshold limit value » (TLV)
Autre terme: valeur limite d'exposition (VLE)

b) C. max.: Concentration maximale
Concentration moyenne pondérée pour une période de quinze minutes qui ne devrait pas être excédée en aucun temps durant une journée de travail, même si la concentration moyenne calculée pour une période de huit heures est inférieure à la concentration moyenne permise (C. moy.). Une exposition à la C. max. ne devrait pas durer plus de quinze minutes ni être répétée plus de quatre fois par jour. Il devrait y avoir au moins soixante minutes d'intervalle entre chaque exposition à la C. max. Une période moyenne autre que quinze minutes peut être recommandée lorsque justifiée par les effets biologiques observés.

Terme anglais: « short term exposure limit » (STEL)

c) P.: Plafond
Concentration à ne jamais dépasser pour quelque durée de temps que ce soit.

Terme anglais: « ceiling » (C)

d) HDVS: Hautement dangereux à la vie et à la santé
Concentration maximale présente dans un bâtiment, duquel un individu peut s'échapper, en dedans de trente minutes, sans risquer aucun effet sur la santé qui soit irréversible ou aucun symptôme pouvant empêcher la fuite. Cette concentration est définie dans le but de sélectionner un respirateur approprié.

Terme anglais: « immediately dangerous to life and health » (IDLH)

PPM
L'abréviation « ppm » signifie partie par million. Cette unité de mesure est fréquemment utilisée pour désigner des concentrations de gaz ou de vapeur dans l'air. Par exemple, un ppm de gaz dans l'air équivaut à 1 ml de gaz / m^3 d'air.

Premiers secours et premiers soins

a) Premiers secours
Mesures d'urgence devant être effectuées immédiatement et sur les lieux même d'un accident ou d'un incident, par un personnel non médical (ayant de préférence reçu une formation de base en secourisme) et visant principalement à maintenir la victime dans un état permettant son transport vers une ressource médicale.

b) Premiers soins
Mesures d'urgence devant être effectuées par un personnel médical dès l'arrivée d'un sujet victime d'un accident ou d'un incident aigu (intoxication aiguë ou surexposition aiguë, avec ou sans signe manifeste d'intoxication).

Surveillance médicale
Ensemble de mesures médicales, complémentaires à la surveillance environnementale, visant à prévenir l'apparition d'altérations de l'état de santé des travailleurs, par l'usage de méthodes de détection précoce.

Cette forme de prévention est dite de type secondaire puisqu'elle utilise le principe du dépistage précoce des problèmes de santé (alors que la prévention primaire vise l'élimination totale du danger à la source et que la prévention tertiaire vise le traitement, la réhabilitation et l'intégration, suite à un dommage causé).

La surveillance médicale peut être subdivisée en deux chapitres:

1. Les méthodes visant à mesurer le degré d'absorption d'un composé dans l'organisme et le risque encouru par le travailleur, par le dosage du composé lui-même ou de ses métabolites, dans les milieux biologiques (i.e. sang, urine, air expiré).

   Ces méthodes sont généralement incluses sous le terme « monitoring biologique ». Elles sont généralement considérées comme les plus sensibles, mais elles ne sont disponibles que pour une minorité de composés chimiques.
2. Les méthodes visant à évaluer l'effet produit sur l'organisme, par la détection d'altérations biologiques réversibles, et/ou n'ayant pas produit des manifestations apparentes, et/ou n'ayant pas produit d'impact fonctionnel significatif.

Table des matières

Plan des fiches toxicologiques 253

Définition des termes utilisés pour les fiches toxicologiques 253

Toxicocinétique 253
Relation dose-effet 254
Relation dose-réponse 254
Toxicité aiguë 254
Toxicité chronique 254
Toxicité subaiguë 254
Mutagénicité 254
Cancérigénicité 254
Tératogénicité 255
Normes ambiantes 255
a) Concentration moyenne 255
b) Concentration maximale 255
c) Plafond 255
d) HDVS: Hautement dangereux à la vie et à la santé 255
PPM 255

Premiers secours et premiers soins 255
a) Premiers secours 255
b) Premiers soins 255
Surveillance médicale 256

A. Solvants 269

1. Neurotoxité des solvants 269

a) Généralités 269
b) Toxicocinétique 269
1) Absorption 269
– Pulmonaire 269
– Cutanée 270
2) Distribution 270
3) Bio-transformation 271
4) Excrétion 271
c) Effets neurotoxiques 271
1) Physiopathologie des lésions nerveuses 271
2) Effets aigus 272
– Atteinte des fonctions psychologiques 272
3) Effets chroniques 273
– Syndrome psycho-organique 273
• Symptômes neuropsychiatriques 273
• Modifications de tests neuro-psychométriques 273
• Modifications de tests électrophysiologiques 274
d) Mesures de surveillance médicale des effets neuro-toxiques 274
1) Mesures de dépistage 274
2) Mesures diagnostiques 275

CONCLUSION 275

BIBLIOGRAPHIE 275

2. Diéthyl éther 276

a) Synonymes 276

b) Propriétés physico-chimiques 276
1) Formule chimique 276
2) Propriétés 276
3) Données techniques 276
c) Toxicocinétique 276
1) Absorption 276
2) Distribution 277
3) Métabolisme 277
4) Excrétion 277
d) Toxicité chez l'humain 277
1) Généralités 277
2) Utilisation comme agent anesthésique en salle d'opération 277
– Relation dose-réponse 278
– Périodes d'induction et de récupération 278
– Phases de l'anesthésie 278
– Actions pharmacologiques de l'éther et réactions observées lors de l'anesthésie 278
– Effets néfastes et séquelles de l'anesthésie 279
– Avantages et inconvénients 279
3) Toxicité aiguë 279
– Effets sur le système nerveux central (SNC) 279
– Irritation des yeux, des muqueuses et de la peau 280
– Autres effets aigus 280
4) Toxicité chronique 280
– Note concernant la toxicité chronique 280
– Atteinte du système nerveux central 280
– Autres effets chroniques 281
5) Mutagénicité 281
6) Cancérigénicité 281
7) Tératogénicité 281
e) Normes ambiantes 281
f) Premiers secours 282
g) Surveillance médicale 282
1) Monitoring biologique 282
– Dosages biologiques de l'éther 282
– Métabolites de l'éther 282
2) Surveillance des effets cliniques et sub-cliniques 282
– Signes d'atteinte précoce du SNC 282
– Autres signes d'atteinte précoce 283
– Surveillance clinique 283
POINTS IMPORTANTS 283
BIBLIOGRAPHIE 283

3. Acétone 284

a) Synonymes 284
b) Propriétés physico-chimiques 284
c) Toxicocinétique 285
1) Voies d'exposition et d'absorption 285
2) Distribution 285
3) Métabolisme 285
4) Élimination 285
d) Toxicité chez l'humain 285

1) Généralités 285
2) Toxicité aiguë 285
– Effets systémiques aigus 285
– Irritation des yeux et des muqueuses 286
– Effets cutanés aigus 286
3) Toxicité chronique 287
e) Toxicité chez l'animal 287
1) Toxicité chronique 287
f) Mutagénicité 287
g) Cancérigénicité 287
h) Tératogénicité 287
i) Normes ambiantes 287
j) Premiers secours et premiers soins 287
1) Contact avec les yeux 287
2) Contact avec la peau 288
3) Inhalation 288
4) Ingestion 288
k) Surveillance médicale 288
BIBLIOGRAPHIE 288

4. Cyclohexanone 289
a) Synonymes 289
b) Propriétés physico-chimiques 289
1) Description 289
2) Formule chimique 289
c) Toxicocinétique 289
1) Voies d'exposition et d'absorption 289
2) Métabolisme 289
3) Excrétion 289
d) Toxicité chez l'humain 289
1) Généralités 289
2) Toxicité aiguë 289
3) Toxicité chronique 290
e) Toxicité chez l'animal 290
1) Toxicité aiguë 290
2) Toxicité chronique 290
f) Mutagénicité 290
g) Cancérigénicité 290
h) Tératogénicité 290
i) Normes ambiantes 290
j) Premiers secours 290
k) Surveillance médicale 290
BIBLIOGRAPHIE 291

B. Dérivés nitrés et aminés 291

1. Nitroglycérine (NG) 291
a) Synonymes 291
b) Propriétés physico-chimiques 291

c) Toxicocinétique 292
d) Toxicité chez l'humain 292
1) Généralités 292
2) Toxicité aiguë 293
– Signes et symptômes d'une exposition aiguë 293
– Phénomène de tolérance 293
– Relation dose-réponse 293
– Autres phénomènes aigus 294
3) Toxicité chronique 294
– Angine de poitrine et mort subite 294
– Études épidémiologiques 294
– Autres phénomènes chroniques 295
4) Mutagénicité 295
5) Cancérigénicité 295
6) Tératogénicité 296
e) Normes ambiantes 296
f) Premiers secours et premiers soins 296
g) Surveillance médicale 296
h) Mesures hygiéniques 297
BIBLIOGRAPHIE 298

2. Dinitrotoluène (DNT) 299
a) Synonymes 299
b) Propriétés physico-chimiques 299
1) Description 299
2) Classe 299
3) Formule chimique 299
c) Toxicocinétique 299
1) Voies d'exposition et d'absorption 299
2) Métabolisme et excrétion 299
3) Interaction 299
d) Toxicité 299
1) Généralités 299
2) Toxicité chez l'humain 299
– Toxicité aiguë 299
– Toxicité chronique 300
3) Toxicité chez l'animal 300
– Toxicité au niveau sanguin 300
– Toxicité au niveau hépatique 300
4) Mutagénicité 300
5) Cancérigénicité 300
6) Tératogénicité 301
e) Normes ambiantes 301
f) Premiers secours et premiers soins 301
g) Surveillance médicale 301
1) Dosage de la methémoglobinémie 302
2) Métabolites du DNT 302
3) Dosage du DNT urinaire 302
4) Surveillance des effets hépatiques 302
BIBLIOGRAPHIE 302

3. Trinitrotoluène (TNT)

a) Synonymes 304
b) Propriétés physico-chimiques 304
c) Toxicocinétique 304
1) Absorption 304
2) Métabolisme et excrétion 304
d) Toxicité: généralités 304
e) Toxicité chez l'humain 305
1) Toxicité cutanée 305
– Dermatite de contact ou primaire 305
– Dermatite de sensibilisation 305
– Coloration jaunâtre de la peau 305
2) Toxicité hépatique 305
– Rapports cliniques 305
– Études mettant en évidence des effets sub-cliniques plus précoces ... 305
3) Toxicité hématopoiétique 305
– Anémie aplastique et pancytopénie 305
– Hémolyse et anémie hémolytique 306
– Methémoglobinémie 306
4) Autres effets rapportés 306
– Système nerveux 306
– Yeux 306
– Système gastro-intestinal 306
– Sur le rein 306
– Autres effets rapportés, sans précision 306
f) Toxicité chez l'animal 306
g) Mutagénicité 307
h) Cancérigénicité 307
i) Tératogénicité 307
j) Normes ambiantes 307
k) Mesures d'hygiène et de protection personnelle 307
l) Surveillance médicale 307
POINTS IMPORTANTS 308
BIBLIOGRAPHIE 309

4. Hexaméthylènetétramine (HEXA) 310

a) Synonymes 310
b) Propriétés physico-chimiques 310
1) Description 310
2) Famille 310
3) Usage 310
4) Formule chimique 310
c) Toxicocinétique 311
1) Voies d'exposition et d'absorption 311
2) Métabolisme 311
3) Excrétion 311
d) Toxicité: généralités 311
e) Toxicité chez l'humain 311

1) Toxicité aiguë 311
- Peau 311
- Gastro-intestinale 312
2) Toxicité subaiguë à chronique 312
- Sensibilisation 312
- Urinaire 312
f) Toxicité chez l'animal 312
g) Mutagénicité 312
h) Cancérigénicité 312
i) Tératogénicité 312
j) Normes ambiantes 312
k) Premiers secours 313
l) Surveillance médicale 313
POINTS IMPORTANTS 313
BIBLIOGRAPHIE 313

5. Cyclotriméthylènetrinitramine (RDX) 314

a) Synonymes 314
b) Propriétés physico-chimiques 314
1) Famille 314
2) Description 314
3) Solubilité 314
4) Formule chimique 314
c) Toxicocinétique 314
1) Voies d'exposition et d'absorption 314
2) Distribution 314
3) Métabolisme 314
4) Excrétion 315
d) Toxicité: généralités 315
e) Toxicité chez l'humain 315
1) Toxicité sur le système nerveux central 315
2) Effets cutanés 316
3) Effets chroniques 316
f) Toxicité chez l'animal 316
g) Mutagénicité 317
h) Cancérigénicité 317
i) Tératogénicité 317
j) Normes ambiantes 317
k) Premiers secours et premiers soins 317
l) Surveillance médicale 317
1) Dosage de la methémoglobine 317
2) Surveillance des effets systémiques 317
3) Surveillance des effets cutanés 317
4) Métabolites 318
5) Dosage du RDX en milieux biologiques 318
6) Surveillance des effets sur le SNC 318
POINTS IMPORTANTS 318
BIBLIOGRAPHIE 319

6. Diphénylamine (DPA) 319

a) Synonymes 319

b) Propriétés physico-chimiques 319
1) Formule chimique 319
2) Classe 319
3) Usage à Expro 319
4) État 319
5) Solubilité 319
6) Décomposition 319

c) Toxicocinétique 320

d) Toxicité 320
1) Généralités 320
2) Toxicité chez l'humain 320
3) Toxicité chez l'animal 320
4) Mutagénicité et cancérigénicité 320
5) Tératogénicité 320

e) Normes ambiantes 320

f) Premiers secours et premiers soins 320

g) Surveillance médicale 320

BIBLIOGRAPHIE 321

7. Methémoglobinémie 321

a) Définition 321

b) Chimie de la methémoglobine 321

c) Propriétés 321

d) Methémoglobinémie chez le sujet normal 321

e) Methémoglobinémie héréditaire 322

f) Methémoglobinémie toxique 322

g) Manifestations cliniques et relations entre le degré de methémoglobinémie et la symptomatologie 324
– Cyanose 324
– Autres symptômes caractéristiques de l'hypoxémie 324

h) Phénomènes concomitants 324

i) Traitement 326

j) Programme de surveillance médico-environnementale 326
1) Indicateur de la dose totale d'exposition 326
2) Indicateur précoce d'altération à la santé 327

k) Méthode d'analyse 327

l) Valeurs normales 327

POINTS IMPORTANTS 328

BIBLIOGRAPHIE 329

C. Oxydes d'azote (vapeurs nitreuses) 329

1. Synonymes 329
a) Nom générique 329
b) Gaz spécifiques 329

2. Propriétés physico-chimiques 330
a) Généralités 330
b) Propriétés spécifiques du NO et du NO_2 331
1) NO 331
2) NO_2 331

3. Sources d'émission 331

4. Toxicocinétique 331
a) Voie d'absorption 331
b) Mécanismes des lésions au niveau pulmonaire 331
c) Mécanismes d'action au niveau systémique 332

5. Toxicité: généralités 332

6. Toxicité chez l'humain 333
a) Toxicité aiguë 333
1) Décès immédiat 333
2) Symptômes immédiats d'irritation des muqueuses et des voies respiratoires supérieures (VRS) 333
3) Oedème aigu pulmonaire (OAP) 334
4) Autres manifestations pulmonaires aiguës 335
5) Methémoglobinémie 335
6) Altérations de la fonction respiratoire 335
b) Toxicité subaiguë 335
1) Bronchiolite fibrosante oblitérante (BFO) 335
c) Toxicité chronique 336
1) Séquelles des phénomènes toxiques aigus et subaigus 336
2) Exposition prolongée (plusieurs années) à des niveaux inférieurs à ceux produisant des effets aigus et subaigus 336

7. Toxicité chez l'animal 336

8. Mutagénicité 337

9. Cancérigénicité 337

10. Tératogénicité 337

11. Normes ambiantes 337
a) NO_2 337
b) NO 337
c) Autres normes: NO_2 337

12. Mesures d'urgence, premiers secours et premiers soins 337
a) Mesures de détection en cas de concentration élevée 337
1) Mesures subjectives (ou perceptuelles) 337
– Odeur 337
– Couleur 338
– Irritation des yeux et des muqueuses des voies respiratoires supérieures (VRS) 338
2) Mesures objectives 338
b) Premiers secours 338
c) Premiers soins 339
1) Service de santé local 339
2) Traitement hospitalier des affections aiguës et subaiguës 340
– OAP 340
– BFO 341

13. Surveillance médicale 341

BIBLIOGRAPHIE 341

D. Acides 342

1. Acide nitrique 342

a) Synonymes 342
b) Propriétés physico-chimiques 342
c) Toxicocinétique 343
d) Toxicité chez l'humain 343
1) Généralités 343
2) Toxicité aiguë 343
– Contact avec la peau 343
– Contact avec les yeux 344
– Inhalation des vapeurs 344
3) Toxicité chronique 345
– Coloration de la peau 345
– Érosions dentaires 345
– Effets chroniques sur le système respiratoire 345
4) Mutagénicité 345
5) Cancérigénicité 345
6) Tératogénicité 345
e) Normes ambiantes 345
f) Premiers secours et premiers soins 346
g) Surveillance médicale 346
BIBLIOGRAPHIE 346

2. Acide sulfurique 347

a) Synonymes 347
b) Propriétés physico-chimiques 347
1) Formule chimique 347
2) Description 347
c) Toxicocinétique 347
1) Voies d'exposition 347
2) Absorption 347
3) Métabolisme et excrétion 347
d) Toxicité chez l'humain 348
1) Acide sulfurique en aérosol 348
– Effet corrosif sur les dents 348
– Effets irritants sur les yeux, les muqueuses des voies respiratoires et la peau 348
2) Acide sulfurique liquide 350
3) Facteurs influençant l'intensité des effets toxiques 350
e) Toxicité chez l'animal 351
f) Mutagénicité 351
g) Cancérigénicité 351
h) Tératogénicité 351
i) Normes ambiantes 351
j) Premiers secours et premiers soins 351
– Contact avec les yeux 351
– Contact avec la peau 351

– Inhalation 352
– Ingestion 352
k) Surveillance médicale 352
POINTS IMPORTANTS 352
BIBLIOGRAPHIE 353

3. Acide acétique 354

a) Synonymes 354
b) Propriétés physico-chimiques 354
1) Description 354
2) Formule chimique 354
c) Toxicocinétique 354
1) Voies d'exposition et d'absorption 354
2) Distribution 354
3) Métabolisme 354
d) Toxicité chez l'humain 355
1) Toxicité aiguë 355
– Vapeurs d'acide acétique 355
– Acide acétique liquide 355
2) Toxicité chronique 355
3) Mutagénicité 356
4) Cancérigénicité 356
5) Tératogénicité 356
e) Normes ambiantes 356
f) Premiers secours 356
1) Contact avec les yeux 356
2) Contact avec la peau 356
3) Inhalation 356
4) Ingestion orale 356
g) Surveillance médicale 356
POINTS IMPORTANTS 357
BIBLIOGRAPHIE 357

E. Autres composés

1. Anhydride acétique 358

a) Synonymes 358
b) Propriétés physico-chimiques 358
1) Description 358
2) Formule chimique 358
c) Toxicocinétique 358
1) Voies d'exposition et d'absorption 358
d) Toxicité: généralités 358
e) Toxicité chez l'humain 358
1) Toxicité aiguë 358
2) Toxicité chronique 359
f) Toxicité chez l'animal 359
1) Toxicité chronique 359

g) Mutagénicité 359
h) Cancérigénicité 359
i) Tératogénicité 359
j) Normes ambiantes 359
k) Premiers secours 359
1) Contact avec la peau 359
2) Contact avec les yeux 360
l) Surveillance médicale 360
POINTS IMPORTANTS 360
BIBLIOGRAPHIE 360

2. Graphite naturel 361

a) Synonymes 361
b) Propriétés physico-chimiques 361
1) Description 361
2) Formule chimique 361
c) Toxicocinétique 361
1) Absorption 361
d) Toxicité chronique chez l'humain 361
e) Normes ambiantes 362
f) Surveillance médicale 362
BIBLIOGRAPHIE 362

3. Phtalate de dibutyle 362

a) Synonymes 362
b) Propriétés physico-chimiques 362
1) Formule 362
2) Description 362
c) Toxicocinétique 362
1) Voies d'absorption 362
d) Toxicité aiguë 362
1) Humains 362
2) Animaux 363
e) Toxicité chronique 363
f) Mutagénicité 363
g) Cancérigénicité 363
h) Tératogénicité 363
i) Normes ambiantes 363
j) Premiers secours 363
k) Surveillance médicale 363
BIBLIOGRAPHIE 363

Liste des tableaux

Tableau 1 Principales catégories chimiques de solvants 269
Tableau 2 Étapes décrivant le devenir d'un solvant dans l'organisme 270
Tableau 3 Nombre de sujets présentant des perturbations d'au moins une fonction psychologique, en fonction des doses d'absorption (telles que mesurées par des dosages biologiques) et de divers solvants 272
Tableau 4 Résultats d'études scandinaves chez des travailleurs exposés professionnellement à des solvants 273
Tableau 5 Résumé de la toxicité aiguë et chronique résultant de l'exposition à la NG ou au mélange NG:EGDN 295
Tableau 6 Pouvoir methémoglobinémiant des composés aromatiques nitrés et aminés (arylnitrés et arylaminés) 323
Tableau 7 Pouvoir methémoglobinémiant des composés aromatiques nitrés et aminés chez le chat 323
Tableau 8 Résumé des relations entre le degré de metHbie et la symptomatologie 325
Tableau 9 Composés capables d'induire des corps de Heinz 325
Tableau 10 Taux d'oxydation du monoxyde d'azote dans l'air (20% 0_2), à 20° C ... 330
Tableau 11 Réactions chimiques au niveau des alvéoles pulmonaires, en présence d'O_2 et H_2O à T° = 40° C, suite à l'inhalation de NO_X (schéma hypothétique) 332
Tableau 12 Formation de nitrates et nitrites 332

Fiches toxicologiques

A. Les solvants

1. Neurotoxicité des solvants

L'exposition aux solvants organiques présente actuellement un risque potentiel pour la santé de millions de travailleurs à travers le monde. Une enquête suédoise récente a révélé qu'environ 270 mille travailleurs, soit près de 3% de la population suédoise totale, sont exposés quotidiennement aux solvants dans leur milieu de travail et constituent maintenant la clientèle la plus importante des cliniques de médecine du travail. Les intoxications aiguës, les troubles neuro-psychiatriques (syndrome psycho-organique) et les dermatoses sont les problèmes de santé les plus fréquemment diagnostiqués. A cause de la présence des solvants dans la plupart des secteurs de l'activité professionnelle, plusieurs catégories professionnelles sont potentiellement à risque: peintres, poseurs de tapis, menuisiers, opérateurs, travailleurs des garages, imprimeurs, travailleurs des laboratoires, etc.

a) Généralités

Les effets aigus sont déjà connus depuis plusieurs décennies. Grâce aux travaux des scientifiques suédois et finlandais de ces dernières années, les effets chroniques, surtout neurotoxiques, ont été documentés à l'aide de nouvelles méthodes d'investigation et feront l'objet du présent texte, vu l'importance de ce problème révélé lors des audiences publiques d'Expro (épisodes d'intoxication à l'éther).

D'autres effets sur la santé sont possibles (cancérigénicité, tératogénicité, mutagénicité, hépatotoxicité et néphrotoxicité) et seront documentés, s'il y a lieu, ultérieurement pour chacun des solvants d'importance utilisés à Expro (acétone, éther, cyclohexanone et alcool éthylique).

b) Toxicocinétique

Les solvants organiques constituent un ensemble de composés chimiques pouvant répondre à la classification sous-jacente (tableau 1).

Tableau 1 — Principales catégories chimiques de solvants

Catégories	Exemples
1 Hydrocarbures aliphatiques	Méthane, éthane, propane, naphte, kérozène, fuels pour jet...
2 Hydrocarbures aromatiques	Benzène, toluène, xylène, styrène, naphtalène
3 Hydrocarbures halogénés	
- hydrocarbures halogénés aliphatiques	Chlorure de méthyle Chlorure de méthylène Chloroforme Tétrachlorure de carbone Trichloréthylène, Perchloréthylène
- hydrocarbures halogénés cycliques	Monochlorobenzène Dichlorobenzène
4 Alcools	Méthanol, éthanol, alcool isopropylique
5 Glycols	Éthylène glycol
6 Éthers	Éther diéthylique
7 Cétones	Acétone Cyclohexanone

Ils se caractérisent par leur capacité de dissoudre les graisses et de s'évaporer plus ou moins rapidement. Leurs principales voies d'entrée dans l'organisme humain sont le poumon par inhalation et, dans une moindre mesure, la peau par solubilisation des graisses cutanées.

1) Absorption

— *Pulmonaire*

Le poumon offre une très grande surface d'absorption (deux fois la surface d'un court de tennis); les capillaires pulmonaires recouvrant les alvéoles sont en contact presque

direct avec l'air extérieur. Outre la dose d'exposition, définie par le produit de la concentration du toxique dans l'air ambiant (C) par la durée d'exposition (T), plusieurs facteurs régissent *la quantité totale de solvant absorbé* par le poumon pour atteindre la circulation sanguine. Parmi les principaux mentionnons:

- les paramètres de fréquence et de volume respiratoire;
- la perfusion sanguine du poumon;
- l'importance de l'effort physique durant le travail par une augmentation du rythme respiratoire et de la perfusion sanguine pulmonaire;
- les caractéristiques physiques et chimiques des différents solvants, soient leur poids moléculaire, leur degré d'ionisation, leur structure chimique, la solubilité dans le sang et les différents tissus de l'organisme (définie par le coefficient de partage), et la tension de vapeur.

— ***Cutanée***

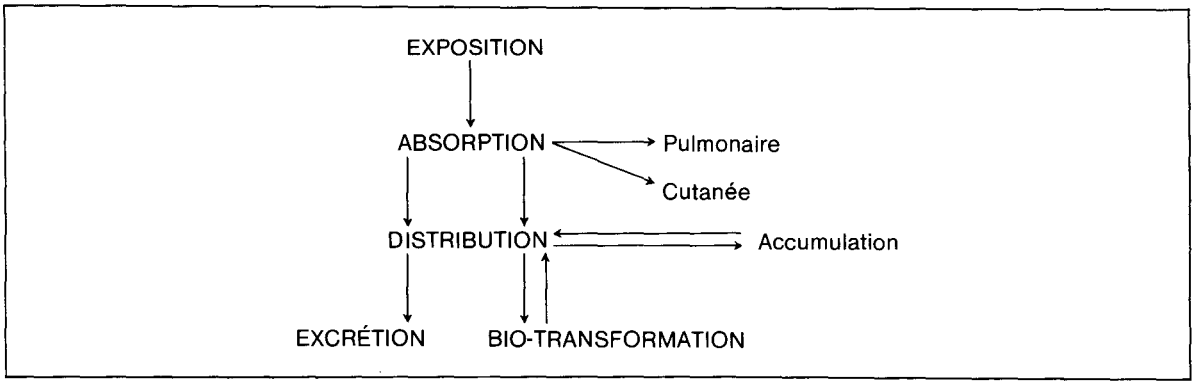
L'absorption cutanée des solvants est habituellement peu importante. Cependant, certaines conditions particulières, telles une lésion importante de la peau, une exposition directe avec le liquide, une exposition cutanée prolongée aux vapeurs, et les propriétés mutagènes et cancérigènes du solvant, peuvent augmenter significativement le degré d'absorption par cette voie ou l'importance de cette voie.

En résumé, retenons les faits que les solvants sont liposolubles dans le sang et le tissu graisseux (coefficient de partage élevé), et que l'importance de l'effort physique durant le travail constitue un facteur non négligeable dans la quantité totale de solvant absorbé. À dose identique d'exposition, l'absorption peut être multipliée par six chez les individus soumis à un travail physique important, par rapport à un travail léger. Elle constitue alors un indicateur partiel de l'exposition totale du travailleur. Un indicateur biologique d'exposition interne, qui tient compte des caractéristiques physiologiques individuelles des travailleurs, est préférable pour évaluer la quantité totale de solvant absorbé dans la circulation sanguine, via les voies pulmonaire et cutanée. Cependant, seuls quelques solvants ont été étudiés en ce sens, dans des conditions expérimentales idéales.

2) Distribution

Après avoir franchi la barrière pulmonaire (et cutanée), le solvant passe dans la circulation sanguine, pour être distribué dans l'organisme et atteindre les organes cibles, renfermant les récepteurs moléculaires plus spécifiquement sensibles à son action délétère. Les phases de distribution et, le cas échéant, d'accumulation coïncident avec le déclenchement des mécanismes de bio-transformation et d'élimination des solvants de l'organisme (tableau 2).

Tableau 2 — Étapes décrivant le devenir d'un solvant dans l'organisme



De façon générale, lorsqu'il y a une exposition chronique, les solvants se distribuent et s'accumulent dans les graisses de l'organisme, surtout au niveau du tissu adipeux et du système nerveux central. Plus l'individu est gras, plus l'accumulation sera importante. Les solvants peu métabolisés par le foie (exemple: diéthyl-éther) auront tendance à

s'accumuler en grande quantité dans ces tissus. Si l'exposition est de courte durée, l'accumulation dans les graisses sera peu importante. Cependant, si l'individu est maigre, les effets sur le système nerveux central se produiront plus rapidement que pour les individus gras.

3) Bio-transformation

Plusieurs solvants subissent des transformations métaboliques, qui en général les transforment en composés (métabolites) hydrosolubles plus polaires, plus aisément excrétés. Ces transformations sont surtout catalysées par des enzymes du reticulum endoplasmique du foie (microsomes hépatiques) et aussi, dans une moindre mesure, des autres tissus (peau, sang, reins, poumons...). Les principales réactions de transformation des solvants sont l'oxydation, la réduction, l'hydrolyse et la conjugaison.

La bio-transformation des solvants réduit leur toxicité. Cependant, nous savons maintenant que cette transformation (surtout celle via le système enzymatique cytochrome P-450) peut conduire à la formation de métabolites dits réactifs; ces derniers sont plus toxiques que la substance mère. Ce phénomène appelé « activation métabolique », explique les effets toxiques de plusieurs solvants (ex.: effets hépatotoxiques du disulphure de carbone et neurotoxiques du n-hexane et du méthyl-n-butylcétone).

Outre la quantité de solvant absorbé, la *bio-transformation* du solvant en un métabolite plus ou moins toxique, constitue une des variables importantes réglant la concentration de l'agresseur qui atteint les récepteurs des divers organes sensibles. Elle est aussi influencée par plusieurs facteurs tels l'âge, le sexe, l'état nutritionnel, les maladies pré-existantes, l'exposition simultanée à d'autres produits chimiques, etc.

La connaissance de la bio-transformation des solvants peut amener le développement d'indicateurs biologiques d'exposition, utilisant le composé primaire ou leurs métabolites sanguins et/ou urinaires. La corrélation entre les niveaux mesurés et les effets potentiels observés sur les divers organes nous permettrait de dépister une exposition importante de façon précoce tout en tenant compte des variations individuelles.

4) Excrétion

L'excrétion des solvants et de leurs métabolites s'effectue d'une part, par la voie pulmonaire sous forme inchangée, et d'autre part, par la voie rénale et digestive (via le système biliaire) après ou sans bio-transformation. Elle est contrôlée par les mêmes facteurs décrits au sujet de l'absorption pulmonaire.

En conclusion, la cinétique métabolique, c'est-à-dire l'ensemble des phénomènes présidant à l'absorption, la distribution, la bio-transformation et l'excrétion des solvants, doit être connue afin d'évaluer le risque pour l'homme résultant de l'exposition à des solvants, surtout au niveau de leur action sur les sites récepteurs des organes cibles, et de prévenir leurs effets biologiques à court et à long terme.

c) Effets neurotoxiques

À cause de leur liposolubilité, les solvants s'accumulent facilement au niveau du système nerveux central (SNC), un tissu riche en graisses. Les effets à ce niveau seront d'autant plus sévères que l'exposition aura été importante, de longue durée et dans des conditions de travail physique exigeantes.

Les effets se manifestent principalement sous forme de symptômes neuropsychiatriques, d'anomalies des fonctions psychologiques et de signes neurologiques, résultant d'une atteinte de la cellule ou de la fibre nerveuse.

1) Physiopathologie des lésions nerveuses

Les solvants altèrent la couche lipidique de la membrane de la cellule nerveuse et de la myéline (gaine recouvrant la fibre conductrice nerveuse), de telle sorte que le transport des substances chimiques à travers celles-ci est perturbé. Une diminution de la conductibilité

nerveuse en résulte et peut être objectivée par des méthodes électrophysiologiques (électro-encéphalogramme, étude des vitesses de conduction au niveau des nerfs périphériques moteurs et sensitifs, mesures électromyographiques).

Il est démontré, par des études expérimentales chez l'animal, que certains solvants, tels le n-hexane et le méthyl-n butylcétone, causent une destruction des cellules et des fibres nerveuses (axone) au niveau du système nerveux central (atrophie cérébrale) et périphérique (neuropathie), par un phénomène de dégénérescence axonale, suite à une exposition chronique.

La libération et la réabsorption rapide de substances chimiques actives, dites neuro-transmetteurs (nor-adrénaline, adrénaline, dopamine, 5-hydroxytryptamine), au niveau des différentes terminaisons nerveuses du cerveau (synapses), sont responsables de la transmission de l'influx nerveux.

Ces mécanismes biochimiques sont essentiels aux fonctions motrices, mentales, et endocriniennes du cerveau, et sont pertubés par l'exposition aux solvants. Un débalancement de ces mécanismes peut amener, par exemple, une diminution de la sécrétion des hormones hypophysaires, responsables de la production des hormones sexuelles par les organes génitaux et modifier en conséquence l'activité sexuelle des individus exposés (baisse de la libido). Il est raisonnable de croire que ce phénomène puisse expliquer les différents symptômes neurologiques causés par les solvants, souvent comparables aux symptômes manifestés chez les sujets atteints de démence d'Alzheimer (démence sénile précoce). N'oublions pas cependant que les infections, les traumatismes crâniens répétés (ex.: boxe), l'alcoolisme, l'abus de substances narcotiques et certains médicaments peuvent aussi causer des dommages cérébraux, semblables à ceux causés par l'exposition chronique aux solvants.

2) Effets aigus

Les effets aigus sont ceux qui surviennent immédiatement après l'exposition ou durant les jours subséquents. Ces effets sont connus depuis longtemps (effets anesthésiques et narcotiques). Les principaux symptômes notés suite à une exposition aiguë sont les suivants: fatigue, troubles de concentration, étourdissements, tremblements, troubles d'équilibre et excitation. Si l'exposition est plus importante, les maux de tête, les nausées et les vomissements surviennent accompagnés de somnolence, de coma et de décès. Les sujets exposés présentent souvent une intolérance à l'alcool, i.e. qu'ils observent des effets marqués après une faible ingestion d'alcool. Retirés de l'exposition, ils se sentent durant quelques heures plus fatigués et peuvent dormir plus longtemps et plus profondément que d'habitude. La quantité totale de solvant absorbé et la cinétique métabolique déterminent le temps que prendront ces symptômes pour disparaître.

Atteinte des fonctions psychologiques

Des études expérimentales, effectuées depuis quelques années en Suède, chez des humains volontairement exposés par inhalation à différents solvants, ont démontré qu'au moins une fonction psychologique était perturbée à des doses souvent plus faibles que les normes (TLV) actuellement en vigueur (tableau 3).

Tableau 3 — Nombre de sujets présentant des perturbations d'au moins une fonction psychologique, en fonction des doses d'absorption (telles que mesurées par des dosages biologiques) et de divers solvants

Solvant	Captation (en mg)	Nombre de sujets
Toluène	170	12
Méthylchloroforme	330	12
Styrène	590	12
Chlorure de méthylène	1 145	14
Trichloroéthylène	420	15

Source: Developments in Occupational Medicine, édité par Carl Zenz, 1980, p. 23 (traduction).

Les principales fonctions psychologiques atteintes sont le temps de réaction et la mémoire immédiate. Ces études ont été confirmées par d'autres chercheurs.

3) Effets chroniques

— ***Syndrome psycho-organique***

Des cas d'atteinte irréversible du système nerveux central et périphérique, suite à une exposition chronique aux solvants, ont été rapportés à plusieurs reprises dans la littérature.

Plus récemment, à l'aide d'études épidémiologiques, des auteurs suédois, (Axelson et al – 1976) et danois (Mikhelsen, 1980, Olsen et Sabroe, 1980) ont rapporté une incidence deux fois plus élevée de troubles neuropsychiatriques chez des travailleurs exposés à des mélanges de solvants[4]. Ces troubles sont caractérisés par divers symptômes, compatibles avec un syndrome psycho-organique, et par des anomalies révélées lors de tests psychométriques et électro-physiologiques.

À partir de documents transmis à la Commission par madame Donna Mergler, du département des Sciences biologiques de l'Université du Québec à Montréal, par le Dr Olav Axelson, du département de médecine occupationnelle de l'Université de Linkoping et le Dr Bengt Knave, de la Commission suédoise de sécurité et santé, les principales caractéristiques de ce syndrome sont brièvement décrites.

• ***Symptômes neuropsychiatriques***

Les symptômes neuropsychiatriques ont été évalués dans le cadre d'études épidémiologiques, à partir de questionnaires développés par Harkonem, Husman et Hane. Les principaux symptômes rapportés correspondent au syndrome psycho-organique ou neurasthénique, décrit pour la première fois en 1969, par Mayer-Bross; ce sont les suivants:

— de la fatigue à la fois physique et mentale, accompagnée d'une perturbation de l'affect, d'une diminution de la mémoire (surtout des événements récents) et des difficultés de concentration,

— une incapacité de prendre des initiatives,

— une irritabilité accrue, comme par exemple au bruit et au jeu des enfants,

— des maux de tête fréquents,

— et enfin, des symptômes associés à une neuropathie périphérique surtout au niveau des membres inférieurs, tels les sensations de picottement et de brûlure.

Ces symptômes sont semblables à ceux retrouvés dans la démence sénile de type Alzheimer.

• ***Modifications de tests neuropsychométriques***

Depuis les dix dernières années, de nombreux chercheurs suédois et finlandais ont mis en évidence des déficiences des fonctions psychologiques chez des travailleurs exposés à des solvants. Les principales fonctions perturbées, telles qu'évaluées par un ensemble de tests neuropsychométriques, sont la perception visuelle cognitive, la vitesse de perception, la mémoire et la coordination doigt-nez.

Le tableau 4 (page 274) résume les résultats de ces recherches.

Il est important de mentionner que les doses d'exposition auxquelles les travailleurs étaient exposés lors de ces recherches, étaient souvent *au-dessous* des normes acceptées dans divers pays. L'atteinte diffère selon les solvants utilisés, la concentration et la durée de l'exposition. Il est possible que l'exposition à un mélange de solvants altère davantage les fonctions nerveuses suggérant un effet synergique. Cependant, de nombreuses difficultés surgissent dans l'interprétation des résultats de ces tests, pour lesquels la performance peut varier selon des variables telles que l'âge, le niveau

Tableau 4 — Résultats d'études scandinaves chez des travailleurs exposés professionnellement à des solvants

Fonction psychologique	Exposition							
	CS_2	Mélange	Mélange	Styrène	Styrène	Styrène	Mélange	Fuel pour jet
Vocabulaire			2			2		
Cognition	2	2				2	1	
Perception visuelle et cognition	1	1	1			2	1	
Vitesse de perception	1	1	1	1	1	1	2	1
Coordination œil/main	1	1	1			1	1	2
Mémoire	1		1			2	1	2
Personnalité	1	2				1		

1 Indique qu'au moins un test de mesure de fonction psychologique présentait des différences ($p < 0,05$) entre les exposés et les non exposés.
2 Indique que la fonction psychologique a été mesurée, mais ne présentait pas de différences significatives.

Traduit de: Current Aspects of Solvents Related Disorders, dans Developments in Occupational Medicine, édité par Carl Zenz, chap. 11, p. 241, (1980) (traduction)

socio-économique, la scolarité, les caractéristiques de l'exposition, la consommation de drogue, d'alcool ou de médicaments et la présence de pathologies cérébrales organiques (ex.: arthérosclérose, tumeur cérébrale...). Pour palier à ce problème, une équipe de psychologues suédois a développé une série de treize tests qui ont été appliqués à une population suédoise de référence[5].

• ***Modifications de tests électrophysiologiques***
Plusieurs chercheurs ont également mis en évidence des altérations irréversibles du système nerveux central et périphérique suite à une exposition chronique à des mélanges de solvants.

Les changements notés au niveau des tracés électro-encéphalographiques (EEG), lors de l'induction à l'anesthésie par l'éther, le chloroforme et le chroéthylène, ou lors d'intoxication alcoolique modérée, sont connus et se caractérisent principalement par une diminution de l'activité électrique du cerveau.

Des modifications significatives des tracés électro-encéphalographiques ont été décrites chez les travailleurs exposés chroniquement à des mélanges de solvants, comparativement à un groupe témoin.[1] Ainsi, Seppalainem a trouvé une incidence accrue d'activité theta dans les tracées d'EEG, tandis qu'une activité beta a été notée par Rosen. Par ailleurs, Knave mentionne que les travailleurs exposés ont un rythme de base de plus faible amplitude. Ces résultats sont difficiles à expliquer, mais sont probablement imputables à l'utilisation de différentes méthodes d'analyse et à l'exposition à divers solvants.

D'autres chercheurs ont mis en évidence une incidence accrue *d'atrophie cérébrale* chez des travailleurs exposés à des solvants, grâce à l'utilisation de la tomographie axiale par ordinateur et de la pneumo-encéphalographie. Une diminution du flot cérébral et de la réponse visuelle évoquée ont aussi été observées.

Des polyneuropathies périphériques peuvent survenir suite à l'exposition chronique à des solvants; elles sont caractérisées par une dégénéressence axonale, et se manifestent principalement par des symptômes de crampes musculaires, d'engourdissements et de picottements, surtout au niveau des membres inférieurs.

Des tests électrophysiologiques, tels l'électromyographie (EMG) et la vitesse de conduction motrice et sensitive ont été utilisés par plusieurs chercheurs pour étudier ces effets.

d) Mesures de surveillance médicale des effets neuro-toxiques

1) Mesures de dépistage
Le programme de surveillance médicale en milieu de travail doit viser la détection précoce des effets à la santé, résultant de l'exposition à un contaminant. La détection précoce

des effets neurotoxiques, causés par l'exposition à des solvants uniques, ou à des mélanges de solvants tels que retrouvés dans la majorité des situations dont celle à Expro (mélange éther-alcool ou acétone-alcool) peut être possible par l'administration d'un questionnaire validé et standardisé. Un tel questionnaire a été administré par les suédois (Hogstedt, Hane et Axelson) et est présenté à la référence 5. Pour être bref, il s'agit d'un questionnaire de dépistage de symptômes neuropsychiatriques composé au total de seize questions. À partir d'une analyse des résultats, les auteurs recommandent une référence à un médecin qui doit juger de la pertinence d'une investigation diagnostique plus poussée, afin d'éliminer la présence d'un syndrome psycho-organique. Ce questionnaire devrait subir une épreuve de validation en milieu québécois avant d'être utilisé systématiquement.

2) Mesures diagnostiques

Flodin, Edling et Axelson dans une étude de 128 travailleurs exposés à des solvants, référés pour symptômes neuropsychiatriques, entre 1978 et 1981, ont utilisé les moyens d'investigation suivants pour diagnostiquer le syndrome psycho-organique:[3]

— une évaluation de l'exposition (nature des solvants utilisés, dose d'exposition, fréquence des épisodes de symptômes aigus),

— une histoire médicale complète,

— l'administration du questionnaire déjà mentionné,

— l'administration d'un ensemble de tests psychométriques, tel que décrit dans Zenz,[5]

— l'administration de tests neurophysiologiques:
- électro-encéphalogramme (EEG),
- vitesse de conduction nerveuse au niveau des nerfs sensitifs médian, cubital et des nerfs moteurs médian, cubital et péroné,
- électro-myographie (EMG).

Un diagnostic de syndrome psycho-organique était posé lorsque l'ensemble des éléments suivants était présent:

— une histoire d'exposition chronique aux solvants,

— les symptômes compatibles,

— la présence d'anomalies objectives au niveau des différents tests utilisés.

Mentionnons que parmi les travailleurs référés, 33 (25,8%) étaient atteints du syndrome psycho-organique. Leur âge moyen était de 53 ans et la durée d'exposition variait de neuf ans, ou plus, avec une durée moyenne de 23,7 ans.

Conclusion

Ce syndrome est maintenant reconnu comme une maladie professionnelle dans les pays scandinaves (Suède, Finlande, Danemark) et plus de 1 200 cas ont été indemnisés depuis 1975 dans ces pays. On a estimé que dans un pays comme la Suède, près de 3% à 4% de tous les troubles neuropsychiatriques rencontrés chez les hommes de 35 à 63 ans, ont une relation avec l'exposition chronique aux solvants. Rien ne laisse croire que la situation au Québec puisse être différente.

Bibliographie

1. THE SWEDISH WORK ENVIRONMENT FUND: Solvents in the Work Environment, a Survey and Analysis of Needs for Research, 1980.
   Ch. 3: Uptake, Distribution and Elimination of Solvents, pp. 17-26.
   Ch. 4: Biotransformation, pp. 28-46.
   Ch. 5: Neurotoxic Effects, pp. 53-79.
2. MERGLER, D.: Effets précoces de l'exposition aux solvants: Études comportementales, psychométriques et neurophysiologiques (non publié), 1983.

3. AXELSON, O.: A Clinical Material of Psycho-organic Syndromes among Workers with Exposures to Solvents (accepté pour publication dans l'American Journal of Industrial Hygiene), 1983.

4. AXELSON, O., HANE, M. et HOGSTEDT, C.: Current Aspects of Solvent Related Disorders, dans: Developments in Occupational Medicine, Ed. Carl Zenz, ch. 11, pp. 237-248, 1980.

5. HOGSTEDT, C., HANE, M. et AXELSON, O.: Diagnostic and Health Care Aspects of Workers Exposed to Solvents, dans: Developments in Occupational Medicine, Ed. Carl Zenz, ch. 12, pp. 249-258, 1980.

6. AXELSON, O.: Epidemiology of Solvent related Neuro-Psychiatric Disorders, Symposium on the Neuro-Psychological Effects of Solvents, Londres, 5, 6 avril 1982.

2. Diéthyl éther

a) Synonymes[1, 2]

Éthyl éther, diéthyl éther, éther diéthylique, éther sulfurique, ethoxyéthane, oxyde d'éthyl.

N.B.: L'éther est un nom générique; il désigne la famille des composés ayant la structure chimique: C - O - C. Toutefois, on utilise souvent le terme éther comme synonyme du composé diéthyl éther. Le seul composé éthéré utilisé à l'usine Expro est le diéthyl éther.

b) Propriétés physico-chimiques[1, 2, 3, 4]

1) Formule chimique

$C_2H_5OC_2H_5$: H_3C - H_2C - O - CH_2 - CH_3

2) Propriétés

— Liquide clair,
— odeur caractéristique, perceptible à très faible concentration,
— très volatil,
— très inflammable et explosif,
— peu soluble dans l'eau, mais très soluble dans les graisses,
— sous l'effet de la lumière et de la chaleur, l'éther présent dans un contenant peut s'oxyder et former des peroxydes explosifs.

4) Données techniques

— Densité de vapeur: 2,6 (air: 1). Les vapeurs d'éther sont donc plus lourdes que l'air,
— solubilité dans l'eau: 75 G/L d'eau à 20°C,
— solubilité huile/eau: 3,2,
— température d'auto-ignition: 160°C (320°F),
— concentration limite explosive (% en vol.): limite inférieure: 1,9%,
limite supérieure: 36,0%,
— seuil d'odorat: inférieur à 1 ppm.

c) Toxicocinétique

1) Absorption

— L'absorption des vapeurs inhalées se fait rapidement.[5]
— L'absorption par voie cutanée n'est pas suffisante pour constituer un problème.[5]
— L'absorption par voie digestive (lorsque l'éther est ingéré accidentellement ou volontairement) se produit aussi de façon rapide.[6]
— L'absorption par voie pulmonaire est très rapide en raison de la grande solubilité de l'éther dans le sang par rapport à sa solubilité dans l'air (son coefficient de partage sang/air est de l'ordre de 12 à 15). Le sang vide donc rapidement les poumons de leur contenu en éther.[7] D'autre part, cette même propriété en fait un anesthésique beaucoup moins rapide et puissant que certains autres gaz.[7]

2) Distribution

Suivant son absorption dans le sang, l'éther se distribue dans tous les tissus. Cependant, la concentration dans le tissu musculaire demeure beaucoup moins importante que celle dans le cerveau et le tissu adipeux, alors que la concentration dans les surrénales serait très élevée.[5]

3) Métabolisme

Plusieurs auteurs rapportent que l'éther est un composé probablement peu, ou non métabolisé chez l'humain.[5, 7, 8, 9]

Cependant, cette affirmation a été remise en question par Van Poznak, dans une revue récente du sujet.[10] Que l'éther soit métabolisé chez l'humain semble, selon cet auteur, aujourd'hui bien démontré; mais à quel degré et quels en sont les métabolites, sont des questions qui demeurent sans réponse définitive.

Concernant la première question, Van Poznak postule que l'importance du métabolisme serait dépendante de la dose d'éther absorbée: à forte dose, son métabolisme serait inhibé (et l'on retrouverait presqu'entièrement l'éther intact dans l'air expiré) alors qu'à faible dose, il serait activé. Il base cette hypothèse sur diverses observations, tirées des auteurs suivants: Onchi & Asao ont observé chez l'humain que le pourcentage de récupération de l'éther dans l'air expiré pouvait varier de 37 à 84%; une telle variation a aussi été observée avec l'halothane (un autre gaz anesthésique) par Sawyer & al. qui ont par la suite émis l'hypothèse invoquée par Van Poznak.[10]

Concernant la deuxième question, les connaissances sont beaucoup plus fragmentaires.[10] Chez l'animal, Van Dyke (cité par Poznak) rapporte que l'éther subirait une transformation en CO_2 de l'ordre de 5%. Chez l'humain, très récemment, Aune & al. ont retrouvé la présence d'acétaldéhyde dans le sang de patients anesthésiés.[11] Cependant, il faut signaler que l'acétaldéhyde fait partie des impuretés retrouvées dans les contenants d'éther (avec les peroxydes et l'acide acétique).[6, 12, 13] Van Poznak présente un schéma du métabolisme de l'éther où l'acétaldéhyde, l'éthanol et le CO_2 figurent comme les métabolites possibles de l'éther.[10]

Ces données peuvent être intéressantes en ce qui nous concerne. En effet, les doses d'exposition des travailleurs, selon le mécanisme invoqué par Van Poznak, seraient beaucoup plus susceptibles d'activer que d'inhiber le métabolisme de l'éther. De plus, si les métabolites suggérés s'avèrent réels, ceci pourrait en partie expliquer l'effet synergique qui existe entre l'éther et l'alcool.[11]

4) Excrétion

À fortes doses, plus de 90% de l'éther absorbé est récupéré inchangé dans l'air expiré. Suivant l'arrêt d'exposition, la concentration d'éther persiste à un niveau élevé dans le tissu graisseux jusqu'à ce qu'elle ait atteint un bas niveau dans le sang.[5] L'élimination de l'éther des graisses se produisant lentement, ceci explique la période prolongée pendant laquelle on peut percevoir l'éther dans l'air expiré (jusqu'à douze heures après l'arrêt d'exposition, dépendant de la dose absorbée).

De petites quantités d'éther seraient aussi excrétées, inchangées, via l'urine et la sueur. Les métabolites seraient excrétés dans l'urine.[10]

d) Toxicité chez l'humain

1) Généralités

L'éther est d'abord classé comme un agent anesthésique (donc un dépresseur du système nerveux central), puis comme un irritant.

Il agit donc principalement sur le système nerveux central (SNC) et de façon moins importante, sur les muqueuses et la peau.

2) Utilisation comme agent anesthésique en salle d'opération

De son utilisation comme agent anesthésique en médecine, nous pouvons retenir les principaux faits suivants.

— ***Relation dose-réponse***
Une concentration inférieure à 1% (en vol.) dans l'air inhalé est suffisante pour produire un effet d'analgésie; une concentration de 3,5 à 5% est utilisée en anesthésie (dépendant du type d'opération) et une concentration de 6,7 à 8% peut provoquer l'arrêt respiratoire.[12] Note: 1% = 10 000 ppm.

La plus faible concentration pouvant produire l'anesthésie se situerait à 1,9%.[8]

Une concentration élevée doit être utilisée pour l'induction de l'anesthésie (surtout si l'on utilise l'éther comme seul agent anesthésique) et elle est progressivement abaissée pour le maintien de l'anesthésie.[12]

— ***Périodes d'induction et de récupération***
La période d'induction à l'éther est lente (elle prend environ quinze minutes) en comparaison avec d'autres agents anesthésiques. Ceci est dû à la grande solubilité de l'éther dans le sang et les lipides.[8] Cette période peut être pénible pour le sujet en raison de divers symptômes (cf. phases de l'anesthésie).

La période de récupération (ou post-anesthésique) est aussi prolongée et les sujets y expérimentent souvent les effets secondaires de l'éther tels que: salivation, nausée, vomissement, irritation des voies respiratoires, céphalée, symptômes de dépression et/ou excitation du SNC (cf. phases 1 et 2 de l'anesthésie).[7]

— ***Phases de l'anesthésie***
Les quatre phases de l'anesthésie ont initialement été décrites par Guedel en 1920, en se basant sur les effets de l'éther.[13]

Ces phases sont:[7, 13]
1° *Analgésie:* à cette première phase, le sujet est bien conscient, mais il y a dépression du SNC, avec désinhibition, analgésie, et euphorie (ressemblance marquée avec les premiers effets de l'alcool). Le sujet peut aussi expérimenter un état composé de rêves et fantasmes.

2° *Excitation:* puis le sujet devient excité, ou agité (à nouveau, ressemblance avec l'état d'ébriété plus avancé observé dans les intoxications à l'alcool). C'est pendant cette phase que survient la perte de conscience. Des délires ont aussi été ressentis par les sujets.

Les deux premières phases correspondent à la période d'induction déjà décrite. Dépendant de la concentration d'éther utilisée et de la rapidité de l'induction, une variation dans le nombre de ces phénomènes pourra être observée. La période post-anesthésique reproduit sensiblement les mêmes phénomènes, mais en ordre inverse.

3° *Anesthésie chirurgicale:* stade où se produit l'anesthésie proprement dite. Il a été subdivisé en quatre phases (ou sous-phases) qui correspondent à divers degrés de profondeur de l'anesthésie.

4° *Paralysie médullaire:* correspond au stage le plus profond pendant lequel survient l'arrêt respiratoire.

— ***Actions pharmacologiques de l'éther et réactions observées lors de l'anesthésie***
Les réactions observées sur les divers systèmes suite à l'usage de l'éther, sont très nombreuses. Elles sont décrites en détails dans les références suivantes: Adriani; Lee; Goodman & Gillman; et Meyers.[7, 8, 12, 13]

Outre son action sur le SNC, l'éther stimule le système nerveux sympathique et agit comme un irritant des voies respiratoires. Ces deux propriétés expliquent à elles seules une part importante des nombreuses réactions observées avec l'éther.

Parmi ces effets, citons:

- augmentation initiale de la fréquence cardiaque, puis normalisation. L'éther est considéré comme un agent stable du point de vue cardio-vasculaire, puisqu'il est un stimulant (effet sympathique) et non un dépresseur de celui-ci;

- augmentation de la fréquence respiratoire, irrégulière, augmentation des sécrétions bronchiques et broncho-dilatation (effet irritant et sympathique). L'éther est aussi considéré comme un stimulant de ce système, sauf à fortes concentrations (vers 6,7 à 8%);
- dépression des fonctions hépatiques et libération importante de glycogène;
- diminution des mouvements et sécrétions gastriques, avec dilatation de la paroi (effet sympathique);
- effets sur plusieurs autres systèmes.

— ***Effets néfastes et séquelles de l'anesthésie***

On a partiellement attribué à un surdosage à l'éther, la survenue de convulsions; d'autres phénomènes ont aussi joué un rôle.[12, 13]

Des anomalies des fonctions hépatiques ont été observées chez des patients anesthésiés: élévation des enzymes SGOT et ALPase et baisse de l'albumine sérique. Ces anomalies furent transitoires.[8]

On ne rapporte pas de séquelles chroniques de l'anesthésie à l'éther.

— ***Avantages et inconvénients***

Quelques avantages:[7, 12, 13]

- l'éther est un pauvre dépresseur des systèmes respiratoire et cardio-vasculaire;
- il existe un grand écart entre les concentrations nécessaires pour passer de la troisième à la quatrième phase. Il est donc sécuritaire à ce point de vue.

Quelques inconvénients:[7, 12, 13]

- agent inflammable et explosif,
- les périodes d'induction et de récupération sont désagréables et prolongées,
- il perturbe de nombreux systèmes de l'organisme et d'importantes fonctions métaboliques.

3) Toxicité aiguë

— ***Effets sur le système nerveux central (SNC)***

Note: Il n'existe pas de relations dose-réponse ou dose-effet qui aient été établies suite à des expositions en milieu industriel. Nous essayerons néanmoins de préciser cet aspect au meilleur des connaissances actuelles.

- L'« ether jag » constitue une entité clinique définie qui a été décrite il y a longtemps chez des travailleurs et travailleuses exposés à l'éther (elle était connue en 1971-18 des travailleuses d'une usine de poudres).[14] Cette expression peut être traduite par: ébriété à l'éther, ou ataxie à l'éther. Cette entité ressemble sous certains aspects à l'état d'ébriété observé avec l'alcool. Elle se caractérise par les symptômes et signes suivants: euphorie ou au contraire dépression, ataxie (i.e. troubles de l'équilibre avec sensation de vertiges, ou étourdissements), nausées, confusion mentale et quelques fois, perte de conscience.[9]

  On ne sait à quelle dose survenait cet effet.

- Plusieurs signes et symptômes ont été rapportés, isolément ou en association, suite à une exposition à l'éther, tels que: hilarité, (gaieté excessive, euphorie, rires), excitation, irritabilité, agressivité, étourdissements, somnolence, nausées, vomissements, pâleur du visage, baisse de la température et de la fréquence cardiaque, respiration irrégulière, relaxation musculaire, salivation, confusion et éventuellement perte de conscience.[1, 3, 4, 5, 6]

  Il existe probablement un ordre logique dans la survenue de ces symptômes, mais cela n'a pas été décrit avec précision. Toutefois, l'état d'hilarité et les étourdissements semblent être les premiers à survenir. Henderson & Haggard (1943, cités par

l'A.C.G.I.H.) auraient estimé qu'une exposition à 2 000 ppm, pendant une période de temps suffisante pour atteindre une concentration d'équilibre, pourrait produire des étourdissements chez quelques individus.[15] D'autres ont estimé que la perte de conscience pourrait survenir suite à une exposition de trente à quarante minutes à 35 000 ppm.[6]

Il est à noter que les signes et symptômes ci-haut mentionnés correspondent assez précisément aux descriptions faites en anesthésie (cf. phases de l'anesthésie). Ceci n'est pas impossible (malgré les différences apparentes entre les concentrations utilisées en anesthésie et celles retrouvées en milieu de travail), en raison de la période d'exposition qui est beaucoup plus prolongée en milieu de travail et en raison des concentrations soudaines très élevées (plusieurs milliers et même dizaines de milliers de ppm), mais brèves, observées lors de certaines opérations industrielles.

- Suite à une surexposition importante (ayant amené une confusion, voire perte de conscience), le travailleur peut présenter une période de récupération caractérisée par les mêmes symptômes que ceux rencontrés en post-anesthésie (i.e. vomissements, salivation, irritation des voies respiratoires, céphalées et symptômes de dépression ou excitation du SNC).[5, 6]
- Il est possible que des décès surviennent, mais cela semble avoir été très rare en milieu industriel.[5] Le décès peut survenir par arrêt respiratoire (paralysie médullaire au stage quatre de l'anesthésie), suite à une exposition à de très fortes concentrations.
- Nous avons vu que l'éther et l'alcool possèdent des similitudes (au niveau des symptômes de surexposition et possiblement au niveau du métabolisme). Il est aussi connu que ces agents possèdent des effets additifs. Ainsi, des travailleurs exposés à l'éther peuvent être plus susceptibles aux effets dus à la prise d'alcool, ou en d'autres termes, l'état d'ébriété peut survenir suite à une faible quantité d'alcool.[3, 4]

Il est à noter que les travailleurs de l'usine Expro sont simultanément exposés à l'éther et à l'alcool éthylique (ces deux composés étant utilisés comme solvant de la nitrocellulose).

— ***Irritation des yeux, des muqueuses et de la peau***

- Nez: une concentration de 200 ppm serait suffisante pour produire de l'irritation nasale chez les sujets non habitués.[15]
- Yeux: une inflammation survient si les concentrations sont élevées, ou s'il y a contact avec l'éther liquide. Ceci ne produirait cependant pas de séquelles.[5]
- Peau: l'éther est considéré comme un léger irritant cutané; il ne pose pas vraiment de problème aigu.[2]
- Système respiratoire: l'irritation des voies respiratoires est un phénomène connu en anesthésie.

— ***Autres effets aigus (rarement rapportés)***[5]

- Albuminurie.
- Néphrite en de rares cas.

4) Toxicité chronique

Note concernant la toxicité chronique

Les effets chroniques pouvant résulter de l'exposition prolongée à l'éther en milieu de travail, sont peu connus. Aucune étude épidémiologique n'a été réalisée pour tenter d'élucider cet aspect.

— ***Atteinte du système nerveux central (SNC)***

• ***Signes et symptômes d'atteinte clinique du SNC***

L'éther ayant son action principale sur le SNC, il est logique de penser que ce dernier puisse être le siège d'altérations chroniques.

Aussi, divers symptômes en relation avec le SNC ont été rapportés et sont fréquemment cités dans la littérature, comme des indices de la toxicité chronique de l'éther. Toutefois, on a peu de précisions concernant ces rapports et on ne sait s'il s'agit réellement de symptômes d'intoxication aiguë ou chronique. Ces symptômes étant peu spécifiques, il est difficile de les interpréter, en l'absence de groupe contrôle.

Ces symptômes sont, tels que rapportés dans Hamilton et Hardy:[14] apathie, somnolence, dépression, anorexie, constipation et perte de poids; tels que rapportés par Lehman et Fleury:[1] anorexie, fatigue, céphalée, insomnie, étourdissements, excitation et troubles psychologiques; tel que précisé dans le bulletin de la M.C.A.:[6] l'exposition chronique à de fortes concentrations (sans précision) ne produirait chez certains individus que des étourdissements et de la faiblesse occasionnelles (lorsqu'exposés à un atmosphère très chaud) sans autres symptômes, alors que chez d'autres, elle produirait une perte d'appétit, dégoût des aliments, présence constante d'un goût d'éther, soif, nausée, céphalée, faiblesse, lassitude, engourdissement des doigts, brûlement des orteils, constipation et perte de poids.

• ***Signes d'atteinte précoce du SNC (sub-cliniques)***
Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

• ***Phénomène de dépendance à l'éther: l'éthéromanie***
Probablement en raison de l'effet euphorique produit par l'éther, certains travailleurs ont développé un état de dépendance à cet agent. On raconte dans la littérature que certains travailleurs s'exposaient volontairement pour la recherche de ces effets. Ce phénomène est aussi connu sous le nom de « ether habit », en anglais. Il s'agirait principalement d'un phénomène résultant d'une dépendance psychique, bien que dans de rares cas, des manifestations d'une dépendance physique soient apparues (syndrome de sevrage avec délirium tremens).[16]

Notons à nouveau que l'exposition simultanée des travailleurs de l'usine Expro, à l'éther et à l'alcool, complique l'évaluation de ce phénomène.

• ***Phénomène de tolérance à l'éther***
Fairhall (1957) rapporte qu'un état de tolérance similaire à celui de l'alcool, peut se développer suite à une exposition chronique à l'éther.[1]

— ***Autres effets chroniques***
Une polycythémie a été observée à une reprise chez les femmes exposées d'une entreprise, mais non chez les hommes.[14]

5) Mutagénicité
Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

6) Cancérigénicité
Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

7) Tératogénicité
Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

e) Normes ambiantes

	Québec[17]	U.S.A. (OSHA)	Russie	Suède	A.C.G.I.H.
C. moy. (ppm) (mg/m³)	400 1 200	400 1 200	100	400 1 200	400 1 200
C. max. (ppm) (mg/m³)	500 1 500	500 1 500		500 1 500	500 1 500

Note: Ces normes suivent toutes la recommandation initiale de l'A.C.G.I.H. Celle-ci a basé ses recommandations sur les principaux faits suivants.

Chez les sujets non habitués, une irritation nasale apparaît à une concentration de 200 ppm et une concentration de 300 ppm devient difficilement tolérable. Toutefois les sujets habitués (ex.: les travailleurs) peuvent tolérer des niveaux supérieurs (allant jusqu'à 500 ppm, ou plus). À une concentration de 400 ppm, aucun effet de narcose n'a été observé. En conséquence, cette norme devrait prévenir les phénomènes aigus d'irritation et de narcose. Les phénomènes chroniques n'ont pas été pris en considération en raison du manque de données.[15]

f) Premiers secours[1, 3, 4, 6]

1) En cas de surexposition à l'inhalation des vapeurs (manifestée par un état d'ébriété, ou des symptômes plus importants):
   - amener le sujet dans un endroit bien aéré, hors du lieu d'exposition,
   - référer à un médecin.

2) Si le sujet est inconscient: en plus de ce qui fut précédemment recommandé,
   - demander immédiatement un médecin,
   - ne pas faire vomir et ne pas faire ingérer quoi que ce soit,
   - si le sujet ne respire plus, débuter immédiatement la respiration artificielle.

3) En cas d'exposition cutanée importante:
   - enlever les vêtements contaminés,
   - laver abondamment à l'eau.

4) En cas de contact de l'œil avec le liquide:
   - laver abondamment à l'eau,
   - référer immédiatement à un médecin.

5) En cas d'ingestion:
   - référer immédiatement à un médecin,
   - si non disponible, faire vomir.

Note: Bien que le seuil d'odorat à l'éther soit très bas (< 1 ppm), un phénomène de tolérance s'installe rapidement. En conséquence, les travailleurs exposés depuis un bon moment, peuvent difficilement détecter des changements de concentration, à moins que ceux-ci soient très importants.

g) Surveillance médicale

1) Monitoring biologique

— Dosages biologiques de l'éther:

Le dosage de l'éther dans l'air expiré et dans le sang a été suggéré par NIOSH et A.I.H.A. comme une mesure de surveillance de l'exposition des travailleurs (« Special test »).[1, 3, 4]

Aucune norme biologique n'a cependant été proposée et il n'existe pas de bases suffisantes (relation dose-réponse établie) nous permettant d'en proposer une. Ceci demeure donc du domaine de la recherche à l'heure actuelle. Diverses méthodes d'analyse de l'éther en milieu biologique sont actuellement disponibles.

— Métabolites de l'éther:

Malheureusement, l'identification des métabolites de l'éther appartient encore au domaine de la recherche. Toutefois, cela revêt une importance particulière pour les effets chroniques.

2) Surveillance des effets cliniques et sub-cliniques

— Signes d'atteinte précoce du SNC:

De telles mesures n'ont pas été proposées et ne semblent pas avoir été utilisées à date (ex.: questionnaire comportemental, EEG, tests psychométriques). En raison de leur utilité démontrée dans la détection précoce des effets neurologiques dus à divers solvants

(tel que démontré par les études scandinaves) et en raison de leur accessibilité relative (si on procède d'abord au questionnaire standardisé et que seuls les cas positifs sont référés pour les autres tests), ces mesures pourraient être envisagées parallèlement à la surveillance environnementale.

— ***Autres signes d'atteinte précoce:***
Des perturbations des fonctions hépatiques ont déjà été observées en anesthésie. Elles étaient réversibles. Cet aspect ne semble pas avoir été évalué chez des travailleurs exposés chroniquement. L'exposition simultanée à l'alcool éthylique et l'ingestion d'alcool sont des facteurs à considérer face à cette mesure de surveillance.

— ***Surveillance clinique:***
Le questionnaire, surtout et l'examen médical peuvent être utiles afin d'identifier des signes et symptômes indiquant la présence d'une surexposition des travailleurs.

Points importants

— Liquide très volatil, flammable et explosif, liposoluble, utilisé comme solvant.

— Absorption très rapide par voie pulmonaire. L'inhalation est la principale voie d'absorption.

— Distribution au niveau de tous les tissus, dont le tissu adipeux et le SNC (en raison de sa liposolubilité). Temps d'équilibre prolongé.

— Métabolisme: degré variable selon la dose; l'identification des métabolites est incertaine.

— Excrétion:
- principalement via l'expiration de l'éther non métabolisé,
- suivant l'arrêt de l'exposition, la période totale d'excrétion est prolongée en raison de l'élimination lente de l'éther des graisses.

— Propriétés toxicologiques:
- dépresseur du SNC (propriétés anesthésiques ou narcotiques),
- irritant des muqueuses, peau et yeux.

— Propriétés pharmacologiques: à fortes concentrations (telles qu'en anesthésie), produit une stimulation du SN sympathique.

— Signes et symptômes décrits en milieu de travail:
- « ether jag »: état d'ébriété ressemblant à celui observé avec l'alcool,
- divers symptômes, similaires à ceux rencontrés comme effets secondaires de l'anesthésie (euphorie, excitation, irritabilité, somnolence, nausée, vomissements, confusion, ... et éventuellement perte de conscience),
- décès: rare.

— Nombreuses similitudes entre éther et alcool:
- symptômes d'intoxication similaires,
- leur métabolisme semble en partie commun,
- effets additifs,
- phénomène d'accoutumance ou dépendance (éthéromanie).

— Toxicité chronique très peu connue:
- divers symptômes neurovégétatifs décrits,
- atteinte précoce du SNC: non évaluée,
- phénomène de tolérance et accoutumance,
- diverses mesures de surveillance médicale peuvent être utilisées pour mieux évaluer cet aspect.

Bibliographie

1. A.I.H.A. (American Industrial Hygiene Association): Hygienic Guide Series, Ethyl Ether, Am. Ind. Hyg. Assoc. Journal, 1978.

2. C.S.S.T. (Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec): Répertoire toxicologique, Éther.

3. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health): Occupational Diseases. A Guide to their Recognition, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH, Revised Edition, Publication nº 77-181, U.S.A., 1977.

4. NIOSH/OSHA (National Institute for Occupational Safety and Health/ Occupational Safety and Health Administration): Occupational Health Guideline for Ethyl Ether, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH; U.S. Department of Labor, OSHA, U.S.A., 1978.

5. KIRWIN, C.J. et SANDMEYER, E.E.: Diethyl Ether, dans: Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 3rd Edition, 1981.

6. M.C.A. INC. (Manufacturing Chemist's Association Inc.): Chemical Safety Data Sheet, Ethyl Ether, SD-29, 1965.

7. MEYERS, F.H. et al.: Review of Medical Pharmacology, 3rd Edition, Lange Medical Publications, 1972.

8. GOODMAN, L.S. et GILMAN, A.: The Pharmacological Basis of Therapeutics, 5th Edition, McMillan Publishing Co. Inc., New York, U.S.A., 1975.

9. BROWNING, E.: Toxicity and Metabolism of Industrial Solvents. New York, U.S.A., Elsevier, 1965.

10. VAN POZNAK, A.: Biotransformation of Diethyl Ether and Chloroform, Int. Anest. Clinics, 12 (2), 1974.

11. AUNE, H. et al.: Metabolism of Diethyl Ether to Acetaldehyde in Man, Lancet, July 8th, 1978.

12. ADRIANI, J.: The Pharmacology of Anesthesic Drugs. A Syllabus for Students and Clinicians, 3rd Edition, Charles Thomas Publisher, 1954.

13. LEE, J.A.: A Synopsis of Anesthesia, 3rd Edition, Bristol, 1953.

14. HAMILTON, A. et HARDY, H.L.: Hamilton and Hardy's Industrial Toxicology, 4th Edition, Asher J., Finkell, John Wright PSG Inc., MA, U.S.A., 1983.

15. A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): Ethyl Ether. Documentation of Threshold Limit Values for Workroom Air.

16. MARCHAND, M. et al.: Les toxicomanies en milieu industriel, Évol. méd., 17 (2), 1973.

17. Règlement sur la qualité du milieu de travail (L.R.Q., c. S-2.1, r.15).

3. Acétone

a) Synonymes

Dimethyl cétone, 2-propanone, éther pyroacétique[1]

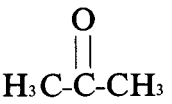
b) Propriétés physico-chimiques

— Liquide incolore, très volatil et très inflammable[2];

— hydro et liposoluble. Tous les cétones possèdent cette propriété de liposolubilité, dont le degré serait proportionnel au nombre de carbone du composé. Leur degré de volatilité est cependant inverse au nombre de carbone[2];

— seuil d'odorat: environ 20 ppm. Une tolérance s'acquiert rapidement[3];

— formule chimique:[1, 3] $(CH_3)_2CO$



c) Toxicocinétique

1) Voies d'exposition et d'absorption

Les principales voies d'exposition à l'acétone en milieu de travail sont les voies d'inhalation, cutanée et oculaire.[2]

L'acétone liquide peut être absorbé par la peau; le degré d'absorption par cette voie semble dépendre de la durée d'exposition.[2]

L'acétone sous forme vapeur est absorbé par voie d'inhalation. DiVincenzo et al, suite à une étude effectuée chez des humains exposés à la vapeur d'acétone, ont analysé l'air expiré pendant deux heures d'exposition et jusqu'à sept heures après l'exposition. Cette analyse a démontré qu'après les premières quinze minutes, environ 75 à 80% de la vapeur inspirée était absorbée par le sang et que 20 à 25% demeurait dans le volume de l'espace mort. L'exercice physique augmente le degré d'absorption de la vapeur d'acétone. L'absorption de l'acétone en vapeur serait directement proportionnelle au degré d'exposition.[2, 3]

2) Distribution

L'acétone s'accumulerait dans le corps humain suite à des expositions quotidiennes répétées.[2, 3]

3) Métabolisme

Certaines hypothèses ont été avancées concernant le métabolisme de l'acétone. Toutefois, les voies métaboliques exactes demeurent inconnues.[2]

Il semble que le degré de métabolisme soit inversement relié à la dose d'exposition.[3, 4]

4) Élimination

L'acétone est excrété par voies pulmonaire et urinaire, et possiblement, par voies métabolique et cutanée.[2] La proportion accordée à chacune de ces voies semble varier considérablement en fonction du degré d'exposition (due à la variation dans le taux de métabolisme).[4]

d) Toxicité chez l'humain

1) Généralités

Les principales propriétés de l'acétone consistent en une *irritation* des yeux et muqueuses et un *effet narcotique* (ou dépresseur) sur le système nerveux central.

L'acétone est généralement considéré comme un solvant ayant une faible toxicité.[1, 3] De plus, il constitue un composé naturel de l'organisme.[3]

2) Toxicité aiguë

— Effets systémiques aigus

À de hautes concentrations, l'effet narcotique produit par l'acétone est évident. Huit travailleurs exposés à des concentrations d'acétone supérieures à 12 000 ppm ont manifesté une irritation de la gorge et des yeux, une faiblesse des jambes et des maux de tête. Un travailleur s'est évanoui et plusieurs se sont sentis étourdis.[2]

Plusieurs études semblent indiquer que l'effet narcotique puisse survenir à *des concentrations égales ou inférieures à 1 000 ppm*. Dans une étude, l'exposition à une concentration moyenne de 1 000 ppm pendant huit heures, a causé des maux de tête et des étourdissements chez certains travailleurs. Parmeggiani et Sassi ont observé des troubles pulmonaires et du système nerveux central, ainsi que de l'irritation des yeux, du nez et de la gorge chez des employés exposés à des concentrations de 307 à 918 ppm. De plus,

ces investigateurs ont présenté certaines évidences à l'effet que des expositions quotidiennes d'une durée de six heures à une concentration moyenne de 833 ppm, conduirait à l'accumulation d'acétone dans l'organisme.[2] Une étude a révélé que plusieurs sujets souffraient d'irritation des yeux, du nez et de la gorge, de tension, de faiblesse générale, de lourdeur dans les yeux et d'apathie matinale, après une exposition de six heures à 1 000 ppm d'acétone.[2] Ces effets ont également été rapportés suite à une exposition d'une durée de six heures à 500 ppm et moins fréquemment, suite à une exposition de six heures à 250 ppm.[2]

Une étude a indiqué que des volontaires exposés à 100 ppm d'acétone, durant deux ou quatre heures, en présence d'exercice physique, n'ont souffert d'aucun symptôme. Une autre recherche a également démontré que parmi cinq hommes, aucun n'avait manifesté de réactions adverses suite à une exposition de six heures à 100 ppm, dans une situation non stressante.[2]

Aussi, signalons quelques rares cas d'intoxication aiguë décrits dans la littérature et qui sont survenus par voies d'ingestion, cutanée et d'inhalation.

Mirchev a décrit l'apparition de lésions hépatorénales chez deux hommes et deux femmes. Une personne avait inhalé des vapeurs d'acétone alors que les trois autres avaient ingéré du liquide. Les lésions hépatiques ont été observées parmi les quatre travailleurs et les lésions rénales chez deux d'entre eux. Aucun autre rapport de toxicité hépatorénale due à l'acétone n'a été retrouvé.[3]

Une intoxication fatale à l'acétone a été rapportée chez un enfant de 12 ans, suivant l'application d'un pansement celluloïd humecté à l'acétone.[2]

Une intoxication aiguë à l'acétone est survenue chez un garçon de 10 ans, chez qui on avait fait un plâtre en utilisant un solvant contenant 90% d'acétone; on a constaté de l'agitation, des maux de tête, des vomissements, un collapsus et un état comateux, suivis d'une guérison complète.[3]

Enfin, un homme de 42 ans ayant ingéré 200 ml d'acétone, a souffert de stupeur, d'une respiration superficielle, d'une irritation de la gorge, de coma et d'hyperglycémie transitoire.[2, 3]

— ***Irritation des yeux et des muqueuses***

Raleigh et McGee ont rapporté de l'irritation des yeux, du nez et de la gorge chez un petit groupe de travailleurs exposés à une concentration moyenne d'acétone de 1 000 ppm, pendant huit heures. Matsubshita et al ont rapporté que la majorité des sujets exposés à 500 et 1000 ppm d'acétone souffraient d'irritation des yeux, du nez et de la gorge. Nelson et al ont rapporté, dans une étude effectuée chez dix sujets volontaires, les faits suivants: l'irritation des yeux, du nez et de la gorge survient à des concentrations *de 500 et 350 ppm* durant *trois à cinq minutes*; une légère irritation fut aussi notée à 300 ppm, pour une durée d'exposition de trois à cinq minutes; la majorité des sujets ont estimé que *200 ppm* constituerait la concentration la plus élevée pouvant être tolérée pendant *huit heures*.[2]

— ***Effets cutanés aigus***

Les cétones constituent d'excellents solvants des graisses. Par cette action, on explique les lésions cutanées qu'ils peuvent entraîner.

Dans une étude expérimentale chez l'humain, Hupulescu et Birmengham ont mis en évidence l'apparition d'oedème intercellulaire, d'hyperhémie et une dislocation des cellules de la kératine, chez des volontaires exposés à de l'acétone liquide (un ml d'acétone appliqué sur la peau, pendant quatre-vingt-dix minutes).[2]

L'acétone liquide, particulièrement lors d'expositions répétées et prolongées, pourrait causer une dermatite; cet effet semble moins probable avec l'acétone en vapeur.[2]

3) Toxicité chronique

Les effets chroniques de l'acétone sont peu connus. Les connaissances acquises au sujet des cétones nous montrent que le système nerveux central (SNC) et périphérique peuvent être atteints de façon chronique. Toutefois, le degré d'atteinte semble proportionnel au nombre de carbone du composé; l'acétone constituerait donc le composé le moins toxique à ce niveau parmi les cétones.[2]

Vigliani et Zurlo ont rapporté qu'une inflammation du tractus respiratoire, de l'estomac et du duodénum, des étourdissements occasionnels et une perte de la force musculaire étaient apparus chez des travailleurs exposés à *1 000 ppm* d'acétone, *trois heures par jour, pendant sept à quinze ans*.[2]

Une dermatite pourrait survenir suite à des expositions répétées et prolongées à l'acétone liquide.

e) Toxicité chez l'animal

1) Toxicité chronique

Rengstorff et al ont démontré que l'acétone en application cutanée ou en injection sous-cutanée provoquait le développement de cataractes chez les cobayes. Les cataractes apparaissaient en moyenne trois mois suivant l'application initiale d'acétone. Dans certains cas, le dommage était réversible en dedans des trois premiers mois.[2]

f) Mutagénicité

McCann et al ont trouvé que l'acétone n'était pas mutagène par le test de Ames.[2, 3] Aucune étude dans la littérature n'a impliqué l'acétone comme mutagène possible.

g) Cancérigénicité

Van Duuren et al ont appliqué de l'acétone sur la peau de souris pendant un an et n'ont trouvé aucune évidence de tumeur.[2, 3] Aucune étude impliquant l'acétone comme cancérigène n'a été relevée dans la littérature.

h) Tératogénicité

Aucune étude dans la littérature n'a impliqué l'acétone comme tératogène.[2] Deux études se sont avérées négatives.[2, 3]

i) Normes ambiantes

	Québec[5]	U.S.A. (OSHA)[6]	(NIOSH)[2]	A.C.G.I.H.[7]
C. moy. (ppm) (mg/m^3)	750 1 780	1 000 2 400	250 590	1 000 2 400
C. max. (ppm) (mg/m^3)	1 000 2 375	– –	– –	1 250 3 000
P.	–	–	–	–
HDVS (ppm)	–	20 000	–	–

En raison d'études démontrant la présence d'effets indésirables à des concentrations voisines ou inférieures à 500 ppm et en raison de l'accumulation potentielle de l'acétone dans le corps humain, le NIOSH recommande une C. moy. (TLV) de 250 ppm, pondérée pour une journée de travail d'une durée maximale de dix heures et une semaine de quarante heures.[2]

j) Premiers secours et premiers soins

1) Contact avec les yeux

Lorsque l'acétone liquide vient en contact avec les yeux, le traitement consiste en un lavage immédiat à l'eau, pendant une période minimale de quinze minutes. Le sujet doit être référé au médecin.[8]

2) Contact avec la peau
Lorsque l'acétone liquide vient en contact avec la peau, lavez immédiatement celle-ci avec de l'eau et du savon, après avoir enlevé les vêtements de la région affectée. Référez au médecin.[8]

3) Inhalation
En cas d'inhalation de fortes concentrations d'acétone, retirez l'individu de la source d'exposition et le conduire dans un endroit bien ventilé. S'il ne respire plus, lui donner la respiration artificielle. Gardez la personne au chaud et au repos. Référez à un médecin.[8]

4) Ingestion
Suite à l'ingestion d'acétone liquide et si la personne est consciente, faire vomir. Si la victime est inconsciente, ne pas faire vomir et administrer de l'oxygène à basse pression en attendant l'arrivée du médecin. Si la personne ne respire pas, lui donner la respiration artificielle. Référer au médecin.[8]

Traiter les effets sur le système nerveux central de façon symptomatique. En cas de dermatite, traiter comme une dermatite de contact.[1]

k) Surveillance médicale
Le NIOSH a fait les recommandations suivantes (elles s'appliquent aussi à l'ensemble des cétones): puisque l'acétone cause de l'irritation de la peau, des yeux, du nez et de la gorge, ces effets devraient être considérés lors de l'examen médical des employés exposés à cette substance; de plus, l'acétone ayant produit des cataractes chez les animaux expérimentaux, une attention particulière devrait être portée lors de l'examen des yeux; en dernier lieu, puisque l'acétone à fortes concentrations peut potentiellement causer des dommages hépatiques et rénaux chez l'humain, il est recommandé d'effectuer un monitoring des fonctions rénales et hépatiques; une analyse d'urine et un monitoring des enzymes hépatiques sont donc proposés périodiquement.[2]

Il convient d'ajouter que l'acétone produit des effets narcotiques qui peuvent survenir à des concentrations relativement faibles, soit égales ou inférieures à 1 000 ppm. Il est donc logique de postuler que des effets chroniques sur le SNC puissent survenir. À cet effet, il pourrait être indiqué de procéder à des examens neuro-comportementaux chez les travailleurs exposés. Un premier dépistage peut être effectué à l'aide d'un questionnaire standardisé.

Enfin, De Bruine propose le dosage de l'acétone dans l'air expiré et/ou le sang et/ou l'urine, comme monitoring du degré d'exposition. Toutefois, aucune norme biologique n'est proposée.[4]

Bibliographie

1. PROCTOR, H.N. et HUGHES, J.P.: Chemical Hazards of the Workplace, J.B. Lippincott Company, U.S.A., 1978.
2. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health): Criteria for a Recommended Standard... Occupational Exposure to Ketones, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH, U.S.A., 1978.
3. CLAYTON, G.D., et CLAYTON, F.E.: Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 3rd Revised Edition, vol. 2c: Toxicology. A Wiley Interscience Publication, New York, U.S.A., 1982.
4. DE BRUINE, A.: Biochemical Toxicology of Environmental Agents, Elsevier, North Holland Biochemical Press, 1976.
5. Règlement sur la qualité du milieu de travail (L.R.Q., c. S-2.1, r.15).
6. NIOSH/OSHA (National Institute for Occupational Safety and Health/Occupational Safety and Health Administration): Pocket Guide to Chemical Hazards, U.S.

Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH; U.S. Department of Labor, OSHA, U.S.A., August 1980.

7. A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): TLV's Threshold Limit Values for Chemical Substances in Work Air adopted by A.C.G.I.H. for 1982.

8. LEFEBVRE, M.J. et BECKER, E.D.: First Aid Manual for Chemical Accidents for Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Editions J. Duculot, 1980.

4. Cyclohexanone

a) Synonymes

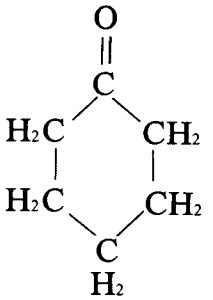
Cétone pimélique, hexanone, anone, cyclohexyl cétone, sextone, nadone, hytrol O, cétohexaméthylène. [1, 2]

b) Propriétés physico-chimiques

1) Description:

liquide jaune pâle, légèrement volatil, avec une odeur rappelant la menthe et l'acétone.[2, 3]

2) Formule chimique:[2] $C_5H_{10}CO$



c) Toxicocinétique

1) Voies d'exposition et d'absorption

L'inhalation de vapeurs de cyclohexanone et le contact cutané avec la forme liquide constituent les voies d'exposition en milieu de travail. La cyclohexanone est absorbée par voie d'inhalation. L'absorption par la peau est sans réelle importance.[1]

2) Métabolisme

Chez les rats et les lapins, le métabolisme de la cyclohexanone semble impliquer une réduction en cyclohexanol et une conjugaison ultérieure avec l'acide glucuronique.[3]

3) Excrétion

Treon et al., dans une expérience chez les lapins, ont démontré qu'environ 40 à 50% de la dose orale de cyclohexanone administrée était excrétée dans l'urine, sous forme conjuguée avec l'acide glucuronique.[3]

d) Toxicité chez l'humain

1) Généralités

La cyclohexanone possède les mêmes propriétés générales que les cétones, i.e. *une action irritante*, au niveau des yeux, de la peau et des muqueuses naso et oropharyngées, ainsi qu'une *action narcotique* (ou dépresseur) sur le système nerveux central (SNC). L'effet narcotique survient à des concentrations supérieures à celles produisant l'irritation. Son effet irritant est plus marqué que l'acétone.

2) Toxicité aiguë

Pour la majorité des sujets, une exposition à *25 ppm* de vapeur, pendant trois à cinq minutes, ne cause pas d'effet, alors qu'une concentration de *50 ppm* est irritante, surtout au niveau de la gorge; une exposition à *75 ppm* produit une irritation plus marquée des yeux, du nez et de la gorge (Nelson et al).[1, 2, 3] Des travailleurs exposés pendant de longues périodes, peuvent tolérer des concentrations plus élevées que les sujets non habitués.

Une exposition sévère causerait (par déduction des effets observés chez l'animal) de la léthargie et de la narcose.[1] Toutefois les individus évitent généralement de s'exposer à de fortes concentrations, en raison des propriétés irritantes de ce composé.[4]

Le contact de cyclohexanone sous forme liquide, avec les yeux, peut causer une irritation marquée et une lésion transitoire de la cornée.[1, 2]

3) Toxicité chronique

La toxicité chronique chez l'humain semble peu connue. Les effets sur le système nerveux central et périphérique n'ont pas été rapportés.

Puisque la cyclohexanone est un solvant des graisses, un contact prolongé ou répété de la peau avec la forme liquide, peut entraîner une dermatite par irritation.[1]

e) Toxicité chez l'animal

1) Toxicité aiguë

La cyclohexanone produit un effet narcotique évident chez les animaux, à de fortes concentrations.[1]

2) Toxicité chronique

Des lapins exposés à 190 ppm durant dix semaines ont présenté de légères lésions rénales et hépatiques.[1, 2, 3] Des lapins exposés à 500 ppm, six heures par jour, durant 80 à 110 jours, ont développé de la lymphocytose, suivie de lymphopénie et d'une réduction de la ventilation pulmonaire et du taux de consommation d'oxygène.[4]

L'application cutanée et sous-cutanée de cyclohexanone, trois fois par semaine durant trois semaines, a produit des cataractes chez le cobaye (Rengstorff et al.).[3] Les cataractes apparaissaient en moyenne trois mois après le début du traitement.

f) Mutagénicité

La cyclohexanone n'est pas mutagène dans le test de Ames.[3] À date, aucune étude n'indique que la cyclohexanone soit mutagène.

g) Cancérigénicité

Aucune étude n'indique que la cyclohexanone soit un cancérigène possible.[3]

h) Tératogénicité

Les résultats des études expérimentales effectuées chez l'animal sont controversés.[3]

i) Normes ambiantes

	Québec[5] (1981)	U.S.A. (OSHA)[6] (1980)	NIOSH[3] (1978)	A.C.G.I.H.[7] (1982)
C. moy. (ppm) (mg/m^3)	50 200	50 200	25* 100	25 100
C. max. (ppm) (mg/m^3)				100 400
P.				
HDVS (ppm)	5 000	5 000		

* En vertu de l'étude de Nelson et al (où de l'irritation de la gorge a été notée chez des sujets exposés à 50 ppm de cyclohexanone) et de l'étude de Tréon et al. (où la cyclohexanone en faibles concentrations a causé des dommages rénaux et hépatiques chez les lapins) le NIOSH recommande une concentration moyenne de 25 ppm pour une durée d'exposition allant jusqu'à dix heures par jour, durant une semaine de travail de quarante heures.[3]

j) Premiers secours

Instituer des procédures appropriées telles que retirer l'individu de la source d'exposition, laver les régions cutanées affectées et rincer immédiatement les yeux avec de l'eau.[1]

k) Surveillance médicale

Globalement, les mêmes commentaires qu'au sujet de l'acétone peuvent être repris.

Le NIOSH a fait les recommandations suivantes (elles s'appliquent aussi à l'ensemble des cétones): puisque la cyclohexanone cause de *l'irritation* de la *peau*, des *yeux*, du *nez* et de la *gorge*, ces effets devraient être considérés lors de l'examen médical des employés exposés à cette substance; de plus, la cyclohexanone ayant produit des *cataractes* chez les animaux expérimentaux, une attention particulière devrait être portée lors de l'examen des yeux; en dernier lieu, puisque la cyclohexanone peut potentiellement causer des *dommages rénaux et hépatiques* à des concentrations relativement faibles chez les lapins, il est recommandé d'effectuer un monitoring des fonctions rénales et hépatiques; une analyse urinaire et un monitoring des enzymes hépatiques sont donc proposés périodiquement.[3]

Il convient d'ajouter que les effets narcotiques observés avec les composés cétoniques existent potentiellement avec la cyclohexanone, bien qu'ils n'aient pas été rapportés. Des examens neuro-comportementaux pourraient donc être proposés. On ignore si ce composé possède une toxicité sur le système nerveux périphérique.

Bibliographie

1. PROCTOR, H.N. et HUGHES, J.P.: Chemical Hazards of the Workplace, J.B. Lippincott Company, U.S.A., 1978.
2. A.I.H.A. (American Industrial Hygiene Association): Hygienic Guide Series, Cyclohexanone, Am. Ind. Hyg. Assoc. Journal, 1965.
3. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health): Criteria for a recommended Standard... Occupational Exposure to Ketones. U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH, U.S.A., 1978.
4. CLAYTON, G.D., et CLAYTON F.E.: Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 3rd Revised Edition, Vol. 2c: Toxicology. A Wiley Interscience Publication, New York, U.S.A., 1982.
5. Règlement sur la qualité du milieu de travail (L.R.Q., c. S-2.1, r.15).
6. NIOSH/OSHA (National Institute for Occupational Safety and Health/Occupational Safety and Health Administration): Pocket Guide to Chemical Hazards. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH; U.S. Department of Labor, OSHA, U.S.A., August 1980.
7. A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): TLV's Threshold Limit Values for Chemical Substances in Work Air adopted by A.C.G.I.H., for 1982.

B. Dérivés nitrés et aminés

1. Nitroglycérine (NG)

Note: Une part importante des informations contenues dans ce texte sont puisées dans les trois documents suivants: l'I.N.R.S. a publié en 1982 une série de trois documents sur la nitroglycérine et le nitroglycol; NIOSH a publié un document complet en 1978 et HOGSTEDT, C., en Suède, en 1980, une série de plusieurs articles.

a) Synonymes

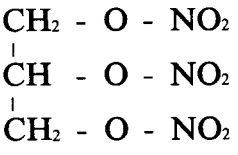
Trinitrate de glycérol, trinitrine, trinitroglycérine, trinitroglycérol.[1]
Symbole: NG

b) Propriétés physico-chimiques[1, 2]

— À la température de la pièce et à l'état pur, la NG se présente comme un liquide huileux, incolore et, jaune pâle ou brun pâle dans sa forme commerciale. Elle est inodore, de saveur douceâtre et brûlante.

— Classe des nitrates aliphatiques.

— Formule chimique:



— Poids moléculaire: 227.

— Point d'ébullition: 185°C, mais dégage d'abondantes vapeurs vers 89°C.

— Point de fusion: 11°C.

— Tension de vapeur à 20°C: 0,00012 - 0,011 mm Hg.

— Vitesse d'évaporation à 60°C: 0,11 mg/cm^2, par heure.

— La nitroglycérine (NG) détonne au choc ou lors d'un échauffement rapide et explose vers 210°C.

— Elle est insoluble dans l'eau.[1]

— Elle est fortement soluble dans l'éther, le chloroforme ou l'alcool éthylique.[1]

c) Toxicocinétique

La NG est absorbée par voie d'inhalation et par voie cutanée, à travers la peau intacte et les muqueuses. La voie cutanée représente la voie majeure d'exposition chez les travailleurs qui ont un contact cutané direct avec la NG.[2] En l'absence de contact cutané direct avec la NG, il se produit quand même une absorption cutanée, uniquement par contact avec l'air contaminé.[3]

La NG est principalement métabolisée au niveau du foie. Chez les animaux expérimentaux, elle semble subir une dénitration par voie enzymatique en présence de glutathion réduit. Cette réaction conduit à la formation de métabolites hydrosolubles qui sont rapidement excrétés par le rein.[2]

d) Toxicité chez l'humain

1) Généralités

Le principal effet de la NG consiste en une dilatation des vaisseaux sanguins artériels et veineux. La NG est d'ailleurs utilisée en médecine en raison de cet effet qu'elle produit au niveau des artères coronaires. Cet effet apparaît très rapidement, voire instantanément, suite à l'absorption de NG et survient à de très faibles doses. La NG agit donc principalement sur le système cardio-vasculaire.[4]

L'I.N.R.S. subdivise en deux plans la toxicité cardio-vasculaire de la NG:[5]

1°) les effets dus à une imprégnation ou une surcharge. Dans cette catégorie, sont classés les symptômes et signes survenant peu de temps après le début de l'exposition et le phénomène de tolérance survenant quelques jours après;

2°) les effets dus au sevrage (i.e. lors du retrait de l'exposition). Sont compris dans cette classe, l'angine de poitrine et le syndrome de mort subite, qui surviennent généralement suite à plusieurs années d'exposition.

Les effets cités en 1°) correspondent en fait aux effets aigus de la NG, alors qu'en 2°), ils correspondent aux effets chroniques.

Les phénomènes aigus sont certainement incommodants, mais ils demeurent, pris isolément, de caractère généralement bénin. Par contre, les effets chroniques sont beaucoup moins fréquents, mais en revanche très sérieux puisqu'ils peuvent entraîner la mort.

Note: La majorité des études effectuées en milieu de travail documente les effets toxiques d'une exposition simultanée à la NG et à l'éthylène glycol dinitrate (EGDN ou

nitroglycol) (depuis 1930, l'EGDN a été ajouté à la NG, afin de la rendre moins susceptible à l'explosion). Cependant, des études effectuées dans les industries n'utilisant que la NG, indiquent que la toxicité de la NG pourrait être considérée identique à celle de l'EGDN.[2] Certains auteurs ont suggéré que l'EGDN puisse être plus toxique, mais la majorité attribue cette différence apparente à une plus grande pression de vapeur de l'EGDN, comparativement à celle de la NG (par un facteur d'environ cent).[2, 6]

2) Toxicité aiguë

— Signes et symptômes d'une exposition aiguë

Les signes et symptômes d'une exposition aiguë à la NG ont bien été documentés. En général, ils se manifestent quelques minutes à quelques heures après le début de l'exposition. Tous peuvent être expliqués directement ou indirectement par l'effet vaso-dilatateur.

Une liste exhaustive inclut: maux de tête intenses et de type pulsatif, étourdissements, sudation, bouffées de chaleur, faiblesse, nausées, vomissements, palpitations, bourdonnements d'oreille, rougeur du visage et des extrémités, engourdissements des extrémités, accélération du pouls, baisse de la tension artérielle systolique et baisse de la tension artérielle différentielle (i.e. pression systolique moins la diastolique) avec élévation relative ou absolue de la diastolique.[2, 5]

Le mal de tête de type pulsatif représente probablement le symptôme le plus important, le plus constant et le plus précoce. Il constitue dans bon nombre de cas le seul symptôme présent.[5]

Les altérations de la fréquence cardiaque (augmentation du pouls) et de la pression sanguine constituent aussi des signes fréquents.

— Phénomène de tolérance

Dans la majorité des cas, un phénomène de tolérance s'installe progressivement, si bien que les symptômes disparaissent après une période de plusieurs heures à quelques jours, suivant le début de l'exposition. Ce phénomène de tolérance (ou accoutumance) est bien connu des travailleurs de cette industrie. Toutefois, ce phénomène n'est pas persistant, puisque suivant une période de retrait de l'exposition à la NG (par exemple: les fins de semaine, ou lors de plus longs congés), les symptômes réapparaissent comme s'il s'agissait d'un premier contact. Dans quelques cas cependant, les maux de tête peuvent être constants.[5]

L'état de tolérance s'explique par l'établissement de phénomènes compensatoires réflexes qui contrecarrent l'effet vasodilatateur de la NG. Plus précisément, il se produit une stimulation centrale (via les baro-récepteurs) du système nerveux sympathique qui amène une décharge de catécholamines, expliquant ainsi la tachycardie et l'effet compensatoire observé.[4]

— Relation dose-réponse

Trainor et Jones rapportent dans une étude que parmi sept travailleurs, six avaient développé des maux de tête légers, lorsqu'exposés à des vapeurs de NG:EGDN à une concentration de 0,5 mg/m^3, pendant vingt-cinq minutes ou moins.[7] Les diminutions moyennes de tension artérielle pour ces sept travailleurs étaient de 11 mm Hg pour la pression systolique, 6,5 mm Hg pour la pression diastolique et 4,5 mm Hg pour la pression différentielle. Ces effets étaient uniquement produits par l'exposition aux vapeurs du composé (NG:EGDN). Des travailleurs ont également présenté des maux de tête lorsqu'ils étaient exposés à des concentrations de NG:EGDN variant de 0,10 à 0,53 mg/m^3 (moyenne de 0,36 mg/m^3).

Hanlon et Fredrick ont affirmé que des travailleurs d'une industrie pharmaceutique n'avaient pas développé de maux de tête lorsqu'exposés à des concentrations de NG

inférieures à 0,09 mg/m³, mais ils n'ont présenté aucune donnée pour supporter ces affirmations[2].

Trainor et Jones ont indiqué qu'il y avait une relation entre la différentielle de pression systolique et diastolique, et la concentration de vapeurs de NG:EGDN: alors que les concentrations aériennes augmentaient de 0,5 à 2,0 mg/m³, la différentielle des travailleurs exposés diminuait.[2]

— ***Autres phénomènes aigus***

• ***Baisse du seuil de tolérance à l'alcool.***
Les signes et symptômes précédemment mentionnés surviennent de façon plus marquée lorsque le sujet ingère de l'alcool. Certains sujets doivent même totalement éviter la consommation d'alcool.[2, 5]

• ***Methémoglobinémie***
Bien que cet effet soit connu des composés nitrés, rares sont les études qui l'ont évalué ou mentionné. Un groupe d'auteurs a trouvé parmi dix travailleurs, des taux de methémoglobinémie atteignant 25 à 30%, trois jours après le retrait de l'exposition.[5]

3) Toxicité chronique

— ***Angine de poitrine et mort subite***
Deux phénomènes ont particulièrement été bien décrits et démontrés en relation avec les effets chroniques de l'exposition en milieu de travail à la NG et/ou EGDN. Il s'agit de l'angine de poitrine et du syndrome de mort subite. Bien qu'ils s'apparentent à des événements de nature brusque, ils sont discutés dans cette section, puisqu'ils résultent d'une exposition à long terme, généralement d'une durée de plusieurs années.

Ces deux entités possèdent plusieurs similitudes: ils surviennent en général dix à vingt ans suivant le début de l'exposition, mais on a déjà observé une période de latence d'un an, dans un cas de mort subite; ils surviennent fréquemment chez des sujets jeunes (30-40 ans) et en bonne santé; ils apparaissent de façon caractéristique pendant la période de sevrage, à la deuxième journée (dimanche soir), ou le matin lors du retour au travail (lundi matin); pour cette raison, l'entité a reçu le nom de « syndrome du lundi matin »;[2, 5] enfin, ils résulteraient d'un même mécanisme. Celui-ci n'est pas encore élucidé, mais il pourrait s'agir d'un ou des phénomènes suivants: un spasme coronarien, surajouté ou non à une sténose par artériosclérose, l'artériosclérose sans phénomène spasmodique et des troubles du rythme.

De nombreux cas de mort subite sont survenus chez des sujets antérieurement en excellente santé et chez qui l'autopsie révélait l'absence d'artériosclérose. Ces trouvailles suggèrent fortement qu'un phénomène spasmodique soit à l'origine. D'autre part, quelques auteurs ont mis en évidence des lésions coronariennes d'artériosclérose pouvant expliquer la survenue du décès par infarctus du myocarde. Enfin, plus récemment, l'usage de monitoring électrocardiographique continu de travailleurs a permis de détecter la présence de troubles du rythme et de troubles de la repolarisation coïncidant avec la période de sevrage (se référer aux documents de l'I.N.R.S.[4, 5] pour une discussion plus approfondie de ces hypothèses).

— ***Études épidémiologiques***
Certains auteurs ont entrepris des études épidémiologiques de mortalité, afin d'évaluer les effets chroniques survenant pendant ou longtemps après l'arrêt de l'exposition. Ils ont pu démontrer que la mortalité par maladie cardio et cérébro-vasculaire était augmentée chez les travailleurs ayant été exposés à la NG et/ou EGDN, en comparaison avec la population générale.[2, 5, 8, 9, 10, 11]

Ainsi, Carmichael et Lieben (1963) ont évalué qu'un groupe de 75 travailleurs de l'industrie aux U.S.A. avait un taux de mortalité par maladie coronarienne quinze fois supérieur à celui de la population correspondante de l'état de Pennsylvanie.[5]

Hogstedt et Axelson (1977) ont utilisé pour leur étude, les certificats de décès d'un comté en Suède et ont trouvé un risque de décès par maladie cardio-vasculaire de 2,5 fois supérieur chez les travailleurs exposés à la NG:EGDN.[9] Le risque augmente avec la durée d'exposition, particulièrement dans le groupe le plus âgé (55 à 70 ans). Ils expriment l'opinion que le risque est probablement sous-estimé (en comparaison avec les résultats de Carmichael et Lieben) en raison d'une sélection à l'embauche pratiquée depuis 1954. Il est important de souligner que ces auteurs mettent en évidence le fait que le taux de mortalité demeure très augmenté, longtemps après l'arrêt de l'exposition, ce qui implique que les effets cardiovasculaires ne sont pas dus uniquement au phénomène de sevrage. Enfin, Hogstedt et Anderson (1980) ont récemment démontré dans une étude de type cohorte rétrospective, que la mortalité cardio et cérébro-vasculaire était augmentée (par un facteur de deux en comparaison avec la population générale) chez les travailleurs ayant au moins un an d'exposition, avec une période de latence d'environ vingt ans.[10]

— ***Autres phénomènes chroniques***

Certains auteurs ont rapporté que des travailleurs manipulant de la dynamite peuvent développer un engourdissement des doigts, des paresthésies et un phénomène de Raynaud. Jacob et Maroun ont suggéré que ces effets étaient reliés à un dommage nerveux, secondaire à une stagnation périphérique du débit sanguin, due à l'action vasodilatatrice des nitroesters.[2]

Tableau 5 — Résumé de la toxicité aiguë et chronique résultant de l'exposition à la NG ou au mélange NG:EGDN (adapté de NIOSH)[2]

Concentration mg/m³	Substance	Effets
0,3 - 12,5	NG	Maux de tête
0,3 - 12,5	NG	Changements de la tension artérielle, douleur à la poitrine, dermatite, changements de l'EEG
0,1 - 14	NG:EGDN	Maux de tête
0,12 - 0,41	NG:EGDN	Changements des ondes pulsatiles au niveau de l'extrémité des doigts
0,17 - 1,10	NG:EGDN	Augmentation de la mortalité cardio et cérébro-vasculaire après vingt ans d'exposition
0,3 - 4,35	NG:EGDN	Changements du pouls
0,3 - 14	NG:EGDN	Changements de la pression sanguine
< 1,24	NG:EGDN	Changements de l'EEG
< 1,24 - 14	NG:EGDN	Palpitations
< 1,25 - > 5	NG:EGDN	Douleur à la poitrine
1,2 - 14	NG:EGDN	Nausées, sensation altérée au niveau des extrémités
1,7 - > 5	NG:EGDN	Intolérance à l'alcool
1,7 - 14	NG:EGDN	Étourdissement et évanouissement

Note: Dans tous les cas, il y avait absorption supplémentaire par la voie cutanée.

4) Mutagénicité

NIOSH conclut que cet aspect n'a pas été évalué de façon satisfaisante (une seule étude non évaluable en raison du peu de données).[2]

5) Cancérigénicité

Le potentiel cancérigène de la nitroglycérine a récemment été évalué chez les rats et les souris. Aucune différence au niveau du site tumoral ou de l'incidence de tumeurs n'a été trouvée chez les rats. Toutefois, Suzuki et al. ont trouvé une incidence excessive d'adénomes de la glande pituitaire chez des souris femelles recevant de la NG dans leur eau potable. Ces tumeurs étaient apparemment bénignes, mais leur développement suggère qu'une exposition à la NG pourrait affecter la glande pituitaire. Aucun rapport de cas ni d'étude épidémiologique à ce sujet n'ont été trouvés dans la littérature.[2]

6) Tératogénicité

Outre d'anciennes observations contradictoires et d'intérêt plutôt historique (datant de la fin du XIX^{e} et début du XX^{e} siècle), aucune étude expérimentale ni épidémiologique n'a été effectuée pour évaluer le potentiel tératogène de la NG.[2]

e) Normes ambiantes

	Normes en vigueur			Normes proposées	
	Québec[10]	Suède[13]	U.S.A.[2]	N.I.O.S.H.[2]	A.C.G.I.H.[14]
C. moy. (ppm) (mg/m^3)	0,2 2	0,1 0,9	0,2 2	0,01 0,1	0,02 0,2
C. max. (ppm) (mg/m^3)		0,3 3			0,05 0,5
P (ppm) (mg/m^3)	0,2 2		0,2 2	0,01 0,1	
HDVS					

Note: Afin que les limites recommandées de C. moy. et de C. max. demeurent valides, des mesures appropriées doivent être prises afin de prévenir l'absorption cutanée.

En 1978, NIOSH a recommandé que les travailleurs ne soient pas exposés à des concentrations de NG supérieures à 0,1 mg/m^3 d'air ambiant, ceci représentant une concentration plafond pour une période d'échantillonnage de vingt minutes. La norme recommandée par NIOSH est définie comme le niveau permettant de protéger la santé et la sécurité des employés, pour une période de travail allant jusqu'à dix heures par jour, quarante heures par semaine, durant une vie entière.

Cette recommandation semble particulièrement se fonder sur le travail de Trainor et Jones[7] qui ont démontré que même en l'*absence* de contact cutané direct, des maux de tête et une diminution de la pression sanguine survenaient chez la majorité des travailleurs exposés à 0,5 mg/m^3 d'un mélange NG:EGDN, et que des maux de tête survenaient à des concentrations aussi basses que 0,1 mg/m^3.[2]

f) Premiers secours et premiers soins

Il n'existe aucun antidote spécifique pour le traitement d'une intoxication à la NG. Quoique certains vaso-constricteurs aient été utilisés, tels le sulfate d'amphétamine et le bromure de physostigmine, leur valeur n'a pas été démontrée et pour cette raison ils ne sont pas recommandés.

Le traitement des effets secondaires à la NG est donc symptômatique et de soutien. Les nausées, l'hypotension et les étourdissements légers devraient être traités en retirant le sujet hors de l'exposition et en le maintenant couché au repos. Les céphalées peuvent être traitées avec des analgésiques mineurs (A.S.A., acétaminophène) et en retirant l'individu hors du site d'exposition. Les douleurs rétrosternales, les palpitations et les réactions de vasodilatation sévère avec hypotension et « flushing », nécessitent l'attention médicale immédiate, voire l'hospitalisation.[2, 15]

La pratique de se procurer de la NG pendant les périodes de congé ou de vacances, pour maintenir la tolérance à la NG, ne peut être recommandée. Bien que cette pratique puisse diminuer certains effets aigus, il n'y a aucune preuve que cela prévienne les effets à long terme, soit la mortalité d'origine cardio-vasculaire. Il est même possible que cela l'augmente. De plus, le fait qu'un travailleur développe une tolérance est une indication qu'il est surexposé. Cette surexposition devrait être contrôlée à la source.

g) Surveillance médicale

1) NIOSH[2] recommande que des examens périodiques soient effectués semi-annuellement, ou plus fréquemment si requis, ainsi qu'un examen pré-embauche. Ces examens devraient inclure:

— Une histoire médicale et professionnelle complète en portant une attention particulière aux problèmes du système cardio-vasculaire. Les travailleurs doivent être bien interrogés

au sujet des symptômes caractéristiques d'une exposition à la NG (soit céphalées, étourdissements, nausées, palpitations, douleur à la poitrine); il est important de noter si ces symptômes se manifestent durant les fins de semaine, les vacances, les lundi ou au retour des vacances. Les travailleurs devraient être informés du phénomène de tolérance et être encouragés à rechercher une assistance médicale si des céphalées, des palpitations ou des douleurs à la poitrine surviennent hors du travail. Ils devraient être avertis de l'effet potentialisateur de l'alcool. Enfin, on doit rechercher dans les antécédants une histoire de glaucome, d'anémie et d'hypotension.

— Un examen physique doit être fait avec attention particulière aux systèmes cardiaque et circulatoire, au système nerveux périphérique et central, et à la peau. Le pouls, la pression sanguine et l'électrocardiogramme au repos, durant et après exercice (Master's test), sont aussi recommandés par NIOSH. La présence de glaucome et anémie doit être recherchée.

— La capacité des travailleurs à porter un respirateur à pression positive devrait aussi être évaluée, selon le cas.

2) Quoique NIOSH recommande la prise quotidienne du pouls comme un indicateur précoce d'une exposition à la NG, ceci nous semble peu utile car le pouls peut être influencé par une variété de facteurs externes. De plus, les changements dus à l'effet de la NG sont faibles et passent facilement inaperçus.

Un indicateur plus fiable serait la prise de la pression sanguine systolique et diastolique et le calcul de la pression différentielle. Ceci devrait être noté avant et après le quart de travail, surtout les lundi. Cette pratique est déjà effectuée dans plusieurs entreprises.[2]

3) Monitoring biologique

Les études sont limitées concernant le dosage de la NG dans le sang et l'urine des travailleurs. Actuellement, l'information disponible ne nous permet pas de proposer cette méthode pour le monitoring biologique des travailleurs exposés à la NG.[2]

Le dosage de l'exposition dermique a été suggéré (en procédant par un essuyage périodique avec un solvant, tel l'alcool, des régions cutanées potentiellement exposées). Une alternative consisterait à analyser périodiquement les couches internes des vêtements protecteurs. Ces échantillons pourraient être analysés par chromatographie en phase gazeuse, ou par colorimétrie.[2, 16]

Notons qu'un indicateur biologique tel que le dosage de la methémoglobine n'a jamais été utilisé. Il ne peut toutefois être proposé puisque sa valeur prédictive n'est pas connue dans le cas présent.

4) Les contre-indications à l'exposition à la NG incluent: maladies cardio-vasculaires, glaucome, anémie sévère, hypertension intra-crânienne, hypotension symptomatique, sensibilité ou réaction idiosyncrasique à la NG.[15, 17]

h) Mesures hygiéniques

NIOSH a publié une revue complète des mesures hygiéniques à effectuer dans l'industrie de la NG.[2]

Il importe de souligner que lorsqu'une exposition cutanée survient, celle-ci constitue la voie majeure d'exposition. De plus, les normes recommandées par NIOSH assument qu'aucune exposition par voie cutanée n'existe. Toute tâche exigeant un contact cutané direct avec la poudre constitue donc un problème majeur. Il est démontré que la NG est absorbée à travers les gants de caoutchouc, de coton et de néoprène; en fait, il n'existe aucune substance qui soit complètement imperméable à la NG.[2] Hogstedt et Stahl[3] ont suggéré que les gants en caoutchouc, avec un intérieur en coton, changés une à deux fois par heure, pourraient procurer une certaine protection, mais leurs résultats sont peu concluants. D'autre part, ces mêmes auteurs et d'autres ont démontré que les

gants de caoutchouc utilisés seuls, augmentent l'absorption cutanée de la NG. Également, ces gants rendent difficiles les tâches nécessitant une dextérité manuelle. Une meilleure solution consisterait à éliminer les tâches nécessitant un contact cutané direct avec la NG.

Bibliographie

1. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health): Occupational Diseases. A Guide to their Recognition. U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH, Revised Edition, Publication nº 77-181, U.S.A., 1977.
2. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health): Criteria for a Recommended Standard... Occupational Exposure to Nytriglycerin and Ethylene Glycol Dinitrate, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH, Publication nº 78-167, U.S.A., 1978.
3. HOGSTEDT, C. et STAHL, R.: Skin Absorption and Protective Gloves in Dynamite Work. American Industrial Hygiene Association Journal, nº 41, pp. 367-372, 1980.
4. I.N.R.S. (Institut national de recherche et de sécurité): Exposition au nitroglycol et à la nitroglycérine. Syndrome de sevrage. Étude d'enregistrements électrocardiographiques continus. Rapport nº 1400-109-82, Paris, 1982.
5. I.N.R.S. (Institut national de recherche et de sécurité): Exposition au nitroglycol et à la nitroglycérine. Étude bibliographique. Bilan d'une enquête transversale dans cinq dynamiteries. Rapport nº 1373-107-82, Paris, 1982.
6. STAHL, R.: Problems related to Efforts to Achieve Low Air-Borne Concentrations of Ethylene Glycol Dinitrate (EGDN) (non publié).
7. TRAINOR, D.C. et JONES, R.C.: Headaches in Explosive Magazine Workers, Arch. Environmental Health, nº 12, pp. 231-234, 1966.
8. LANGE, R.L. et al.: Nonatheromatous Ischemic Disease Following Withdrawal from Chronic Industrial Nitroglycerin Exposure. Circulation nº 46, pp. 666-678, 1972.
9. HOGSTEDT, C. et AXELSON, O.: Nitroglycerin, Nitroglycol Exposure and the Mortality in Cardio-Cerebrovascular Diseases among Dynamite Workers, J. Occup. Med. nº 19, pp. 675-677, 1977.
10. HOGSTEDT, C. et ANDERSON, K.: A Cohort Study on Mortality among Dynamite Workers, Journal Occup. Med. nº 21, pp. 553-556, 1979.
11. HOGSTEDT, C. et DAVIDSON, B.: Nitroglycol and Nitroglycerin Exposure in a Dynamite Industry 1958-1979, American Industrial Hygiene Association Journal, nº 41, pp. 373-375, 1980.
12. Règlement sur la qualité du milieu de travail (L.R.Q., c. S-2.1, r.15).
13. Ordinance Issued by the National Swedish Board of Occupational Safety and Health concerning Hygienic Limit Values, May 1981.
14. A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): TLV's Threshold Limit Values for Chemical Substances in Work Air adopted by A.C.G.I.H. for 1982.
15. KROGH, C.M.E. et al.: Compendium of Pharmaceuticals and Specialties, 18th Edition, 1983.
16. TWIBELL, J.D. et al.: Transfer of Nitroglycerin to Hands During Contact with Commercial Explosives, J. Forensic Sciences, nº 27, pp. 783-791, 1982.

17. GOODMAN, L.S. et GILMAN, A.: Pharmacological Basis of Therapeutics, 5th Edition, pp. 727-743, 1975.

2. Dinitrotoluène (DNT)

a) Synonymes[1, 2]

DNT, dinitrotoluol, 1-méthyl-2,4 - dinitrobenzène, 2,4 - dinitrotoluène, dinitro -2,4 - toluène.

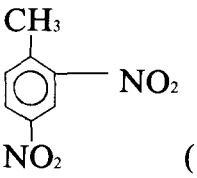
Note: il existe 6 isomères du DNT. Les plus importants sont le 2-4 et le 2-6 dinitrotoluène.

b) Propriétés physico-chimiques[1, 2]

1) Description: cristaux jaunes en forme d'aiguilles à l'odeur caractéristique.

2) Classe: famille des composés aromatiques nitrés (arylnitrés).

3) Formule chimique: $CH_3C_6H_3(NO_2)_2$



(isomère 2,4 DNT)

c) Toxicocinétique

1) Voies d'exposition et d'absorption

Le DNT est absorbé par voie d'inhalation et par voie cutanée.[3] Comme les composés de la même famille, la voie cutanée représente probablement une voie majeure d'absorption.

2) Métabolisme et excrétion

Le métabolisme du DNT impliquerait 2 voies: une transformation hépatique et une seconde par la microflore intestinale.[4, 5, 6, 7] L'importance relative de ces deux systèmes demeure incertaine. Il est postulé que le DNT est absorbé par le tractus gastro-intestinal, puis transporté au foie où il est métabolisé en dinitrobenzyl alcool et son glucuronide. Ce dernier atteint, soit la circulation générale pour être principalement excrété dans l'urine, soit le cycle entéro-hépatique. Dans ce dernier cas, la microflore intestinale hydrolyse le glucuronide et convertit l'aglycone en un métabolite non identifié qui est réabsorbé et transporté au foie.[8, 9]

L'élucidation de ces voies métaboliques revêt une importance particulière en raison du caractère cancérigène des métabolites chez l'animal.

3) Interaction

L'ingestion d'alcool aggrave les effets toxiques du DNT.[3]

d) Toxicité

1) Généralités

Le DNT possède potentiellement des propriétés toxicologiques similaires aux autres composés de la même famille, mais à un degré moindre.[10] Il peut induire une methémoglobinémie, serait toxique au niveau hépatique et sanguin (autre que la methémoglobinémie) et il aurait été récemment déclaré cancérigène chez l'animal (cancer du foie); il ne semble toutefois pas être un sensibilisant cutané.

2) Toxicité chez l'humain

— Toxicité aiguë

L'absorption de DNT cause la formation de methémoglobine. Le DNT est classé selon Bodansky comme un agent methémoglobinémiant modérément actif.[11] Les signes et les symptômes d'une surexposition sont engendrés par une baisse de l'apport en O_2 aux

tissus. Une revue détaillée de ces symptômes est décrite dans le texte sur la methémoglobinémie (section nº 7).

— ***Toxicité chronique***
Les données sont très pauvres à ce sujet. Il a été dit qu'aucun effet chronique n'a été observé suite à des expositions uniques.[3] Des cas de jaunisse et d'anémie secondaires ont été rapportés, mais sans plus de précisions. La toxicité hépatique du TNT est bien connue et elle a été mieux étudiée. On a décrit des altérations hépatiques sub-cliniques survenues à de faibles niveaux d'exposition (cf. fiche sur le TNT, même section au nº 3). En raison de la similitude entre les deux composés, il serait important d'étudier davantage le DNT en regard des effets ci-haut mentionnés.

3) Toxicité chez l'animal
Plusieurs études ont été effectuées chez l'animal. Notons principalement sa toxicité au niveau sanguin et hépatique.

— ***Toxicité au niveau sanguin*** (système hématopoïétique)
L'ingestion de DNT dans la diète de rats a causé une diminution de la masse des globules rouges (i.e. de l'anémie) et une augmentation compensatoire de la valeur moyenne des réticulocytes.[12]

— ***Toxicité au niveau hépatique***
L'ingestion de DNT dans la diète de rats a provoqué diverses altérations au niveau hépatique: foyers blanchâtres ou jaunâtres, nodules et masses tissulaires, hyperbasophilie et mégalocytose d'hépatocytes, vacuolation et nécrose d'hépatocytes. De l'hyperplasie biliaire avec atypie de l'épithélium du canal biliaire a également été rapportée.[9] Signalons en plus son effet cancérigène au niveau du foie, qui sera discuté plus loin.

4) Mutagénicité
Plusieurs études in vitro et in vivo ont été conduites afin de déterminer le potentiel mutagène du DNT. Plusieurs se sont révélées négatives alors que d'autres se sont avérées positives. Citons entre autres, les études utilisant le test de Ames qui ont démontré le caractère mutagène du DNT (mélange de 2,4-DNT principalement, 2,6-DNT et 3,4-, 2,3-, 2,5-, et 3,5-DNT) et particulièrement du 3,5-DNT.[13, 14]

5) Cancérigénicité
Quoiqu'une étude ait conclu que le 2,4-DNT n'était pas cancérigène chez les rats et les souris,[15] plusieurs études récemment conduites aux U.S.A. ont permis de démontrer le pouvoir hépatocancérogène du DNT.[12, 16, 17] Cet aspect est particulièrement complexe et nous référons le lecteur aux nombreuses études qu'ont effectuées les chercheurs de Chemical Industry Institute of Toxicology (C.I.I.T.) au Research Triangle Park, U.S.A.

L'ingestion chronique de DNT dans la diète de rats a provoqué une incidence particulièrement élevée de cancers du foie, soit des carcinomes hépatocellulaires.[12, 16, 17] Elle a aussi induit l'apparition de nodules hépatiques néoplasiques bénins et de cholangiocarcinomes (cancer des voies biliaires).[12]

Des études plus poussées ont permis de démontrer que l'isomère 2,6-DNT en serait le premier responsable. On a en fait démontré que l'isomère 2,6-DNT agissait comme initiateur et promoteur, alors que le 2,4-DNT n'était qu'un promoteur (initiateur = induit à lui seul le cancer; promoteur = facilite la production d'un cancer en présence d'un agent inducteur).[18]

L'effet cancérigène est probablement médié par les métabolites du DNT, et en particulier les métabolites produits par la microflore intestinale.[7] Tel que précédemment indiqué à la section sur le métabolisme, les voies et les composés en cause n'ont pas été définitivement élucidés.

Des chercheurs du C.I.I.T. tentent actuellement d'identifier les métabolites urinaires chez des travailleurs exposés. Une étude épidémiologique serait aussi en cours (National Cancer Institute, U.S.A.).

6) Tératogénicité

De la dégénérescence testiculaire et de l'hypospermatogénèse ont été observées chez des rats recevant une diète contenant du DNT.[12]

Une étude épidémiologique, effectuée chez des travailleurs masculins exposés au DNT et au TDA (toluène diamine), n'a révélé aucun trouble reproductif chez ces travailleurs, en comparaison avec un groupe contrôle.[19]

e) Normes ambiantes

	Québec[20]	U.S.A.[21]	NIOSH	A.C.G.I.H.[22]
C. moy. (mg/m^3)	1,5	1,5		1,5
C. max. (mg/m^3)	5			5
P.				
HVDS (mg/m^3)		200		

Notes: La C. moy. et la C. max. sont suivies de la notation « skin » rappelant la contribution potentielle de la voie d'absorption cutanée. Elle vise donc à souligner que des mesures appropriées soient prises afin de prévenir l'absorption cutanée de sorte que les limites recommandées de C. moy. et C. max. demeurent valides.[22]

La C. moy. de 1,5 mg/m^3 (initialement proposée par l'A.C.G.I.H.) a été adoptée par analogie avec les limites recommandées pour les nitro et dinitro-benzènes, quoique le DNT semble moins toxique que les autres composés nitro-aromatiques.[10] Elle ne tient pas compte du potentiel cancérigène du DNT.

f) Premiers secours et premiers soins

En raison de l'absorption préférentielle du DNT par la peau et en raison de son pouvoir cancérigène (chez l'animal), il est essentiel de prévenir tout contact cutané.

Lors d'un contact cutané ou lors d'intoxication au DNT, tout le DNT présent sur le corps doit être enlevé. Il faut immédiatement dépouiller le sujet de ses vêtements et laver le corps entier avec du savon et de l'eau. Une attention spéciale doit être portée aux cheveux et au cuir chevelu, aux ongles des doigts et orteils, aux narines et aux conduits auditifs. Déterminez la concentration de methémoglobine dans le sang et administrez le traitement s'il y a lieu (se référer au texte sur la methémoglobinémie). Généralement le taux de methémoglobinémie redevient normal en dedans de vingt-quatre heures, en autant que toutes les sources d'absorption ultérieures aient été complètement éliminées.[3]

g) Surveillance médicale

Il est difficile de proposer des mesures de détection précoce des altérations à la santé résultant de l'exposition au DNT, en raison du peu de données et de connaissances au sujet de sa toxicité chez l'humain. Peu d'autorités ont fait des recommandations à cet effet.

Toutefois, en raison du potentiel cancérigène du DNT, il apparaît essentiel de prévenir tout effet pouvant résulter de l'exposition au DNT. Plusieurs examens complémentaires sont donc nécessaires, afin d'évaluer l'ensemble des organes susceptibles à son action. L'objectif devrait être une élimination totale des effets secondaires à cet agent.

NIOSH[2] propose une surveillance générale (non spécifique) des effets cliniques sur divers systèmes (sang, foie, peau), alors que Proctor et Hugues[3] proposent le dosage de la methémoglobinémie à intervalles réguliers ou lorsqu'une intoxication est suspectée et le dosage urinaire du DNT.

1) Dosage de la methémoglobinémie

Pour une discussion plus approfondie au sujet de l'usage de cet examen dans le cadre de la surveillance médicale, se référer au texte déjà mentionné.

Le DNT est un agent methémoglobinémiant modérément actif.[11] Il est donc probable que la metHbie survienne de façon assez précoce (bien que cela ne soit pas démontré). En ce sens, le dosage de la methémoglobinémie constituerait un test sensible. Cependant, aucune relation n'est connue entre la methémoglobinémie, les métabolites du DNT et les autres effets du DNT. Cet examen constitue en somme une mesure complémentaire dans la surveillance médicale.

La surveillance des symptômes dus à la methémoglobinémie (céphalée, fatigue, cyanose...) pourrait être utile pour nous indiquer la présence d'une exposition importante insoupçonnée et pour nous guider quant à la pertinence du dosage de la methémoglobinémie et du traitement dans de tels cas. Toutefois, l'on doit se rappeler que la présence de symptômes en relation avec la metHbie est un signe tardif (15% et plus de metHbie) et qu'elle indique déjà une exposition importante au produit causal.

2) Métabolites du DNT

Aucune mesure précise ne peut actuellement être proposée à ce sujet. Lorsque les résultats des études en cours seront connus, nous pourrons juger de leur pertinence. Cette voie semble cependant la plus prometteuse en ce qui regarde l'effet cancérigène potentiel chez l'humain.

3) Dosage urinaire du DNT

Un taux en excès de 25 mg/litre de DNT urinaire représenterait un niveau significativement élevé d'absorption.[3] Toutefois, l'on ne connaît pas ici non plus de relation dose-réponse qui nous permettrait d'établir une norme biologique acceptable (autre que l'absence du produit dans l'urine). Il est à noter que la toxicocinétique du DNT est très peu connue chez l'humain.

4) Surveillance des effets hépatiques

Cet élément est à évaluer puisqu'aucune donnée ne semble exister sur les effets sub-cliniques et précoces du DNT sur le foie. Les tests hépatiques habituels (dont les iso-enzymes) devraient être utilisés dans une première étape, chez un groupe exposé et un groupe contrôle, afin de déterminer la pertinence de cette surveillance.

Le même commentaire s'applique pour la surveillance du système sanguin (i.e. l'anémie).

Bibliographie

1. C.S.S.T. (Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec): Répertoire toxicologique, fiche toxicologique: Dinitrotoluène.
2. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health): Occupational Diseases. A Guide to their Recognition. U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH, Revised Edition, Publication nº 77-181, U.S.A., 1977.
3. PROCTOR, H.N. et HUGUES, J.P.: Chemical Hazards of the Workplace, J.B. Lippincott Company U.S.A., pp. 233-235, 1978.
4. BOND, J.A. et al.: Sex-Dependant Metabolism and Biliairy Excretion of [2,4-^{14} C] Dinitrotoluene in Isolated Perfused Rat Livers. J. Pharmac. and Exper. Therap., Vol. 219, nº 3, pp. 598-603, 1981.
5. BOND, J.A. et RICKERT, D.E.: Metabolism of 2,4-Dinitro (^{14}C) Toluene by Freshly Isolated Fischer — 344 Rat Primary Hepatocytes. Drug Metab. and Dispos., Vol. 9, nº 1, pp. 10-14, 1981.

6. DENT, J.G. et al.: Metabolism of 2,4-Dinitrotoluene by Rat Hepatic Microsomes and Cecal Flora in: Biological Reactive Intermediates II, Part A, R. Synder et al., Plenum Press, pp. 431-436, N.Y., U.S.A., 1982.

7. GUEST, D. et al.: Metabolism of 2,4-Dinitrotoluene by Intestinal Microorganisms from Rat, Mouse and Man, Toxicol. App. Pharmac. nº 64, pp. 160-168, 1982.

8. SWENBERG, J.A. et al.: Cell Specificity in DNA Binding and Repair of Chemical Carcinogens. Environ. Health Perspec. Vol. 49, pp. 155-163, 1983.

9. MEDINSKY, M.A. et DENT, J.G.: Biliary Excretion and Enterohepatic Circulation of 2,4-Dinitrotoluene Metabolites in Fischer — 344 Rats, Toxicol. Appl. Pharmac. 68, pp. 359-366, 1983.

10. A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): Dinitrotoluene. Documentation of the TLV's for Substances in Workroom Air, 3rd Edition, pp. 93-94, Cincinnati, U.S.A., 1976.

11. BODANSKY, D.: Methemoglobinemia and Methemoglobin-Producing Compounds Pharmacol. Rev. nº 3, 1951.

12. RENO, E.F. et al.: 104 - Week Chronic Toxicity Study in Rats. Dinitrotoluene, Project nº 2010-101. Hazleton Laboratories America Inc. Virginia, U.S.A., 1982.

13. COUCH, D.B. et al.: The Influence of Activation Systems on the Metabolism of 2,4 Dinitrotoluene and its Mutagenicity to CHO Cells. Department of Genetic Toxicology and Biochemical Toxicology. Chemical Industry Institute of Toxicology, N.C.

14. COUCH, D.B. et al.: The Mutagenicity of Dinitrotoluenes in Salmonella Typhimurium. Mutation Research, 90, pp. 373-383, 1981.

15. DEPARTMENT OF HEALTH, EDUCATION AND WELFARE: Publication nº (NIH) 78-1304 (1977): Bioassay of 2,4-Dinitrotoluene for Possible Carcinogenicity.

16. ELLIS, H.V. et al.: Chronic Toxicity of 2,4-Dinitrotoluene in the Rat. Toxicol. App. Pharmac. nº 45, pp. 245, 1978.

17. C.I.I.T. (Chemical Industry Institute of Toxicology): A Twenty-four Month Study in Fischer – 344 Rats Given Dinitrotoluene. Interim Report, C.I.I.T. Docket nº 327N8, Research Triangle Park. NC 27709, 1979.

18. POPP, J.A. et LEONARD, T.B.: The Use of the In Vivo Hepatic Initiation Promotion Systems in Understanding the Hepatrocarcinogenesis of Technical Grade Dinitrotoluene. Toxicologic Pathology. Vol. 10, nº 2, pp. 190-196, 1982.

19. HAMILL, P.V.V. et al.: The Epidemiological Assessment of Male Reproductive Hazard from Occupational Exposure to TDA and DNT, Journal Occup. Med. Vol. 24, nº 12, pp. 985, 993, Dec. 1982.

20. Règlement sur la qualité du milieu de travail (L.R.Q., c. S-2.1, r.15).

21. NIOSH/OSHA (National Institute for Occupational Safety and Health/Occupational Safety and Health Administration): Pocket Guide to Chemical Hazards, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH; U.S. Department of Labor, OSHA, U.S.A., p. 90, 1980.

22. A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): TLV's Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Work Environment with Intended Changes for 1982, p. 17.

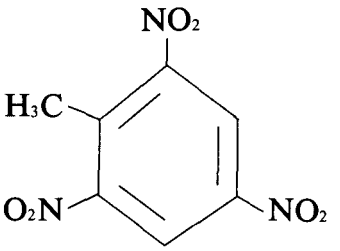
3. Trinitrotoluène (TNT)

a) Synonymes[1]

TNT,
2,4,6 trinitrotoluène (principal isomère du TNT), trinitrotoluol, méthyltrinitrobenzène (terme le plus descriptif de la structure chimique), tolite.

b) Propriétés physico-chimiques[1, 2]

— Classe des nitro-aromatiques (i.e. composé organique cyclique [ou benzénique] nitré).
— Formule chimique: $C_6H_2CH_3(NO_2)_3$



— État: solide de couleur blanchâtre à jaunâtre, non-odorant.

c) Toxicocinétique

1) Absorption

— L'absorption se fait principalement par inhalation et par voie cutanée ainsi que par ingestion.

— Le TNT est facilement absorbé par voie cutanée et cette absorption serait facilitée par la sudation ou lorsque la peau est humide.[3, 4]

2) Métabolisme et excrétion

— Le métabolisme est hépatique alors que l'excrétion est principalement par voie urinaire.

— Le principal métabolite produit et excrété serait le 2,6 dinitro - 4 - aminotoluène ou DNAT. L'excrétion de ce produit semble proportionnelle à la quantité absorbée.[5] Ce composé peut être dosé dans l'urine des travailleurs exposés. D'autres métabolites ont été identifiés et ils sont cités par De Bruine.[5]

d) Toxicité: généralités

Note: Une revue assez complète de la toxicité du TNT a été publiée en 1977 par Hathaway. Plusieurs des données qui suivent ont été puisées dans cette source.[6]

Le TNT peut être considéré comme un puissant toxique pour plusieurs raisons: d'abord, il agit sur de nombreux systèmes de l'organisme (foie, sang, peau, système nerveux, reins...); deuxièmement les effets sur certains de ces systèmes peuvent survenir à de faibles niveaux d'exposition; enfin, des décès sont survenus par suite des effets hépatiques et sanguins.

Les propriétés du TNT sont diverses. Il peut d'abord être classé comme un irritant des muqueuses et de la peau. De plus, il est considéré comme un sensibilisant cutané. Ces deux propriétés sont dues à l'agent primaire (le TNT et non ses métabolites).

Mais, c'est par voie systémique et probablement via ses divers métabolites, que le TNT exerce surtout son action toxique au niveau du foie, du système hématopoiétique (système sanguin), du système nerveux et d'autres systèmes de l'organisme. Les effets hématopoiétiques et hépatiques (sur le foie) du TNT sont probablement les plus importants et les mieux connus.

Notons que certaines des propriétés toxiques du TNT sont similaires au benzène. En effet, tous deux ont une action toxique sur le système hématopoéitique et sont mutagènes. Toutefois, le TNT n'a pas été trouvé cancérigène.

e) Toxicité chez l'humain

Nous aborderons par système les effets aigus et chroniques du TNT chez l'humain.

1) Toxicité cutanée

— Dermatite de contact ou primaire (effet aigu à chronique).
Puisque le TNT possède des propriétés irritantes, il peut causer une dermatite de contact.

— Dermatite de sensibilisation (effet subaigu à chronique).
La dermatite prend la forme d'un érythème papuleux prurigineux, qui atteint surtout les mains, poignets et avant-bras, ainsi que d'autres régions; les endroits de friction sont particulièrement atteints.[7]

— Coloration jaunâtre de la peau.
Peut survenir quelques semaines suivant le début de l'exposition.[8]

2) Toxicité hépatique (sur le foie)

La toxicité hépatique du TNT est un fait certain. Divers rapports et études l'ont mise en évidence.

— Rapports cliniques.
Des décès par hépatite toxique ou atrophie jaune aiguë, survenus pendant la deuxième guerre mondiale, ont été attribués au TNT.

— Études mettant en évidence des effets sub-cliniques, plus précoces.
Des auteurs ont observé plus récemment des perturbations hépatiques sub-cliniques chez des groupes de travailleurs exposés, en comparaison avec les travailleurs non exposés.[9]

Ils ont en effet observé une élévation significative des enzymes SGOT et LDH, qui sont survenus à des niveaux d'exposition inférieurs à la norme américaine actuellement en vigueur (1,5 mg/m^3). Un changement de la concentration ambiante de 0,3 mg/m^3 à 0,8 mg/m^3 (bien qu'en dessous de la norme) a été suffisant pour provoquer une élévation significative de ces enzymes. Il est à noter que le contact cutané était réduit au minimum. Ces élévations représentent possiblement une action toxique sur le foie ainsi qu'un signe d'hémolyse. Elles ont été réversibles en une à trois semaines, hors du milieu de travail.[9]

En résumé, le TNT a une action toxique sur le foie, qui peut être détectée par une élévation des enzymes SGOT et LDH et qui se produit à des niveaux très bas, i.e. aux environs de 0,8 mg/m^3, mais qui est probablement inexistante à des niveaux de 0,3 mg/m^3.

Cet effet se produit rapidement (probablement en quelques jours ou mois) suite à l'exposition et est réversible spontanément hors de celle-ci en une à trois semaines. Bien que cet effet semble réversible, il ne faut pas oublier qu'il s'agit d'un effet toxique (et non pas pré-toxique) et que les tests utilisés (dosage des SGOT et LDH) nécessitent un dommage important avant de se positiver. De plus, nous ne pouvons pas inférer de cette seule étude quant à la réversibilité des altérations hépatiques suivant une exposition à long terme.

3) Toxicité hématopoiétique (sur le sang)

— Anémie aplastique et pancytopénie.
Plusieurs décès par anémie aplastique (anémie due à un blocage au niveau des cellules de la moelle productrices des globules rouges), aussi survenus pendant la deuxième guerre mondiale, ont été attribués au TNT. Certains auteurs (cités par Hathaway) considèrent cet effet comme étant relié à un état d'hypersensibilité au produit.
Ne niant pas ce facteur, Hathaway considère toutefois que la dose d'exposition constitue aussi un important facteur, puisque la relation dose-réponse apparaît à l'échelle de groupe et que l'incidence de tels cas a nettement diminué depuis l'amélioration des conditions d'hygiène dans l'industrie.[6]

Selon Hathaway, il semble qu'en respectant la norme de 0,5 mg/m^3, ces cas devraient être réduits au minimum.[6]

La pancytopénie (blocage de la production non seulement des globules rouges, mais aussi de globules blancs et plaquettes) constitue en quelque sorte une variante ou une extension du même effet toxique sur le système hématopoiétique, produisant tantôt une baisse de la production d'une seule lignée (ex., globules rouges), tantôt une baisse de toutes les lignées (i.e. globules rouges, blancs et plaquettes).[10, 11]

— Hémolyse et anémie hémolytique.
L'hémolyse des globules rouges (i.e. destruction prématurée des globules rouges) constitue probablement le phénomène le plus précoce produit par le TNT et ses métabolites. Il résulte d'une action toxique directe sur les globules rouges.

Lorsque l'hémolyse est minime, il y a compensation par une production accrue de globules rouges (on peut observer une légère réticulocytose qui en témoigne) et l'anémie n'apparaît pas.

Cet effet semble bien dépendant de la dose absorbée.[6]

Il faut noter que cet effet commence à s'observer à de très faibles niveaux d'exposition, mêmes inférieurs à la norme de l'A.C.G.I.H. (0,5 mg/m^3). Selon Hathaway, une exposition à 0,2 mg/m^3 ou plus risque d'entraîner une légère baisse des niveaux d'hémoglobine, sans toutefois produire de symptômes manifestes. Cependant, on ne doit pas oublier qu'une baisse de l'hémoglobine, aussi légère soit-elle, signifie que les mécanismes de compensation ne suffisent plus.

— Methémoglobinémie (metHbie).
Les métabolites du TNT sont responsables de la metHbie. Cette metHbie est généralement légère, i.e. ne produisant pas ou peu de manifestations cliniques.

Son pouvoir à induire la metHbie est considéré comme modéré.[12]

Se référer au texte sur la metHbie pour plus d'information à ce sujet (texte nº 7 de la même section).

4) Autres effets rapportés

— Système nerveux.
Névrite périphérique: cet effet a été rapporté à une occasion chez l'humain et il est reconnu chez l'animal.[6]

— Yeux.
- Irritation des conjonctives, due aux propriétés irritantes du TNT.
- Cataracte: deux études sans groupe contrôle, ont rapporté une haute prévalence de cataractes chez des travailleurs exposés pendant plusieurs années au TNT. Cet effet semble donc probable.[6]

— Système gastro-intestinal.
- Des malaises digestifs variés ont été rapportés plus fréquemment en comparaison avec un groupe contrôle.[6]
- Gastrite.

— Sur le rein.
- Possibilité de néphrite toxique.

— Autres effets rapportés, sans précision (non démontrés).
- Irrégularités du myocarde.
- Dysfonctions pancréatiques.
- Douleurs musculaires.
- Irrégularités menstruelles.

f) Toxicité chez l'animal

Les effets suivants sont connus chez l'animal:[6]
— hémolyse et anémie subséquente,
— atteinte du SNC et SNP (névrite périphérique),

— gastrite,
— dysfonctions pancréatiques,
— stéatose hépatique,
— hémosidérose de la rate,
— inhibition de la phagocytose,
— élévation du cholestérol biliaire.

Les toxicités hématopoiétique et hépatique sont les plus constantes parmi les diverses espèces animales testées.

g) Mutagénicité
Un test bactérien aurait démontré son pouvoir mutagène.[6]

h) Cancérigénicité
À date, les études se sont révélées négatives.[6]

i) Tératogénicité
Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

j) Normes ambiantes

	Québec[13]	U.S.A.	A.C.G.I.H.
C. moy. (mg/m^3)	0,5	1,5	0,5

Notes: — Il est à noter que ce produit est absorbé par voie cutanée et digestive en plus de la voie pulmonaire.
— Tel que déjà exprimé par Hathaway, une concentration ambiante de 0,2 mg/m^3 ou plus risque d'entraîner un certain degré d'hémolyse. La norme de 0,5 mg/m^3 ne constitue donc pas une norme optimale.

k) Mesures d'hygiène et de protection personnelle
En raison de l'absorption per cutanée et de la toxicité du TNT, il est très important de prévenir tout contact avec la peau ou le cas échéant, d'en faire disparaître toute trace.

NIOSH propose d'utiliser des vêtements protecteurs pour tout le corps, couvrant le cou, les poignets et les chevilles et de changer ceux-ci à chaque jour, le port des gants et des douches quotidiennes.[14] Il propose aussi l'usage d'un savon colorant qui servirait à indiquer la présence de toute trace de TNT sur la peau.

L'environnement physique, les équipements en particulier, doivent aussi être maintenus très propres.

L'American Industrial Hygiene Association (A.I.H.A.) et certains auteurs français (Kermarrec et Bernaud) font des recommandations similaires.[2, 8]

Pour plus d'information, consulter ces références.

l) Surveillance médicale
Étant donné l'absorption per cutanée importante du TNT, la possibilité d'effets toxiques même à de faibles niveaux d'exposition et la difficulté inhérente au respect de toute norme ambiante, il apparaît logique de s'assurer, via une surveillance médicale spécifique, qu'il ne survient pas d'effets toxiques indésirables chez les travailleurs exposés au TNT.

1) De Bruine propose le dosage urinaire du DNAT et les tests sanguins de base, comme mesures de surveillance biologique et médicale.[5]

   Le DNAT serait le principal métabolite du TNT et son excrétion semble proportionnelle à l'absorption du produit.[5] Son dosage pourrait donc être utile, sauf que nous ne connaissons pas la relation précise qui existe entre le taux de DNAT et les effets toxiques du TNT.

Un document de l'A.I.H.A., citant Van Oettingen (dans un document datant de 1944) mentionne que le dosage du DNAT pourrait être un indice de l'exposition, mais qu'il n'aurait pas de valeur prédictive, puisque des cas d'hépatite toxique due au TNT seraient survenus en l'absence de DNAT détectable dans leur urine.[2]

D'autres études seraient donc nécessaires avant de proposer le dosage du DNAT comme un indice précoce d'altération à la santé résultant du TNT. Ces études devraient tenter d'établir les relations qui existent entre la concentration ambiante, le taux de DNAT urinaire et les effets précoces et moins précoces du TNT.

2) Les tests sanguins les plus utiles sont ceux qui concernent l'hémolyse et permettent de la détecter précocement. Tel que déjà indiqué, une hémolyse sans anémie signifie une capacité de compensation de l'organisme et est un signe réversible. Bien que l'hémolyse soit un signe de toxicité en soi (par comparaison avec le dosage d'un métabolite), elle est néanmoins réversible et constitue donc un signe précoce d'altération à la santé. L'objectif ici devrait être de modifier l'environnement et les méthodes de travail jusqu'à ce qu'aucun signe d'hémolyse n'apparaisse. Les tests utiles à cette fin sont le dosage de l'hémoglobine, le décompte des réticulocytes, la recherche de corps de Heinz et accessoirement, le dosage de la bilirubine indirecte et directe. Ces tests ne sont pas très spécifiques et très sensibles, mais néanmoins utiles, faute de mieux.

3) Le dosage de la metHb pourrait être un autre indicateur précoce, sauf que nous ne connaissons pas sa sensibilité par rapport aux deux autres mesures précédemment indiquées.

4) Quant à la surveillance de la toxicité hépatique par le dosage des enzymes SGOT et LDH, il faut noter que ce test est en soi peu sensible et probablement moins sensible que la recherche d'hémolyse et que l'on ne connaît pas la réversibilité de cet effet à long terme. Cependant, étant donné que l'élévation de ces enzymes est déjà survenue à un niveau ambiant de 0,8 mg/m^3, ce qui est voisin de la norme de 0,5 mg/m^3, il nous semble néanmoins important d'inclure leur dosage, comme mesure complémentaire.

5) La surveillance d'effets plus tardifs, tels que les signes d'atteinte clinique d'autres systèmes (nerveux, gastro-intestinal, cutané, rénal, oculaire...), peuvent être utiles en raison des variations individuelles des niveaux d'exposition et de susceptibilité. Toutefois, il ne faut pas se baser sur l'absence de tels signes pour conclure à la sécurité du milieu de travail. Aussi, il ne faut pas oublier que plusieurs de ces signes cliniques sont irréversibles (ex.: névrite, cataracte).

6) Enfin, il ne faut pas oublier que la norme québécoise (adoptée de l'A.C.G.I.H.) ne peut prévenir tous les effets mentionnés. La recherche du niveau optimum de sécurité doit se faire en tenant compte des particularités du milieu et des individus.

Points importants

— Composé benzénique nitré (possède d'ailleurs certaines caractéristiques du benzène, à savoir la toxicité hématopoiétique et le pouvoir d'induire des mutations).

— Absorption par voie cutanée et par inhalation; ces deux voies sont tout aussi importantes.

— Possède un métabolite principal, le DNAT, pouvant être dosé dans l'urine.

— Le TNT est un puissant toxique, pour les raisons suivantes:
  1°- il peut produire des maladies chroniques létales (hépatite toxique et anémie aplastique);
  2°- il peut induire des effets toxiques à de faibles niveaux d'exposition (hémolyse);
  3°- il possède des propriétés toxiques diverses: il est un irritant cutané, oculaire et des VRS, un sensibilisant cutané et il agit par voie systémique sur plusieurs organes vitaux (toxicité multisystémique).

— Toxicité par système

Sang	– Hémolyse et anémie hémolytique: effet le plus précoce et le plus fréquent; en relation avec la dose absorbée; peut survenir à un niveau d'exposition même inférieur à la norme de 0,5 mg/m³. – Anémie aplastique: effet plus rare mais létal; en partie reliée à un état d'hypersensibilité. – Methémoglobinémie légère.
Foie	– Élévation des enzymes hépatiques (SGOT et LDH): effet modérément précoce. – Perturbation de la fonction secrétoire du foie (bile): aussi modérément précoce. – Hépatite toxique: maladie rare et létale; survient probablement dans de pauvres conditions d'hygiène industrielle (fortes expositions).
Peau	– Irritant. – Dermatite de sensibilisation. – Coloration jaunâtre de la peau.
Autres effets	– Mutagène. – Névrite périphérique. – Cataracte (probable). – Malaises gastro-intestinaux. – Gastrite. – Irrégularités du myocarde (non démontré). – Dysfonctions pancréatiques (non démontré).

— Toxicités hématopoiétique, hépatique, nerveuse, digestive et pancréatique retrouvées aussi chez l'animal (en particulier la toxicité hépatique et hématopoiétique).

— La norme québécoise (adoptée de l'A.C.G.I.H.) ne protège pas entièrement contre l'effet hémolytique du TNT, bien que cet effet est probablement léger à ce niveau (0,5 mg/m³). Ne pas oublier que la norme ambiante ne peut pas tenir compte de l'absorption cutanée du TNT.

— L'hygiène et la protection personnelle sont nécessaires en fonction de l'absorption cutanée.

— Quelques méthodes de surveillance médicale peuvent être proposées, bien que peu d'expériences existent à cet effet.

Les indicateurs les plus sensibles seraient le dosage urinaire du DNAT, la recherche d'hémolyse des globules rouges et le dosage des enzymes hépatiques.

Le dosage de metHb pourrait être utilisé (mais on ne connaît pas sa sensibilité).

Tous les autres signes cliniques constituent des indices tardifs, dont certains sont irréversibles.

Bibliographie

1. C.S.S.T. (Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec): Répertoire toxicologique, fiche toxicologique: trinitrotoluène.
2. A.I.H.A. (American Industrial Hygiene Association): Hygienic Guide Series, 2, 4, 6 — Trinitrotoluène, Am. Ind. Hyg. Assoc. Journal, 1964.
3. LAUWERYS, R.: Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles, Masson, deuxième édition, 1982.

4. HAMILTON, A. et HARDY, H.L.: Hamilton & Hardy's Industrial Toxicology, Asher J., Finkell, John Wright PSG Inc., 4th Edition, MA, U.S.A., 1983.

5. DE BRUINE, A.: Biochemical Toxicology of Environmental Agents, Elsevier, North Holland Biochemical Press, 1976.

6. HATHAWAY, A.: Trinitrotoluene: A Review of Reported Dose — Related Effects Providing Documentation for a Workplace Standard. Journal Occup. Med. Vol. 19, nº 5, May 1977.

7. PROCTOR, N.H. et HUGHES, J.P.: Chemical Hazards of the Workplace, J.B. Lippincott Company, U.S.A., 1978.

8. KERMARREC C. et BERNAUD: L'hygiène du travail dans la fabrication des substances explosives; chapitre IV, dans: Quinchon, J. et al. « La sécurité et l'hygiène du travail dans l'industrie des substances explosives ». Technique et documentation, 1980.

9. MORTON, A.R. et al.: Biological Effects of Trinitrotoluene from Exposure Below the Threshold Limit Value. American Industrial Hygiene Association Journal, p. 37.

10. CASARETT, L.J. et DOULL, J.: Casarett and Doull's Toxicology, The Basic Science of Poisons, Second Edition, MacMillan, 1980.

11. DEICHMAN, W.B. et GERARDE, H.W.: Toxicology of Drugs and Chemicals, Academic Press, 1969.

12. BODANSKY, O.: Methemoglobinemia and Methemoglobin-Producing Compounds, Pharm. Rev., nº 3, 1951.

13. Règlement sur la qualité du milieu du travail (L.R.Q., c. S-2.1, r.15).

14. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health): Occupational Diseases. A Guide to their Recognition, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH Revised Edition, Publication nº 77-181, U.S.A., 1977.

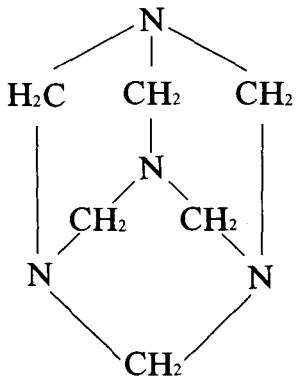
4. L'hexaméthylènetétramine (HEXA)

a) Synonymes[1]

Hexamine, méthénamine, urotropin, HMTA, HEXA, 1,3,5,7,-tétraazaadamantane, hexaméthyleamine.

b) Propriétés physico-chimiques[1]

1) *Description:* solide cristallin blanc à l'odeur légèrement aminée (odeur de poisson).
2) *Famille:* l'hexamine est une amine aliphatique tertiaire produite par réaction de la formaldéhyde aqueuse avec l'ammoniaque liquide ou gazeux.
3) *Usage:* il est principalement utilisé dans la production de triméthylènetrinitramine (RDX), lequel est utilisé dans la fabrication d'explosifs à base cyclonite. Il est aussi utilisé en pharmacologie.
4) *Formule chimique:* $N_4(CH_2)_6$



c) Toxicocinétique

1) Voies d'exposition et d'absorption

Les principales voies d'exposition à l'hexaméthylènetétramine (HMTA) sont le contact de la peau ou des yeux avec la poudre et l'inhalation de la poussière.[1] L'ingestion orale de HMTA constitue une voie mineure d'exposition en milieu du travail.[1]

L'hexamine est absorbée par voie orale, mais 10 à 30% se décompose en présence du milieu gastrique.[2]

2) Métabolisme

Serait peu ou pas métabolisé.[2]

3) Excrétion

La presque totalité de la dose absorbée oralement est excrétée inchangée dans l'urine.[2]

d) Toxicité: généralités

D'une façon générale, ce produit est peu toxique. Hamilton et Hardy rapportent que ce produit n'a jamais été considéré comme un problème majeur dans les industries de plastiques et d'explosifs.[3]

Aussi l'hexamine est très peu métabolisée dans l'organisme, ce qui rend ce composé sans réelle toxicité systémique.[2]

L'hexamine, ou méthénamine, est utilisée en pharmacologie comme antiseptique urinaire.

Les effets de l'hexamine sont dus à son *action irritante* (sur la peau et les muqueuses) et *sensibilisante* (sur la peau et les voies respiratoires). Les effets peuvent être divisés par organe.

— Peau: – irritation (effet aigu);
– sensibilisation (effet subaigu à chronique)

— Système digestif: – irritation (effet subaigu suite à l'ingestion de l'hexamine).

— Système urinaire: – irritation (effet aigu à chronique, rencontré chez les utilisateurs du médicament).

Les effets irritants et sensibilisants de l'hexamine seraient attribuables à la *décomposition de l'hexamine en formaldéhyde*, en milieu acide (dans l'estomac et la vessie).

Mécanisme d'action

L'hexamine se dissocie lentement en solution et libère de la formaldéhyde.[1] Un pH acide favorise la libération de formaldéhyde. A un pH de 7,4, à peu près aucune décomposition n'a lieu; à un pH de 6,0, 6% de la quantité théorique de formaldéhyde est produite et à un pH de 5,0, 20%.[2,4] La réaction chimique est la suivante:

$$N_4(CH_2)_6 + 6H_2O + 4H^+ \rightleftharpoons 4NH_4^+ + 6HCHO$$

(hexamine) (formaldéhyde)

Ce phénomène peut se produire dans la vessie (pH acide) et la formation de formaldéhyde explique la propriété antiseptique du médicament, ainsi que ses effets secondaires d'irritation.

Les effets secondaires produits sur le système digestif suite à l'ingestion du médicament s'expliqueraient probablement par le même mécanisme. La formaldéhyde est, entre autres, un irritant et un sensibilisant.

e) Toxicité chez l'humain

1) Toxicité aiguë

— *Peau*

L'hexamine sous forme solide, en vapeur ou en solution, peut causer une irritation cutanée lors d'un contact avec la peau.[1,3]

— *Gastro-intestinale*
À des doses orales de 500 mg quatre fois par jour, on a rapporté des troubles gastro-intestinaux, soit des nausées et vomissements.

2) Toxicité subaiguë à chronique

— *Sensibilisation*
- Cutanée: suite au contact répété.[1, 3]
- Voies respiratoires: l'inhalation peut engendrer une condition pathologique semblable à un asthme chez des individus préalablement sensibilisés.[1]

— *Urinaire*
Lors de traitement à des doses orales de quatre à huit grammes par jour, durant plus de trois à quatre semaines, les effets secondaires suivants ont été rapportés: irritation vésicale, mictions fréquentes et douloureuses, albuminurie, hématurie et dermatite.[2, 5]

f) Toxicité chez l'animal

La dose létale 50 (LD_{50}) sous-cutanée est de 200 à 450 mg/kg chez les rats, les souris et les cobayes. La dose létale 50 intraveineuse chez les rats s'élève à 9 200 mg/kg. Aucun effet toxique n'a été démontré chez les souris nourries avec de l'hexamine à des doses allant jusqu'à 5,0 g/kg pendant dix jours.[1]

Des rats ont été nourris avec une diète contenant 0,16% d'hexamine, de leur sevrage à leur mort naturelle, sans qu'aucun effet ne puisse être observé.[1]

g) Mutagénicité

L'hexamine en doses sub-létales a été trouvée *légèrement mutagénique* chez des souris mâles.[1] Elle a également été démontrée *hautement mutagénique* chez les larves de Drosophila.[1]

h) Cancérigénicité

Des souris et des rats nouveau-nés ont reçu cinq injections sous-cutanées de 5 g/kg d'hexamine aux deux jours. Les animaux ont été observés durant leur vie entière. *Aucune évidence d'activité cancérigène* n'a été notée dans les deux groupes.[1]

Une incidence élevée de sarcomes sous-cutanés a été trouvée chez des rats recevant des injections sous-cutanées répétées d'hexamine, totalisant 25 à 30 g/animal.[1] Une étude antérieure n'avait trouvé *aucune tumeur* apparente chez des souris recevant 5 mg en injections sous-cutanées répétées.[1]

Des groupes de souris ont reçu 0,5 à 1,0% d'hexamine dans leur eau potable pendant soixante semaines et des rats ont reçu 1% d'hexamine dans leur eau potable pendant cent quatre semaines. Les animaux ont été observés pendant leur vie entière. *Aucune évidence d'activité cancérigène* n'a été trouvée.[1]

i) Tératogénicité

Des rates ont reçu 1% d'hexamine dans leur eau potable pendant deux semaines puis ont été accouplées avec des rats ayant similairement été traités. La fertilité, la grandeur de la portée, la lactation, la croissance et le poids étaient les mêmes que ceux observés chez un groupe contrôle non traité. *Aucune malformation* n'a été notée chez la progéniture.[1]

Des chiennes Beagle ont reçu 600 à 1 250 ppm d'hexamine dans leur diète du quatrième au cinquième-sixième jour après l'accouplement. Le traitement n'a pas affecté le taux de grossesse, le gain de poids des chiennes enceintes, la durée de la gestation, ou la grandeur de la portée. *Une légère augmentation* du pourcentage des mort-nés et une légère altération au niveau du gain de poids de la progéniture et de la survivance au sevrage ont été notées aux taux les plus élevés d'hexamine dans la diète. *Aucune malformation* n'a été observée.[1]

j) Normes ambiantes

Aucune norme en milieu de travail n'a été établie aux États-Unis et au Québec pour l'hexamine.

k) Premiers secours

Lors d'un contact avec les yeux, rincez les yeux avec beaucoup d'eau en ouvrant les paupières; référez au médecin. Lors d'un contact avec la peau, lavez la région affectée avec de l'eau et du savon.[5]

En raison de l'absorption cutanée, il est important de prévenir tout contact avec la peau.

l) Surveillance médicale

En raison de l'absorption cutanée et des effets sensibilisants de l'hexamine, il est surtout important de prévenir tout contact avec la peau.

Les mesures de surveillance en regard de la peau et des voies respiratoires consistent en un questionnaire et examen physique périodique (éventuellement des tests de fonctions respiratoires), afin de détecter tout phénomène d'irritation et/ou sensibilisation. En prévenant tout phénomène d'irritation on devrait diminuer le risque d'apparition d'une sensibilisation.

Quant aux phénomènes d'irritation vésicale ou digestive, ceux-ci ne surviennent probablement que lors de très fortes expositions (comme lors d'ingestion médicamenteuse). Il est donc à espérer qu'aucun travailleur ne présentera de tels symptômes d'origine professionnelle.

Points importants

— Amine aliphatique tertiaire.
— Utilisé: – comme antiseptique urinaire,
– dans la fabrication du RDX.
— Voies d'absorption: – inhalation,
– cutanée.
— Peu ou pas métabolisé.
— Se décompose en milieu acide en ses constituants, soit la formaldéhyde et l'ammoniaque. Cette décomposition s'opère dans la vessie et l'estomac.
— Considéré peu toxique.
— Propriétés toxiques dues au formaldéhyde, soit:
• irritation de la peau, de la vessie et du tube digestif;
• sensibilisation de la peau et des voies respiratoires (asthme).
— Possède des propriétés mutagéniques.
— Études animales de cancérigénicité et de tératogénicité: globalement, elles peuvent être jugées négatives.
— Aucune norme ambiante n'a été fixée.
— Si contact avec la peau, il est important de bien laver au savon.
— En raison de l'absorption cutanée et des effets sensibilisants, il est surtout important de prévenir tout contact avec la peau.
— Surveillance médicale — Peau et voies respiratoires: questionnaire et examen physique périodique (éventuellement tests de fonction respiratoire) afin de détecter l'apparition de tout effet irritant et sensibilisant. Toutefois, l'apparition d'un phénomène de sensibilisation obligera probablement à réaffecter le travailleur. En prévenant le contact cutané au minimum et tout effet irritant, on préviendra probablement le phénomène de sensibilisation. — Vessie et tube digestif: les effets d'irritation vésicale représentent probablement une exposition importante au produit, ce qui devrait être évité en milieu de travail.

Bibliographie

1. REINHARDT, C.F. et BRITELLI, M.R. dans Clayton, G.D., Clayton F.E.: Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 3rd Revised Edition, Vol. 2c.:

Toxicology. A Wiley Interscience Publication, pp. 2696-2700, New York, U.S.A., 1981.

2. GOODMAN, L.S. et GILMAN, A.: The Pharmacological Basis of Therapeutics, 5th Edition, MacMillan Publishing Co. Inc., pp. 1006-1007, New York, U.S.A., 1975.
3. HAMILTON, A. et HARDY, H.L.: Hamilton & Hardy's Industrial Toxicology, 4th Edition, Asher J., Finkell, John Wright PSG Inc., p. 268, MA, U.S.A., 1983.
4. GOTH, A.: Medical Pharmacology, 8th Edition, The C.V. Mosby Company, pp. 567-571, St-Louis, U.S.A., 1976.
5. DREISBACH, R.H.: Handbook of Poisoning, 9th Edition, Lange Medical Publications, p. 389, California, U.S.A., 1977.

5. Cyclotriméthylènetrinitramine (RDX)

a) Synonymes[1, 2]

RDX, cyclonite, hexogen, T_4, triméthylènetrinitramine, 1,3,5 - trinitro, hexahydro, s-triazine.

b) Propriétés physico-chimiques[1, 2, 3]

1) Famille:

est un composé hétérocyclique, souvent classé comme une nitramine.

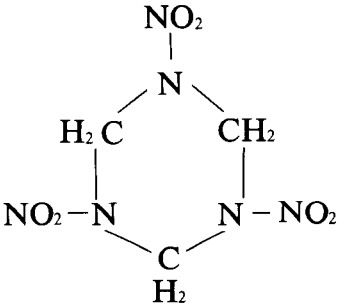
2) Description:

poudre cristalline blanche très stable utilisée dans la fabrication d'explosifs.

3) Solubilité:

soluble dans l'acétone et cyclohexanone; insoluble dans l'eau et l'éther.

4) Formule chimique:



c) Toxicocinétique

1) Voies d'exposition et d'absorption

Le RDX est lentement absorbé au niveau de l'estomac et apparemment, au niveau des poumons par inhalation. Selon Stokinger et McNamara et al., il n'y a aucune évidence d'absorption cutanée.[1, 4] Par contre, Kaplan et Lauwerys rapportent qu'il serait absorbé par toutes les voies.[2, 5]

2) Distribution

Selon une étude effectuée chez les rats, le RDX s'accumule dans divers tissus, particulièrement au niveau du rein. Contrairement à certaines croyances, il ne s'accumule pas préférentiellement au niveau des tissus riches en lipides du système nerveux central.[6] En outre, le RDX s'accumule au niveau du cœur et du foie.[6] Une étude chez les cochons miniatures a révélé que le RDX se distribuait au niveau des divers tissus de façon non préférentielle.[6]

3) Métabolisme

Chez les rats, le RDX subit un métabolisme hépatique important.[6] La nature de ces métabolites n'est cependant pas connue. La toxicité sur le système nerveux central est

probablement attribuable au produit primaire puisque son injection intraveineuse chez l'animal provoque presque instantanément l'apparition de convulsions.[4, 6]

4) Excrétion
Chez les rats, après l'administration orale par gavage de 50 mg de [^{14}C] RDX/kg, environ 90% de la radioactivité totale (RDX métabolisé) a été retrouvée après quatre jours: 3% dans les fèces, 10% dans la carcasse, 34% dans l'urine et 43% sous forme de CO_2 (expiré).[6]

d) Toxicité: Généralités
La toxicité du RDX se manifeste principalement (sinon exclusivement) au niveau du système nerveux central (SNC). Les études animales autant que les observations chez l'humain concordent dans ce sens et toutes deux ont permis de démontrer que le RDX produisait des convulsions épileptiques généralisées. Le RDX peut donc être classé comme un excitant du SNC.

Cet effet peut être déclenché de façon très aiguë chez l'animal alors qu'il surviendrait de façon subaiguë chez l'humain (i.e. en terme de jours à semaines suivant le début d'une exposition importante).[2, 6]

Les effets chroniques du RDX semblent inexistants, sauf pour la dermatite de sensibilisation qui est associée à sa production, mais que l'on attribue davantage à ses intermédiaires.[1, 3]

Bien que la norme du RDX ait été en partie basée sur la similitude avec le TNT, ces deux composés possèdent des propriétés toxicologiques bien différentes.[7]

Note: Puisque la littérature est souvent imprécise en regard des doses et des durées d'exposition ayant engendré les effets toxiques, il est difficile de distinguer entre la toxicité aiguë et chronique du RDX.

e) Toxicité chez l'humain

1) Toxicité sur le système nerveux central (toxicité aiguë à subaiguë)
La toxicité du RDX sur le système nerveux central se caractérise, soit par des convulsions épileptiques généralisées, soit par des pertes de conscience sans convulsion.[1, 2, 3, 7, 8] À date, l'on compte cinq pays où de telles observations ont été publiées.[6] Toutefois, ces études ne permettent pas d'établir de corrélation entre les effets toxiques et les concentrations ambiantes de RDX, puisqu'une méthodologie à cet effet n'a que récemment été développée.[8]

Barsotti et Crotti, en Italie, ont décrit 17 cas de réactions toxiques, survenues entre 1939 et 1942, chez des travailleurs italiens manipulant la poudre de RDX, lors des diverses étapes de sa fabrication (séchage, refroidissement, criblage et empaquetage).[2] Dix hommes ont souffert de convulsions généralisées de type tonico-clonique suivies d'un coma, quatre ont perdu conscience sans convulsion, deux ont eu des vertiges et un a expérimenté des vomissements et de la confusion. Ces symptômes ont été précédés ou non, de signes prodomiques, caractérisés par plusieurs jours d'insomnie, de fatigue, d'irritabilité ou d'anxiété. Dans tous les cas, une hypertension artérielle transitoire a été observée. La guérison a été complète dans tous les cas.[2]

Voger, en Allemagne, a rapporté des cas semblables chez des travailleurs allemands manipulant de la poudre finement pulvérisée de RDX.[2] Plus la poudre était fine, plus les réactions adverses se manifestaient tôt. Si un travailleur vomissait au début de la maladie, les symptômes étaient légers; mais s'il n'y avait pas de vomissement, des attaques soudaines d'inconscience et de convulsions, suivies d'un épuisement et d'une diminution du pouls et de la pression sanguine, survenaient. La perte de conscience durait de quelques minutes à une heure et était suivie d'étourdissements et de malaises pour plusieurs jours. Un travailleur a ingéré une cuillère à soupe de RDX; il a souffert de spasmes sévères et de confusion mentale, mais n'a eu aucune autre complication.[2]

Kaplan et al., aux États-Unis, décrivent cinq cas de convulsions et de perte de conscience parmi 26 personnes engagées dans une usine d'explosifs où l'on traitait du RDX, ceci entre avril 1962 et juillet 1962. Soit au travail ou quelques heures après être de retour à la maison, le travailleur était soudainement atteint de convulsions, ou devenait inconscient sans souffrir de convulsion. Il y avait peu ou pas de signes avant-coureurs; certains expérimentaient seulement de courtes périodes de maux de tête, d'étourdissements, de nausées ou de vomissements. Une période d'inconscience variant de plusieurs minutes à vingt-quatre heures suivait; puis des périodes variées de stupeur, de désorientation, de nausées, de vomissements et de faiblesse s'ensuivaient. La guérison était complète. Deux hommes réexposés au RDX ont eu par la suite des récidives.[2] Après installation de mesures de contrôle, aucun cas n'a été rapporté.[1, 2]

Des décès sont possiblement survenus en relation avec la toxicité sur le SNC. En effet, des journaux allemands ont rapporté qu'après la deuxième guerre mondiale, des sacs de papier utilisés pour emballer la nourriture et ayant auparavant été utilisés pour empaqueter du RDX, avaient causé quatre morts.[2]

2) Effets cutanés

Des cas d'irritation primaire et de dermatite de sensibilisation ont été observés parmi les travailleurs affectés à la fabrication de RDX. Cependant, il semble bien que cet effet soit causé par des intermédiaires chimiques ou des impuretés rencontrés dans la production de RDX.[1, 3] Le produit final purifié n'a pas causé de dermatite.[1] De plus, des études expérimentales animales ont démontré l'absence d'effet irritant et sensibilisant par le RDX.[4] Il est possible que ces problèmes soient attribuables à un dégagement de la formaldéhyde.[4]

3) Effets chroniques

Une étude épidémiologique transversale effectuée aux États-Unis, chez des travailleurs exposés chroniquement à des concentrations de RDX pouvant atteindre jusqu'à 1,57 mg/m^3 (moyenne de 0,28 mg/m^3), n'a révélé aucune évidence d'anomalie des systèmes hématopoïétique, hépatique, rénal et de maladie auto-immune (cette étude avait été commandée suite à l'apparition de trois cas de lupus érythémateux dissiminé).[8]

f) Toxicité chez l'animal

La dose létale orale minimum déterminée chez les rats est approximativement de 200 mg/kg.[1] Slanskaya et Pozharsky ont observé les effets aigus du RDX chez les souris blanches, les lapins et les chats. La sévérité de l'excitation neuro-musculaire dépendait de la dose administrée (dans l'estomac) et variait d'une hyper-réflexie légère, à des convulsions sévères et la mort éventuelle. La dose létale 50 orale chez les souris blanches était d'environ 500 mg/kg. Les chats étaient plus sensibles à l'intoxication au RDX que les souris blanches ou les lapins. Une dose de 100 mg/kg, non nocive chez les souris, était fatale chez les rats. Des changements au niveau du matériel fibreux des parois des vaisseaux sanguins du système nerveux central et une dégénérescence des cellules nerveuses ont été notés par ces auteurs.[1]

Patty a démontré que des doses orales quotidiennes de 15, 50 et 100 mg/kg durant dix semaines avaient tué 1, 17 et 15 rats, respectivement, dans des groupes de 35 animaux. Les animaux sont devenus irritables et vicieux et ont développé de fréquentes convulsions. Les poumons et le tractus gastro-intestinal étaient congestionnés; il n'y avait pas de changement pathologique chez les survivants.[1]

Dans les expériences de Von Oettingen et al., sept chiens ont reçu 50 mg de RDX par jour, six jours/semaine, pendant six semaines. Aucun n'a démontré de changements sanguins ou de methémoglobinémie. Quelques heures après la première dose, ils sont devenus excités et irritables (effets aigus). Progressivement, les réflexes sont devenus hyperactifs et en dedans d'une semaine, les animaux ont souffert de convulsions généralisées caractérisées par une hyper-excitabilité et une activité accrue, suivie de mouvements cloniques et de salivation, puis de convulsions toniques et d'un collapsus. Tous les animaux ont perdu du poids et un est mort.[1, 4]

Suite à l'exposition orale chronique d'animaux au RDX, Slanskaya et Pozharsky ont noté des changements principalement au niveau du matériel fibreux des parois des vaisseaux sanguins du système nerveux central, du foie, des poumons et du cœur.[1, 4]

Enfin, des études expérimentales ont révélé l'absence de propriété irritante et sensibilisante du RDX.[4]

g) Mutagénicité
Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

h) Cancérigénicité
Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

i) Tératogénicité
Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

j) Normes ambiantes

	Québec[9]	U.S.A.[1]	A.C.G.I.H.[10]
C. moy. (mg/m^3)	1,5	1,5	1,5*
C. max. (mg/m^3)	3,0	–	3,0*
P	–	–	–
HDVS	–	–	–

* La C. moy. et la C. max. sont suivies de la notation «skin», rappelant la contribution potentielle de la voie cutanée comme voie d'exposition additionnelle. Elle vise donc à souligner que des mesures appropriées soient prises afin de prévenir l'absorption cutanée de sorte que les limites recommandées de C. moy. et C. max. demeurent valides.[10] Toutefois, l'inhalation de poussière fine serait une voie plus importante d'absorption. La valeur de la C. moy. a été établie par analogie avec celle du TNT (trinitrotoluène) et en raison de son efficacité démontrée à prévenir la morbidité dans un établissement aux États-Unis, quand la concentration de RDX était maintenue en-dessous de 1,5 mg/m^3.[1, 7]

k) Premiers secours et premiers soins
Traitement symptomatique des manifestations d'intoxication au niveau du système nerveux central (eg. convulsions, vomissements, maux de tête, etc.).

Si contact cutané, lavez la peau à l'eau savonneuse, afin de prévenir une absorption du produit.

l) Surveillance médicale
Aucune méthode de détection précoce n'a été proposée en regard des effets du RDX. Nous discuterons de diverses possibilités.

1) Dosage de la methémoglobine
Les études chez l'animal indiquent que le RDX n'induit pas la methémoglobinémie (metHbie). Aucune étude chez l'humain n'a évalué cet aspect. Ce dosage ne peut donc pas être suggéré à la lumière des connaissances.

2) Surveillance des effets systémiques (autres que sur le SNC)
Une importante étude épidémiologique transversale n'a révélé aucune anomalie pour un niveau d'exposition inférieur ou égal à la norme. À moins d'une exposition plus importante, cette surveillance ne semble donc pas pertinente.

3) Surveillance des effets cutanés
Le RDX n'est ni un irritant, ni un sensibilisant. Toutefois, les travailleurs œuvrant à la fabrication du RDX sont probablement exposés à une substance sensibilisante non encore identifiée (bien qu'il se pourrait qu'il s'agisse de la formaldéhyde). En pratique, ces travailleurs devront donc avoir une surveillance du système cutané.

4) Métabolites
Leur nature est inconnue et ils ne seraient pas les premiers responsables des effets du RDX.

5) Dosage du RDX en milieux biologiques
Cette méthode n'a pas été développée, ni étudiée. Aucune norme biologique n'existe.

6) Surveillance des effets sur le SNC
Aucune mesure de détection précoce n'a été appliquée, telle l'utilisation d'EEG, l'évaluation du comportement et l'évaluation de la performance psychomotrice par des tests appropriés. L'utilisation de ces tests requièrerait d'abord une évaluation de sa pertinence dans un projet de recherche (groupe exposé et non exposé). Nous ne pouvons donc que recommander la surveillance des symptômes reliés au SNC, bien que ceux-ci ne soient pas précoces (ils sont tout simplement le reflet de la toxicité du RDX survenant lors de fortes expositions). Toutefois, les effets observés chez l'humain ne semblent pas avoir produit de séquelles (constituent donc un phénomène entièrement réversible).

Il est à noter que la norme de 1,5 mg/m^3 est efficace à prévenir ces effets.

Points importants

— Composé cyclique nitro-aminé.
— Absorption: – voie pulmonaire (la plus importante en cas de fines poussières);
– voie digestive;
– voie cutanée (controversée).
— Le métabolisme hépatique est important. Toutefois, la nature des métabolites n'est pas connue.
— L'effet toxique serait dû au produit primaire plutôt qu'aux métabolites.
— La toxicité semble être exclusivement sur le SNC:
• il produit des convulsions épileptiques généralisées et des pertes de conscience sans convulsion,
• les observations sont identiques dans cinq pays,
• effet identique chez l'animal et l'humain,
• cet effet est donc bien démontré,
• cependant, ces effets seraient survenus en présence de forts niveaux d'exposition,
• la TLV de 1,5 mg/m^3 semble efficace à prévenir ces effets.
— Effets cutanés systémiques (autres que sur le SNC): semblent inexistants.
— Les dermatites rencontrées dans la fabrication du RDX seraient dues à un intermédiaire (possiblement la formaldéhyde).
— Études animales:
• reproduisent les convulsions et l'état d'hyper-excitabilité,
• le RDX n'induit pas la metHbie,
• à la pathologie, des changements fibreux ont été observés au niveau des parois des vaisseaux de divers organes (SNC, foie, poumons, cœur).
— La norme est basée sur sa similitude avec le TNT (bien que les propriétés toxicologiques soient bien différentes entre les deux composés) et sur des expériences limitées qui semblent démontrer que ce niveau (fixé à 1,5 mg/m) prévient l'apparition des effets sur le SNC.
— Limiter le contact cutané malgré la controverse au sujet de l'absorption cutanée du RDX.
— Surveillance médicale: il n'y a pas vraiment de bases pour une surveillance médicale, car aucune mesure de détection précoce n'existe.

Bibliographie

1. CLAYTON, G.D. et CLAYTON, F.E.: Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 3rd Revised Edition, Vol. 2c.: Toxicology. A Wiley Interscience Publication, pp. 4196-4198, New York, U.S.A., 1982.
2. KAPLAN, A.S. et al.: Human Intoxication from RDX, Arch. Env. Health 10, p. 877, 1965.
3. HAMILTON, A. et HARDY, H.L.: Hamilton & Hardy's Industrial Toxicology, 4th Edition, Asher J., Finkell, John Wright PSG Inc., MA, U.S.A., p. 258, 1983.
4. McNAMARA, B.P. et al.: The Toxicology of Cyclotrimethylenetrinitramine (RDX) and Cyclotetramethylenetetranitramine (HMX) Solutions in Dimethylsulfoxide (DMSO), Cyclohexanone and Acetone. National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, Springfield, VA, 1974.
5. LAUWERYS, R.: Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles. 2e édition, Masson, 1982.
6. SCHNEIDER, N.R. et al.: Toxicology of Cyclotrimethylenetrinitramine: Distribution and Metabolism in the Rat and the Miniature Swine. Toxicology and Applied Pharmacology no 29, pp. 531-541, 1977.
7. A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): RDX (Cyclotrimethylenetrinitramine) Skin. Documentation of the TLV's for Substances in Workroom Air, 3rd Edition, Cincinnati, p. 221, 1976.
8. HATHAWAY, J.A. et BUCK, C.R.: Absence of Health Hazards Associated with RDX Manufacture and Use. Journal Occ. Med. Vol. 19, no 4, pp. 269-272, 1977.
9. Règlement sur la qualité du milieu de travail (L.R.Q., c. S-2.1, r.15).
10. A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): TLV's Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Work Environment with Intended Changes for 1982, p. 15.

6. Diphénylamine (DPA)

a) Synonymes[1]

n - phénylaniline, anilinobenzène, n,n - diphénylamine,
n - phénylbenzèneamine, DPA.

b) Propriétés physico-chimiques[1]

1) Formule chimique: $(C_6H_5)_2NH$

2) Classe:

la diphénylamine fait partie des composés aromatiques aminés (arylamines).

3) Usage à Expro:

utilisé comme stabilisant dans les poudres propulsives (première passe).

4) État:

solide cristallin, incolore; mais il brunit sous l'effet de la lumière.

5) Solubilité:

insoluble dans l'eau.

6) Décomposition:

sous l'effet de température élevée, il produit des émanations toxiques.

c) Toxicocinétique
L'absorption se fait par voie respiratoire, cutanée et digestive. Son métabolisme est inconnu.

d) Toxicité

1) Généralités
Note: Les publications concernant la toxicité de ce composé en milieu de travail sont rares. Sa toxicité est donc très peu connue.

On peut postuler que ses propriétés toxicologiques sont similaires aux autres composés de la famille des amines aromatiques (tels que l'aniline), i.e. la toxicité sur le système urinaire (vessie, rein), le pouvoir cancérigène et la methémoglobinémie; il serait aussi un irritant cutané et des muqueuses.[2, 3]

2) Toxicité chez l'humain
Des cas d'intoxication systémique avec présence de symptômes urinaires et cutanés, d'hypertension et de tachycardie ont été décrits par Fairhall.[2]

La methémoglobinémie et l'irritation de la peau et des muqueuses constituent d'autres phénomènes possibles.

La toxicité chronique n'est pas vraiment connue chez l'humain.

3) Toxicité chez l'animal
Celle-ci est mieux connue.

Des altérations définitives sont survenues au niveau du foie, du rein et de la rate.[2] Au niveau du rein particulièrement, la diphénylamine provoque des lésions tubulaires, conduisant à la formation de reins polykystiques.[4]

4) Mutagénicité et Cancérigénicité
Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

5) Tératogénicité
Suspectée.[1]

e) Normes ambiantes

	Québec[5]	A.C.G.I.H.[2]
C. moy. (mg/m^3)	10	10
C. max. (mg/m^3)	20	20

Notes: La norme du Québec est basée sur la recommandation de l'A.C.G.I.H. Très peu d'études ont servi de base à la proposition de cette norme.

Ce composé est absorbé par voie cutanée. Il est donc important de prévenir tout contact de la peau avec ce produit.

f) Premiers secours et premiers soins
Aucune recommandation spécifique n'a été faite en regard de ce composé.

Les mesures concernant le phénomène de methémoglobinémie peuvent s'appliquer ici. (cf. texte nº 7 de la même section). S'il y a un contact significatif direct, le lavage de la peau est à recommander en raison de l'absorption cutanée.

g) Surveillance médicale
Aucune recommandation spécifique n'a été faite à ce sujet.

En raison de sa toxicité démontrée chez l'animal et de la toxicité des autres composés de la même famille, une évaluation des effets chroniques postulés serait d'abord indiquée.

Bibliographie

1. C.S.S.T. (Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec): Répertoire toxicologique, fiche toxicologique: diphénylamine.
2. A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): Documentation of Threshold Limit Values for Workroom Air. Diphenylamine.
3. LAUWERYS, R.: Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles, Masson, 2e édition, Paris, 1982.
4. EVAN, A.P. et al.: Evolution of the Collecting Tubular Lesion in Diphenylamine-Induced Renal Disease. Lab. Invest. vol. 38, nº 3, pp. 244-252, 1978.
5. Règlement sur la qualité du milieu de travail (L.R.Q., c. S-2.1, r.15).

7. La methémoglobinémie

Ce texte fut produit en raison d'un nombre important de produits utilisés ou fabriqués à la compagnie Expro qui peuvent induire la methémoglobinémie, et en raison de l'intérêt de ce phénomène.

La majorité de nos informations ont été puisées de documents des trois auteurs suivants: Bodansky, O.; De Bruine, A.; et Smith R.P.[1, 2, 3]

a) Définition

La methémoglobinémie (metHbie) résulte de la transformation d'une trop grande proportion de l'hémoglobine normale circulante, en methémoglobine (metHb).[1, 2]

La metHb représente une forme « inactive » (pour le transport de l'oxygène) de l'hémoglobine (Hb).[1]

b) Chimie de la methémoglobine

L'Hb normale contient un atome de fer qui est sous la forme réduite ou ferreux (Fe^{++}).

La metHb est le produit d'oxydation de l'Hb.

La metHb contient le même atome de fer, mais sous forme oxydée ou ferrique (Fe^{+++}), d'où le synonyme d'hémoglobine ferrique.

La metHb est un pigment brunâtre alors que l'Hb est rougeâtre.[1]

c) Propriétés

La principale caractéristique de la metHb est son incapacité à lier l'oxygène (O_2). Ceci implique que la metHb ne peut pas servir de transporteur pour l'O_2; il en résulte donc une déficience d'apport en O_2 aux tissus.

Une deuxième propriété de la metHb est d'entraver la libération de l'O_2 lié à l'hémoglobine normale. En terme plus technique, la metHb produit une déviation vers la gauche de la courbe de dissociation de l'oxyhémoglobine (oxyhémoglobine = Hb liée à O_2). Il en résulte aussi une déficience en O_2 aux tissus. C'est le même phénomène qui se produit avec la carboxyhémoglobine (dans l'intoxication au monoxyde de carbone) sauf qu'il se produit de façon plus marquée dans ce dernier cas.[3]

En somme, la metHbie produit une déficience en O_2 aux tissus via deux mécanismes: 1) défaut dans le transport en O_2 par la metHb; 2) défaut dans la libération de l'O_2 de l'oxyHb.

d) La methémoglobine chez le sujet normal

Chez l'individu normal, une faible portion de l'Hb totale est sous forme de metHb. Cette portion n'excède généralement pas 2%.

Ceci est dû au fait qu'il existe un équilibre entre ces deux formes, équilibre qui est maintenu par de constantes réactions d'oxydation et de réduction. La réaction de réduction est possible grâce à un système enzymatique présent à l'intérieur des globules rouges, connu sous le nom de methémoglobine réductase ou diaphorase. Ainsi, suivant la formation spontanée de metHb (par une réaction d'oxydation), ce système enzymatique transformera l'excès de metHb en Hb (par une réaction de réduction).[1, 2, 3]

Note: Il existe d'autres systèmes de réduction qui permettent de reconvertir la metHb en Hb. Ces systèmes ne sont probablement pas utilisés dans les conditions normales chez l'humain. Toutefois, ils peuvent le devenir en présence de certains agents et ainsi constituer des voies accessoires de réduction. C'est ce mécanisme qui est à la base de l'utilisation du bleu de méthylène dans le traitement de la metHbie. (cf. le traitement de la metHbie).

e) Methémoglobinémie héréditaire

La metHbie héréditaire existe sous deux formes:[4]

— chez les porteurs d'une déficience de l'enzyme réductase. Les sujets homozygotes présentent une metHbie de l'ordre de 20 à 45%, alors que les sujets hétérozygotes ne présentent une metHbie que lorsqu'ils sont exposés à des agents initiateurs (ils y sont d'ailleurs plus susceptibles que les sujets normaux).

— chez les porteurs hétérozygotes de l'hémoglobine M (HbM). L'HbM est une Hb dont la fraction protéinique, la globine, a subi une substitution d'un acide aminé, ce qui la transforme à l'état ferrique et ce, de façon très stable. Les sujets hommozygotes ne pourraient survivre.

Les sujets porteurs de ces anomalies sont plus susceptibles aux effets d'agents oxydants induisant la metHbie.

Toutefois, ces formes héréditaires sont rares.

f) Methémoglobinémie toxique

Un excès de metHb peut être produit lors de l'exposition à certains agents oxydants. Si une trop grande portion de l'Hb est transformée en metHb sous l'effet de ces agents, le système enzymatique permettant normalement la conversion en Hb sera débordé et l'on observera la metHbie.

Deux types d'agents oxydants existent:

1- Oxydants directs: i.e. l'agent d'exposition induit lui-même et donc directement la metHbie.

Exemple: les nitrites (organiques et inorganiques). Lors de l'intoxication aux oxydes d'azote, une certaine quantité de nitrites est produite (cf. fiche sur les oxydes d'azote).

2- Oxydants indirects: l'oxydation est produite par les métabolites, i.e. les produits de transformation des agents d'exposition.

Exemples:
- aromatiques nitrés (arylnitrés) tels que le DNT, TNT;
- nitrates tels que la NG (glycéryl trinitrate) et le nitrate d'ammonium;
- amines aromatiques (arylaminés): les teintures à base d'aniline sont de forts agents methémoglobinémiants; la diphénylamine fait aussi partie de cette classe.

Note: Le pouvoir methémoglobinémiant de ces agents varie beaucoup d'un à l'autre. Par exemple, le DNT et le TNT induisent la metHbie alors que le RDX ne le fait peu ou pas. Autre exemple: l'éthylène glycol dinitrate est plus puissant que la nitroglycérine.[5]

Les tableaux suivants, tirés des documents de Bodansky et De Bruine, permettent de classer plusieurs de ces agents selon leur capacité à induire la metHbie.

Tableau 6 — Pouvoir methémoglobinémiant des composés aromatiques nitrés et aminés (arylnitrés et arylaminés)*

Composé	Espèces animales	Pouvoir methémoglobinémiant
p-Dinitrobenzène	chat	++
p-Aminopropiophénone	chien	++
Phénylhydroxylamine	chat, chien	++
p-Aminoacétophénone	chien	++
Nitrosobenzène	chat	+
m-Dinitrobenzène	chat	+
o-Aminophénol	chat	+
Trinitrobenzène	chat	+
o-Dinitrobenzène	chat	+
p-Nitro-o-toluidine	chat	+
Nitroanilines (isomères p et m)	chat, chien	+
p-Chloroaniline, p-chloro-o-aminophénol		+
Aniline	chat, lapin, rat	−
Toluidines (monométhylanilines) (isomère o)	chat	−
3-Chloro-4-méthylaniline (3-chloro-p-toluidine)	souris, rat	−
Xylidines (diméthylanilines)	chat, chien	−
N-Alkylanilines	chat, chien, rat	−
Chloronitrobenzènes (isomères p et m)	chat, lapin	−
p-Aminophénol	chat	−
2,4,6-Trinitrotoluène (TNT)	chat	−
2,4-Dinitrotoluène	chat	−
m-Phénylènediamine (diamino-benzène)	chat	−
Acétanilid	chat, chien	−
(Alkyl)aminoazobenzènes	rat	−
Nitrobenzène	chat, rat	−
2,4-Dinitrochlorobenzène	chat	−
2,6-Dinitrotoluène	chat	−−
Mononitrophénols (isomères o, m et p)		−−
Mononitrotoluènes (isomètres o, m et p)	chat	−−

Symboles: ++, très puissant; +, puissant; −, modérément actif; −−, faible à négligeable.

* Source: Bodansky, O.[1] (traduction).

Tableau 7 — Pouvoir methémoglobinémiant des composés aromatiques aminés et nitrés chez le chat*

Composé	Rapport moléculaire[1, 2]
Aniline	2.5
	2.7
Acétanilid	1.0 +
m-phénylènediamine	1.4
Acétophénétidine	0.14+
o-Aminophénol	6.8 +
Nitrosobenzène	8.6 +
p-Aminophénol	3.6
p-Aminophénol	1.3
Phénylhydroxylamine	34.0
Nitrobenzène	0.86
o-Dinitrobenzène	1.9
	3.7
m-Dinitrobenzène	7.1
	7.8
	6.4
p-Dinitrobenzène	55
	198
Trinitrobenzène	4.8
o-Nitrotoluol	0.05
m-Nitrotoluol	0.04
p-Nitrotoluol	très léger
2,4-Dinitrotoluol	1.4
2,6-Dinitrotoluol	0.55
2,4,6-Trinitrotoluol	1.7
m-Chloronitrobenzène	2.3
m-Aminonitrobenzène	3.0
2,4-Dinitrochlorbenzène	0.6
p-Nitro-o-toluidine	3.7

1. Définition du rapport moléculaire: rapport exprimant le nombre de molécules de metHb formées par molécule d'agent methémoglobinémiant présent. Plus le rapport est élevé, plus l'agent est puissant.
2. Note: La présence de plus d'un rapport pour un seul composé correspond aux résultats obtenus par différents auteurs.

* Source: De Bruine[2] (traduction)

g) Manifestations cliniques et relations entre le degré de methémoglobinémie et la symptomatologie

1) Methémoglobinémie de degré léger

La metHbie constitue rarement la seule manifestation de la toxicité d'un composé.[3] Parfois, elle constitue une des principales manifestations alors que dans d'autres cas, elle ne représente qu'un signe mineur ou accompagnateur. En regard des composés utilisés à Expro, le degré de metHbie retrouvé devrait être léger, mais il pourrait constituer un des signes précoces de la toxicité de ces composés.

Dans de tels cas, le taux de metHb se situe généralement à un niveau inférieur à celui produisant des manifestations cliniques (< 15%), ou à un niveau ne produisant que des signes subtiles, ignorés du sujet (exemple: la cyanose).

Ce degré de metHbie ne requiert aucun traitement.

Toutefois, le dosage de la metHbie peut être utile dans un programme de surveillance médico-environnementale, comme témoin de l'absorption d'un agent et comme indicateur précoce d'altération à la santé (cf. surveillance médico-environnementale).

2) Methémoglobinémie de degré modéré à sévère

En cas d'exposition aiguë plus ou moins importante, le degré de metHbie pourra être suffisant pour produire des symptômes manifestes, même susceptibles d'entraîner la mort (en de très rares cas). Cela pourrait s'observer en cas d'exposition massive (partie importante du corps) à un agent oxydant indirect puissant, ou dans une intoxication aux oxydes d'azote (à de très fortes concentrations).

Le traitement pourra être utilisé dépendant du taux de metHbie et de la condition sous-jacente.

Le dosage de la metHbie peut aussi constituer un test très utile pour orienter ou infirmer le diagnostic d'une intoxication aiguë à un agent donné. Une couleur brunâtre du sang indique immédiatement la présence d'une metHbie significative chez le sujet.

3) Relations entre le degré de methémoglobinémie et la symptomatologie

— ***Cyanose***. Elle constitue le signe le plus précoce et apparaît lorsque le taux de metHbie atteint environ 15%. La cyanose est centrale et s'observe donc d'abord sur les lèvres, le nez et les lobes d'oreilles. La couleur est typiquement violacée. La cyanose devient plus marquée avec des niveaux supérieurs de metHbie.

— ***Autres symptômes caractéristiques de l'hypoxémie***. Ils n'apparaissent probablement que vers 30% de metHbie. Ces symptômes sont la céphalée, la sensation de fatigue et la dyspnée. Ils peuvent être déclenchés précocement lors d'efforts physiques. À des niveaux supérieurs, ces symptômes peuvent survenir sans effort particulier. Peuvent aussi s'ajouter des étourdissements, de l'ataxie, de la tachycardie et éventuellement des douleurs thoraciques.[6]

Avec une metHbie sévère, soit un taux aux environs de 60%, peuvent survenir en plus, des nausées, vomissements et perte de conscience. Ce degré de manifestation est rare et ne survient que lors d'exposition aiguë massive à un agent oxydant puissant.

La létalité chez l'humain surviendrait aux environs de 85% de metHbie. Toutefois, cette létalité ne peut être dissociée des autres effets dus au composé[3] (tableau 8).

h) Phénomènes concomitants

Plusieurs agents methémoglobinémiants induisent en parallèle d'autres phénomènes toxiques au niveau sanguin. Il peut être utile de connaître et de rechercher ces phénomènes dans l'évaluation des effets produits par de tels agents. Ces phénomènes sont

Tableau 8 — Tableau résumé des relations entre le degré de metHbie et la symptomatologie

Taux de metHbie	Effet ou symptôme
< 15%	Aucun.
> 15%	Cyanose centrale.
∿ 30% (25% - 45%)	En plus: céphalée, fatigue, dyspnée; étourdissements, ataxie, tachycardie, douleurs thoraciques; d'abord à l'effort (vers 30%), puis sans effort (vers 40% ou plus).
∿ 60%	En plus: nausée, vomissements, perte de conscience.
∿ 85%	Létal.

l'anémie hémolytique et la présence de corps de Heinz. Ces phénomènes ne sont probablement pas produits par la metHbie, mais ils résulteraient d'une autre action toxique de l'agent en cause.[2, 3]

Les corps de Heinz apparaissent comme un matériel insoluble présent dans les globules rouges et facilement identifiable à l'examen du frottis sanguin périphérique. Ils sont probablement constitués de précipitats de globine dénaturée.[2, 3] Leur apparition précéderait obligatoirement celle de l'hémolyse.[3]

Une liste des agents pouvant induire la présence de corps de Heinz, provenant de l'auteur De Bruine, est fournie au tableau 9.[2]

Tableau 9 — Composés capables d'induire des corps de Heinz*

Composé	Espèces animales
Nitrates inorganiques	espèces variées
Nitrites inorganiques	espèces variées
Chlorates	espèces variées
Bichromates	souris
Chlorure de mercure	souris
Acétate de plomb	souris
Arsine, stibine	souris
Aniline	rat, lapin
N,N-Diméthylaniline	rat
Nitrobenzène	espèces variées, homme
Trinitrobenzène (isomères 1, 3 et 5)	chat
Dinitrobenzènes	espèces variées
m-Nitrotoluène	chat
2,4-Dinitrotoluène	chat
Nitroaniline (m, p.)	chien
m-Phénylène diamine	espèces variées
Toluylènediamine	espèces variées
p-Toluidine	chat, lapin
3-Chloro-p-toluidine	souris, rat
2,4-Xylidine	chat
m-Chloraniline	homme
p-Chloronitrobenzène	lapin
Ethylnitrate	chat
Amylnitrate	chat
Ethylèneglycoldinitrate	espèces variées
Nitroglycérine	chat
Erythritoltétranitrate	chat
2-Nitropropane	chat, lapin
Hydroquinone	animaux
Pyrogallol	souris
Naphthol (isomères α et β)	animaux
p-Chlorophénol	animaux
2,4-Dichlorophénol	animaux
Phénylhydrazine	lapin, rat
p-Nitrodiphényléther	
Naphthalène	chien, homme

* Source: De Bruine (traduction)

i) Traitement
Un traitement peut être nécessaire en cas d'intoxication aiguë et de metHbie modérée à sévère.

La première mesure essentielle consiste à laver au savon la peau contaminée et d'écarter les vêtements contaminés. Une attention particulière doit être portée au nettoyage des téguments.

L'usage d'un médicament n'est pas recommandé si la metHbie est inférieure à 40% (certains auteurs disent 60%) en raison de l'absence de gravité de la situation, de la réversibilité spontanée de la metHbie et de la toxicité potentielle de l'antidote.

L'antidote le plus utilisé est le bleu de méthylène. Cet agent permet de réduire rapidement (en quelques minutes à quelques heures) la metHbie. Son mécanisme d'action est le suivant: le bleu de méthylène agit comme catalyseur d'une réaction enzymatique, normalement non utilisée par l'organisme dans le maintien de l'équilibre Hb $\leftrightharpoons$ metHb. L'activation de cette voie accessoire permet de convertir plus rapidement que par la voie habituelle l'excès de metHb en Hb.[4]

La dose proposée est de 1 - 2 mg/kg de poids corporel. Le bleu de méthylène est habituellement offert en ampoule de 10 cc. et dilué à 1%. Il peut être injecté par voie intraveineuse sur une période de dix minutes. Une ampoule suffit généralement pour le traitement. On peut contrôler peu de temps après l'administration du médicament (i.e. $\sim$ 20-30 min) le niveau de metHbie sanguin et si nécessaire, donner une seconde dose. Ce médicament peut causer de l'hypertension, des nausées et des étourdissements. Il faut donc surveiller ces signes suivant l'administration du médicament.

L'acide ascorbique (vitamine C) a aussi été utilisé, mais son action est moins rapide, rendant son usage peu utile dans une intoxication aiguë modérée ou sévère.[3] Enfin, le repos absolu et l'usage d'O_2 sont des mesures complémentaires essentielles.

j) Programme de surveillance médico-environnementale
La metHbie peut servir d'indicateur précoce d'altération à la santé résultant de l'exposition à certains agents. C'est de cette contribution à la prévention des maladies professionnelles via le dépistage précoce, que nous discuterons dans ce chapitre.

Nous traiterons successivement de son usage comme indicateur de la dose totale d'exposition et comme indicateur précoce d'altération à la santé.

1) Indicateur de la dose totale d'exposition
Il est parfois difficile de bien caractériser la dose d'exposition des travailleurs à un agent donné via l'échantillonnage environnemental seul. Cette difficulté peut être due à divers facteurs, dont la grande variabilité des conditions de travail et l'absorption de l'agent dans l'organisme par d'autres voies que la voie pulmonaire seule. Les amines et les nitrates sont justement des produits qui peuvent être absorbés de façon importante par la voie cutanée. Si les travailleurs manutentionnent ces produits, un échantillonnage unique de l'air ambiant sous-estimerait certainement la dose totale d'exposition du travailleur et par conséquent, sous-estimerait aussi les effets qui peuvent en résulter.

En l'absence d'un métabolite spécifique dosable dans les milieux biologiques, ou encore comme complément de celui-ci, le dosage de la metHb peut être utile. Si la metHb est produite de façon significative et précocement par l'agent en cause, son dosage permettrait de mieux caractériser la dose totale absorbée par le travailleur.

Toutefois, mieux caractériser la dose totale absorbée par le travailleur ne nous est utile que si l'on possède une norme biologique, ou en d'autres termes, que si l'on peut mettre en relation le niveau de metHbie avec les effets toxiques que l'on veut justement prévenir. Ceci nous amène donc à l'utilisation de la metHbie comme indicateur précoce d'altération à la santé.

2) Indicateur précoce d'altération à la santé

L'on sait qu'une légère metHbie (de l'ordre de 10% ou moins) n'est probablement pas un phénomène nocif en soi, bien qu'on ne connaisse pas ses effets à long terme. D'ailleurs, il doit être considéré comme un phénomène toxique et non pré-toxique. Ce n'est donc pas la metHbie en soi qui nous intéresse mais plutôt son pouvoir à prédire la survenue éventuelle d'autres phénomènes toxiques que l'on veut à tout prix éviter. Pour que le dosage de la metHbie constitue un test utile à cet égard, il faut cependant que la metHbie précède les autres phénomènes toxiques à prévenir et qu'elle les précède par une certaine marge de sécurité. Dans un tel cas, lorsqu'une valeur « seuil » de metHbie, ou toute valeur de metHbie supérieure à celle retrouvée dans la population générale (cf. valeurs normales) serait atteinte chez un travailleur ou un groupe de travailleurs, une action appropriée pourrait être entreprise de façon précoce dans le milieu de travail, afin de prévenir la survenue d'altération à la santé.

À notre connaissance, il n'existe malheureusement pas de données dans la littérature qui nous permettraient d'utiliser d'emblée la metHbie à cette fin pour les contaminants retrouvés à l'usine Expro.

Lauwerys le propose d'une façon générale comme outil de monitoring pour les arylamines et arylnitrés induisant la metHbie.[7] Cet auteur recommande comme norme biologique optimale, la valeur de 5% de metHbie.[6] Toutefois, il précise que pour l'aniline et le nitrobenzène (composés non retrouvés à Expro), le dosage urinaire de leur métabolite respectif est une méthode bien plus sensible que le dosage de la metHbie.[7]

Afin de déterminer la valeur de la metHbie en regard de ces contaminants, il nous faudrait établir, dans une étude pilote, les relations suivantes:

— établir les valeurs de metHbie dans un groupe de travailleurs exposés et non exposés, travaillant à l'usine;

— établir la relation entre les valeurs de metHbie et les valeurs environnementales d'exposition et les effets toxiques à prévenir.

Cependant, l'on peut sans doute postuler que cet effet risque d'être peu précoce en comparaison avec d'autres effets toxiques, pour un composé qui possède un faible pouvoir methémoglobinémiant.

Par conséquent, l'usage de la metHbie pourrait être envisagé (à tout le moins comme test complémentaire de surveillance biologique) dans le cas du DNT, TNT et de la diphénylamine; il risque d'être peu ou pas utile dans le cas du RDX et de la NG.

k) Méthode d'analyse

Il existe diverses méthodes d'analyse en laboratoire permettant le dosage de la metHbie.

La spectrophotométrie est une méthode simple et adéquate pour son utilisation dans ce cadre-ci. Elle fonctionne selon le principe suivant: la metHbie est un pigment brunâtre; le cyanure (de Na ou K) réagit sélectivement avec la metHb et la transforme en cyanmetHb, qui est un pigment rougeâtre; toutefois, la solution de cyanure ne réagit pas avec l'Hb; l'on mesure la transmittance avant et après l'ajout de la solution de cyanure de Na; la différence de transmittance est proportionnelle à la concentration de metHbie.[1]

l) Valeurs normales

Les valeurs de metHb observées dans la population générale sont les suivantes:

Selon Bodansky:[1] de 0 à 2,4% de la valeur totale d'hémoglobine; Selon Gobbi et al. (population italienne):[7] 1,16% ± 0,81%.

En pratique, l'on pourra donc considérer que toute valeur supérieure à 2,5% est considérée comme anormale et indicatrice d'une methémoglobinémie, mais pas nécessairement indicatrice d'une surexposition ou d'une intoxication.

Points importants

Plusieurs produits utilisés ou fabriqués à Expro peuvent induire le phénomène de metHbie. (DNT, TNT, NG, diphénylamine).

La methémoglobine (metHb) représente *une forme inactive de l'hémoglobine* (Hb). La metHb possède le même atome de fer que l'Hb, mais sous forme oxydée ou ferrique (Fe^{+++} au lieu de Fe^{++}).

La metHb produit *une hypoxémie* (baisse de l'apport d'O_2 aux tissus) via deux mécanismes:
— la metHb ne peut transporter l'O_2,
— la metHb perturbe la libération de l'O_2 lié à l'Hb.

La metHbie est cet état caractérisé par un taux de metHb supérieur à la normale (le taux normal se situant aux environs de 2,0% ou moins d'Hb totale convertie sous forme de metHb).

Une certaine quantité de metHb est continuellement produite chez l'individu normal (par une oxydation spontanée du Fe lié à l'Hb). Ce taux est cependant conservé à un bas niveau (2,0% ou moins) grâce à un système de réduction enzymatique (metHb réductase).

La metHbie peut être d'origine *acquise* (ou toxique, ou professionnelle, ou médicamenteuse) ou *héréditaire.*

Il existe deux formes héréditaires, dont l'une est une déficience en enzyme metHb réductase. Les gens porteurs de ces déficiences sont plus susceptibles aux agents methémoglobinémiants. Toutefois, elles sont rares.

La metHbie toxique peut être produite par des *agents oxydants DIRECTS* (la metHbie est produite par l'agent primaire) et *INDIRECTS* (la metHbie est produite par les métabolites de l'agent initial).

Exemples:

DIRECTS: nitrites organiques et inorganiques (comme ceux produits lors de l'intoxication aiguë aux NO_x)
INDIRECTS: TNT, DNT, NG, DPA.

Le pouvoir methémoglobinémiant de ces produits varie beaucoup de l'un à l'autre, même à l'intérieur d'une même famille de composés.

La metHbie peut être de diverses intensités (de légère à sévère). Lorsqu'elle est *légère*, elle produit peu ou pas de manifestations. Lorsqu'elle est *sévère*, elle peut être fatale et elle nécessite un traitement prompt.

En regard des composés retrouvés à Expro, la metHbie est probablement légère dans la majorité des cas. Elle constitue en somme un signe accompagnateur de toxicité du produit, ou en d'autres termes, un témoin de l'exposition chronique à ce produit chimique. Ce degré de metHbie ne requiert pas de traitement. Cependant, le dosage de la metHb peut être très utile dans de tels cas comme indicateur d'exposition et d'altération précoce à la santé.

En de rares cas, elle pourra être modérée à sévère, comme dans le cas d'une intoxication aux oxydes d'azote (la toxicité pulmonaire des oxydes d'azote est cependant beaucoup plus importante que la metHbie), ou comme dans le cas d'une exposition massive de tout le corps à un agent oxydant indirect.

Ces cas peuvent nécessiter un traitement spécifique de la metHbie. Pour ce, il existe un antidote efficace, le bleu de méthylène (ce médicament stimule la réduction de la metHb en Hb via un système enzymatique normalement inutilisé chez l'humain).

Manifestations de la metHbie. (cf. tableau résumé « Relations entre le degré de metHbie et la symptomatologie.)

Utilisation du dosage de la metHbie comme *indicateur précoce* d'altération à la santé:
— la fiabilité du dosage de la metHb à cet usage n'a pas été étudié pour les composés retrouvés à Expro;

— la sensibilité de ce test serait proportionnelle au pouvoir methémoglobinémiant de l'agent. Il se pourrait donc que ce test constitue un indicateur suffisamment précoce pour certains mais non pour d'autres. Dans certains cas, il serait probablement utile comme test complémentaire. Pour déterminer l'utilité de ce test, il faudrait établir les relations qui existent entre le niveau d'exposition, le degré de metHbie et les autres effets dûs à l'agent en cause.

Bibliographie

1. BODANSKY, O.: Methemoglobinemia and Methemoglobin – Producing Compounds, Pharmacol. Rev. N° 3, 1951.
2. DE BRUINE, A.: Anomalies in Hemoglobin – Methemoglobinemia Ch. 35 dans: Biochemical Toxicology of Environmental Agents. Elsevier, North Holland Biochemical Press, 1976.
3. SMITH, R.P.: Toxic Responses of the Blood, dans: Casarett and Doull's Toxicology, Second Edition, MacMillan, 1980.
4. RAPAPORT, S.I.: Introduction to Hematology, Harper and Row, 1971.
5. HAMILTON, A. et HARDY, H.L.: Hamilton & Hardy's Industrial Toxicology, 4th Edition, Asher J. Finkell, John Wright PSG Inc., 1983.
6. LAUWERYS, R.: Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles. 2e édition, Masson, 1982.
7. LAUWERYS, R.: Biological Criteria for Selected Industrial Toxic Chemicals. A Review, Scand. J. Work. Environ. Health, 1, pp. 139-172, 1975.

C. Les oxydes d'azote (Vapeurs nitreuses)

1. Synonymes[1, 2, 3]

a) Nom générique

Vapeurs nitreuses = terme communément utilisé comme synonyme des oxydes d'azote (quoique ceci constitue une fausse appellation).

Symbole: NO_x

b) Gaz spécifiques

NO : monoxyde d'azote, ou oxyde nitrique (« nitric oxide »).

NO_2 : dioxyde d'azote ou peroxyde d'azote (« nitrogen dioxide »).

N_2O_4 : peroxyde d'azote (idem à NO_2) ou tetroxyde de diazote (« nitrogen tetroxide », ou « dinitrogen tetroxide »); il est le dimère du NO_2 et inclut donc le terme peroxyde d'azote.

N_2O_3 : trioxyde d'azote, ou trioxyde de diazote, ou sesquioxyde d'azote (« nitrogen trioxide », ou « dinitrogen trioxide »).

N_2O_5 : pentoxyde de diazote, ou hyperoxyde d'azote (« nitrogen pentoxide » ou « dinitrogen pentoxide »).

N_2O : protoxyde d'azote, ou gaz hilarant, ou oxyde nitreux (« nitrous oxide »).

2. Propriétés physico-chimiques

a) Généralités[3, 4]

Les vapeurs nitreuses peuvent être constituées d'une variété de gaz azotés (NO, NO_2, N_2O_4, N_2O_3, N_2O_5). Leurs concentrations respectives varient en fonction d'une part, des réactions d'équilibre existant entre ces divers composés et d'autre part, en fonction de certains facteurs environnementaux (dont la température, la présence d'O_2 et H_2O) agissant sur ces réactions d'équilibre.

Toutefois, ce sont principalement le NO_2 et de façon moins importante le NO qui nous intéressent et ce, pour les raisons suivantes:

— le NO est le premier gaz émis lors des opérations de nitration, ou lors des réactions de décomposition de l'acide nitrique, mais ce gaz s'oxyde plus ou moins rapidement en NO_2 selon la concentration initiale présente; par exemple, à faible concentration (100 ppm et moins de NO) le NO se transforme lentement en NO_2 (plusieurs heures pour atteindre une transformation complète ou même partielle), alors qu'à forte concentration (1 000 ppm et plus de NO), la transformation en NO_2 est très rapide (quelques minutes à quelques secondes). À cet effet, voir le tableau de Austin reproduit ci-après (traduit du document du NIOSH).[4]

Tableau 10 — Taux d'oxydation du monoxyde d'azote dans l'air (20% O_2), à 20°C*

Concentration (ppm)	Temps d'oxydation		
	25%	50%	90%
10 000	8,4 sec	24 sec	3,6 min
1 000	1,4 min	4 min	36 min
100	14 min	40 min	6 heures
10	2,3 heures	7 heures	63 heures
1	24 heures	72 heures	648 heures

* Source: NIOSH[4] (traduction)

Par conséquent, ces deux gaz sont invariablement associés, mais dans des proportions qui peuvent varier considérablement. Lors d'une émission importante de gaz (« fume-off») à l'usine, les vapeurs sont donc presqu'entièrement constituées de peroxyde d'azote (NO_2). C'est ce qui explique leur couleur orangée (voir les propriétés spécifiques du NO_2);

— le NO_2 et de façon beaucoup moins importante le NO, constituent les éléments toxiques des oxydes d'azote. On rapporte souvent que la toxicité du NO_2 est cinq fois plus élevée que celle du NO (ceci est peut-être dû au fait que le NO doit d'abord s'oxyder en NO_2, avant que s'enclenche la série de réactions menant à la formation des acides toxiques pour le tissu pulmonaire [cf. « Mécanismes de lésions au niveau pulmonaire »]);

— les autres gaz tels que le N_2O_3 et le N_2O_5 sont très instables et se transforment rapidement en NO_2;

— le N_2O est un gaz anesthésique et il n'a pas d'importance en milieu industriel.

Il existe un équilibre entre le NO_2 et le N_2O_4. Celui-ci est tel qu'à la T° de 24°C, le gaz pur (100%) sera à 20% sous forme de NO_2 et 80% sous forme de N_2O_4. À haute T°, ou à de faibles concentrations, la fraction de NO_2 augmentera; à 100 ppm ou moins, le gaz est entièrement sous forme de NO_2.

N.B.: L'information qui sera donnée ici concernera principalement le NO_2. Toutefois, l'on précisera au besoin les informations concernant les propriétés du NO puisque ces deux gaz (NO_2 et NO) sont toujours associés. Cependant leurs propriétés spécifiques ne sont pas toujours bien définies (en particulier celles du NO).

b) Propriétés spécifiques du NO et du NO_2 [1, 2]

1) NO : – incolore;
– inodore;
– peu soluble dans l'eau;
– oxydation en NO_2, la vitesse de l'oxydation variant selon la concentration (cf. « Généralités »);
– PM = 30;
– densité: 1,34.

2) NO_2 : – couleur brun-rougeâtre ou orangée;
– odeur ressemblant à celle de l'eau de javel;
– hydrosoluble (cf. « Voies d'absorption »);
– en équilibre avec le N_2O_4;
– PM = 46;
– densité: 1,45;
– les vapeurs de NO_2 sont denses et ont tendance à s'agglomérer entre elles dès qu'elles sont émises dans l'air. Ceci fait qu'elles peuvent demeurer confinées au-dessus de la source d'émission, si aucun courant d'air ne les disperse.

3. Sources d'émission

a) La décomposition de l'acide nitrique sous l'effet de la chaleur (par exemple, la chaleur dégagée lors de la réaction entre l'acide sulfurique et l'eau dans certaines conditions), ou sous l'effet d'une réaction avec des corps organiques (par exemple, lors du contact de l'acide nitrique avec le bois) produit des émanations de NO_x.

b) La décomposition de la nitrocellulose sous l'effet de la chaleur produit aussi des émanations de NO_x.

c) La fumée de tabac, surtout de cigarette, contient des concentrations significatives d'oxydes d'azote qui sont inhalées par le fumeur.[3] Cette source ne doit donc pas être négligée quand il s'agit des effets chroniques des oxydes d'azote.

4. Toxicocinétique

a) Voie d'absorption[4, 5]

L'absorption se fait essentiellement par l'inhalation des vapeurs.

La réaction toxique se produit principalement au niveau local, i.e. au niveau du poumon (plus précisément au niveau des alvéoles et des petites voies aériennes).

Une action systémique peut aussi s'ensuivre, due à la formation de nitrates et nitrites qui sont absorbés par voie sanguine.

N.B. — Due à leur lente solubilité dans l'eau (même si l'on indique bien au titre « Propriétés spécifiques » que le NO_2 est hydrosoluble), ces gaz (NO_2 et NO) peuvent généralement pénétrer dans les voies respiratoires profondes, jusqu'au niveau des alvéoles, sans provoquer d'irritation importante des voies respiratoires supérieures. C'est donc au niveau des voies respiratoires profondes que ces gaz produisent leur toxicité. (cf. Toxicité-généralités).

b) Mécanismes des lésions au niveau pulmonaire

Suite à l'inhalation du gaz, il s'établit au niveau des alvéoles et en présence d'O_2 et d'humidité (H_2O), une série complexe de réactions en chaîne et cycliques, qui mèneront à la formation d'acides, puis de nitrates et nitrites.[5]

Ces réactions sont schématisées au tableau 11.

Tableau 11 — Réactions chimiques au niveau des alvéoles pulmonaires, en présence d'O_2 et H_2O à T° = 40°C, suite à l'inhalation de NO_x (schéma hypothétique)

Réactions chimiques	Commentaires
1. $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$	Réaction plus ou moins rapide selon la concentration initiale de NO (cf. «Propriétés physicochimiques - Généralités»); peut nécessiter plusieurs heures.
2. $2NO_2 \rightleftharpoons N_2O_4$	Équilibre entre ces deux composés, variant selon la T° et la concentration (cf. «Propriétés physicochimiques - généralités»)
3. $N_2O_4 + H_2O \rightarrow HNO_2 + HNO_3$	HNO_2: acide nitreux (acide faible) HNO_3: acide nitrique (acide fort) Ces acides sont présumés responsables de la toxicité directe au niveau des bronchioles, des acini et des alvéoles pulmonaires. Ils attaquent les tissus et peuvent aussi former des nitrates et nitrites.
4. $NO_2 + O_2 + H_2O \rightarrow HNO_3 + NO$ (réaction non équilibrée)	Lequel NO réagit à nouveau avec l'O_2 pour former NO_2, lequel réagira à son tour et ainsi de suite. De plus, les acides nitreux et nitriques, en réagissant avec les tissus, produisent à nouveau, lors de la réaction de décomposition, des NO_x, ainsi que du CO_2 et de la chaleur. Il se produit donc un «cercle vicieux» de réactions chimiques. Si la réaction se faisait massivement et très rapidement, une quantité importante de chaleur serait dégagée et serait aussi une cause de lésion pulmonaire. De plus, le CO_2 sous l'effet de la T°, se décomposerait en CO.

Puisque l'équilibre de ces réactions dépend principalement des concentrations initiales, il est logique de penser que le délai d'apparition des signes pulmonaires cliniques sera aussi fonction de la dose inhalée. Ainsi, plus la dose absorbée sera élevée, plus l'atteinte pulmonaire sera précoce et plus le tableau clinique sera sévère. Ce phénomène a déjà été observé en clinique.[6]

c) Mécanismes d'action au niveau systémique

Les acides nitrique et nitreux peuvent réagir avec les sels alcalins présents dans les tissus, formant ainsi des nitrates et nitrites. Ces réactions sont décrites au tableau «Formation de nitrates et nitrites».

Tableau 12 — Formation de nitrates et nitrites

1. Acide nitrique	+	sel alcalin	→	nitrate	+	y
ex.: HNO_3	+	NaX	→	$NaNO_3$	+	HX
2. Acide nitreux	+	sel alcalin	→	nitrite	+	y
ex.: HNO_2	+	NaX	→	$NaNO_2$	+	HX

Les nitrates, les nitrites et les acides ainsi formés peuvent avoir accès à la circulation sanguine et produire des effets systémiques. Si la formation d'acides est suffisante, elle peut entraîner une acidose métabolique. Les nitrates et nitrites sont des vasodilatateurs et peuvent induire une hypotention (légère). Enfin, les nitrites peuvent réagir avec l'hémoglobine et former de la methémoglobine. (cf. «Methémoglobinémie».) Les nitrates et nitrites sont éliminés par voie urinaire où ils peuvent être dosés.

5. Toxicité: généralités

Le NO_2 est classé comme un irritant des voies respiratoires profondes (VRP).

En raison de sa lente hydrosolubilité, le NO_2 peut accéder aux dernières portions de l'arbre respiratoire (bronchioles, acini et alvéoles) et exercer son effet irritant à ce niveau.

Pour mieux comprendre son mécanisme d'action, comparons-le à celui d'un autre gaz irritant. Comparativement à celle du bioxyde de soufre (SO_2), la solubilité dans l'eau du NO_2 se produit très lentement. L'inhalation de vapeurs de SO_2 produit une réaction quasi-instantanée suite à leur contact avec l'eau présente dans les muqueuses des voies

respiratoires supérieures. C'est ce qui explique pourquoi la sensation d'irritation est instantanée (l'irritation est ici due à une action du gaz dissout sur des récepteurs et non à une action corrosive, expliquant ainsi le phénomène de tolérance qui peut rapidement se développer suite à une exposition légère ou modérée, de plusieurs minutes à quelques heures.)[7] Puis il y a formation d'acide sulfurique qui réagit avec la muqueuse et peut causer une action corrosive si la concentration est suffisante au point de contact. Cette réaction instantanée empêche généralement le SO_2 d'atteindre les voies pulmonaires profondes puisque le sujet averti évite l'inhalation prolongée du gaz irritant.

Au contact des vapeurs de NO_2 avec l'eau des muqueuses naso et oropharyngées, une réaction d'irritation instantanée ne se produit pas, sauf en cas de très fortes concentrations de NO_2. Ceci explique pourquoi ce gaz est peu irritant pour les muqueuses oropharyngées. D'autre part, l'absence d'irritation modérée ou sévère amène les travailleurs à respirer le gaz à une forte concentration pendant une période de temps prolongée, ce qui cause des effets retardés (dûs à la formation d'acides, dont l'action corrosive est néfaste pour les alvéoles). Par conséquent un travailleur pourrait être exposé à des concentrations mortelles de NO_x sans ressentir d'effets irritants majeurs, ou même sans rien ressentir du tout.

6. Toxicité chez l'humain

La toxicité des oxydes d'azote peut être classée de la façon suivante:
— aiguë (différents effets selon la dose);
— subaigue;
— chronique.

a) Toxicité aiguë

1) Décès immédiat

Dose-effet. L'inhalation de très fortes concentrations de vapeurs nitreuses, de l'ordre de plusieurs centaines à plusieurs milliers de ppm (concentration minimum d'environ 300 à 500 ppm),[3] pour une période de quelques secondes à quelques minutes, peut être fatale.

Manifestations. Cela peut se manifester par un ou quelques-uns des signes suivants: perte de conscience, cyanose, convulsions, arrêt respiratoire. Il peut y avoir une methémoglobinémie sévère et un oedème aigu pulmonaire.[4]

Mécanismes. Les mécanismes invoqués diffèrent selon les auteurs. Il pourrait s'agir de: asphyxie, oedème aigu pulmonaire, methémoglobinémie sévère, spasme bronchiolaire, laryngo-spasme, oedème glottique et/ou arrêt respiratoire réflexe.[4, 6, 8]

2) Symptômes immédiats d'irritation des muqueuses et des voies respiratoires supérieures (VRS)

Dose-effet et délai. Le NO_2 est peu irritant pour les muqueuses et les voies respiratoires supérieures (VRS);[4] c'est pourquoi l'on peut en inhaler de fortes concentrations (bien supérieures à la norme) sans présenter de symptômes immédiats.

Il est probablement nécessaire d'inhaler une concentration aux environs de 100 ppm pour présenter des symptômes *immédiats* d'irritation (irritation laryngée et/ou pharyngée).[4]

L'inhalation de concentrations plus faibles (< 100 ppm et surtout < 50 ppm) ne produira de symptômes irritatifs qu'après une certaine durée de l'exposition. A titre d'exemple, Lehman et Hasegawa (dans NIOSH) ont observé les faits suivants:[4]

— 62 ppm x 1 h: irritation laryngée;
— 25-100 ppm x 2 h: irritation marquée des muqueuses; augmentation de la fréquence cardiaque et respiratoire;
— 158 ppm x 10 min: toux, irritation oculaire (lacrimation), nasale et laryngée, céphalée, nausée et vomissement.

Manifestations. À de fortes concentrations (> 100 ppm), une sensation immédiate de suffocation et de serrement thoracique, sudation, céphalée, toux et dyspnée peuvent se

produire, mais ces symptômes disparaissent rapidement quand le sujet quitte le lieu de l'exposition (en quelques minutes ou en une heure) et l'individu ne ressent plus aucun malaise, jusqu'à ce qu'éventuellement survienne l'oedème aigu retardé.

Note: La présence de ces symptômes ne signifie pas nécessairement qu'un oedème aigu pulmonaire retardé s'ensuivra, ni même une bronchite ou une pneumonite, mais ils indiquent sûrement une exposition importante qui réclame que l'individu exposé soit gardé sous surveillance médicale. D'autre part, l'absence de ces signes n'est pas non plus une garantie qu'aucun dommage pulmonaire ne surviendra.

3) Oedème aigu pulmonaire (OAP)

Délai. Sauf dans le cas de décès immédiat, l'OAP survient classiquement de façon retardée. Le délai d'apparition peut varier de quelques heures à quarante-huit heures. Le délai est généralement fonction de la dose d'exposition, tel qu'expliqué plus haut.

Déclenchement. Moeshlin rapporte que le pronostic de l'OAP serait nettement aggravé par l'effort physique (d'où la recommandation formelle de mettre les individus exposés au repos).[6] Aucune explication précise n'a été donnée à ce sujet. Pelled et al. (cité dans Lauwerys) ont observé une aggravation des lésions pulmonaires chez l'animal, suite à l'administration d'O_2.[7] Si l'on observe à nouveau le schéma des réactions chimiques décrites au tableau 11 (« Réactions chimiques au niveau des alvéoles pulmonaires... »), on peut comprendre qu'une augmentation de la concentration en O_2 accélérait le processus. Or, l'exercice physique provoque une consommation accrue d'O_2.

Prodome. Des symptômes avant-coureurs de l'OAP, tels que céphalée, sensation de lourdeur dans la tête, serrement de poitrine, légère toux et augmentation de la fréquence cardiaque et respiratoire peuvent se manifester.[6, 8]

Manifestations. Puis apparaissent de façon plus ou moins brutale les signes et symptômes de l'OAP: toux plus importante, sifflement, expectorations abondantes, spumeuses (écume) et rosées (parfois sanguinolantes), dyspnée importante, nausée, vomissements, anxiété et hyperactivité, douleur abdominale (simulant un tableau digestif) et diaphorèse.[9] Les symptômes généraux et particulièrement les symptômes digestifs (nausée, vomissement, douleur abdominale) peuvent précéder les symptômes respiratoires.

À l'examen, on note de la cyanose centrale (nez, lèvres, lobes d'oreille), de la fièvre, des crépitations diffuses à l'auscultation pulmonaire et une légère hypotension.

La radiographie pulmonaire démontre un infiltrat diffus, caractéristique de l'OAP. Les gaz sanguins démontrent une hypoxémie qui peut être très importante. Une methémoglobinémie peut être détectée; toutefois, son taux est généralement bas et elle contribue donc peu à l'hypoxémie.

À ce stade, l'OAP peut être fatal; le décès survient par insuffisance respiratoire. Si l'OAP n'est pas fatal, les signes et symptômes peuvent régresser en quelques jours ou quelques semaines.

Dose-effet. Bien que l'on retrouve de nombreux chiffres dans la littérature (plusieurs des chiffres avancés sont d'ailleurs hypothétiques) indiquant les niveaux d'exposition auxquels peut survenir un OAP, il n'existe pas de données solides nous permettant de préciser une relation dose-effet ou dose-réponse.[4]

L'exposition instantanée (ou de très brève durée) à une concentration de 250 ppm et plus est probablement suffisante pour entraîner un OAP retardé.[1, 4]

Une exposition à 100 ppm pendant une heure suffirait aussi à déclencher l'OAP. Norwood et al. (cités dans A.C.G.I.H.) ont décrit un cas qui serait survenu suite à une exposition de 30 min à une concentration de 90 ppm de NO_2.[10]

Mécanisme. Le mécanisme de l'OAP peut être expliqué de la façon suivante: les acides réagissent avec le tissu pulmonaire alvéolaire, détruisant les tissus et perturbant la perméabilité des membranes; cela provoque un déversement de liquide intra et

extra-cellulaire dans la lumière alvéolaire (oedème), ce qui nuit considérablement aux échanges gazeux (i.e. la captation d'O_2 et l'élimination du CO_2). Il se produit en quelque sorte une noyade intra-pulmonaire et l'O_2 respiré ne peut plus être capté par le sang.

Outre l'oedème pulmonaire, l'hypoxémie peut aussi être due à une inégalité du rapport ventilation/perfusion, à une diffusion altérée et à une methémoglobinémie.[4, 8]

4) Autres manifestations pulmonaires aiguës

D'autres manifestations pulmonaires aiguës, moins sévères que l'OAP, ont été décrites par divers auteurs.[3, 4, 5, 11] Les termes suivants ont été utilisés: bronchite, bronchiolite aiguë, pneumonie, bronchopneumonie et pneumonite.

Il semble qu'une dose moins forte que celle induisant un OAP puisse produire ces autres manifestations. Elles peuvent aussi se surajouter à l'OAP. Seules, elles régressent en quelques jours ou quelques semaines et ne laissent probablement peu de séquelles.

Ces diverses manifestations résultent probablement du même mécanisme sous-jacent à l'OAP, plutôt que d'une infection. Elles peuvent en somme être considérées comme des variantes de l'OAP.[11]

Note: Outre les alvéoles, les bronchioles constituent un des sites auxquels s'attaquent les oxydes d'azote. Les bronchioles peuvent être le siège d'une atteinte aiguë (telle qu'expliquée ci-haut), ou subaiguë. Dans ce dernier cas, le type d'atteinte est tout à fait différent (cf. « Toxicité subaiguë »).

5) Methémoglobinémie

Il est connu que l'inhalation de fortes concentrations de vapeurs nitreuses (100 ppm et plus) peut provoquer une methémoglobinémie (via la formation de nitrites à partir de l'acide nitreux).

La methémoglobinémie est une hémoglobine qui ne peut pas fixer l'O_2 à cause d'une transformation (oxydation) de l'ion ferreux (Fe^{++}) en ion ferrique (Fe^{+++}). Si la réaction est massive, une portion significative de l'hémoglobine peut se retrouver sous cette forme et cela peut compromettre l'apport de l'O_2 aux tissus de l'organisme.

En pratique cependant, la methémoglobinémie ne contribue pas ou peu à la toxicité des vapeurs nitreuses. Dans quelques rares cas, très graves, elle a été suffisamment importante pour nécessiter un traitement (cf. texte sur la methémoglobinémie).[4]

6) Altérations de la fonction respiratoire

L'inhalation de très faibles concentrations de NO_2 (inférieure à 5 ppm) pendant quelques minutes (jusqu'à quinze minutes) est suffisante pour provoquer une augmentation de la résistance des voies aériennes, une diminution de la capacité de diffusion au CO et une baisse de la compliance pulmonaire.[3, 4] Cela a été démontré chez des volontaires normaux et chez des sujets bronchitiques.

Selon Amdur, des altérations des fonctions pulmonaires peuvent être provoquées, chez des sujets sains, en les exposant à des concentrations de NO_2 de l'ordre de 2-3 ppm ou davantage.

b) Toxicité subaiguë

Bronchiolite fibrosante oblitérante (BFO) [3, 4, 8, 9, 11, 12]

Délai. Dans les jours ou semaines (une semaine à huit semaines) suivant la résolution d'un OAP, il peut survenir une deuxième réaction toxique d'apparition plus lente, mais qui peut aussi être fatale: la bronchiolite fibrosante oblitérante (BFO). Cette réaction peut aussi survenir en l'absence d'un OAP initial.

Dose-effet. Plus probablement, les niveaux d'exposition pouvant amener une BFO sont les mêmes que ceux causant l'OAP (cf. « Toxicité chez l'humain – toxicité aiguë »), mais la BFO peut aussi survenir à des niveaux d'exposition inférieurs.

Manifestations. La BFO peut se manifester par de la fièvre, faiblesse progressive, dyspnée progressive, toux et cyanose. Bref, le tableau ressemble à l'OAP, mais est beaucoup moins aigu (les symptômes apparaissent sur une période de jours ou semaines). L'individu peut succomber à une insuffisance respiratoire.

Séquelles. Des altérations des fonctions respiratoires peuvent survenir. Selon l'opinion et l'expérience de Horvath et al., ces séquelles n'apparaissent pas si un traitement adéquat aux stéroïdes a été administré précocement.[8] L'évidence qu'un emphysème pulmonaire puisse survenir comme séquelle d'une BFO, semble beaucoup plus faible.

Pathologie. Toute lésion tissulaire produit une réaction inflammatoire dont l'intensité varie en fonction de divers facteurs. Dans la BFO, les bronchioles inflammées produisent un exudat inflammatoire important, dans lequel on retrouve des macrophages, des lymphocytes et surtout des fibroblastes. Ces cellules sont responsables de l'organisation d'un tissu fibreux qui obstrue partiellement ou entièrement la lumière des bronchioles. Ceci explique les difficultés respiratoires importantes des sujets atteints. Ces lésions peuvent évoluer vers l'atélectasie et/ou la destruction du parenchyme obstrué.[9, 12]

Fonctions respiratoires. Aux tests de fonction respiratoire, on observe diverses anomalies de type restrictif, ou obstructif, ou mixte, telles qu'une diminution de la capacité vitale et des autres volumes pulmonaires, une augmentation de la résistance des voies aériennes, une diminution des débits expiratoires forcés et une baisse de la capacité de diffusion.[9]

c) Toxicité chronique

1) Séquelles des phénomènes toxiques aigus et subaigus

Certains auteurs ont mis en évidence diverses anomalies des fonctions respiratoires, légères mais persistantes, chez des travailleurs victimes antérieurement d'intoxication aiguë et subaiguë.[8, 11, 12] La présence de ces séquelles peut être expliquée, selon Becklake et al., par une fibrose bronchiolaire obstructive, alors que Moskowitz les attribue chez un patient, à un emphysème.[11, 12] Horvath et al. estiment que de telles séquelles sont peu fréquentes et minimes ou peuvent être minimisées, sinon entièrement prévenues, par un traitement adéquat aux stéroïdes.[8]

2) Exposition prolongée (plusieurs années) à des niveaux inférieurs à ceux produisant des effets aigus et subaigus

— La possibilité que l'exposition chronique cause à long terme de l'emphysème a été soulevée. Toutefois cette hypothèse n'est pas encore acceptée ni prouvée scientifiquement.[4, 8, 9] Elle demeure cependant possible si l'on considère les points suivants:

- des études animales expérimentales ont démontré cet effet;
- quelques rares études chez l'humain (bien que leur validité soit contestée) vont dans le même sens;[4, 8, 14]
- une étude clinique a rapporté des anomalies de la fonction respiratoire compatibles avec un emphysème, comme séquelles d'une intoxication subaiguë;[12]
- le tabagisme est une source connue et importante d'oxydes d'azote;[3] il est aussi reconnu que l'emphysème pulmonaire est souvent associé au tabagisme.

— On a aussi dit, puisque ce fut démontré chez l'animal, que les NO_x pouvaient causer une baisse de la résistance aux infections pulmonaires. Il est clair que cela se produit dans les cas aigus, mais cela n'a pas été démontré suite à une exposition chronique chez l'homme.[3]

7. Toxicité chez l'animal

Des nombreuses études animales, nous tirons les conclusions suivantes:

— l'OAP a été reproduit chez l'animal;
— des altérations fonctionnelles (aux tests de fonction respiratoire) et morphologiques (changements dans la composition des tissus bronchiolaires et alvéolaires) surviennent à faibles doses, suivant une exposition aiguë, ou chronique;[4, 13]

— une diminution de la résistance aux infections pulmonaires, virales et bactériennes a été observée chez plusieurs espèces. L'action délétère sur les cils vibratiles des bronches et les macrophages a aussi été démontrée; elle pourrait être responsable de la diminution de la résistance aux infections.[4, 13]

8. Mutagénicité

Il n'existe pas d'étude concernant la mutagénicité des NO_X.
L'acide nitreux s'est révélé cependant mutagène chez des bactéries et virus.[4]

9. Cancérigénicité

Les études animales à date n'indiquent pas que le NO_2 soit cancérigène.[3] Aucune étude épidémiologique ne semble avoir évalué ou indiqué un potentiel cancérigène du NO_2.[4]

10. Tératogénicité

Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

11. Normes ambiantes

a) NO_2

	Normes en vigueur			Normes proposées	
	Québec	U.S.A.	Suède	A.C.G.I.H.	NIOSH
C. moy. (ppm) (mg/m³)		5 10	2 4	3 6	
C. max.					
P. (ppm) (mg/m³)	5 10		5 10	5 10	1 1,8
HVDS (ppm)		50			

b) NO

	Québec	U.S.A.		A.C.G.I.H.	NIOSH
C. moy. (ppm) (mg/m³)	25 30	25		25 30	25 (10h)
C. max. (ppm) (mg/m³)	35 45			35 45	
P.					
HDVS (ppm)		100			

Note: Les deux composés doivent être dosés simultanément puisqu'ils sont invariablement associés.[4]

c) Autres normes: NO_2

« Emergency exposure limits » : normes proposées par l'A.I.H.A.[1] (temps et concentration limites auxquels peut être exposé un individu).

5 minutes: 35 ppm
15 minutes: 25 ppm
30 minutes: 20 ppm
60 minutes: 10 ppm

12. Mesures d'urgence, premiers secours et premiers soins

a) Mesures de détection en cas de concentration élevée

1) Mesures subjectives *(ou perceptuelles)*

— Odeur

L'odeur des oxydes d'azote peut être perçue à de faibles concentrations (< 1 ppm) par l'humain. Toutefois, ceci fut déterminé dans des conditions expérimentales où les sujets

étaient exposés à la présence subite du gaz.[3] Les sujets peuvent cependant ne pas percevoir une élévation graduelle et lente de la concentration. Aussi un phénomène de tolérance s'installe suite à une exposition prolongée.

— Couleur

Les oxydes d'azote (essentiellement le NO_2) ne sont perceptibles à l'œil qu'à de très fortes concentrations, ce qui correspond à des niveaux pouvant être instantanément fatals. À 1 000 ppm, ils sont encore imperceptibles puisque transparent, à 50 000 ppm (5%) ils deviennent jaunâtres et à 200 000 ppm (20%), ils sont orangés.[17] La vue du gaz quelqu'en soit la couleur, exige donc le retrait immédiat du lieu de travail. Aucun individu ne peut pénétrer dans un tel milieu sans une protection respiratoire totale (cf. spécifications de NIOSH/OSHA, réf. 2).

— Irritation des yeux et des muqueuses des voies respiratoires supérieures (VRS)

Tel que déjà expliqué à la section « Toxicité-généralités », les oxydes d'azote sont peu irritants pour les muqueuses des VRS et les yeux. Compter sur la sensation d'irritation est par conséquent inefficace à prévenir une exposition à une concentration importante et à prévenir les effets néfastes des NO_x.

L'apparition de phénomènes d'irritation indique cependant que le sujet a été exposé à une concentration importante de NO_x et que le personnel médical doit en tenir compte immédiatement. Le niveau d'exposition doit être confirmé par des mesures objectives (cf. « Mesures objectives ») et le sujet doit être gardé au repos absolu sous attention médicale. (cf. « Premiers Secours »)

— En résumé

Les mesures subjectives ne peuvent être utilisées pour détecter une concentration de NO_x qui risquerait de produire des effets pulmonaires néfastes.

Lorsque des manifestations d'irritation apparaissent, elles indiquent la présence d'une concentration importante de NO_x qui exige des mesures d'urgence immédiates.

2) Mesures objectives

Certaines situations dans le cours des opérations de production sont connues comme étant associées, ou comme étant annonciatrices d'une émanation importante de gaz azotés. Une connaissance suffisante des procédés de fabrication et la connaissance de telles situations constituent des outils importants (quoique palliatifs) pour la prévention.

Les tubes détecteurs ainsi que les appareils à lecture directe constituent des outils objectifs; ils sont donc essentiels pour des travailleurs qui risquent d'être exposés à de fortes concentrations de NO_x. Une alarme peut être déclenchée lorsque les concentrations et durées limites ont été atteintes (cf. normes proposées par l'A.I.H.A.). Ces appareils sont aussi utiles pour confirmer le niveau d'exposition perçu par un travailleur. (cf. section 4.2 sur l'hygiène du milieu – rapport Expro).

b) Premiers secours (sur le lieu de travail)

1) En cas de,

signes et symptômes de surexposition aux vapeurs (irritation des VRS, couleur perceptible du gaz ou odeur perceptible),

ou de,

détection d'une concentration élevée (par tubes détecteurs, appareil à lecture directe ou en présence d'une situation annonçant une émanation imminente de NO_x),

les mesures suivantes s'imposent:

— sortir immédiatement du lieu d'exposition et demeurer au repos dans un endroit bien aéré;

— aviser la personne responsable;

— s'assurer que tous les individus sont hors du lieu d'exposition; si nécessaire, seule une personne responsable pourra pénétrer dans le lieu de travail, en portant l'équipement respiratoire approprié (cf. recommandations NIOSH/OSHA, à la réf. [2]);

— identifier les travailleurs victimes de surexposition (*note*: la vue d'une nappe gazeuse n'implique pas nécessairement que le travailleur a respiré le gaz; les vapeurs gazeuses peuvent demeurer très localisées);

- pour ces travailleurs, déterminer le plus précisément possible la dose inhalée;
- diriger ces mêmes individus vers un service médical en transmettant les informations pertinentes.

2) Si un travailleur est inconscient:

— l'emmener immédiatement dans un lieu aéré, loin de la source d'exposition;

— demander une aide médicale immédiatement;

— s'il ne respire pas, débuter immédiatement la respiration artificielle.

3) Si le sujet est en plus victime de brûlure à l'acide (oculaire et/ou cutanée):

— ôter immédiatement les vêtements contaminés;

— arroser abondamment à l'eau les régions affectées, pendant une durée minimale de 15 min.;

— référer à un médecin.

c) Premiers soins (dans les services de santé)

1) Service de santé local

— Chez tout sujet surexposé:

- déterminer la pertinence d'une hospitalisation immédiate (difficultés respiratoires importantes, inconscience, brûlures importantes,...), ou d'une surveillance en milieu hospitalier (surveillance des signes et symptômes précurseurs d'un OAP); cette surveillance devrait être exercée pendant une période minimale de quarante-huit heures;
- en cas d'hospitalisation, s'assurer que tous les renseignements pertinents sont transmis et assurer une communication continue.

— Pour les sujets ne nécessitant pas une hospitalisation:

- s'assurer qu'ils connaissent les signes et symptômes qui doivent les amener à consulter immédiatement et qu'ils savent où s'adresser;
- s'assurer que tous demeureront au repos pour une période de quarante-huit heures. Cette recommandation est très importante puisqu'une activité physique même légère peut, dans certains cas, déclencher un OAP.

— Chez tout sujet ayant été hospitalisé, ou ayant développé une intoxication aiguë, ou ayant subi une surexposition nécessitant une surveillance étroite pendant la phase aiguë, assurer une surveillance des effets subaigus et ce, pour une période de deux mois. Assurer au besoin cette surveillance conjointement avec le personnel médical hospitalier.

— Mesures prophylactiques

- Outre le repos, il n'existe pas de mesures applicables immédiatement suite à l'exposition aux NO_x, qui aient été démontrées efficaces à prévenir la survenue d'un OAP, ou d'autres effets pulmonaires aigus.
- Des auteurs français, Kermarrec et Bernaud, rapportent l'emploi du traitement suivant: immédiatement suite à une exposition importante (avec ou sans symptôme), le travailleur est placé sous inhalation d'oxygène barbotant dans une solution ammoniacale à deux grammes pour mille, à la cadence de 9 L/min.[15] Ce traitement est utilisé depuis de nombreuses années dans les industries de poudres et d'explosifs en France. Aucun effet

secondaire n'aurait été observé suite à son utilisation. Aucun cas d'OAP n'a été observé depuis dix ans au moins dans ce type d'industrie en France. Il est cependant impossible de déterminer la contribution de cette mesure prophylactique à la situation actuelle. Son efficacité ne semble pas avoir été évaluée chez l'animal. On ne dispose donc d'aucune étude expérimentale pour juger de sa valeur et de son efficacité. Le mécanisme physiologique théorique à la base de ce traitement serait la formation de nitrate d'ammonium par réaction de l'ammoniaque avec le NO_2. À notre connaissance, la France semble être le seul pays où ce traitement prophylactique est utilisé. En l'attente d'étude(s) permettant d'infirmer ou confirmer son efficacité, nous ne pouvons pas actuellement préconiser cette mesure prophylactique.

- L'inhalation d'O_2 ne semble pas une mesure prophylactique souhaitable, puisqu'une étude chez l'animal aurait au contraire démontré qu'elle aggrave les lésions pulmonaires (cf. déclenchement de l'OAP). Lauwerys recommande par conséquent d'être prudent avec son utilisation.[7] L'inhalation d'O_2 devrait donc être réservé comme mesure thérapeutique de l'hypoxémie.

2) Traitement hospitalier des affections aiguës et subaiguës

— L'OAP

La surveillance en milieu hospitalier d'un travailleur surexposé devrait être d'une durée minimale de quarante-huit heures.

Si des symptômes et signes annonciateurs d'un OAP (cf. prodrome et premières manifestations d'un OAP) surviennent, il est essentiel que le sujet soit immédiatement hospitalisé, s'il ne l'est déjà.

Dès l'apparition du prodrome (augmentation de la fréquence respiratoire et cardiaque, légère toux, serrement de poitrine, céphalée) et à plus forte raison, dès l'apparition des manifestations de l'OAP (symptômes généraux, tels que nausée et vomissement, dyspnée, toux plus importante, râles, etc.), le traitement doit être débuté d'emblée.[6, 8, 9]

Le traitement de choix le plus fréquemment préconisé consiste en l'administration de corticostéroïdes à fortes doses, par voie intraveineuse. Dans l'expérience de plusieurs groupes, ce traitement a produit des effets bénéfiques dans de nombreux cas (même en quelques occasions spectaculaires).[8, 9, 11, 16] Suivant l'évolution clinique, les doses peuvent être diminuées plus ou moins rapidement. Une baisse trop prématurée pourrait, dans certains cas, provoquer une récidive de l'OAP ou la survenue d'une bronchiolite fibrosante oblitérante.[8] Pour cette raison, il est recommandé de poursuivre le traitement pour une période de huit semaines.

L'oxygénothérapie doit être débutée dès les premiers signes de dyspnée, puis contrôlée par la suite à l'aide du dosage des gaz sanguins.

Autres traitements.

- Antibiotiques:
  ils sont indiqués si une complication infectieuse survient.[9, 16]
- Bronchodilatateurs:
  peuvent être utilisés.[16]
- Agent anti-methémoglobinémiant:
  le bleu de méthylène est l'antidote de choix dans ce cas; la recherche de la methémoglobinémie devrait être faite en présence de toute cyanose. Si la methémoglobinémie est de l'ordre de 40% ou plus et, surtout s'il y a hypoxémie importante due à l'oedème pulmonaire, le traitement à l'aide du bleu de méthylène devrait être institué (cf. texte sur la methémoglobinémie).
- Autres mesures d'oxygénothérapie:
  le masque à O_2, le PEEP («positive end expiratory pressure») et le CPAP («continuous positive airway pressure») sont utilisés lorsqu'indiqués.[16]

— ***La BFO***
La BFO peut aussi être fatale.

Le traitement de choix consiste aussi en l'administration de stéroïdes, généralement par voie orale. Son efficacité semble aussi démontrée.[8, 9]

13. Surveillance médicale
En général, la surveillance médicale doit viser la détection précoce d'anomalies réversibles, survenant pendant une exposition chronique et doit être suivie d'une rétroaction sur le milieu de travail.

Ce n'est donc pas la détection de séquelles d'intoxication aiguë aux NO_X qui nous intéresse ici, mais plutôt l'atteinte précoce des alvéoles et bronchioles à un stade permettant de faire régresser le processus pathologique, sinon de le stopper.

Pour établir un programme visant un tel objectif, il nous faut d'abord connaître les effets chroniques que l'on veut prévenir.

Or, la survenue d'effets chroniques dus au NO_X, plus précisément l'emphysème, n'a pas été démontrée de façon concluante (cf. Toxicité chronique chez l'humain). Reconnaissant l'emphysème comme un effet chronique possible, NIOSH a recommandé que d'autres études (en particulier des études épidémiologiques) soient effectuées pour élucider ce point.[4]

Néanmoins, NIOSH propose qu'une surveillance périodique du système pulmonaire soit effectuée, incluant: questionnaire et examen médical avec insistance sur le système respiratoire, radiographie pulmonaire et spirométrie simple (mesure de la capacité vitale forcée, CVF et mesure du volume expiratoire forcé à une seconde, $VEF_{1.0}$).

Quelques commentaires s'imposent face à cette recommandation de NIOSH, concernant la surveillance médicale.

Les lésions causées par les NO_X se situent au niveau des alvéoles et des bronchioles, donc au niveau des plus petites voies aériennes. Or, les tests spirométriques simples évaluent davantage les phénomènes d'obstruction pouvant survenir au niveau des grosses bronches. En d'autres termes, ils peuvent détecter précocement une atteinte des bronches supérieures, mais ils sont peu sensibles pour détecter les lésions des bronches périphériques.

De même, la radiographie pulmonaire ne permet de détecter l'emphysème qu'à un stade très tardif.

Suivant l'opinion exprimée par un groupe d'experts (Marklem et al.), il n'existerait pas actuellement de bases scientifiques suffisantes pour nous permettre de proposer ce type de test comme mesure de dépistage.[18]

La recherche d'altérations précoces au niveau des petites voies aériennes et du parenchyme pulmonaire, chez les travailleurs exposés aux NO_2, exigerait l'utilisation de méthodes plus sensibles. Ceci devrait donc, à notre avis, faire d'abord l'objet d'un projet de recherche.

Bibliographie

1. A.I.H.A. (American Industrial Hygiene Association): Hygienic Guide Series, Nitrogen Dioxide, Am. Ind. Hyg. Assoc. Journal, 1978.
2. NIOSH/OSHA (National Institute for Occupational Safety and Health/Occupational Safety and Health Administration): Occupational Health Guideline for Nitrogen Dioxide, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH; U.S. Department of Labor, OSHA,, U.S.A., 1978.

3. O.M.S. (Organisation mondiale de la santé): Critère d'hygiène de l'environnement, nº 4: Oxydes d'azote, 1978.

4. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health): Criteria for a Recommended Standard... Occupational Exposure to Oxides of Nitrogen (Nitrogen Dioxide and Nitric Oxide), nº 76-149, U.S.A., 1976.

5. GRAYSON, R.R.: Silage Gaz Poisoning: Nitrogen Dioxide Pneumonia, A New Disease in Agricultural Workers. Ann. Int. Med., nº 45, 1956.

6. MOESCHLIM, S.: Poisoning, Diagnosis and Treatment, First American Edition, Grume and Stratton, 1965.

7. LAUWERYS, R.: Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles. 2e édition, Masson, 1982.

8. HORVATH, E.P. et al.: Nitrogen Dioxide-Induced Pulmonary Disease, Five New Cases and a Review of the Litterature. Journal Occ. Med. nº 20 (2), February 1978.

9. PARKES, W.R.: Occupational Lung Disorders, Second Edition, Butterworths, 1982.

10. A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): Documentation of Threshold Limit Values for Workroom Air, Nitric Oxide and Nitrogen Dioxide.

11. BECKLAKE, M.R. et al.: The Long-Term Effects of Exposure to Nitrous Fumes, Am. Rev. Tuberc., nº 76, 1957.

12. MOSKOWITCH, R.L. et al.: Silo Filler's Disease, Clinical, Physiologic and Pathologic Study of a Patient, Am. Journal Med. nº 36, March 1964.

13. AMDUR, M.O.: Air Pollutants, ch. 24 dans: Casarett and Doull's Toxicology, The Basic Science of Poisons, Second Edition, MacMillan, 1980.

14. KENNEDY, M.C.S.: Nitrous Fume Poisoning in Coal-Miners, Rev. Inst. Hyg. Mines, nº 29 (4), 1974.

15. KERMARREC J. et BERNAUD: L'hygiène du travail dans la fabrication des substances explosives, chapitre IV, dans: Quinchon, J. et al., « La sécurité et l'hygiène du travail dans l'industrie des substances explosives ». Technique et documentation, 1980.

16. SUMMER W. et HAPONIK, E.: Inhalation of Irritant Gases, Clin. Chest Med. nº 2 (2), May 1981.

17. Rapport d'enquête de la C.S.S.T. concernant l'accident de monsieur Michel Bernier, survenu le 13 janvier 1983 à l'usine « Les produits chimiques Expro inc. » de Valleyfield, par monsieur Jules H. Roireau, en date du 29 mars 1983.

18. MARKLEM, P.T. et al.: Working Group on Screening Programs for Early Diagnosis of Airway Obstruction, Am. Rev. Resp. Dis. nº 109, 1974.

D. Les acides

1. Acide nitrique

a) Synonymes[1, 2]

Acide nitrique, aqua fortis, acide nitrique blanc fumant, acide nitrique rouge fumant.

b) Propriétés physico-chimiques[1, 2, 3]

— Formule chimique: HNO_3

— Couleur: – l'acide nitrique pur est incolore;
– en solution il est incolore à jaunâtre (sous l'effet de la lumière ou chaleur, devient jaunâtre);
– l'acide nitrique rouge fumant contient un fort pourcentage d'ion NO_2 dissout.

— Odeur: âcre.

— Hydrosoluble.

— Hautement corrosif.

— Est un très fort oxydant et agit comme comburant.

— Non-flammable.

— Cependant, réagit avec certaines substances organiques pour produire un mélange explosif; exemples: combustibles tels que le bois, la térébenthine...

— Lors du contact entre l'acide nitrique et le bois, ou tout autre matériel organique, ou tout métal, ou même lors du contact avec l'air, il se produit invariablement des émanations de gaz toxiques, les oxydes d'azote (cf. toxicité des vapeurs nitreuses ou oxydes d'azote). Ces gaz sont principalement responsables de la toxicité par inhalation de l'acide nitrique.

— Sous l'effet de la T°, il se décompose et de plus ou moins fortes émanations d'oxydes d'azote peuvent se produire.

— Acide nitrique blanc fumant: hautement concentré (97,8%) et faible pourcentage d'ion NO_2 (0,5%).

— Acide nitrique rouge fumant: fort pourcentage de NO_2 (13 - 15%) et hautement concentré (82,4 - 85,4%).

N.B. — Compte tenu de la forte probabilité d'émanation d'oxydes d'azote en présence d'acide nitrique, le monitoring environnemental devrait toujours inclure ces composés.

c) Toxicocinétique

La toxicité de l'acide nitrique se produit selon deux voies.

1. Par contact du liquide avec la peau, les yeux et les muqueuses (rarement par voie digestive suite à l'ingestion du liquide); ou par contact des vapeurs d'acides (ou brouillards acides) avec la peau, les yeux et les muqueuses. La toxicité produite via cette voie n'est que locale.

2. Par inhalation des vapeurs acides et des oxydes d'azote qui y sont associés.

La toxicité produite via cette voie est principalement locale (sur le système respiratoire). Les oxydes d'azote peuvent avoir une action systémique via la formation et l'absorption de nitrates et nitrites (cf. toxicité des oxydes d'azote).

d) Toxicité chez l'humain

1) Généralités

L'acide nitrique est classé comme un agent irritant et corrosif. Son effet s'exerce principalement sur la peau, les yeux, les muqueuses oropharyngées et le système respiratoire.

Toutefois, en ce qui concerne le système respiratoire, l'effet principal origine de la présence concomitante des oxydes d'azote.[3]

2) Toxicité aiguë

— Contact avec la peau

Le contact du liquide avec la peau produit une brûlure chimique quasi instantanée, la réaction corrosive se faisant très rapidement. Cette brûlure peut être très profonde et si

elle est extensive, i.e. atteignant une partie importante de la surface corporelle, il y a danger de complications infectieuses sérieuses, voire de décès. Les séquelles sont d'ordre esthétique.

— ***Contact avec les yeux***
Le contact du liquide avec les yeux produit une opacification immédiate de la cornée et de l'épithélium conjonctival. Dans les cas sévères, cette opacification peut être permanente avec cécité complète.[1] Autrement, les dommages devraient se résorber progressivement avec la réépithélisation.

— ***Inhalation des vapeurs***
Tel que précédemment indiqué, l'inhalation de vapeurs d'acide nitrique implique généralement celles des oxydes d'azote. Le NIOSH fait une distinction bien nette entre la toxicité de chacune de ces deux composantes.[3] Le NIOSH précise que la toxicité propre des vapeurs d'acide nitrique n'est pas vraiment connue chez l'humain, même s'il a été démontré que la toxicité des NO_x est due à leur transformation en acide nitrique et nitreux. Il n'existe pas non plus d'études environnementales qui aient évalué simultanément les deux composantes; les seules mesures d'échantillonnage concernent les NO_x. Il est donc impossible de préciser une relation dose-réponse.

La composante acide des vapeurs nitriques est généralement considérée moins toxique que celle des oxydes d'azote.[3,4] Ceci pourrait s'expliquer par leur différence d'hydrosolubilité. Comme l'acide nitrique est très hydrosoluble, ses vapeurs sont probablement captées dès leur entrée au niveau du tractus respiratoire supérieur, où elles exercent une action irritante et corrosive plus ou moins importante, dépendant de la dose. Par contre, les NO_x peuvent pénétrer dans les voies respiratoires profondes, où ils vont se transformer en acide nitreux et nitrique et exercer une action corrosive sur les alvéoles (structure probablement plus sensible à la corrosion que le tractus respiratoire supérieur) (cf. texte sur les NO_x pour plus de précision à ce sujet).

Ainsi la composante acide exercerait surtout son action au niveau des muqueuses oropharyngées et probablement au niveau des grosses et moyennes bronches, alors que les NO_x n'agiraient qu'au niveau des voies respiratoires profondes. Ceci semble être corroboré par une étude expérimentale chez l'animal, qui aurait démontré que les vapeurs acides ne seraient que légèrement potentialisatrices des effets dus aux oxydes d'azote.[3]

En pratique donc, on considère que la présence de vapeurs d'acide nitrique implique aussi la présence du NO_x et que l'effet global produit par ces deux composés est une atteinte des voies respiratoires profondes (effet plus redoutable en raison de la survenue possible d'un oedème aigu pulmonaire, produit par les NO_x) et des voies respiratoires supérieures (effet beaucoup moins important, produit par la composante acide).

• ***Symptômes d'irritation des voies respiratoires***
Ces symptômes peuvent survenir immédiatement ou de quelques minutes à quelques heures après l'exposition. Ils peuvent inclure: sécheresse de la gorge et du nez, toux, douleur thoracique et dyspnée.

• ***Oedème aigu pulmonaire (OAP)***
Cet effet est le plus redoutable et il survient plusieurs heures suite à l'inhalation des vapeurs (de quelques heures à quarante-huit heures environ après l'exposition). Il est fort probablement dû à la présence des oxydes d'azote qui produisent classiquement cet effet à retardement. Pour plus de détails concernant l'OAP, se référer au document sur les oxydes d'azote.

• ***Autres effets pulmonaires aigus***
Les diverses manifestations pulmonaires résultant des oxydes d'azote peuvent survenir. Outre l'OAP, mentionnons les suivantes: pneumonie chimique, bronchopneumonie, bronchiolite aiguë et bronchiolite fibreuse oblitérante (effet subaigu).

3) Toxicité chronique

— ***Coloration de la peau***

L'exposition chronique à de faibles quantités d'acide nitrique liquide ou à de faibles concentrations de vapeur, produit une coloration jaunâtre à brunâtre de la peau.

Cette coloration est due à la formation de protéines dénaturées, l'acide xanthoprotéique.[3]

— ***Érosions dentaires***

L'érosion dentaire est une conséquence bien connue de l'exposition aux vapeurs d'acide sulfurique et chlorhydrique.[3]

Cet effet a aussi été observé suite à l'exposition aux vapeurs d'acide nitrique.

Toutefois, il y avait dans tous ces cas une exposition simultanée aux vapeurs d'acide sulfurique (celles-ci étaient d'ailleurs en plus forte proportion). Il est donc probable que ces érosions soient davantage en rapport avec l'acide sulfurique. Il est aussi possible que l'acide nitrique induise plus faiblement de l'érosion dentaire.[3]

Le délai d'apparition varie de quelques mois à quelques années. Dans une étude réalisée chez des travailleuses d'une usine de nitrocellulose en 1947, on rapporte les taux d'érosion dentaire suivants:[3]

— Parmi 26 femmes - ancienneté de 1 - 3 mois : 23% (6)
— Parmi 29 femmes - ancienneté de 3 - 12 mois : 38% (11)
— Parmi 42 femmes - ancienneté de 1 - 3 ans 1/2: 62% (26)

— ***Effets chroniques sur le système respiratoire***

Compte tenu des propriétés irritantes de l'acide nitrique, il paraît plausible de penser qu'il produise des effets comme la bronchite chronique. Toutefois, cela n'a pas été prouvé par des études épidémiologiques.[3]

Concernant les effets chroniques des NO_x, l'apparition d'emphysème pulmonaire est controversée.

4) Mutagénicité

Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

5) Cancérigénicité

Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

6) Tératogénicité

Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

e) Normes ambiantes

	Normes en vigueur		Normes proposées	
	Québec	U.S.A. (OSHA)	A.C.G.I.H.	NIOSH
C. moy. (ppm) (mg/m³)	2 5	2 5	2 5	2 (10 h) 5
C. max. (ppm) (mg/m³)	4 10			
P.				
HDVS (ppm)		100		

Notes: – La surveillance environnementale doit toujours inclure l'évaluation des NO_x.
– Voir les normes concernant les NO_x.
– Il est à remarquer que les normes en vigueur pour l'acide nitrique sont plus sévères que celles pour les NO_x, malgré le fait que ces derniers composés soient considérés plus toxiques. Seules les normes de N.I.O.S.H. respectent cet ordre d'idée.

f) Premiers secours et premiers soins
Consultez le chapitre sur la toxicité des oxydes d'azote. Les mêmes mesures s'appliquent.

Les mesures de base essentielles en cas de brûlures de la peau à l'acide sont les suivantes.[1, 5, 6]

— Éloigner immédiatement le sujet de la source d'exposition aux oxydes d'azote (par exemple, lorsqu'il y a déversement important d'acide nitrique sur un plancher de bois ou de métal, il se produit un fort dégagement d'oxydes d'azote; il est alors impossible d'arroser les plaies contaminées par l'acide sans que l'individu ne soit exposé de façon importante au NO_x). Ne pas oublier que l'individu peut être aveuglé s'il a reçu de l'acide dans les yeux.

— Enlever tous les vêtements contaminés par l'acide.

— Arroser abondamment à l'eau les régions touchées pendant une période minimale de quinze minutes. L'œil doit être bien irrigué en relevant périodiquement les paupières.

Note: L'usage de substances alcalines ou neutralisantes est contre-indiqué pour le traitement des brûlures aux acides, ceci en raison de la chaleur importante qui se dégage lors de la réaction entre l'acide et une base; la chaleur dégagée serait suffisante pour aggraver la brûlure causée par l'acide.[5, 6]

— Demander une assistance médicale immédiatement. Une brûlure oculaire ou cutanée importante devrait être référée à un médecin spécialisé, de préférence en milieu hospitalier.

g) Surveillance médicale
Consultez d'abord le chapitre sur la toxicité des oxydes d'azote.

Compte tenu de la toxicité potentielle des vapeurs acides sur les voies respiratoires supérieures et moyennes (quoi qu'il n'y ait pas d'études épidémiologiques à date qui aient tenté d'évaluer la fréquence de la bronchite chronique et de l'obstruction des voies aériennes dans de telles populations), il est probablement indiqué d'utiliser les outils standards pour le dépistage des problèmes du système respiratoire (i.e. questionnaire standardisé et validé, examen clinique, spirométrie simple et radiographie pulmonaire) dans le cadre de la surveillance médicale.

Ces tests de dépistage sont d'ailleurs surtout efficaces pour évaluer une obstruction des voies respiratoires supérieures et moyennes; en revanche, ils sont peu sensibles pour détecter les phénomènes affectant les voies respiratoires inférieures, causés par les oxydes d'azote. NIOSH propose ces tests comme mesure de surveillance médicale pour les travailleurs exposés aux vapeurs d'acide nitrique.[3]

La surveillance clinique des effets chroniques sur le système cutané (coloration jaunâtre) et dentaire (érosions dentaires) semble aussi indiquée. La coloration jaunâtre de la peau indique un contact cutané direct avec l'acide, situation qui ne devrait pas exister. La présence d'érosions dentaires indique probablement une exposition importante aux vapeurs acides, ou la présence concomitante d'une exposition aux vapeurs d'acide sulfurique.

Bibliographie

1. A.I.H.A. (American Industrial Hygiene Association): Hygienic Guide Series: Nitric Acid, Am. Ind. Hyg. Assoc. Journal, 1978.

2. C.S.S.T. (Commission de la santé et de la sécurité du travail du Québec): Répertoire toxicologique, fiche toxicologique: Acide nitrique.

3. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health): Criteria for a Recommended Standard... Occupational Exposure to Nitric Acid, U.S. Department

of Health, Education and Welfare. Public Health Service, Center for Disease Control,, pp. 76-141, U.S.A., 1976.

4. A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): Documentation of the Threshold Limit Values for Substances in Workroom Air, Nitric Acid.

5. DREISBACH, R.H.: Handbook of Poisoning, 11th Edition, Lange Medical Publication, 1983.

6. RUMACK, B.H. et PETERSON, R.G.: Clinical Toxicology, ch. 27 dans: Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. Second Edition, MacMillan, 1982.

2. Acide sulfurique

Note: Le présent texte se fonde principalement sur deux documents synthèses publiés par NIOSH (références 2 et 6).

a) Synonymes

Oléum, acide vitriolique (« oil of vitriol »), « glover acid » (« tower acid »), « dipping acid ».[1]

b) Propriétés physico-chimiques

1) Formule chimique: H_2SO_4

2) Description:[1, 2]

L'acide sulfurique concentré est un liquide incolore et huileux. Les solutions diluées d'acide sulfurique ont une apparence aqueuse. L'acide sulfurique fumant est un liquide jaune et huileux libérant du trioxide de souffre à la température de la pièce.[1]

H_2SO_4	100 - 140%: oléum (acide sulfurique fumant)
H_2SO_4	95 - 98%: acide sulfurique concentré
H_2SO_4	93,19%: acide vitriolique (« oil of vitriol »)
H_2SO_4	77,67%: « Tower acid » (« glover acid »)

c) Toxicocinétique

1) Voies d'exposition

Les principales voies d'exposition à l'acide sulfurique sont les voies d'inhalation, cutanée et oculaire. L'exposition à la forme aérosolisée d'acide sulfurique constitue la principale source d'inhalation puisque l'acide sulfurique a une faible pression de vapeur. L'aérosol est généralement généré par une agitation vigoureuse de l'acide sulfurique dilué chaud, par des opérations électrolytiques engendrant l'émanation d'un gaz, ou par la combinaison de l'air ambiant humide et le trioxide de soufre, émis par l'acide sulfurique fumant (oléum). Les formes aérosolisées et liquide constituent les sources d'exposition par voies cutanée et oculaire. Accidentellement, l'ingestion d'acide sulfurique liquide peut survenir.

2) Absorption

L'acide sulfurique est absorbé dans le sang sous forme d'ions sulfates et hydrogènes par l'intermédiaire des membranes muqueuses. L'ion sulfate est relativement stable dans le corps et constitue l'un des ions normaux minoritaires du plasma.[2]

3) Métabolisme et excrétion

Certains sulfates (6 à 8%) du « pool » plasmatique sont conjugués dans le foie avec des métabolites tels les phénol, crésol, indole et skatole et sont excrétés dans l'urine sous forme de sulfates éthérés. L'excrétion urinaire de ces sulfates constitue un mécanisme de détoxification. Le sulfate inorganique (85 à 90%) est excrété sous forme de composés

d'acide sulfurique avec des ions Na, K, Ca et NH_3. Quant au soufre neutre (4 à 6%), il est excrété sous forme de composés tels les acides aminés contenant du soufre, les thiosulfates et les thiocyanates.[2]

d) Toxicité chez l'humain

L'acide sulfurique est classé comme un agent corrosif et irritant puissant et ce, pour tous les tissus avec lesquels il entre en contact. Ses effets se manifestent principalement au niveau de la peau, des yeux, des muqueuses naso et oropharyngés, des dents et des voies respiratoires supérieures.

Les effets aigus et chroniques seront abordés à l'intérieur de deux chapitres distincts, soit les effets résultant de l'exposition à l'aérosol et ceux résultant de l'exposition au liquide.

1) Acide sulfurique en aérosol

Les effets toxiques résultant de l'exposition à l'acide sulfurique en aérosol peuvent être considérés sous deux aspects:

— l'effet de corrosion chimique sur les dents;

— les effets irritants sur la peau, les muqueuses des voies respiratoires et les yeux.

— Effet corrosif sur les dents

Cet effet résulte d'une exposition subaiguë à chronique, i.e. survenant dans un délai de quelques semaines à quelques années après le début de l'exposition.

L'exposition à des concentrations d'acide sulfurique en aérosol variant de 0,8 à 16,6 mg/m³ cause d'abord une gravure de l'émail dentaire, puis une érosion de l'émail et de la dentine avec une perte de la substance dentaire. Le dommage se limite aux parties des dents qui sont directement en contact avec les gouttelettes de l'aérosol heurtant leur surface.[3] Les dents affectées sont principalement les incisives centrales et latérales et à un degré moindre, les canines supérieures et inférieures. Les effets observés dépendent du degré de respiration par la bouche et de la position de repos des lèvres, qui protègent les dents de l'acide. Dans les cas sévères, qui se développent habituellement après plusieurs années d'exposition, la perte de la substance dentaire peut causer une déformation esthétique considérable ainsi qu'une perte fonctionnelle, les dents qui coupent n'étant plus juxtaposées les unes aux autres. Le dénudement de la dentine peut rendre la dent sensible aux températures extérieures.[2]

Malcolm et Paul ont trouvé une érosion sévère des dents chez des travailleurs d'une usine de batteries. Les travailleurs d'un département (« forming room ») où la concentration d'acide sulfurique en aérosol variait de 3 à 16,6 mg/m³ étaient les plus sévèrement atteints, alors que les travailleurs d'un autre département (« charging room ») où la concentration variait de 0,8 à 2,5 mg/m³ étaient affectés à un degré moindre.[4]

Des travailleurs exposés à des concentrations variant de 12,6 à 35 mg/m³ avaient une incidence beaucoup plus élevée d'érosion et de décoloration des dents que celle notée chez des individus non exposés.[3, 5] Presque 40% des travailleurs exposés souffraient d'érosion dentaire (El-Sadik et al.).[2]

Bruggen Cate (1968) a également démontré une incidence élevée d'érosion dentaire chez des travailleurs exposés à l'acide sulfurique en aérosol dans différentes usines.[2]

— Effets irritants sur les yeux, les muqueuses des voies respiratoires et la peau

• ***Aigus***. Les premiers symptômes produits par l'inhalation d'acide sulfurique consistent généralement en une irritation ou un chatouillement du nez et de la gorge, des éternuements et de la toux, effets qui sont comparables à ceux associés à l'inhalation de poussière.[2] À des niveaux inférieurs à ceux produisant les effets subjectifs ci-haut mentionnés, l'acide sulfurique cause une augmentation réflexe de la fréquence respiratoire et une respiration moins profonde, ainsi qu'une bronchoconstriction réflexe résultant en une augmentation de la résistance des voies aériennes.

Une seule surexposition à l'acide sulfurique peut conduire de façon aiguë à de l'oedème laryngé, trachéobronchique et même un oedème aigu pulmonaire; comme séquelle chronique, une seule surexposition pourrait engendrer de la fibrose pulmonaire, de la bronchiectasie résiduelle et de l'emphysème pulmonaire.[2]

• ***Aigus à chroniques***. L'exposition à des concentrations plus élevées ou durant des périodes prolongées, peut engendrer des symptômes bronchitiques, de la rhinorrhée, des larmoiements et de l'épistaxis.[2]

• ***Chroniques***. Après plusieurs années d'exposition, on rapporte que l'acide sulfurique cause une conjonctivite, des infections respiratoires fréquentes, de l'emphysème et des troubles digestifs.[2] Toutefois, d'autres substances, telle la poussière, ont été associées à ces effets.[2] Une exposition répétée ou prolongée à l'acide sulfurique en aérosol ou vapeur peut produire une irritation chronique des yeux ou une inflammation chronique du nez, de la gorge et des bronches.[5] Des travailleurs chroniquement exposés à l'acide sulfurique en aérosol peuvent également souffrir de dermatite, de stomatite ou de gastrite.[3, 4]

Il existe certaines évidences qu'une acclimatation aux effets subjectifs, résultant de l'inhalation d'acide sulfurique en aérosol, survienne chez des travailleurs, au point qu'ils puissent tolérer jusqu'à trois à quatre fois les niveaux d'exposition tolérables pour des individus non habitués.

D'autre part, il est possible qu'une sensibilisation aux effets de l'acide sulfurique en aérosol survienne. Ces deux phénomènes conduiraient à l'auto-sélection en milieu industriel.[2]

• ***Relation dose-effet et dose-réponse***

Amdur et al. (1952) ont rapporté les résultats de l'exposition de sujets humains normaux, non acclimatés à l'inhalation d'acide sulfurique en aérosol (grandeur moyenne des particules: 1 μm). La concentration variait de 0,35 à 5 mg/m^3 et la durée d'exposition de cinq à quinze minutes. Cette étude a démontré que des concentrations inférieures à 1 mg/m^3 ne pouvaient être détectées ni par l'odeur, ni par le goût ou l'irritation. Chez deux personnes, le seuil était de 1 mg/m^3 alors qu'une concentration de 3 mg/m^3 était perçue par tous. Une concentration de 5 mg/m^3 était jugée très inacceptable selon plusieurs, mais l'était moins selon d'autres;[1] celle-ci produisait de la toux, une augmentation de la fréquence respiratoire et une altération de la capacité ventilatoire.[3, 5] À des concentrations supérieures à 0,35 mg/m^3 la fréquence respiratoire augmentait, ce qui diminuait la rétention de particules inhalées dans les poumons, agissant donc ainsi comme un mécanisme réflexe protecteur.[1] L'augmentation de la fréquence respiratoire était toujours accompagnée par une diminution de l'amplitude respiratoire ainsi que par une diminution des débits expiratoire et inspiratoire maxima.[2] La rétention de l'acide sulfurique dans le tractus respiratoire était en moyenne de 77% pour des expositions à des concentrations variant de 0,4 à 1,0 mg/m^3.[2] Morando a également rapporté des résultats semblables à ceux de Amdur en 1956.[2]

Bushtueva (1957) a exposé 10 sujets humains à des faibles concentrations d'acide sulfurique en aérosol. À une concentration moyenne de 0,72 mg/m^3, les 10 sujets ont perçu des effets minimes d'irritation de la gorge (chatouillement, grattage). À des concentrations variant de 1,1 à 2,4 mg/m^3, tous les sujets ont noté une irritation considérable à la base de l'oesophage et 40% des sujets ont souffert d'irritation des yeux. De 2,4 à 6,0 mg/m^3, tous les sujets ont expérimenté une irritation aiguë des membranes muqueuses, une toux réflexe prononcée et une irritation des yeux. Des concentrations de 1,0 à 1,1 mg/m^3 ont occasionné de légers changements respiratoires alors que des concentrations de 1,8 à 2,0 mg/m^3 ont produit des changements au niveau de l'amplitude et du rythme respiratoire.[2]

El-Sadik et al. (1972), lors d'une étude chez 33 travailleurs et 20 sujets contrôle de deux usines de batteries, n'ont trouvé aucune différence significative au niveau de la

prévalence de *bronchite chronique* et/ou de bronchite asthmatique chronique entre les deux groupes. Une réduction de la capacité vitale a été observée à la fin de la période de travail en comparaison avec le début. Toutefois, la réduction moyenne était supérieure chez le groupe contrôle en comparaison avec le groupe exposé. Par contre, la diminution moyenne en ce qui a trait au volume expiratoire forcé, était plus importante chez le groupe exposé que chez le groupe non exposé.[2]

Deux études expérimentales, effectuées chez des adultes en bonne santé, ont démontré une accélération du taux de clearance bronchique de particules radioactives, reliée à l'exposition à de l'acide sulfurique en aérosol.[6] Newhouse et al. ont trouvé un taux de clearance augmenté après deux heures d'exposition à *1 mg/m*^{3}. Leihauf et al. ont aussi observé un taux augmenté mais à des concentrations en-dessous de la limite permise. À une concentration de *1 mg/m*^{3} le taux était augmenté de façon significative. L'augmentation de la « clearance », telle que suggérée par ces auteurs, serait probablement une réponse d'irritation engendrée par l'acide sulfurique en aérosol.[6]

Ces deux études suggèrent possiblement une réponse adverse à l'inhalation d'aérosols d'acide sulfurique à la C. moy. permise de 1 mg/m^3. On ignore si des effets adverses surviennent à cette concentration chez les individus exposés pour des périodes de temps prolongées.[6]

2) Acide sulfurique liquide

En vertu d'une grande affinité et d'une forte réaction exothermique avec l'eau, l'acide sulfurique concentré retire l'eau contenue dans plusieurs substances organiques avec lesquelles il vient en contact, carbonisant et brûlant ainsi la peau.[2] Le contact avec la peau cause une corrosion et une ulcération extrêmement douloureuse, les lésions se couvrant d'une croûte blanc-grisâtre.[1] L'acide concentré est encore plus nocif pour les membranes muqueuses et excessivement dangereux pour les yeux.[3] L'acide sulfurique dilué irrite la peau et les membranes muqueuses en vertu de son caractère acide et peut causer une dermatite.[2] Alors que l'acide sulfurique devient progressivement plus dilué avec l'eau, l'intensité de son action de déshydratation/carbonisation diminue graduellement jusqu'à ce qu'il se comporte comme un fort minéral en vertu de son ionisation complète.[2]

De l'acide sulfurique fumant liquide vaporisé dans la figure d'un travailleur a causé des brûlures cutanées au niveau de la figure et du corps ainsi qu'un oedème pulmonaire suite à l'inhalation. Les séquelles suivantes ont été notées: fibrose pulmonaire, bronchite résiduelle et emphysème pulmonaire. De plus, la nécrose de la peau a résulté en une cicatrisation importante.[3, 5]

Les éclaboussures dans les yeux constituent *le risque le plus sérieux* lors de l'utilisation de l'acide sulfurique en industrie.[1, 2] Le contact avec l'acide concentré peut causer des dommages irréparables de la cornée résultant en une perte de la vue.[1, 2] Le contact avec le composé dilué produit des effets plus transitoires pouvant résulter en une guérison complète.[3, 5] De plus, des brûlures acides des paupières et des régions avoisinantes de la figure produiront une cicatrisation avec défiguration.[2]

L'ingestion d'acide sulfurique est suivie de vomissements contenant des fragments de la paroi de l'oesophage et de l'estomac. Ceci peut être suivi de sténose au niveau de l'oesophage et de la région pylorique, d'adhésion dans la cavité abdominale, de diarrhée prolongée, de pneumonie et de la mort.[1]

3) Facteurs influençant l'intensité des effets toxiques

Le degré d'irritation aux aérosols d'acide sulfurique est en partie relié au diamètre de la masse médiane de la particule. Une gouttelette de diamètre de un micromètre (1 μm) semble pénétrer davantage dans les poumons mais une gouttelette de 2,5 μm de diamètre produit une réponse plus intense. De plus, l'acide sulfurique est plus irritant dans des conditions d'humidité élevée. Ces réponses ont été observées chez plusieurs espèces autres que l'homme, principalement chez le singe et le cobaye.[1] La possibilité

d'interaction avec d'autres substances présentes dans le milieu d'exposition doit également être considérée.

Certains auteurs (Amdur, Patte et autres) croient que les asthmatiques, les cardiaques, les fumeurs et les personnes âgées peuvent manifester des effets toxiques plus prononcés suite à l'inhalation d'acide sulfurique en aérosol, que les sujets masculins jeunes et en santé qui ont participé aux investigations toxicologiques.[1]

e) Toxicité chez l'animal
Mentionnons seulement que des études chez les animaux ont établi que des changements pathologiques et fonctionnels, au niveau des tissus respiratoires, pouvaient survenir lors de l'exposition continue et chronique, à des concentrations variant de 0,1 à 1 mg/m^3 d'acide sulfurique en aérosol.[6]

f) Mutagénicité
Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

g) Cancérigénicité
Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

h) Tératogénicité
Le potentiel tératogène de l'acide sulfurique en aérosol a été examiné chez plusieurs espèces. Aucune évidence de tératogénicité n'a été trouvée.[6]

i) Normes ambiantes

	Québec[7]	U.S.A.[8]	NIOSH[2]	A.C.G.I.H.[9]
C. moy. (mg/m^3)	1	1	1 (10h/j)	1
C. max. (mg/m^3)				1
P.				
HDVS (mg/m^3)		80		

La concentration de 1 mg/m^3 d'acide sulfurique sous forme d'aérosol, déterminée comme une concentration moyenne pondérée pour une exposition de huit heures par jour pour une semaine de quarante heures, est la concentration moyenne assignée par l'A.C.G.I.H. et acceptée par OSHA. En 1974, NIOSH a recommandé la même limite mais pondérée pour une exposition allant jusqu'à dix heures par jour pour une semaine de quarante heures.[1] Toutefois, lors d'une revue et évaluation de la littérature récente (juin 1981), NIOSH soulève *l'hypothèse* que des réactions adverses secondaires à l'exposition à l'acide sulfurique en aérosol, puissent se manifester à cette concentration permise (1 mg/m^3) ou à des concentrations inférieures.[6]

De nombreux pays ont également adopté la même concentration moyenne permise que celles des États-Unis. La Roumanie recommande une concentration moyenne de 0,5 mg/m^3 et un plafond de 1,5 mg/m^3.[6] La C. moy. (TLV) de 1 mg/m^3 a été recommandée pour prévenir l'irritation des voies respiratoires et les lésions dentaires.[4]

j) Premiers secours et premiers soins.
Contact avec les yeux. Lorsque l'acide sulfurique liquide ou en solution vient en contact avec les yeux, laver immédiatement les yeux avec beaucoup d'eau pendant une période minimale de quinze minutes en soulevant occasionnellement les paupières inférieures et supérieures. Obtenir de l'aide médicale immédiatement. Les travailleurs exposés à cette substance chimique ne devraient pas porter de verres de contact.[5]

Contact avec la peau. Lorsque l'acide sulfurique liquide ou en solution vient en contact avec la peau, laver immédiatement la peau contaminée avec de l'eau et poursuivre pour une période minimale de quinze minutes. Si l'acide a pénétré les vêtements, enlever les

vêtements immédiatement et laver la peau avec de l'eau. Obtenir de l'aide médicale immédiatement.[5] En cas de dermatite, traiter comme une dermatite de contact.[3]

N.B. — L'usage de neutralisants (substances alcalines) n'est pas recommandé en raison de la chaleur dégagée par la réaction acide + base; cette chaleur aggraverait davantage la brûlure causée par l'acide.[10] Il a toutefois été suggéré par certains auteurs que l'utilisation d'une solution basique très faiblement concentrée pourrait être bénéfique.[11] En l'absence d'études confirmant ces dires, l'utilisation de grandes quantités d'eau, pendant une longue période (environ quinze minutes) demeure donc le traitement de choix.

Inhalation. Lorsqu'une personne inhale de fortes concentrations d'acide sulfurique, amener rapidement la personne à l'air frais. Si elle ne respire plus, lui donner la respiration artificielle. Garder l'individu au chaud et au repos. Obtenir de l'aide médicale aussitôt que possible.[5] Traiter de façon symptomatique et surveiller les signes d'oedème pulmonaire.[1] Si l'exposition est sévère, il est recommandé d'hospitaliser et de garder sous observation durant quarante-huit heures, afin de surveiller l'apparition d'un oedème aigu pulmonaire.[3]

Ingestion. Lors d'ingestion d'acide sulfurique liquide ou en solution et lorsque la personne est consciente, lui faire immédiatement boire de grandes quantités d'eau pour diluer l'acide. Ne pas faire vomir. Obtenir de l'aide médicale immédiatement.[5] Procéder à un lavage gastrique avec de grandes quantités d'eau afin d'enlever l'acide. Les alcalins tel le bicarbonate de sodium devraient être évités car il survient une réaction exothermique qui peut aggraver la brûlure.[1]

k) Surveillance médicale

Le NIOSH a fait les recommandations suivantes.[2,5] Un examen médical pré-embauche suivi d'examens annuels devraient être faits chez tous les travailleurs exposés à l'acide sulfurique. L'examen devrait être dirigé vers les dents, les yeux, la peau et le système cardiopulmonaire en portant une attention particulière à l'érosion dentaire, l'irritation des membranes muqueuses et la toux.[2] Les tests de fonction pulmonaire suivants sont recommandés périodiquement: capacité vitale forcée (CVF) et volume expiratoire forcé en une seconde (VEF_1).[5] Une radiographie pulmonaire 14" x 17" est également recommandée lors de l'examen pré-embauche, puis selon les résultats des tests de fonction pulmonaire.[5] La surveillance des symptômes respiratoires (en particulier la bronchite chronique) devrait être assurée par un questionnaire standardisé, tels que ceux développés par le British Medical Research Council ou l'American Thoracic Society.

Puisque l'acide sulfurique affecte le système respiratoire au niveau des grandes voies aériennes et puisque la spirométrie permet surtout d'évaluer cette portion de l'arbre respiratoire, cet examen devrait être choisi. Il faut toutefois noter que le tabagisme constitue un facteur confondant majeur puisqu'il produit les mêmes effets.

Points importants

— Oléum: acide sulfurique hyperconcentré (100-140%).
Acide sulfurique concentré: 95 - 98%.

— Voies d'exposition:
  - contact des yeux, de la peau et des muqueuses avec l'acide sulfurique sous forme liquide ou sous forme d'aérosol,
  - inhalation de l'aérosol,
  - l'ingestion est rare.

— Effets résultant de l'exposition à l'aérosol d'acide sulfurique.
  • Aigus:
    - symptômes d'irritation des muqueuses et des voies respiratoires, augmentation de la fréquence respiratoire et broncho-constriction réflexe, survenant à de faibles concentrations.

- oedème laryngé, trachéo-bronchique et même odème aigu pulmonaire pouvant survenir à de fortes concentrations.

• Subaigus à chroniques:
- érosion dentaire (quelques semaines à quelques années suivant le début d'exposition),
- symptômes bronchitiques; larmoiements, écoulement et saignements du nez.

• Chroniques (effets possibles):
conjonctivite, infections respiratoires, bronchite chronique, emphysème, trachéo-bronchite, troubles digestifs, stomatite, dermatite.

— Effets résultant de l'exposition à l'acide liquide.
• Au niveau de la peau: brûlure plus ou moins sévère.
• Au niveau des yeux: dommages pouvant être irréversibles et causer la perte de la vue.
• Suite à l'ingestion: dommages sévères au niveau de l'oesophage, estomac, intestins, pouvant causer la mort.

— La norme ambiante actuelle (8 heures) est 1 mg/m^3. À ce niveau, il semble que des réactions adverses puissent néanmoins survenir.

— Mesures d'urgence en cas de contact avec l'acide.
Les principes importants sont:
- enlever immédiatement les vêtements contaminés,
- arroser abondamment et le plus rapidement possible avec de l'eau, pendant une période prolongée,
- ne pas utiliser d'agents alcalins,
- demander rapidement de l'aide médicale.

— Surveillance médicale:
- surveillance des symptômes d'irritation aiguë et chronique, des signes d'érosion, dermatite et autres signes et symptômes cliniques,
- tests de fonction respiratoire.

Bibliographie

1. A.I.H.A. (American Industrial Hygiene Association): Hygienic Guide Series: Sulfuric Acid., Am. Ind. Hyg. Assoc. Journal, June 1978.
2. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health): Criteria for a Recommended Standard... Occupational Exposure to Sulfuric Acid, U.S. Department of Health, Education and Welfare. Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH, p. 90, U.S.A., 1974.
3. PROCTOR, H.N. et HUGHES, J.P.: Chemical Hazards of the Workplace, J.B. Lippincott Company, U.S.A., pp. 452-453, 1978.
4. A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): Sulfuric Acid, Documentation of the TLV's for Substances in Workroom Air, 3rd Edition, pp. 239-240, Cincinnati, 1976.
5. NIOSH/OSHA (National Institute for Occupational Safety and Health/Occupational Safety and Health Administration): Occupational Health Guideline for Sulfuric Acid. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH; U.S. Department of Labor, OSHA, pp. 1-5, Sept. 1978.
6. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health): Review and Evaluation of Recent Litterature. Occupational Exposure to Sulfuric Acid. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH, p. 39, U.S.A., 1981.

7. Règlement sur la qualité du milieu du travail (L.R.Q., c. S-2.1, r.15).
8. NIOSH/OSHA (National Institute for Occupational Safety and Health/Occupational Safety and Health Administration): Pocket Guide to Chemical Hazards. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH; U.S. Department of Labor, OSHA, p. 170, U.S.A., August 1980.
9. A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): TLV's Threshold Limit Values for Chemical Substances in Work Air adopted by A.C.G.I.H. for 1982, p. 30.
10. DREISBACH, R.H.: Handbook of Poisoning: Prevention, Diagnosis and Treatment. Lange Medical Publication, 11th Edition, p. 220, 1983.
11. ARENA, J.M.: Poisoning, Toxicology, Symptoms, Treatments. Charles C. Thomas Publisher, 4th Edition, p. 227.

3. Acide acétique

a) Synonymes

Acide éthanoïque, acide éthylique, méthane acide carbonylique, vinaigre, acide acétique glacial, acide acétique A.C.S.[1,2]

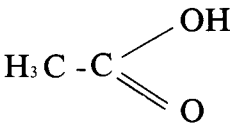
b) Propriétés physico-chimiques

1) Description:

liquide incolore à l'odeur piquante rappelant le vinaigre.[2]

Acide acétique glacial: concentration égale à 100%.
Acide acétique concentré: concentration supérieure à 50%.
Acide acétique dilué: concentration inférieure à 50%.
Vinaigre: 5%.

2) Formule chimique:[1,2] CH_3COOH



c) Toxicocinétique

1) Voies d'exposition et d'absorption

Les principales voies d'exposition à l'acide acétique en milieu de travail sont l'exposition à la vapeur par inhalation et le contact direct de la peau ou des yeux avec le liquide.[2,3]

L'acide acétique est absorbé par le tractus gastro-intestinal et par les poumons.[4]

2) Distribution

L'acétate de sodium radioactif [1-^{14}C] administré par voie parentérale est incorporé dans le cholestérol du foie et du cerveau de rats et de cobayes immatures, mais ceci n'est pas observé chez les animaux matures. L'administration intraveineuse de ce composé résulte en la distribution de la radioactivité dans toutes les fractions lipidiques majeures du cerveau des rats. Des études in vitro ont démontré que l'acétate est incorporé dans les phospholipides, les lipides neutres, les stéroïdes, les stérols et les acides gras saturés et insaturés, dans une variété de préparations tissulaires animales et humaines.[4]

3) Métabolisme

L'acide acétique est rapidement métabolisé par la majorité des tissus et peut engendrer la production de corps cétoniques comme intermédiaires.[4] Les acétates servent de précurseur pour une grande variété de composés intermédiaires. Quand des chiens recevaient de grandes doses (1 à 2 g/kg par voie intrapéritoneale ou sous-cutanée) d'acétate de sodium, seulement de petites quantités apparaissaient dans l'urine, ce qui constitue une évidence de l'utilisation rapide de l'acide acétique.[4] Henesy a indiqué que

le métabolisme de l'acétate [^{14}C] chez les souris a entraîné une détection de la radioactivité associée avec les fractions protéiniques du plasma et de la majorité des tissus.[4]

d) Toxicité chez l'humain

L'acide acétique est classé parmi les substances irritantes et corrosives. Son effet est toutefois moins marqué que celui de l'acide sulfurique, ou de l'acide nitrique.

1) Toxicité aiguë

— Vapeurs d'acide acétique

L'acide acétique en vapeur est un irritant sévère des yeux, des membranes muqueuses et de la peau.[1, 3] L'exposition à 50 ppm ou plus est intolérable pour la majorité des individus et résulte en un larmoiement intense et une irritation des yeux, du nez et de la gorge. Des individus non habitués souffrent d'une irritation extrême des yeux et du nez, à des concentrations excédant 25 ppm; l'irritation des yeux et du nez est clairement apparente à 10-15 ppm.[1, 2] Des concentrations inférieures à 10 ppm ont causé une conjonctivite.[1, 2] Toutefois, des travailleurs habitués peuvent tolérer des concentrations allant jusqu'à 30 ppm.[2]

— Acide acétique liquide

L'acide acétique glacial (100%) produit, en son contact avec la peau, des brûlures profondes.[2] *À une concentration de 80%*, l'acide acétique (liquide) produit des brûlures au niveau de la peau semblables à celles des acides inorganiques tel que l'acide chlorhydrique.[2] *Des concentrations inférieures à environ 50%* sont modérément irritantes pour la peau et causent habituellement des lésions mineures si l'acide est rapidement enlevé de la peau.

L'acide acétique glacial (100%) a causé chez les humains une opacification permanente de la cornée.[1] Des solutions de *concentration supérieure à 50%* produisent des brûlures de la cornée pouvant résulter en une lésion oculaire permanente, voire de la cécité.[2] Des lésions oculaires sévères peuvent résulter d'un contact direct avec des solutions d'acide acétique à des concentrations de beaucoup supérieures à 10%. Une éclaboussure de vinaigre (solution d'acide acétique 4 à 10%) dans l'œil humain cause une douleur immédiate et une hyperémie de la conjonctive qui s'accompagne parfois d'une lésion de l'épithélium cornéen.[1, 3]

L'ingestion d'une solution concentrée d'acide acétique produit des douleurs sévères au niveau de la bouche, du pharynx, de l'oesophage et de l'estomac. Des vomissements immédiats avec de la diarrhée et du sang dans les selles peuvent se manifester. Ces symptômes peuvent être suivis d'un collapsus et de la mort. Des lésions rénales, de l'hémoglobinurie et de l'hématurie peuvent survenir. L'ingestion de *un ml d'acide acétique glacial* a provoqué une perforation de l'oesophage.[2] De l'irritation intestinale sévère avec d'importantes hémorragies et un collapsus ont été rapportés.[2]

2) Toxicité chronique

Des expositions répétées à de fortes concentrations d'acide acétique en vapeur peuvent produire un oedème du pharynx et une bronchite chronique, une érosion et un noircissement des dents exposées, un noircissement et une hyperkératose de la peau des régions exposées.[1, 2, 3] Dans une étude effectuée chez cinq travailleurs exposés pendant sept à douze ans, à des concentrations d'acide acétique variant de 80 à 200 ppm à leur maximum, on a rapporté principalement (dans un nombre non spécifié de cas) l'apparition de noircissement et d'hyperkératose de la peau des mains, de conjonctivite (sans dommage cornéen), bronchite, pharyngite et d'érosion des dents exposées (incisives et canines).[1, 3] Des expositions répétées à des concentrations *supérieures à 50 ppm* d'acide acétique produisent un oedème du pharynx et une bronchite chronique, en plus d'une irritation du tractus respiratoire.[1]

Une sensibilisation de la peau, quoique rare, a également été rapportée.[1, 2]

Des travailleurs ont supporté des expositions répétitives à des concentrations de vapeur allant jusqu'à *200 ppm*. Des études de laboratoire suggèrent que l'exposition à de telles concentrations ne produit pas de lésions systémiques sévères car l'acide acétique est immédiatement métabolisé dans l'organisme.[2]

3) Mutagénicité
L'acide acétique sous forme de sel sodique n'a pas été trouvé mutagène, chez deux espèces bactériennes testées.[4]

4) Cancérigénicité
L'acétate de sodium donné oralement à des rats mâles (350 mg/kg, trois fois par semaine pour soixante-trois jours, puis 140 mg/kg, trois fois par semaine pour soixante-douze jours) n'a causé aucune évidence histologique de tumeurs.[4]

5) Tératogénicité
Deux études effectuées ne démontrent *aucune évidence de tératogénicité.*[4]

e) Normes ambiantes

	Québec[5] 1981	U.S.A. (OSHA)[6] 1980	NIOSH	A.C.G.I.H.[7] 1982
C. moy. (ppm) (mg/m³)	10 25	10 25		10 25
C. max. (ppm) (mg/m³)	15 37			15 37
P.				
HDVS (ppm)		1 000		

Note: La norme fut proposée dans le but de prévenir les effets irritants.

f) Premiers secours

1) Contact avec les yeux
Lorsque l'acide acétique liquide ou en solution vient en contact avec les yeux, lavez les yeux immédiatement avec beaucoup d'eau tout en soulevant les paupières inférieures et supérieures occasionnellement, et ce pendant une période minimale de quinze minutes. Référez au médecin immédiatement. On ne devrait pas porter de verres de contact en travaillant avec cette substance chimique.[3]

2) Contact avec la peau
Lorsque l'acide acétique liquide ou en solution vient en contact avec la peau, rincez immédiatement et abondamment la peau contaminée avec de l'eau pour une période minimale de quinze minutes. Si l'acide pénètre à travers les vêtements, les enlever immédiatement et laver la peau avec de l'eau. Référez au médecin rapidement. Lors de dermatite, traitez comme une dermatite de contact.[3]

3) Inhalation
Si un individu respire de fortes concentrations d'acide acétique, l'emmener à l'air frais. Si l'individu ne respire plus, lui donner la respiration artificielle. Gardez la personne au chaud et au repos. Référez au médecin aussitôt que possible.[3]

4) Ingestion orale
Lorsque l'acide acétique liquide ou en solution est avalé et que la personne est consciente, lui faire immédiatement boire de grandes quantités d'eau pour diluer l'acide. Ne pas faire vomir. Référez au médecin immédiatement.[3]

g) Surveillance médicale
Aucune mesure spécifique n'a été proposée à ce sujet. Il est simplement recommandé d'effectuer un examen physique annuel en portant une attention particulière au système respiratoire (incluant un questionnaire standardisé), les yeux, les dents et la peau.[1,3]

Points importants

— L'acide acétique glacial est concentré à 100%.
L'acide acétique concentré: > 50%.
L'acide acétique dilué: < 50%.
Vinaigre: 5%.

— Voies d'exposition.
En vapeur: – contact avec la peau, les yeux et inhalation.
En liquide: – contact avec la peau et les yeux;
– ingestion.

— L'acide acétique se comporte comme un irritant marqué pour la peau, les yeux et les muqueuses.

— L'acide acétique a une faible toxicité systémique:
il est rapidement métabolisé par la majorité des tissus de l'organisme.

— Toxicité aiguë.

• Vapeurs d'acide acétique: symptômes d'irritation des yeux, peau et muqueuses. Ces symptômes apparaissent nettement vers 10 ppm chez des sujets non-habitués, alors que des travailleurs exposés depuis une certaine période peuvent tolérer des concentrations allant à 30 ppm.

• Liquide:

peau;		100%	→ brûlures profondes,
		80%	→ brûlures,
	<	50%	→ irritant,
yeux;		100%	→ opacification de la cornée,
	>	50%	→ brûlures pouvant causer la cécité,
ingestion;	>	50%	→ dommages sévères.

— Toxicité chronique.
- Érosion et noircissement des dents.
- Bronchite chronique.
- Noircissement de la peau et hyperkératose (épaissement et durcissement de la peau) aux régions exposées.
- Sensibilisation de la peau: rare.

— Norme ambiante: C. moyenne = 10 ppm.

— Mesures d'urgence: identique aux autres acides; i.e. l'usage abondant d'eau, le plus rapidement possible.

— Surveillance médicale: aucune mesure spécifique n'a été proposée.

Bibliographie

1. PROCTOR H.N. et HUGHES, J.P.: Chemical Hazards of the Workplace, J.B. Lippincott Company, U.S.A., p. 80, 1978.
2. A.I.H.A. (American Industrial Hygiene Association): Hygienic Guide Series: Acetic Acid, Am. Ind. Hyg. Assoc. Journal, 1978.
3. NIOSH/OSHA (National Institute for Occupational Safety and Health/Occupational Safety and Health Administration): Occupational Health Guideline for Acetic Acid. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH; U.S. Department of Labor, OSHA, p. 1-5, U.S.A., Sept. 1978.

4. CLAYTON, G.D., CLAYTON, F.E.: Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 3rd Revised Edition, Vol. 2c: Toxicology. A Wiley Interscience Publication, pp. 4909-4911, New York, U.S.A., 1982.

5. Règlement sur la qualité du milieu du travail (L.R.Q., c. S-2.1, r.15).

6. NIOSH/OSHA (National Institute for Occupational Safety and Health/Occupational Safety and Health Administration): Pocket Guide to Chemical Hazards, U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH; U.S. Department of Labor, OSHA, p. 40, U.S.A., August 1980.

7. A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): TLV's Threshold Limit Values for Chemical Substances in Work Air adopted by A.C.G.I.H. for 1982, p. 9.

E. Autres composés

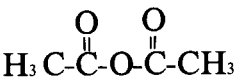
1. Anhydride acétique

a) Synonymes[1, 2]
Anhydride éthanoïque, oxyde acétique, oxyde acétyle

b) Propriétés physico-chimiques

1) Description: liquide incolore à l'odeur irritante.

2) Formule chimique:[1, 2] $CH_3C(O)OC(O)CH_3$



c) Toxicocinétique

1) Voies d'exposition et d'absorption
Les principales voies d'exposition à l'anhydride acétique en milieu du travail sont les voies d'inhalation, cutanée et oculaire. Les formes en vapeur et liquide peuvent toutes deux entrer en contact avec la peau et les yeux.[2]

Accidentellement, le liquide peut être avalé.

d) Toxicité: généralités
L'anhydride acétique est classé parmi les substances irritantes et corrosives. Son degré d'action est en gros comparable à celui de l'acide acétique.

e) Toxicité chez l'humain

1) Toxicité aiguë

— *L'anhydride acétique en vapeur* est un irritant sévère des yeux, des membranes muqueuses et de la peau.[1]

Des humains exposés à des concentrations élevées de vapeur d'anhydride acétique ont immédiatement souffert d'irritation sévère nasopharyngée et conjonctivale, d'une toux rauque et de dyspnée. Des travailleurs exposés à des vapeurs émanant d'un mélange en ébullition ont rapporté une irritation sévère des yeux et un larmoiement au moment de l'exposition. L'effet immédiat d'une exposition à des concentrations de vapeur *excédant 5 ppm* consiste en une irritation aiguë des yeux et des membranes muqueuses du tractus respiratoire.

Une conjonctivite, une photophobie, un larmoiement et une irritation du nez et de la gorge peuvent survenir. L'inhalation de fortes concentrations de vapeur peut engendrer des régions nécrotiques au niveau de la muqueuse nasale et parfois, un bronchospasme.[2]

De fortes concentrations de vapeur peuvent produire (de façon aiguë à subaiguë) une dermatite, par irritation (dermatite de contact ou primaire).

— *L'anhydride acétique liquide* cause une nécrose blanche des tissus.

Des brûlures sévères et une vésiculation de la peau ont été rapportées chez les humains suite à des éclaboussures atteignant la peau.[1, 2]

— *Les formes liquides et vapeur* peuvent toutes deux causer un dommage sévère au niveau des yeux. Ceci se caractérise par un brûlement immédiat suivi par une augmentation de la sévérité de la réaction quelques heures plus tard, avec un oedème de la conjonctive et de la cornée. Une opacité interstitielle de la cornée peut se développer en quelques jours suite à une progression de l'infiltration tissulaire. Dans les cas mineurs, ceci peut être réversible, mais une opacification permanente avec perte de la vue peut survenir.[2]

— L'ingestion accidentelle *par voie orale* produirait des brûlures sérieuses au niveau des membranes muqueuses de la bouche et de l'oesophage.[1, 2]

2) Toxicité chronique
Aucun effet systémique chronique n'a été rapporté chez les humains suite à l'inhalation d'anhydride acétique.[2] Une dermatite de sensibilisation survient occasionnellement chez les humains.

f) Toxicité chez l'animal

1) Toxicité chronique
Des réactions cutanées généralisées sont survenues chez des cobayes sensibilisés à l'anhydride acétique.[1, 2]

g) Mutagénicité
Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

h) Cancérigénicité
Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

i) Tératogénicité
Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

j) Normes ambiantes

	Québec[3] 1981	U.S.A. (OSHA)[4] 1980	NIOSH	A.C.G.I.H.[5] 1982
C. moy. (ppm) (mg/m³)	5 20	5 20		5 20
C. max.				
P (ppm) (mg/m³)	5 20			5 20
HDVS (ppm)		1 000		

Note: La norme constitue une valeur plafond. Elle fut recommandée en vue de prévenir les effets irritants.

k) Premiers secours
1) Contact avec la peau.
Si le *liquide* entre en contact avec la peau, rincez immédiatement avec beaucoup d'eau et obtenez rapidement l'attention médicale. Lors d'exposition à de fortes concentrations de vapeur, obtenez également l'attention médicale puisque des brûlures de second degré peuvent survenir.[2]

2) Contact avec les yeux.
Si le *liquide* ou de fortes concentrations de *vapeur* entrent en contact avec les yeux, rincez les yeux immédiatement avec beaucoup d'eau pendant une période minimale de quinze minutes, en gardant les paupières ouvertes. Une irrigation rapide amène généralement une guérison complète en dedans de quelques jours. Obtenez l'attention médicale pour toutes lésions oculaires causées par ce produit.[2]

1) Surveillance médicale
Aucune mesure spécifique n'a été proposée. Il est recommandé, lors de l'examen physique annuel, de porter une attention particulière au système respiratoire (incluant un questionnaire standardisé), les yeux et la peau.[1, 2, 4]

Points importants

— ***Voies d'exposition***
- Inhalation des vapeurs.
- Contact de la peau et des yeux avec le liquide ou les vapeurs.
- Rare: ingestion.

— ***L'anhydride acétique*** se comporte comme un irritant majeur pour la peau, les yeux, les muqueuses oro-pharyngées et les voies respiratoires supérieures.

— ***Toxicité aiguë***
1. Exposition aux vapeurs.
   - À une concentration supérieure à 5 ppm:
     irritation immédiate des yeux et des muqueuses du tractus respiratoire.
   - À une concentration élevée:
     irritation immédiate sévère des yeux et du nasopharynx, toux rauque et dyspnée.
   - Peuvent aussi survenir:
     bronchospasme, dermatite, conjonctivite et photophobie.

2. Contact avec le liquide.
   - Brûlures cutanées plus ou moins sévères.
   - Dommages au niveau de la cornée qui peuvent être permanents et dans ce cas entraîner la cécité.

— ***Toxicité chronique.***
   - Une dermatite de sensibilisation peut survenir.
   - On ne connaît pas d'effets systémiques qui ont été observés.

— ***La norme ambiante*** de 5 ppm constitue un plafond.

— ***Premiers secours:*** identiques aux autres agents corrosifs.

— ***Surveillance médicale.***
   - Aucune mesure spécifique.
   - Surveillance clinique des symptômes et signes physiques.

Bibliographie

1. PROCTOR H.N. et HUGHES, J.P.: Chemical Hazards of the Workplace, J.B. Lippincott Company, U.S.A., p. 81, 1978.
2. A.I.H.A. (American Industrial Hygiene Association): Hygienic Guide Series: Acetic Anhydride, Am. Ind. Hyg. Assoc. Journal, revised June 1978.
3. Règlement sur la qualité du milieu du travail (L.R.Q. c. S-2.1, r.15).
4. NIOSH/OSHA (National Institute for Occupational Safety and Health/Occupational Safety and Health Administration): Pocket Guide of Chemical Hazards. U.S.

Department of Health, Education and Welfare, Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH; U.S. Department of Labor, OSHA, p. 40, U.S.A., August 1980.

5. A.C.G.I.H. (American Conference of Governmental Industrial Hygienists): TLV's Threshold Limit Values for Chemical Substances in Work Air adopted by A.C.G.I.H. for 1982, p. 9.

2. Graphite naturel

a) Synonymes

Plombagine, mine de crayon.

b) Propriétés physico-chimiques

1) Description:

Solide de couleur noire ou grise à l'état métallique.

2) Formule chimique: C

c) Toxicocinétique

1) Absorption

Le graphite est absorbé par inhalation et exerce une action locale sur le tissu pulmonaire.

d) Toxicité chronique chez l'humain

Avant 1940, on considérait la graphitose comme une pneumoconiose bénigne. Depuis lors, plusieurs études ont démontré qu'il s'agit d'une maladie évolutive et invalidante et que la silice crystalline et certains silicates présents dans le graphite naturel ont un effet synergique.

Les premiers symptômes et signes radiologiques apparaissent après au moins dix ans d'exposition. Les principaux symptômes observés chez les travailleurs sont la toux, la difficulté respiratoire et les expectorations noirâtres. La maladie peut continuer de progresser après le retrait de l'exposition et la mort résulte d'une insuffisance cardiaque droite (cœur pulmonaire). Les fonctions pulmonaires sont souvent atteintes.

L'examen radiologique met en évidence divers stades de pneumoconiose. Les premières manifestations radiologiques sont caractérisées par la disparition de la trame vasculaire normale. Par la suite, apparaissent de petites opacités bilatérales, comparables à la pneumoconiose simple causée par le charbon (anthracose). Des lésions pulmonaires massives, dues à de larges kystes renfermant un liquide à l'aspect d'encre et dans lequel on a identifié des cristaux de graphite, sont décrites dans les formes sévères de la maladie. La plèvre pulmonaire peut aussi être atteinte et conduire à un hydrothorax et pneumothorax.

À l'examen histologique du tissu pulmonaire, nous pouvons observer des agrégats pigmentés, des foyers d'emphysème, de la fibrose (collagène), sous forme de petits nodules fibreux et des accumulations de cristaux de graphite.

Plusieurs auteurs ont cru que ce tableau clinique était causé par la silice crystalline contenant le graphite naturel. Cependant, le cas rapporté d'un travailleur décédé d'une pneumoconiose suite à une exposition de dix-sept ans à de la graphite artificielle (pure), milite plutôt en faveur de l'hypothèse contraire. En effet, l'autopsie a révélé des signes histologiques typiques d'une graphitose avec l'absence de particules de silice crystalline (Lister, 1972).

Les analyses d'empoussièrage ne figurent pas dans la plupart des rapports médicaux des cas de pneumoconiose.

e) Normes ambiantes

	Québec	U.S.A.
C. moy. (mppc)[1]	15	15
C. max. (mppc)		

(1) mppc: millions de particules par pied cube d'air.

f) Surveillance médicale

Exercer une surveillance des symptômes respiratoires et une surveillance radiologique.

Bibliographie

1. HARDLING, H.E. et OLIVER, G.B.: Changes in the Lungs Produced by Natural Graphite, Br. Journal Ind. Med., nº 6, p. 91, 1949.
2. PARMEGGIANI, L.: Graphite Pneumoconiosis, Br. Journal Ind. Med., nº 7, p. 42, 1950.
3. JAFFEE, F.A.: Graphite Pneumoconiosis, Journal Pathol., nº 27, p. 909, 1951.
4. PENDERGRASS, E.P. et VORWALD, A.S.: Observations on Workers in the Graphite Industry, Med. Radio. Photo. Vol. 43, nº 3, p. 71, 1967.
5. VRAGODA, C.G. et RAJENDRA, M.: Pneumoconiosis in Graphite Curers, Journal Ind. Med., pp. 105-113, July 1975.
6. PARKES, R.: Occupational Lung Disorders, Second Edition, pp. 176-177, 1983.
7. LISTER, W.B. et WIMBORNE, D.: Carbon Pneumoconiosis in a Synthetic Graphite Worker. Journal Ind. Med. nº 29, pp. 108-110, 1972.
8. Encyclopedia of Occupational Health and Safety, 3e édition, pp. 978-979, 1983.

3. Phtalate de dibutyle

a) Synonymes

Phtalate de butyle.
Anglais: dibutyl phtalate (DBP),
dibutyl 1,2-benzene carboxylate.

b) Propriétés physico-chimiques

1) Formule: $C_6 H_4 (CO_2 - C_4 H_9)_2$

2) Description:
liquide huileux, incolore, pratiquement inodore, soluble dans de nombreux solvants organiques.

c) Toxicocinétique

Voies d'absorption
La phtalate de dibutyle exerce son action toxique par contact cutané ou oculaire et par inhalation.

d) Toxicité aiguë

1) Humains
Le phtalate de dibutyle sous forme de vapeurs exerce une action irritante sur les muqueuses oculaires et les voies respiratoires supérieures (nez, gorge). L'ingestion

accidentelle de dix grammes de ce produit chez un opérateur a causé des symptômes de nausée, étourdissement, larmoiement, photophobie et conjonctivite. Il s'est rétabli rapidement, sans séquelle.

2) Animaux
Les expériences animales ont démontré que des doses importantes de ce produit sont nécessaires pour produire une toxicité orale et dermique. La dose orale 50 (Ld50) chez le rat est de 8 mg/kg.

e) Toxicité chronique
Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

f) Mutagénicité
Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

g) Cancérigénicité
Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

h) Tératogénicité
Aucune étude n'existe concernant cet aspect.

i) Normes ambiantes

	Québec	U.S.A.	NIOSH - A.C.G.I.H.
C. moy. (mg/m^3)	5	5	5
C. max. (mg/m^3)	10		10
P.			
HDVS			

j) Premiers secours
En cas de contact cutané ou oculaire, il est recommandé de laver immédiatement à l'eau. S'il y a inhalation importante de vapeur, il faut retirer le travailleur et lui faire respirer de l'air frais.

k) Surveillance médicale
Aucune mesure spécifique n'a été proposée.

Bibliographie

1. NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health): Occupational Health Guideline for Dibutyl Phtalate, U.S. Department of Health and Human Services Public Health Service, Center for Disease Control, NIOSH; U.S. Department of Labor, OSHA, U.S.A., 1978.
2. I.N.R.S. (Institut national de recherche et de sécurité): Ortho-phtalate de dibutyle, fiche toxicologique nº 98, 1982.
3. PATTY'S: Industrial Hygiene and Toxicology, pp. 2345-2348, 3rd Edition, 1981.