

INTRODUCTION A L'HYGIENE INDUSTRIELLE

PAR

DANIEL GAGNE

NORMAND DUHAIME

1984

CSSS ABITIBI-TEMISCAMINGUE

WA
400
G346
1984

INSPQ - Montréal



3 5567 00006 0464

SANTÉCOM

INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC
CENTRE DE DOCUMENTATION
MONTREAL

TABLE DES MATIERES

I
STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

	<u>Page</u>
A- INTRODUCTION GENERALE	1
B- CLASSIFICATION DES CONTAMINANTS	5
C- LES NORMES	21
D- VISITE PRELIMINAIRE	42
E- STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE	45

II LE BRUIT

	<u>Page</u>
A- PRINCIPES GENERAUX	60
- le son	
- les décibels	
- la courbe A	
- les analyses spectrales	
- la classification des types de bruit	
- l'oreille et l'audition	
B- LA LOI	80
- la provenance des normes existantes	
- la dose quotidienne	
- les impacts et les bandes de fréquences prédominantes	
C- LA MESURE DU BRUIT	91
1- Le sonomètre	
- le micro	
- les fonctions (temps de réponse, r.m.s., intégration, etc...)	
- la gamme dynamique	
- les types I et II	
2- Le dosimètre	98
- les principes de fonctionnement	
- l'interprétation de la mesure	
D- CONSEILS PRATIQUES	
- Où, quand, comment prendre la mesure	
E- PROBLEMES (EXERCICES PRATIQUES EN CLASSE)	
F- CORRECTION DES PROBLEMES EN COMMUN	
G- MANIPULATION DES APPAREILS	

III

POUSSIÈRES

	<u>Page</u>
A- Théorie	
- Définition de poussière à des fins d'échantillonnage Inclut: fumée, brouillard, buée, boucane	138
- comportement aérodynamique des poussières en fonction de leurs caractéristiques	138
B- La loi	
- pneumoconiose: poussière totale vs respirable	141
- autres: poussière totale, fumée métallique	142
- concentration moyenne sur 8 h (min. 2 h d'échantillonnage)	142
C- La mesure	144
- instruments (pompes, cyclones, filtres, RDM, etc)	144
- calibration	
- l'analyse (interprétation des résultats)	149
D- Conseils pratiques	156
E- Textes en annexe (la silicose, la poussière de bois)	164

IV

GAZ ET VAPEURS

	n°
A- Généralités	182
- Définition générale	182
- Classification des produits organiques	182
- Description de la fabrication des plastiques	185
B- Comportement physique des gaz et vapeurs	188
- Tension de vapeur étude de cas	188
- Effet de température et pression étude de cas	193
- Densité de vapeur étude de cas	191
- Taux d'évaporation et dilution atmosphérique étude de cas	201
C- Préparation à l'échantillonnage étude de cas	204
D- La mesure	218
1. Principes généraux	219
2. Instruments de mesure	224
- tubes détecteurs	225
- ILDE	229
- échantillonnage intégré	230
E- Moyens de contrôle.	231
F- Seuil de détection olfactive	232

CONTRAINTES THERMIQUES

	n°
A) Modalités physiques des échanges thermiques entre le corps humain et le milieu ambiant	261
1. Modalités de transfert thermique	261
2. Le bilan thermique	262
B) Les processus physiologiques de régulation thermique du corps humain	265
1. L'homme au repos	266
2. L'homme au travail - à la chaleur	267
- au froid	267
C) L'acclimatation	271
- à la chaleur	271
- au froid	273
D) Les effets pathologiques	277
- exposition au froid	277
- exposition à la chaleur	285
E) La législation	285
F) La mesure de la contrainte thermique	289
- les instruments de mesures	289
- les indices de contrainte thermique	291
- l'évaluation de la charge de travail	296
G) La surveillance biologique, complément aux mesures environnementales.	297

	n°
H) Les moyens de protection et de contrôle	300
- la protection contre la chaleur	300
- la protection contre le froid	302
I) Feuille de mesures et aide mémoire	303
Bibliographie	305

LISTE DES TEXTES REPRODUITS EN ANNEXE

PAGE

- Texte de A. Laville, <u>Etude Ergonomique du Travail</u> , ...	308
• température corporelle	
• échange thermique par radiations	309
• répartition du sang	312
- Texte de G. Aubertin, <u>La contrainte thermique</u> , ...	313
Les risques et les méthodes d'évaluation	
• effets pathologiques des ambiances thermiques et accidents de travail	
- Texte du PIT, Bell, C.R. <u>Heat and Hot Work</u>	316
• classification des effets de la chaleur	
- <u>Texte Université de Sherbrooke</u>	
• autres effets de la chaleur	319
- <u>Human Factors Design Handbook</u>	320
• effets du froid sur la performance	
- Texte de Guy Roy, Les effets biologiques du travail	321
à la chaleur, mesures préventives et de surveillance médicale	
- Texte de A. Laville, <u>Etude Ergonomique du travail</u> , ...	325
• effets physiologiques du maintien de diverses postures	
- <u>Comment revêtir la sécurité en hiver</u>	328

RADIATIONS

N°

I- Radiations électromagnétiques: concepts généraux

a) Définition	335
b) Nature	336
c) Énergie	336
d) Classification	336
e) Spectre électromagnétique	337

II- Radiations inonisantes

a) Sources	338
1. non corpusculaires	338
2. corpusculaires	338
b) Radioprotection	340
1. unités de mesure	340
2. principes	343
c) Mesure	345
d) Les normes	347

III- Radiations non ionisantes

a) Ultraviolets	351
1. spectre	351
2. sources	351
3. normes	352
b) Fréquences radio et micro-ondes	354
1. définition	354
2. sources	354
3. interaction avec les tissus biologiques	355
4. mesure	356
c) La lumière	377
(texte de l'IRAT)	

VII
LA VENTILATION

	<u>Page</u>
1- PRINCIPES PHYSIQUES DE VENTILATION	360
2- UTILISATION DES SYSTEMES DE VENTILATION	362
3- LA DILUTION GENERALE	362
4- LA VENTILATION LOCALISEE OU A LA SOURCE	366
5- LES COMPOSANTES DU SYSTEME DE VENTILATION	369
6- VERIFICATION DES SYSTEMES DE VENTILATION	374
- Tubes Fumigènes	374
- Mesures quantitatives	375

VIII

PROTECTION PERSONNELLE

	<u>Page</u>
INTRODUCTION	410
I. HISTORIQUE	417
II. LES RISQUES DU MILIEU DE TRAVAIL ET LES CONTAMINANTS ...	421
A. Manque d'oxygène	422
B. Contaminants	423
III. TYPES DE RESPIRATEURS	432
A. Classification des respirateurs	432
B. Enceinte respiratoire	432
C. Respirateurs à purification d'air	434
D. Respirateurs à approvisionnement d'air	439
IV. PRINCIPE DE SELECTION	445
V. LE PROGRAMME DE PROTECTION RESPIRATOIRE	
A. L'administration du programme	
B. Connaissance des risques du milieu	
C. Sélection des respirateurs	
D. La formation et l'information	
E. Entretien, entreposage et distribution	
F. Surveillance médicale	
G. Evaluation	
CONCLUSION	

TABLE DES MATIERES

N°

a) Introduction	
b) Les respirateurs	
Choix, utilisation et évaluation des respirateurs.	
Précision au sujet de l'approbation NIOSH/MSHA pour les respirateurs à air filtré	448
Évaluation sur le terrain des facteurs de protection offerts par les respirateurs	456
Trois cas.	463
c) La protection de l'ouïe	
La diminution de la surdité professionnelle par l'utilisation de protecteurs d'oreilles, critique de la situation.	468
Test de fatigabilité auditive pratiqué par l'A.M.M.Q.	482
d) La protection cutanée.	484
e) La protection oculaire	491
f) Les contraintes thermiques	492
g) Le programme de protection individuelle	493
h) La protection personnelle et les facteurs individuels.	498
i) Sujets de discussion	510
Le transfert de responsabilité	
Le retrait préventif ou le refus de travail - cas arrivé en région	

CHAPITRE I

STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

I- INTRODUCTION

1. Définition..... 2
2. Disciplines étudiées en hygiène industrielle..... 2

INTRODUCTION

1. Définition de l'hygiène industrielle

Une des bonnes définitions que nous puissions donner de l'hygiène industrielle provient de la constitution de l'Association américaine d'hygiène industrielle*:

C'est une science et un art dévoués à la reconnaissance, à l'évaluation et au contrôle des facteurs ou contraintes provenant du milieu de travail et pouvant être causes de maladie, de déficience de santé ou d'inconfort significatif chez le travailleur.

2. Disciplines étudiées en hygiène industrielle

Historiquement, il y a longtemps que l'on se préoccupe d'hygiène industrielle (l'on peut remonter jusqu'à Hippocrate au 4^{ème} siècle avant J.C.) mais il s'agissait d'efforts isolés portant sur l'amélioration des conditions de travail de quelques corps de métiers reconnus pour leurs risques.

Ce n'est que depuis 60 ans environ que des efforts d'envergure et des techniques systématiques ont été déployés par les législateurs et les hommes de science pour évaluer et contrôler les risques présents dans le milieu de travail.

Bien que jeune, l'hygiène industrielle est aujourd'hui une discipline bien établie et qui a connu un essor considérable depuis les débuts du siècle. Cela est dû au fait que l'hygiène industrielle s'appuie sur un ensemble de disciplines scientifiques qui sont en constant progrès.

Les principales disciplines sur lesquelles repose l'hygiène industrielle sont les suivantes:

* Cette association mieux connue sous le signe anglais de AIHA (American Industrial Hygiene Association) regroupe la majorité des hygiénistes du continent américain et publie une revue très populaire dans ce milieu: "L'AIHA Journal".

- Médecine du travail	- Acoustique	- Statistique
- Toxicologie	- Physique	- Echantillonnage
- Biologie et physiologie	- Chimie analytique	et métrologie
	- Chimie organique	
	- Ventilation	
	- Ergonomie	

Nous avons essayé de départager les principales disciplines en blocs distincts couvrant en fait 3 domaines: les sciences biologiques, les sciences appliquées et les sciences pures. Grosso modo, l'objet de ce cours sera d'étudier comment chacune de ses disciplines peut s'appliquer à l'hygiène industrielle.

Dans la vie de tous les jours l'intervention de l'hygiéniste fait appel simultanément à l'ensemble de ces trois domaines de sorte qu'ils forment un tout intégré. Toutefois lorsqu'on tente d'étudier ou de décrire les principes de base de l'hygiène industrielle, on ne peut faire autrement que de séparer ces trois domaines de façon plus ou moins rigide. L'hygiène industrielle apparaît alors à première vue comme un ensemble de connaissances disparates dans une foule de disciplines différentes sans lien concret les unes avec les autres.

Ce n'est que lors d'une intervention sur le terrain, en usine, que l'unité se fait. Elle se fait autour du travailleur et de son milieu de travail. C'est pourquoi il est fondamental pour l'hygiéniste de bien connaître non seulement les différents procédés industriels et les risques qui y sont associés mais aussi les aspects psycho-sociaux du travail, la problématique des relations de travail et les exigences administratives de la production. Ces aspects ne seront pas touchés dans le présent cours, faute de temps et malheureusement on risquera de percevoir l'hygiène industrielle comme un squelette inanimé.

Lors du cours Hygiène Industrielle II, on mettra un peu de chair sur ce squelette en étudiant les milieux de travail eux-mêmes en fonction du rôle que l'hygiéniste peut y jouer face aux risques qui s'y retrouvent.

La véritable place de l'hygiéniste est donc dans une usine (ou un milieu de travail) essayant de trouver des solutions concrètes à des problèmes concrets. Le but ultime est de contrôler les risques afin que l'exposition soit réduite au minimum. Aussi les techniques reconnues de contrôle des risques font-elles partie intégrante de l'hygiène industrielle bien qu'elles ne seront pas convertes dans le présent cours (elles seront plutôt incluses dans hygiène industrielle II). Il faudrait donc se garder d'identifier l'hygiène industrielle à la simple mesure des risques bien que nous insisterons surtout sur cet aspect pendant le présent cours.

En fait, l'image véritable de l'hygiène industrielle ne commencera à apparaître qu'à la fin du deuxième cours. Cependant, nous espérons qu'à la fin de ce cours vous puissiez mieux évaluer la contribution que peut apporter l'hygiéniste industriel à une équipe multidisciplinaire en santé au travail.

CLASSIFICATION DES CONTAMINANTS

CLASSIFICATION DES CONTAMINANTS

1. Risques chimiques

- 1.1 En fonction des propriétés physiques (poussière, bruine, vapeurs, etc.) 7
- 1.2 En fonction des propriétés toxicologiques (asphyxiants, irritants, etc.) 10

2. Risques physiques

- 2.1 Bruit..... 14
- 2.2 Vibrations..... 14
- 2.3 Stress thermique..... 15
- 2.4 Radiations..... 15

3. Risques biologiques

- 3.1 Champignons
- 3.2 Bactérie, virus, microbes, etc.

4. Ergonomie

I CLASSIFICATION DES CONTAMINANTS.

En hygiène industrielle, on distingue 4 grandes catégories de contaminants:

- chimiques
- physiques
- biologiques
- ergonomiques.

Cette classification est basée vraisemblablement sur le fait que certains contaminants, de par leur nature même, ont été davantage étudiés dans le domaine soit de chimie, de la physique, de la biologie ou de la bio-mécanique. Les plus connus sont les risques dits chimiques et biologiques. On trouvera ci-après une brève description des principaux risques associés à chacun de ces grands domaines de la science.

1.1 Risques chimiques.

1.1.1 Classification en fonction des propriétés physiques.

C'est la catégorie où le nombre de contaminants est le plus important. En effet, il y a sûrement plus de 1 million de produits chimiques divers sur le marché, lesquels se divisent en 2 grandes sous-catégories: les organiques (HC et dérivés) les plus nombreux, et les inorganiques. Toutefois, en hygiène industrielle, la classification fondamentale des risques chimiques repose non sur les propriétés chimiques mais sur les propriétés physiques. (En toxicologie, la classification repose davantage sur les familles chimiques).

En effet, si pour le commun des mortels, de la fumée, de la poussière, des gaz, des «fumes», de la boucane, etc... ça veut dire à peu près la même chose et sont des termes utilisés de façon interchangeable ou à peu près, pour l'hygiéniste industriel chacun de ces termes a une signification précise et sert à décrire l'état physique sous lequel se retrouvent la plupart des contaminants chimiques. Ceci a un impact sur les méthodes d'identification, d'échantillonnage, de protection et de contrôle. Revoyons-les un par un.

1.1.1.1 Poussière.

Ce sont des particules solides qui proviennent de diverses opérations de travail sur la matière brute par exemple: le forage, le concassage, le sablage, le meulage, le martelage, le sciage, le mélangeage de produits comme le minerai, la pierre, le métal, le bois, la farine, etc. La poussière n'a pas tendance à se condenser en «bloc » plus important, elle n'a pas tendance non plus à diffuser dans un volume donné. Elle a tendance à se déposer par terre et cette tendance est reliée à son diamètre aérodynamique et à sa masse.

Fonctionnellement, on peut définir comme poussière les particules solides produites selon les méthodes décrites plus haut et qui ont un diamètre aérodynamique moyen (ou médian) de 0,1 à 50 micromètres (1/1000 de mm ou 1/25000" = 1 micromètre).

Les poussières qui ont un diamètre de 0,1 micromètre ont un comportement qui rappelle plus celui des molécules que des poussières tandis que celles qui ont plus de 50 micromètres ne demeurent pas aéroportées assez longtemps pour être inhalées.

1.1.1.2 Fumées.

Les fumées sont des particules solides provenant de la condensation de vapeurs de produits chauffés au delà de leur point de fusion (surtout des métaux). Elles diffèrent des poussières par leur provenance (métal en fusion) et par leur diamètre qui est souvent de 0,1 micromètre ou moins. La plupart du temps, les fumées se retrouvent sous forme d'oxydes (le métal en fusion s'oxyde au contact de l'air).

1.1.1.3 Boucane.

Je n'ai pas trouvé de mot plus adéquat que ce canadienisme pour décrire ce que les anglais appellent «smoke». Ce sont des particules de carbone ou de suie provenant de la combustion incomplète de produits organiques. Par exemple: feux de bois, de charbon, engins diésel, tabac, etc... Ils ont un diamètre aérodynamique moyen de 0,25 micromètre.

1.1.1.4 Aérosols.

Toutes particules solides ou liquides dispersées dans l'air dont les propriétés aérodynamiques lui permettent de rester en suspension dans l'air pendant au moins quelques minutes.

On trouvera ci-après un tableau illustrant la variation de diamètre de divers aérosols.

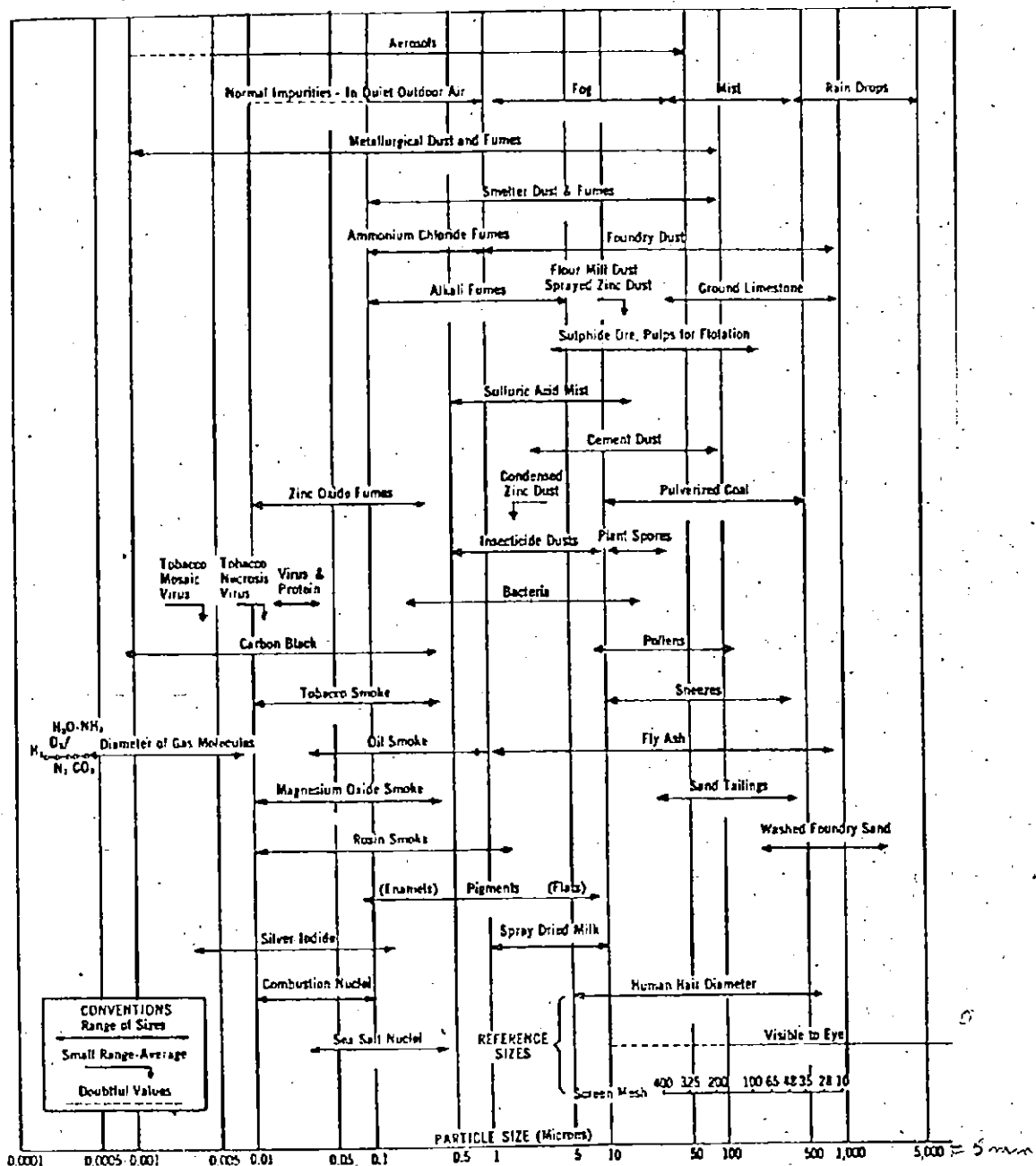


FIGURE 7-3.—The sizes of various airborne contaminants. (1 micron = 1 micrometer.)

Courtesy Mine Safety Appliances Co.

1.1.1.5 Brouillard ou bruine.

Gouttelettes de liquide en aérosol produites soit par condensation de vapeurs, soit par fractionnement du liquide (par des procédés comme l'atomisation, l'éclaboussage, etc...) Exemple: brouillards d'acides ou de bases (condensation), brouillards de peinture au pistolet (atomisation).

1.1.1.6 Gaz

Décrit l'état physique de composés qui à TPN sont à l'état gazeux. Le propre d'un gaz est de pouvoir occuper tout l'espace qui est mis à sa disposition. C'est pourquoi dans un mélange de gaz on aura diffusion des volumes de gaz l'un dans l'autre plutôt que séparation en fonction de leur densité (comme c'est le cas pour le liquide). Donc, contrairement à une opinion très répandue, les gaz lourds ne se tiennent pas au ras du sol, pas plus que les légers se tiennent en l'air. (c'est la densité du mélange des gaz plutôt que la densité respective de chaque gaz qui détermine à quelle hauteur la concentration sera maximale).

Exemple de gaz: l'oxygène, l'air, le CO, le chlore, le méthane, etc.

1.1.1.7 Vapeurs.

Ce sont des émanations gazeuses de liquides qui à TPN sont à l'état liquide ou solide. L'évaporation peut se produire soit spontanément (phénomène de la tension de vapeur) soit artificiellement (par chauffage). La plupart des solvants à bas point d'ébullition sont volatils et dégagent des vapeurs à TPN.

1.1.2 Classification en fonction des propriétés toxicologiques.

1.1.2.1 Atmosphère déficiente en oxygène.

C'est une situation simple, mais qui peut être tragique où la quantité d'oxygène dans l'air baisse autour de 16% (121 mm de Hg), (augmentation du débit cardiaque, étourdissement, mal de tête). La composition normale de l'air à 760 mm Hg est la suivante:

- $\approx 21\%$ d' O_2 (159 mm Hg)
- $\approx 79\%$ de N_2
- $\approx 0,5\%$ de gaz rare.

Il faut se méfier des pourcentages. A 330 mm Hg de pression atmosphérique, il y a encore 21% d' O_2 , mais la pression partielle n'est que de 69 mm Hg et on ne pourrait pas survivre.

1.1.2.2 Gaz et vapeurs irritants.

Provoquent une inflammation des surfaces tissulaires (surtout VRS, peau et yeux) par contact. Au sens strict, les irritants n'ont pas d'autre effet systématique que cette irritation. Règle générale, le pouvoir irritant diminue plus ils sont solubles dans l'eau. Par exemple: le SO_2 , le NH_3 , le Cl_2 , le HCL, le NO_2 , etc... On trouvera une liste en annexe.

1.1.2.3 Asphyxiants.

Provoquent une diminution de l'oxygénation soit simplement en modifiant la composition de l'air pour réduire suffisamment la pression partielle de l'O₂ en deça de 120 mm Hg, soit chimiquement en entravant les échanges gazeux au niveau du sang (par ex: le CO et la carboxyhémoglobine) ou des tissus (par ex: le HCN et la cytochrome oxidase).

1.1.2.4 Anesthésiques et dépresseurs du CNS.

A forte concentration, beaucoup de gaz (par exemple: N₂O, halothane) et de vapeurs (exemple: solvants) peuvent affecter plus ou moins fortement le CNS. Cependant, à faibles concentrations chroniques, ils peuvent avoir d'autres effets sur la santé, plus ou moins spécifiques qui sont ceux qui nous intéressent le plus en hygiène industrielle.

1.1.2.5 Toxicité systémique.

Substance qui a un organe-cible en particulier (ex: fluor, benzène, le plomb, le cadmium).

1.1.2.6 Effets tératogènes.

On commence à s'intéresser de plus en plus à ce genre de toxicité qui est quand même mal connue. (ex: le plomb).

1.1.2.7 Effets sensibilisateurs.

La surexposition à certains produits provoque une réponse de l'organisme à des doses de plus en plus faibles lors d'expositions ultérieures. (Par exemple: exposition au TDI).

1.1.2.8 Effets allergiques et dermatologiques.

Lors de contact cutané, beaucoup de substances sont irritantes.

1.1.2.9 Poussière ayant des effets pulmonaires (pneumoconiose).

On distingue 2 grands types de poussière:

- respirable
- non respirable

La logique derrière cette classification c'est que si une poussière n'a des effets qu'au niveau pulmonaire (habituellement, elle n'est alors pas absorbée dans le sang) et qu'à cause de ses propriétés physiques et aérodynamiques, elle ne

peut se rendre aux poumons, on peut la considérer comme relativement inoffensive, (exemple: une particule de silice de 100 micromètres ne donnera jamais de la silicose, car elle ne peut se rendre aux poumons).

Lors de l'échantillonnage ou de l'analyse de ces types de poussière, il faut s'assurer que l'on peut distinguer entre la poussière respirable et non respirable. (Par exemple: pour la silice cristalline, 5 micromètres et moins, pour les fibres 3,5 micromètres de diamètre x 10 micromètres de long, pour le coton, bactéries versus autres poussières). Des normes ont été définies pour définir fonctionnellement ce qu'est une poussière respirable.

Pour les poussières qui n'ont pas d'effet pulmonaire, ou qui n'ont pas que des effets au niveau pulmonaire, cette distinction, quoique utile, n'est pas fondamentale et il vaut mieux échantillonner toute la poussière aéroportée que seulement la respirable.

On trouvera ci-après un schéma illustrant les divers modes d'action et d'entrée dans l'organisme des poussières inorganiques ainsi qu'un second schéma classifiant les différents types de poussière.

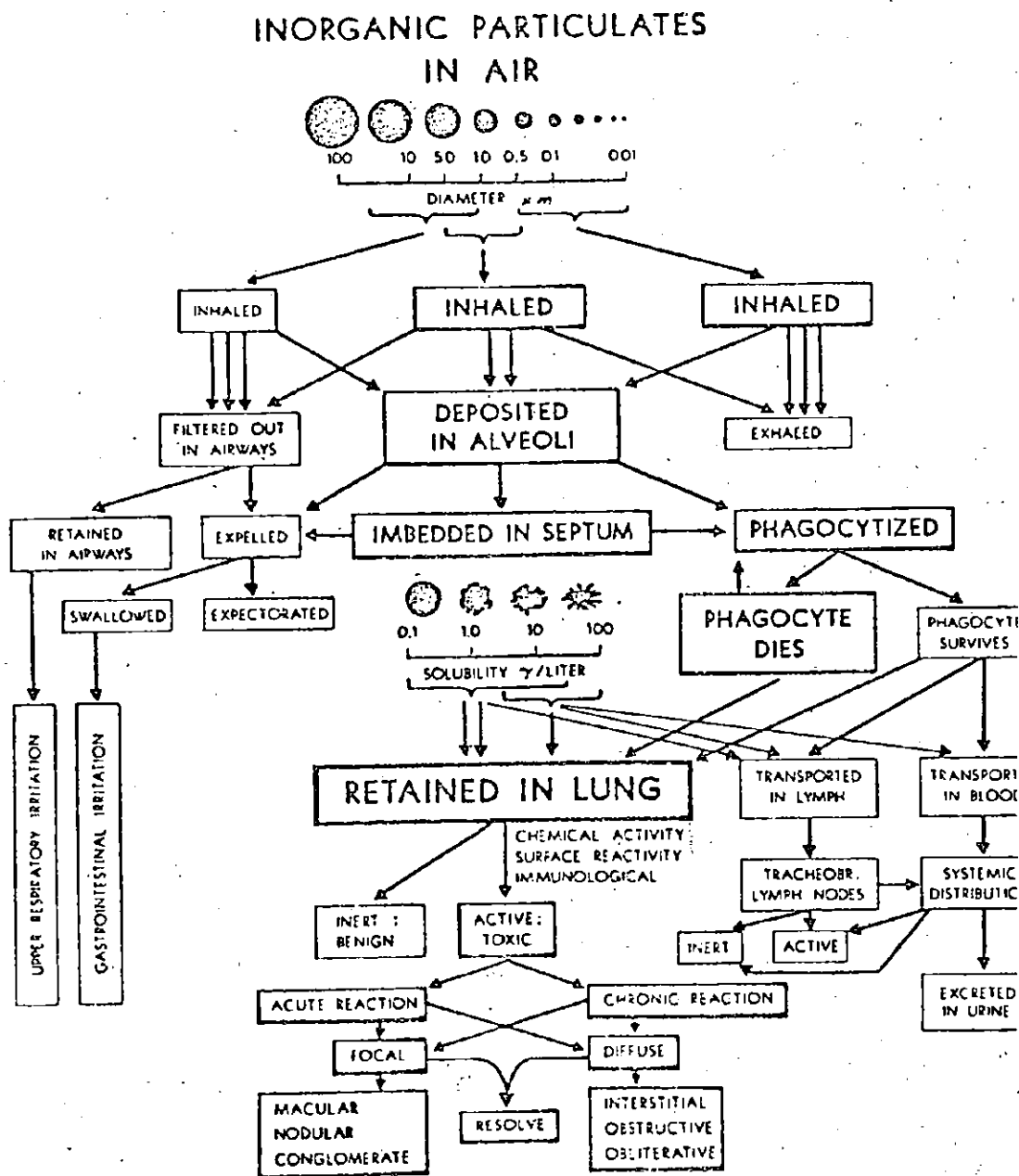


FIGURE 7-1.—Schematic presentation of the biological fate and effects of inhaled inorganic particulates.

From Archives of Environmental Health, August 1963.

7—Particulates

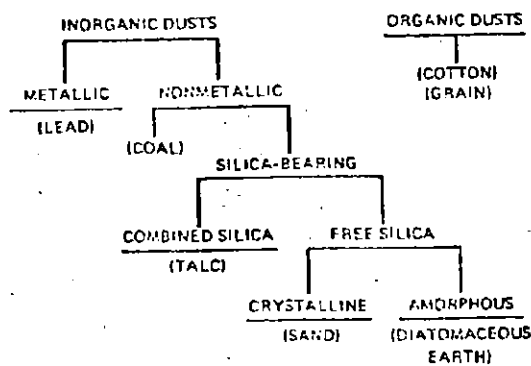


FIGURE 7-2.—Classification for sampling and evaluating respirable dusts.

From Bureau of Mines Information Circular 6503 (Feb. 1971).

1.2 Risques physiques.

Ils sont beaucoup moins nombreux que les risques chimiques, cependant certains d'entre eux sont presque omniprésents dans le milieu industriel.

1.2.1 Le bruit.

C'est certes le plus connu des risques physiques et cela depuis des centaines d'années. Le bruit apparaît presque comme un sous-produit de l'industrie tellement il est lié à la présence de procédés industriels d'une part, et tellement il est absent du milieu naturel de la planète d'autre part.

Pour nos besoins, le bruit peut se décrire selon trois de ces caractéristiques:

- l'intensité, exprimée en décibel
- sa fréquence exprimée en Hertz
- sa distribution dans le temps.

La fréquence est reliée à la notion subjective de hauteur (note de musique haute versus basse). Les bruits n'ont pas toujours la même importance pour l'oreille, selon leur fréquence. Ainsi, des sons de 90 dB à 50 Hz et à 1000 Hz sont d'égale intensité, mais ne sont pas perçus comme étant égaux pour l'oreille. On a donc établi une échelle d'intensité qui correspond à ce que l'oreille perçoit: l'échelle des dB A. En effet, l'oreille entend moins bien les sons de basse fréquence que les sons de haute fréquence. L'intensité sur l'échelle dB A se modèle sur la susceptibilité de l'oreille au bruit.

L'intensité correspond à la force des sons. Elle se mesure en quantifiant les variations de pression atmosphérique produites par les ondes sonores. On quantifie l'énergie sonore en l'exprimant selon une échelle logarithmique plutôt que linéaire. Comme le bruit d'une motoneige est 10 000 000 000 (dix milliards) de fois plus intense que le plus faible bruit que l'on puisse entendre, on l'exprime en décibel afin d'éviter d'avoir à manipuler autant de zéro ! Ainsi, si on place côte à côte deux machines qui produisent 90 dB, on obtient un bruit total d'une intensité de 93 dB. Si on double le niveau de bruit, on additionne 3 dB, si on quadruple ce niveau, on additionne 6 dB, et ainsi de suite.

La répartition dans le temps a son importance lorsqu'on veut distinguer entre les bruits continus, intermittents et fluctuants, mais plus fondamentalement, elle permet de distinguer entre les bruits d'impacts et les autres bruits. Les bruits d'impacts (ou impulsifs) sont moins bien connus au point de vue de leurs effets sur l'audition. On doit les mesurer différemment des autres bruits.

1.2.2 Vibrations.

On distingue deux grands types de vibrations: localisées et au corps entier.

Tout comme le bruit, les vibrations se caractérisent par leur fréquence, leur intensité et leur distribution temporelle.

Les vibrations de très basses fréquences (de 1 à 10 Hz) affectent le corps entier ou certains des organes lorsqu'ils entrent en résonance, tandis que parmi les vibrations localisées, celles aux mains et aux bras sont mieux connues (elles se situent entre 100 à 1000 Hz en général).

Tout comme le bruit, lors de la mesure des vibrations, on utilise des courbes de pondération pour tenir compte de la répartition en fréquence. L'intensité est mesurée généralement en unités d'accélération ($m/s^2, g$).

Au niveau de la répartition dans le temps, on peut distinguer entre la secousse et les autres types de vibrations. L'effet des secousses est très peu connu et leur mode de mesure même n'est pas défini actuellement.

1.2.3 Froid et chaleur.

La chaleur est transmise au corps surtout par le biais des ondes infra-rouges. La tolérance à la chaleur dépend de l'intensité du travail. Ainsi, un travail moyen (200 K cal/h) à température normale peut devenir aussi pénible qu'un travail lourd (350 K cal/h) si on le fait à la chaleur. De plus, il faut tenir compte du phénomène d'acclimatation dans l'évaluation du risque. Les facteurs autres que la chaleur ambiante et la charge de travail qui peuvent contribuer à augmenter le risque sont l'humidité, la vitesse de l'air et la chaleur radiante. La mesure de la chaleur est donc une opération plus complexe qu'il peut apparaître à la première vue et il nous semble très important de compléter les mesures environnementales par des mesures de surveillance biologique des travailleurs exposés.

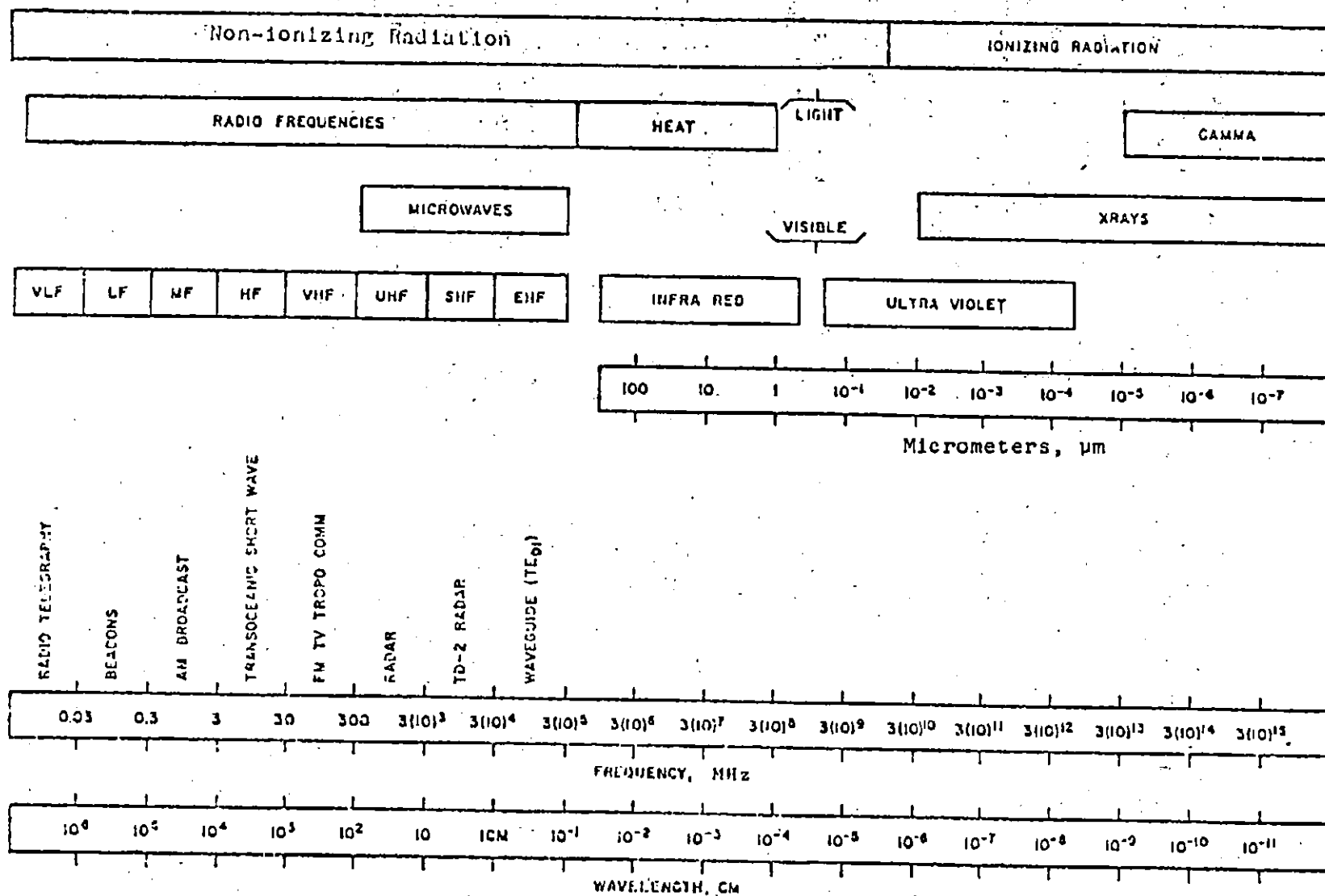
Le froid est un agent agresseur vieux comme le monde. Cependant, peu de recherches et aucune norme ne lui ont été consacrés. Pour notre région, ceci nous apparaît déplorable. Cependant, vu que physiquement le froid s'apparente à la chaleur (même s'il est son contraire) on peut s'inspirer des recherches faites sur elle, pour documenter l'exposition au froid.

Ainsi la charge de travail est très importante pour le froid également, mais dans le sens opposé. Ce sont les «pousseurs de crayon» qui seront défavorisés par rapport aux «pelleteurs de neige». L'acclimatation est aussi à considérer de même que les facteurs environnementaux de vitesse (vitesse du vent) de l'air et de l'humidité.

1.2.4 Radiations.

Les radiations sont produites habituellement par des sources d'énergie électromagnétique. L'énergie électromagnétique peut être considérée comme une onde de propagation ou comme des particules (photons) d'énergie. Cependant, selon la loi de Planck, l'énergie est proportionnelle à la fréquence. Donc, plus la fréquence est élevée, plus l'énergie est grande. L'énergie se mesure en électron V.

Les radiations peuvent se subdiviser en deux parties: ionisantes et non ionisantes. Cependant, on peut raffiner davantage cette division en regroupant les types d'ondes électromagnétiques selon leur niveau d'énergie. Dans le tableau ci-dessous, on a un tel découpage qui est présenté.



Mumford WW: Some Technical Aspects of Microwave Radiation Hazards. Proc. IRE 49:427-47, 1961.

Figure 28-1. The Electromagnetic Spectrum.

On remarque que la chaleur, la lumière, les U.V. et les ondes radio font partie d'un même monde et que de nos jours, nous vivons (sans s'en apercevoir) dans une atmosphère très lourdement chargée de radiations. Revenons à notre distinction de base.

1.2.4.1 Radiations ionisantes.

Elles désignent des radiations dont l'énergie est suffisamment grande pour produire des changements d'ionisation dans les tissus humains. On considère habituellement 10 électrons V comme la limite produisant une ionisation. Il y a deux sources principales d'ionisation: les sources directes qui sont des particules électriquement chargées (comme des particules bêta, alpha et les protons) et les sources indirectes (les neutrons et photons). Les phénomènes de base qui se produisent lors de l'ionisation sont décrits brièvement ici.

Ionisation.

a) Directe:

Un électron peut être chassé d'un atome lorsque ce dernier rencontre une particule.

L'atome perd une charge négative et présente une charge positive. Il y a formation d'une paire d'ions.

L'atome cherche à redevenir neutre en captant un électron libre.

L'électron éjecté peut créer de nouvelles paires d'ions.

b) Indirecte.

Le rayonnement électromagnétique a la propriété d'interagir avec la matière de 3 principales manières différentes:

- effet Compton
- effet Photoélectrique
- effet de matérialisation

Effet Compton

Le photon incident d'énergie E entrant en interaction avec un électron lui transfère une énergie E_a et le reste de l'énergie est emporté par un photon diffusé d'énergie E_s . $E = E_a + E_s$

Effet Photoélectrique

Le photon incident d'énergie E transmet toute son énergie à l'atome. Cette énergie est transférée à un électron qui est éjecté de sa couche électronique et emporte l'excédent sous forme d'énergie cinétique.

Effet de matérialisation

Un photon passant au voisinage d'un noyau produit 2 électrons de charge opposée.

Ce qu'il est important de retenir ici c'est que les sources de radiations ionisantes sont de deux types:

- particulaires (alpha, bêta et protons)
- énergie électromagnétique (rayons X et gamma)..

Au niveau de l'environnement de travail le type de radiations ionisantes que l'on rencontre le plus souvent ce sont les rayons X et gamma.

Il n'y a pas de différence structurelle entre les rayons X et gamma excepté qu'ils proviennent de sources différentes. Les rayons X sont produits artificiellement par bombardement à très haut voltage (50kà 500 000 volts) d'une plaque de métal alors que les rayons gamma sont produits de façon naturelle par certains éléments dit «instables» ou radio isotopes.

Les rayons X sont utilisés surtout au niveau du diagnostic médical, mais on en trouve également dans les cliniques dentaires, vétérinaires, et chez les chiropraticiens. Les rayons gamma sont utilisés de façon de plus en plus importante en industrie comme instrument de mesure (par exemple: jauge de niveau) et de vérification non destructive (radiographie de soudure, inspection d'équipement, etc...). Lorsqu'on a affaire à une source de radiation ionisante, il est très important d'en connaître la nature et l'énergie.

1.2.4.2 Les radiations non ionisantes.

Ceci regroupe différents domaines dont nous traiterons brièvement. Pour plus de détails on se référera aux textes de base. Disons qu'en général ce type de radiations au lieu de produire une ionisation crée un genre d'excitation moléculaire lorsqu'absorbées par la matière et que ceci finit par se transformer en chaleur ou en lumière (fluorescence).

1.2.4.2.1 Les lasers (light amplification by stimulated emission of radiation):

Ce que les lasers émettent c'est un rayon d'énergie cohérente produit par l'interaction de photons. On distingue 3 types principaux: continus, pulsés et «Q switched». Les lasers pulsés et «Q switched» sont particulièrement redoutables pouvant émettre des trains énergétiques de 1 milliard de watt. Ils fonctionnent dans le domaine de l'infra-rouge du visible et de l'ultra-violet.

Les lasers sont utilisés dans l'industrie de la construction (tracé de lignes) et de l'arpentage. Dans l'industrie du bois on en rencontre également. On en trouve aussi dans les discothèques.

Encore une fois, comme pour les radiations ionisantes, il faut avant tout connaître le type et l'énergie du laser.

1.2.4.2.2 Les micro-ondes.

Généralement définies comme l'énergie électromagnétique comprise entre 30 M Hz & 300 G Hz. Elles sont souvent produites par des oscillateurs spéciaux (klystrons, magnétrons, etc...). Les micro-ondes sont utilisées dans les communications (FM, TV, radar, satellite, bateau) dans la restauration (four à micro-ondes) et dans le domaine biomédical (diathermie).

1.2.4.2.3 Les rayons ultra-violets.

Ils couvrent un vaste domaine de $3 \times 10^{6.5}$ G Hz à $3 \times 10^{9.5}$ G Hz environ ou de 0,1 micromètre à 0,4 micromètre de longueur d'onde. Comme les effets biologiques des radiations dépendent de leur longueur d'onde, il est très important de se renseigner sur ce point lorsqu'on a affaire à une source de rayons U.V.

La principale source de rayons ultra-violets est le soleil. Heureusement l'absorption par la couche d' O_3 permet aux seuls rayons de plus de 0,29 micromètre de se rendre jusqu'à nous. Les autres sources les plus courantes sont la soudure et la torche au plasma, les lampes à vapeurs de mercure, de quartz et de sodium, les lampes bactéricides, les lampes dites solaires (à bronzage), les lasers et certains tubes fluorescents.

Une des caractéristiques qu'il ne faut pas oublier au sujet des rayons ultra-violets, c'est que leur présence peut déclencher des réactions chimiques (servent de catalyseurs en quelque sorte) surtout en chimie organique (ex: $C Cl_4 \Rightarrow CO Cl_2$) et qu'il faut toujours se méfier de l'action des U.V. en présence de gaz et de vapeurs diverses.

1.2.4.2.4 Les champs magnétiques aux fréquences radio (RF) et à très basses fréquences.

Si on se rappelle bien notre définition du début, ces radiations de basses fréquences sont peu énergétiques, donc potentiellement peu dangereuses pour des puissances (field strength) allant de 200 à 1 000 volts/mètre. Nous sommes environnés de ces types d'ondes provenant de tous les émetteurs radio du monde. De plus, la terre elle même émet des champs électromagnétiques. Les gens vivant sous les lignes haute tension ainsi que les monteuses (line men) sont exposés aux ondes de très basses fréquences (ELF). Les recherches sont contradictoires dans ce domaine, mais certaines arrivent à la conclusion surprenante que ce n'est pas la présence de champs électromagnétiques qui est un problème, mais son absence!

1.2.4.2.5 La lumière visible.

Ce n'est pas à proprement parler un agent agresseur dans la mesure où la source d'émission sert à des fins d'éclairage. On considère à ce moment là l'absence ou la pauvre qualité de la lumière comme un facteur augmentant le stress au travail. Cependant, lorsque la source d'émission dégage des radiations visibles très puissantes, la lumière peut devenir un danger pour la rétine. Certaines de ces sources sont le soleil, l'arc électrique des soudeurs, et certains lasers, le flash des photographes, etc...

Il faut se souvenir que la réponse de l'oeil à la radiation visible est différente de tous les autres organes et que les normes doivent être établies en conséquence. Ainsi, l'oeil augmente par un facteur de 10^5 (100 000) l'intensité des rayons qui le frappe.

LES NORMES

NORMES

1. Contaminants chimiques

- Différences entre les normes selon l'organisme dont elles proviennent
Ex: - TLV (ACGIH)
- M.A.C. (ANSI)

- Explications sur les TLV

- Différentes normes:

TLV TWA
STEL
Ceiling

- Calcul de l'exposition moyenne
- Catégories de violation des normes
- Exposition à plus de 8 hres/jour
- Exposition à plusieurs contaminants

LES NORMES

2.1 Les contaminants chimiques.

Au Québec, les normes d'exposition à des contaminants chimiques sont spécifiées dans le règlement relatif à la qualité du milieu de travail (décret 576-82) en vertu de la loi sur la santé et la sécurité du travail et la loi sur la qualité de l'environnement.

2.1.1 La base des normes.

Les normes ont pour but de sauvegarder la santé et le confort des travailleurs. Elles ont pour prémisses:

- toute substance chimique est toxique à certaine concentration selon la durée de l'exposition;
- à partir d'une certaine concentration, aucun effet toxique ne devrait découler quel que soit la durée de l'exposition;
- une corrélation existe entre l'effet toxique et la dose, laquelle est fonction de la concentration et du temps d'exposition pour les cancérigènes; cette corrélation est contestée.

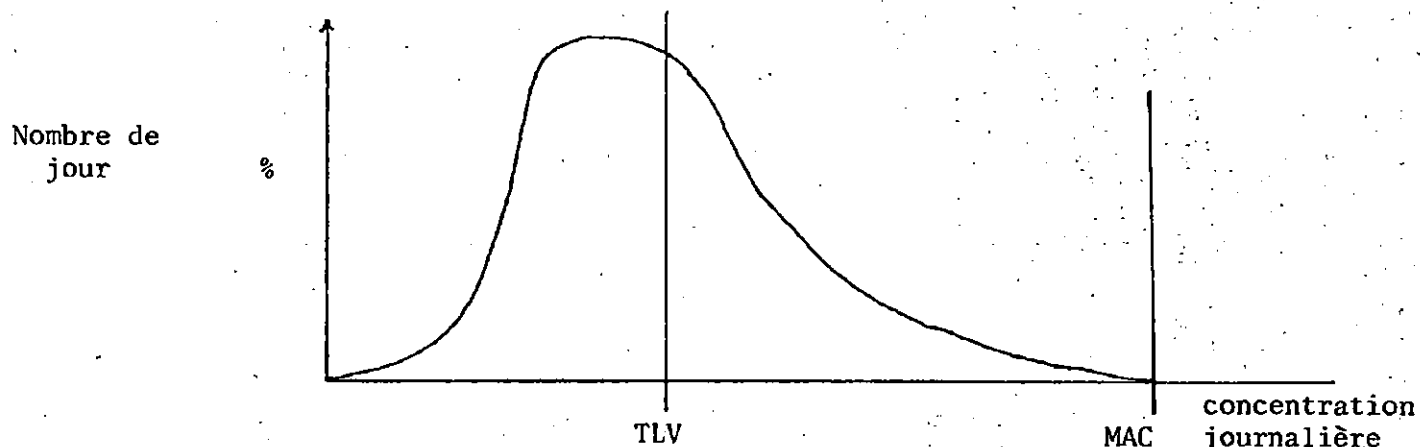
Deux organismes aux Etats-Unis émettent des recommandations;

- Threshold Limit Committee of The American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Cet organisme regroupe des hygiénistes industriels, toxicologistes, médecins industriels, ingénieurs et chimistes travaillant pour les agences gouvernementales et les universités. Il publie annuellement un recueil de standards et un manuel décrivant les études justifiant l'adoption de chaque norme (TLV).
- Z-37 Committee of the American Standards Association. Ce comité regroupe des spécialistes représentant les industries et les organisations connexes aux industries. Chaque standard fait l'objet d'un document. (M.A.C.)

Les normes publiées par ces deux organismes n'ont pas le même sens. Les TVL. réfèrent à la concentration moyenne pour une journée normale de huit heures et une semaine de 40 heures, à laquelle presque tous les travailleurs peuvent être exposés de façon répétée jour après jour, sans effet adverses pour la santé.

Les MAC réfèrent à la concentration maximale admissible pour une journée de huit heures. La concentration moyenne pour 8 heures dans l'environnement de travail peut fluctuer en dessous de cette norme, mais elle ne doit jamais dépasser cette valeur.

Distribution de la concentration journalière.



OSHA (Occupational Safety and Health Act). C'est un organisme du ministère du Travail fédéral américain en charge d'adopter et de faire appliquer les normes de santé et sécurité au travail aux Etats-Unis. C'est un peu le pendant de l'inspection à la C.S.S.T.

NIOSH (National Institute of Occupational Safety & Health). C'est un organisme de recherche, de formation et d'information sur les questions de santé et sécurité au travail. Il relève du ministère Fédéral américain de santé & bien être social. Il est chargé par l'OSHA de faire des recommandations sur les normes (pour en établir de nouvelles, ou en réviser d'anciennes). Il offre des services de laboratoire, d'enquêtes épidémiologiques, de dépistage pour problème de santé, d'enquête d'hygiène industrielle, de certification d'équipement de protection personnelle, de cours de formation en santé au travail, de publication de brochures scientifiques et de vulgarisation, etc. C'est un organisme très dynamique à la pointe de la recherche internationale en santé au travail. Au Québec, son pendant serait l'I.R.S.S.T.

Toutes les normes d'exposition à des contaminants incluses à l'annexe «A» du Règlement relatif à la qualité du milieu de travail sont des normes d'exposition au niveau de la zone respiratoire du travailleur. Lorsque la technique d'échantillonnage le permet, on doit donc procéder à un échantillonnage personnel.

Etant donné que la rédaction de l'annexe «A» a été fortement inspirée d'un document américain (Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Air Adopted by ACGIH for 1979), il serait bon de revenir à cette source et d'en revoir les concepts impliqués.

TLV (Threshold Limit Values).

Les normes TLV pour un contaminant dans l'air sont des valeurs qui définissent les conditions sous lesquelles on estime que la majorité des travailleurs peut être soumise, jour après jour, sans effet dommageable.

Ces valeurs doivent être interprétées à la lumière des énoncés suivants:

Il s'agit de valeurs expérimentales, déduites tant de la pratique industrielle que de l'expérimentation animale ou humaine et autant que possible des trois.

Elles ne sont valables que pour un seul contaminant à la fois.

Les critères de détermination de ces valeurs ne sont pas les mêmes d'une substance à l'autre et ne possèdent pas de ce fait, des «dénominateurs communs». Pour certaines substances, ces valeurs seront établies à partir de données toxicologiques (effet aigu, à court terme), pour d'autres, ce sera sur des considérations subjectives tel le confort ou l'inconfort de l'ambiance de travail.

Il en résulte que ces valeurs, n'ayant pas la même signification, ne peuvent déterminer une soi-disant frontière entre les ambiances dangereuses et celles qui ne le sont pas.

Les TVL doivent donc être interprétées comme un guide dans le contrôle des risques pour la santé plutôt que comme étant des normes rigides séparant les concentrations sûres de celles pouvant porter atteinte à la santé. Il est toujours prudent de consulter la documentation justifiant l'adoption d'une norme. (Il est intéressant par exemple de constater que la norme pour le peroxyde d'hydrogène a été fixée à 1 ppm en bonne partie pour prévenir le blanchiment des cheveux).

La norme ne doit pas servir à comparer la toxicité des substances différentes. T L V SO_2 = 5 ppm

T L V	HCN	20 ppm

Ce rapport ne veut pas dire que le SO_2 est 4 fois plus toxique que le HCN. La norme pour la SO_2 a été établie en considérant son effet d'irritant alors que la norme pour le HCN a été établie en relation avec sa toxicité systémique.

Les normes sont établis pour des travailleurs adultes et en bonne santé.

Certains travailleurs rendus hyper-susceptibles ou hyper-sensibles par des facteurs génétiques ou environnementaux peuvent être affectés par des concentrations inférieures aux TLV.

Ces normes ne doivent pas être interprétées en tant que normes de pollution de l'environnement.

Elles ne sont pas des indices de toxicité pour des périodes d'exposition continues ou pour des périodes de travail plus étendues que 8 heures.

En considérant des valeurs moyennes comme indice d'exposition, on ne doit pas négliger d'analyser les fluctuations autour de cette moyenne. Ici, l'interprétation d'une personne expérimentée est requise. Quel est l'écart maximal que l'on peut tolérer ? La réponse à cette question varie d'une substance à l'autre selon la nature de ses effets toxiques.

Par exemple, pour de l'ozone, qui est un gaz irritant, on peut tolérer une fluctuation allant jusqu'au double de la norme (0,2 ppm) pour une durée de 30 minutes alors que pour la silice cristalline, substance non irritante, la concentration peut fluctuer jusqu'à 10 fois au-dessus de la norme pour une durée de 30 minutes.

Certains facteurs physiques tels, la chaleur, les rayons ultra-violets, l'humidité, de faible pression (altitude) augmentent les contraintes exercées sur le corps et peuvent rendre les TLV non sécuritaires. La majorité des TLV contient un facteur de sécurité pour prendre en considération le fait que ces contraintes environnementales augmentent la réaction toxique des substances chimiques chez l'homme. Mais ces facteurs de sécurité ne sont pas suffisants pour considérer de grosses variations comme le fait de travailler 8 heures à 90° F ou de faire une semaine de 50 heures.

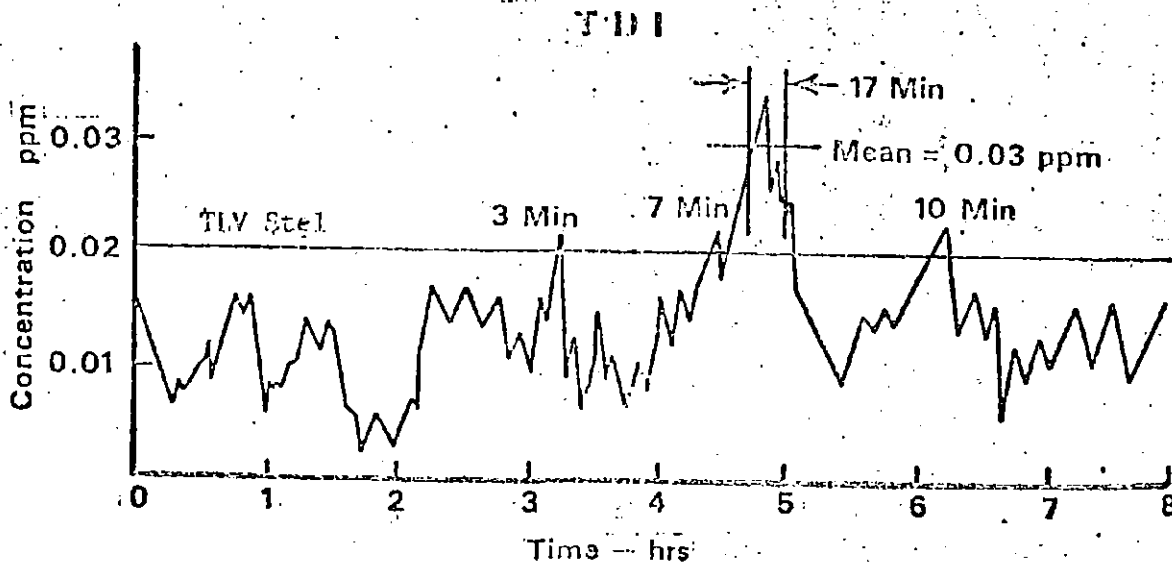
TLV-TWA (TLV - Time Weighted Average) ou concentration moyenne admissibles pour huit heures:

C'est la norme d'une concentration pondérée pour une période journalière de huit heures de travail ou pour une période hebdomadaire de quarante heures de travail.

TLV-STEL (TLV - Short Term Exposure Limit).

C'est la norme de la concentration maximale à laquelle les travailleurs peuvent être exposés continuellement pour une période maximale de quinze minutes. De plus, ces périodes de quinze minutes doivent être espacées d'au moins soixante minutes, il ne doit pas y en avoir plus de quatre à l'intérieur d'une période journalière de travail et enfin le TLV-TWA doit être respecté.

On considère que sous ces conditions le travailleur n'aura pas à souffrir d'irritation, d'altération chronique ou irréversible des tissus ou de narcose.



Si un prélèvement de 17 minutes indique une concentration moyenne de 0,03 ppm, la norme de 0,02 ppm sur 15 minutes est dépassée et des correctifs doivent être apportés.

TLV-C (TLV - Ceiling) ou concentration maximale admissible, ou valeur plafond.

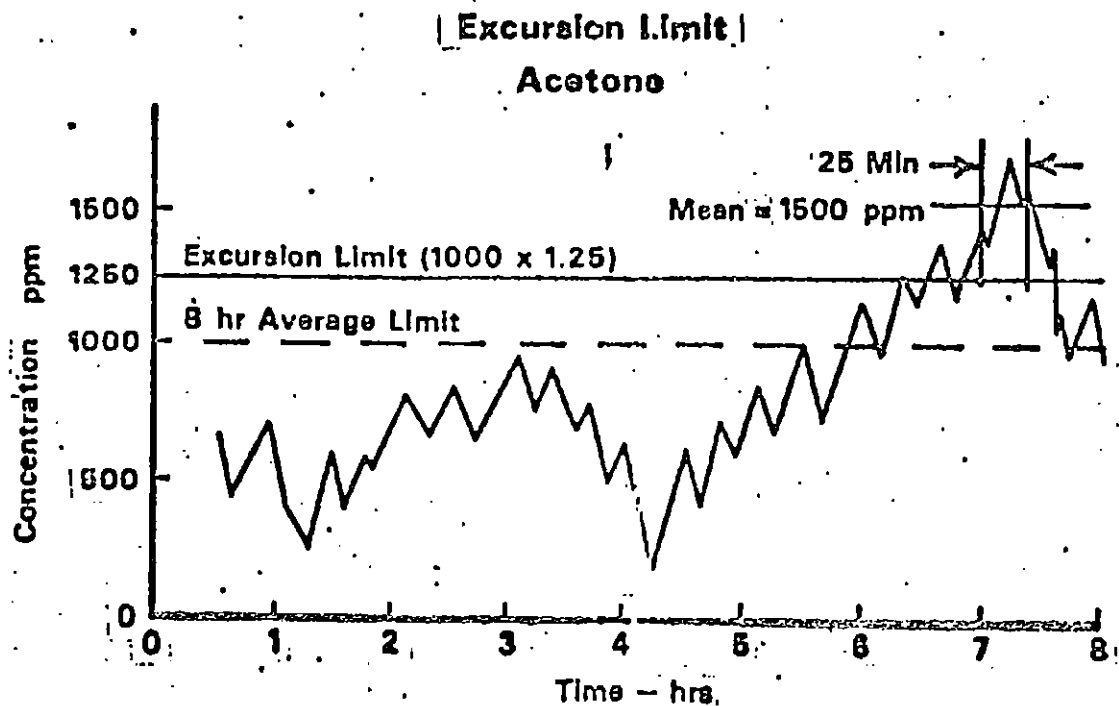
C'est la norme de concentration à ne jamais excéder pour quelque durée de temps que ce soit.

N.B. Toutes ces normes sont établies pour une température de 25°C et une pression de 1'atmosphère.

Ces normes peuvent aussi être combinées entre-elles.

Moyenne pour 8 heures avec excursion.

La concentration moyenne pour 8 heures et les concentrations trouvées pour 15 minutes d'affilée ne doivent pas excéder les normes spécifiées.



Dans ce cas, la norme pour 15 minutes consécutives est dépassée alors que la norme pour 8 heures est respectée.

Concentration moyenne pour 8 heures et exposition pour de courtes durées.

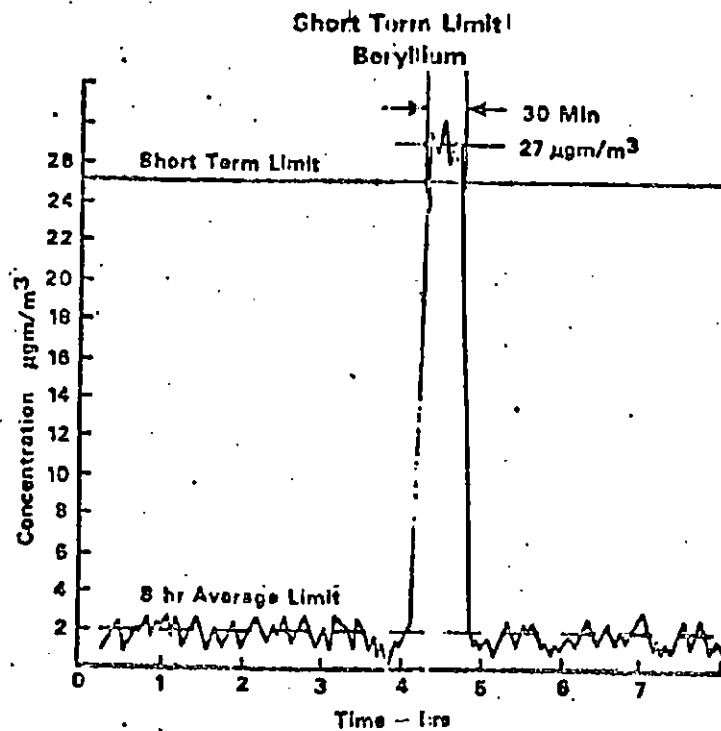


FIGURE 5

La moyenne pour 8 heures pour le béryllium ne doit pas excéder $2 \mu\text{gm}/\text{m}^3$ et l'exposition pour 30 minutes consécutives doit être inférieure à $25 \mu\text{gm}/\text{m}^3$.

Table 1. CATEGORIES OF VIOLATION

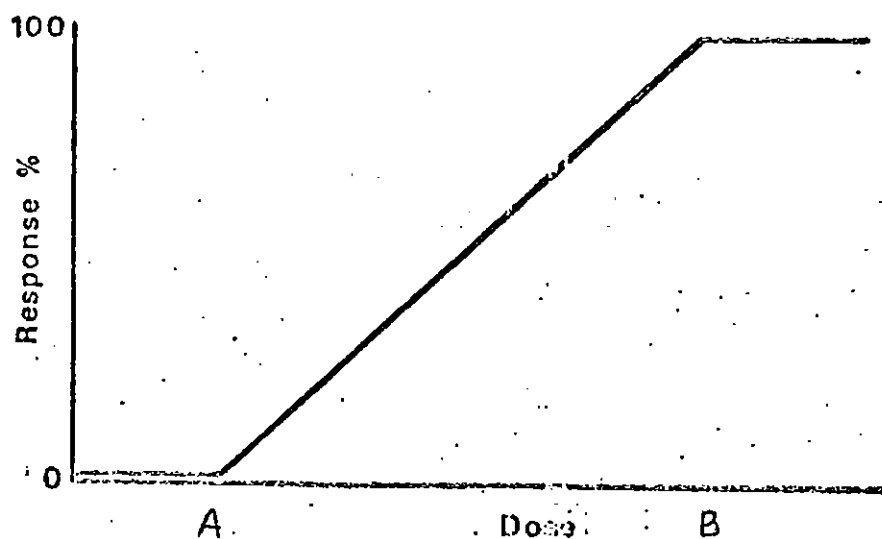
	De Minimus	Non-serious	Serious	Imminent Danger
Carbon Monoxide	NA	50-150 ppm for 8 hrs	>150 ppm for 1 hr	>500 ppm for any time
Asbestos	NA	NA	5-6 for 8 hrs	NA
Quartz	NA	.1 - .4 mg/m ³ for 8 hrs	>.4 mg/m ³ for 8 hrs	NA
Lead	NA	.2 - .6 mg/m ³ for 8 hrs	>.6 mg/m ³ for 8 hrs	NA
Cotton	NA	1-3 mg/m ³ for 8 hrs	3 mg/m ³ for 8 hrs	NA
Coal Tar Pitch Volatiles	NA	NA	0.2 mg/m ³ for 8 hrs	NA

NA: non applicable.

Les effets minimes sont la détection d'odeurs déplaisantes, une irritation très faible des yeux, du nez et de la gorge, ou le non respect de la bonne pratique. Ici au Québec, l'inspection n'utilise pas cette échelle de gradation des infractions et de plus, légalement, elle n'a à tenir compte que d'une seule surexposition de 8 heures.

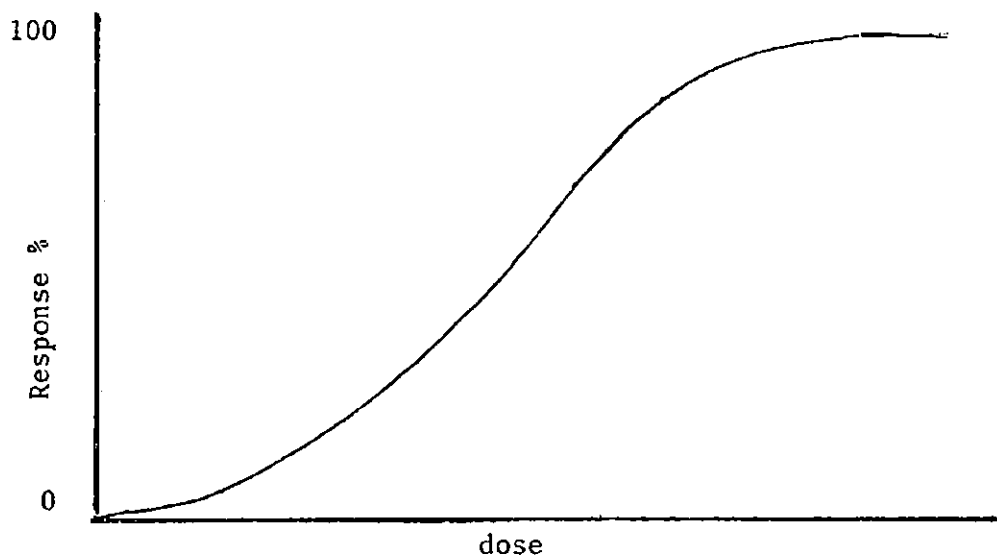
On peut croire que la réponse de l'organisme à la dose est linéaire. A des niveaux inférieurs au seuil A, aucun effet significatif n'arrive, alors qu'à des niveaux supérieures au point B, la presque totalité des gens seraient affectés.

Dose Response Relationship



C'est le concept de base des TLV. En réalité, la réponse à une dose donnée suit plutôt une courbe du type:

DOSE RESPONSE RELATIONSHIP



Selon cette courbe, le seuil devient une dose en bas de laquelle un pourcentage minime de travailleurs sera affecté. Par exemple, à 90 dB A, tout les travailleurs ne sont pas prémunis d'une perte auditive permanente après plusieurs années d'exposition. Il va sans dire que le contexte politico-économique influence parfois la fixation des normes.

Un programme de santé peut aider à détecter les personnes plus susceptibles ou sensibles qui réagissent à une dose inférieure à la norme.

2.1.4 Calcul des concentrations moyennes admissibles.

Etant donné que chaque concentration moyenne admissible est propre au contaminant concerné et est établie en fonction d'une période de 8 heures par jour ou de 40 heures/semaine, il en résulte que, pour fin d'application, cette valeur doit être ajustée ou non, dépendant des conditions d'exposition.

De façon pratique, deux variables influencent les normes: la durée d'exposition et l'exposition à plusieurs contaminants.

L'exposition à plusieurs contaminants.

L'exposition à plusieurs contaminants est souvent rencontrée en milieu de travail. Les effets combinés de ces contaminants peuvent être de quatre nature: antagonistes, synergétiques, indépendants ou additifs.

Les effets antagonistes des contaminants signifient que le mélange des contaminants est moins toxique que chacun des contaminants présents dans le mélange.

Les effets synergétiques des contaminants signifient que le mélange des contaminants est plus toxique que l'un des contaminants seul. L'effet toxique est accentué avec le mélange.

Malheureusement, il est pratiquement impossible d'obtenir les données pour nous permettre de cataloguer ces mélanges. Ces deux types d'effets ne sont, à toutes fins pratiques, que des notions théoriques.

Les effets indépendants des contaminants signifient qu'il ne faut pas considérer le mélange de contaminants. Il faut considérer chacun des contaminants comme s'ils étaient les seuls présents dans le milieu de travail.

Les effets additifs des contaminants signifient que ceux-ci (les contaminants) ont des effets similaires sur l'organisme humain. Dans ce cas, il faut calculer une nouvelle concentration admissible ou utiliser la formule suivante:

$$R = \frac{C_1}{T_1} + \frac{C_2}{T_2} + \dots + \frac{C_n}{T_n}$$

$C_1, C_2, \dots, C_n$ = Les concentrations obtenues de l'échantillonnage de chaque contaminant.

$T_1, T_2, \dots T_n$ = La concentration moyenne admissible pour chaque contaminant.

Si $R \leq 1$, la norme est respectée.

Si $R > 1$, la norme est dépassée.

La durée d'exposition.

Le problème de la durée d'exposition se pose surtout pour les durées d'exposition supérieures à 8 heures. Pour les durées d'exposition inférieures à 8 heures, on calcule l'exposition moyenne sur 8 heures en considérant une concentration zéro pour la durée de temps non-exposée.

Dans les cas des durées d'exposition supérieures à 8 heures, il faut se référer aux raisons qui ont motivé l'attribution de la concentration moyenne admissible. Ce modèle d'opération est utilisé par OSHA (Occupational Safety and Health Administration).

On retrouve 5 raisons qui commandent l'ajustement ou le maintien de la norme moyenne.:

- 1) Irritation: certaines concentrations moyennes admissibles ont été attribuées pour prévenir toute irritation aigue ou inconfort. Il n'y a pas d'effets cumulatifs connus résultant de l'exposition à ces substances. La concentration moyenne admissible ne doit pas être ajustée.
- 2) Technologie: dans certains cas se sont des considérations de nature technologique telles que, concentration minimum réalisable technologiquement et concentration moyenne admissible basée sur la notion de pratique hygiénique souhaitable, qui ont justifiées les valeurs aux concentrations moyennes admissibles. Les raisons soutenant ces normes sont indépendantes du temps, en conséquence la concentration moyenne admissible ne doit pas être ajustée.
- 3) Toxicité aigue: l'accumulation de ces substances dans l'organisme doit être limitée à cause d'intoxication aigue possible. C'est pourquoi la concentration moyenne admissible doit être ajustée en fonction du temps d'exposition de la façon suivante:

$$CMAa = \frac{CMA \times 8}{t}$$

CMA = concentration moyenne admissible.

CMAa = Concentration moyenne admissible ajustée.

T = Durée en heures de la période de travail journalière.

3.3 Stratégies d'échantillonnage.

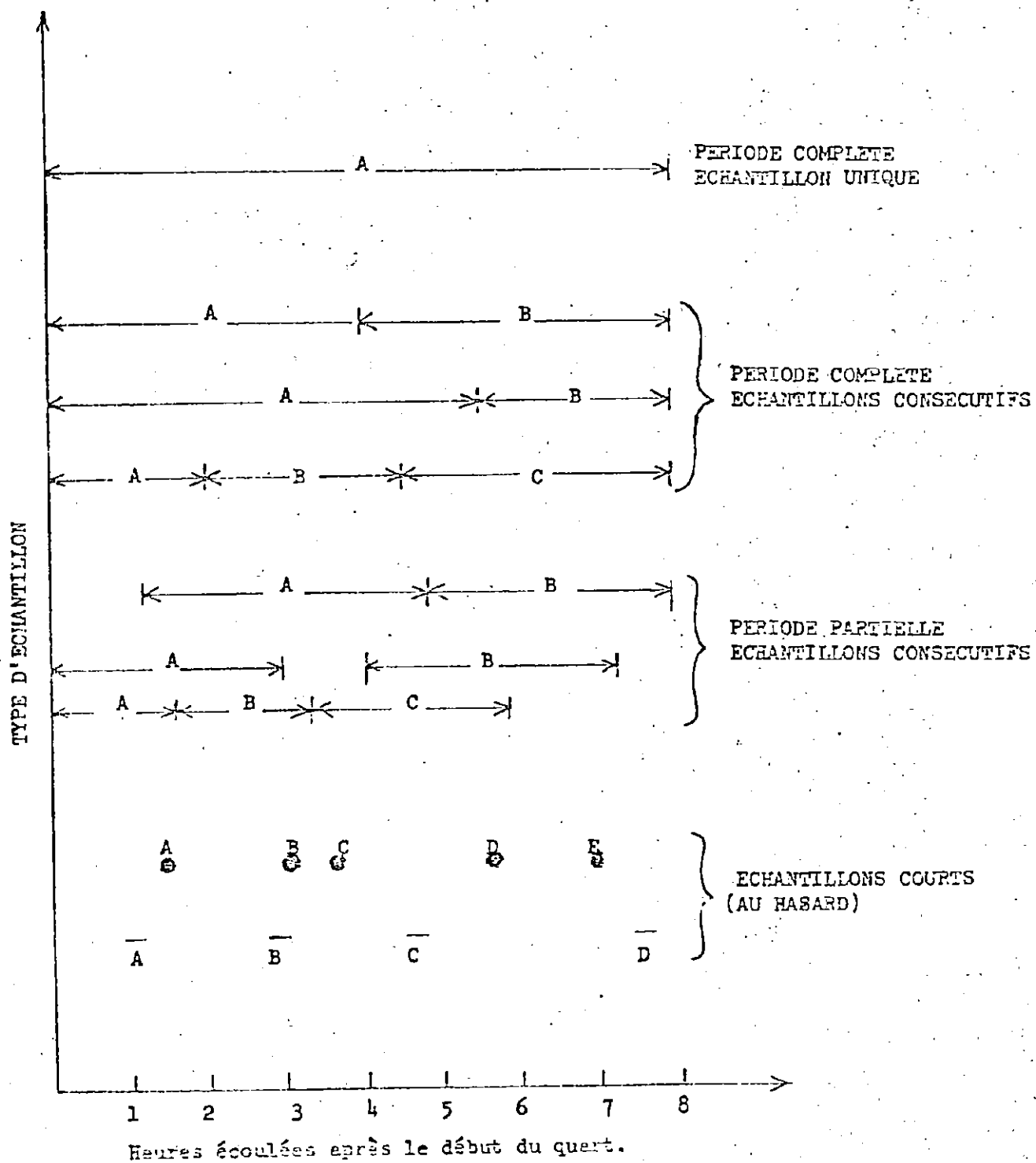
Il n'y aurait pas grand mérite à faire de l'hygiène industrielle si cela consistait à prendre un instrument de mesure quelconque, l'amener dans une industrie, appuyer sur un bouton «on-off», lire un chiffre sur un cadran et le comparer à la norme. Si c'est au-dessus, il y aurait un problème, si c'est égal ou en bas, il n'y aurait pas de problème.

Avant d'échantillonner, il faut avoir bien identifié le contaminant, au point de vue physique et toxicologique, reconnaître et comprendre les procédés industriels qui le produisent, avoir une idée des concentrations ainsi que de leurs variations, et choisir une méthode de mesure ou d'échantillonnage valable compte tenu des interférences possibles et de la précision et validité de mesure que l'on recherche. L'étape suivante consiste à déterminer le nombre de mesures requises ainsi que leur durée de façon à obtenir des concentrations représentatives des conditions habituelles de travail.

3.3.1 Nombre d'échantillons et leur durée.

Dans le schéma suivant, on a une description des différentes possibilités de mesure par rapport à l'évaluation d'une journée de travail de 8 heures.

PROCEDURE D'ANALYSE DES DONNEES A ETRE UTILISEE

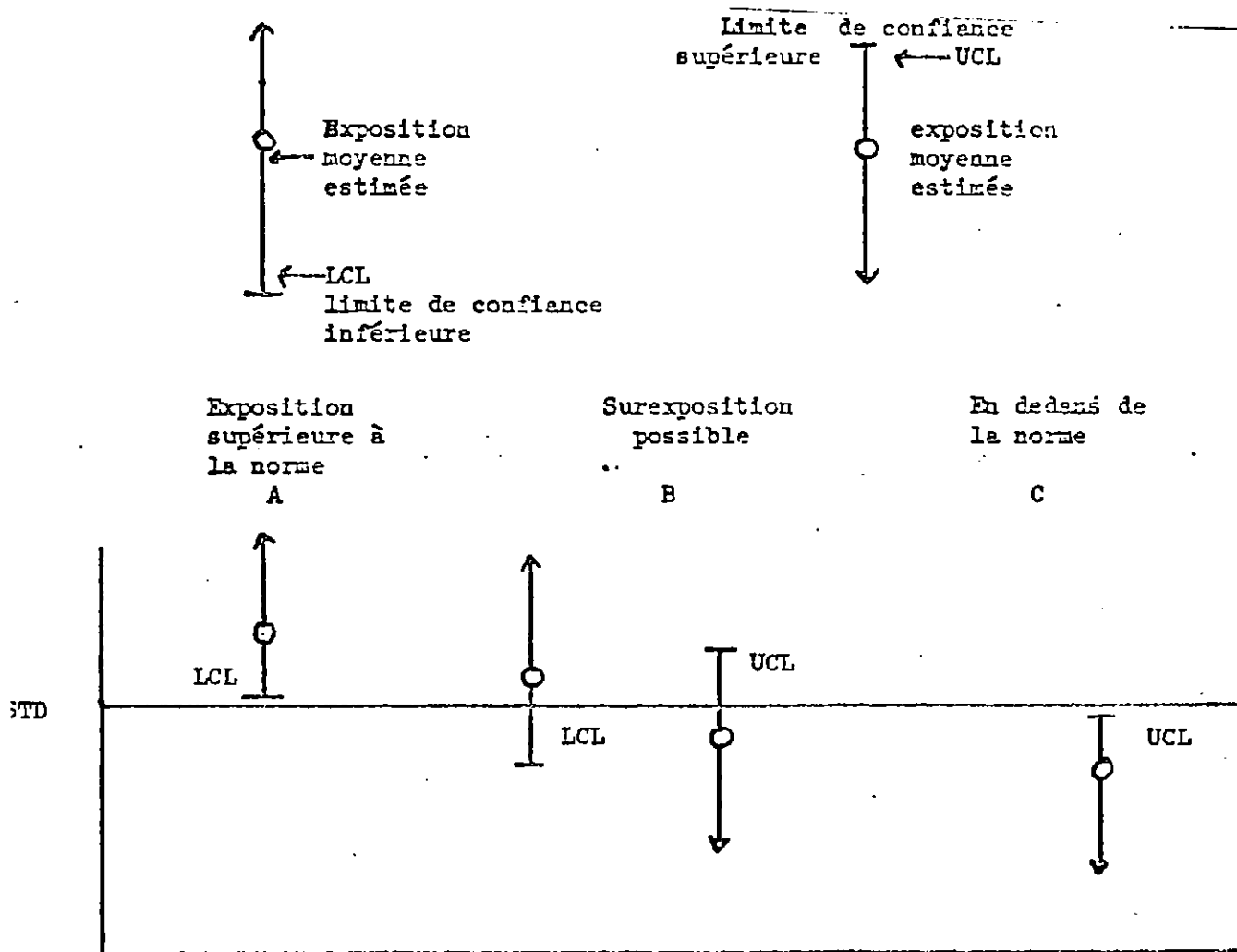


Selon la nature du contaminant, le type de normes, les limitations des instruments de mesure et la variation des concentrations, on choisira l'une ou l'autre de ces types de mesure. Nous n'entrerons pas dans les détails ici.

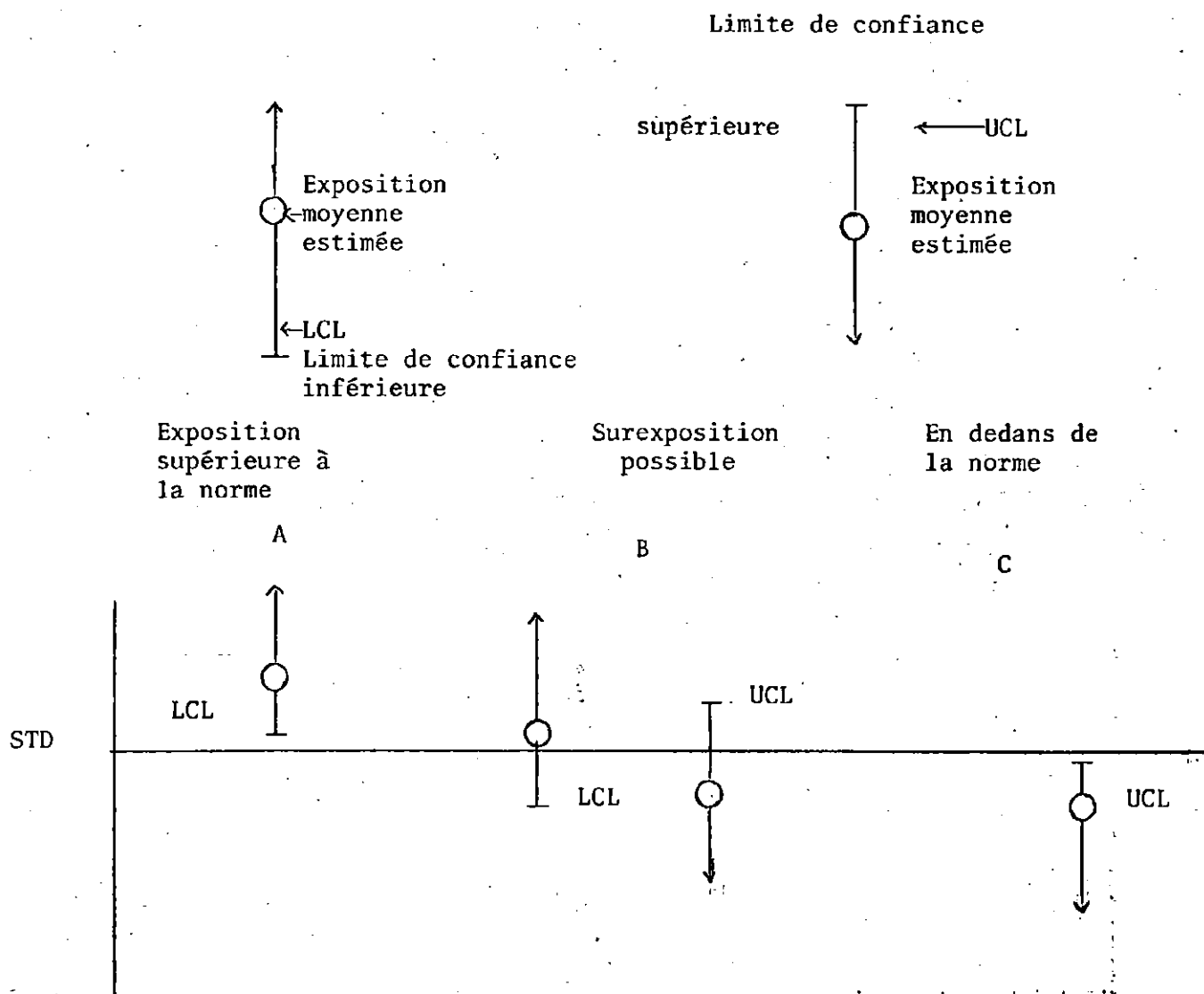
Mentionnons cependant que lorsqu'on est intéressé à connaître l'exposition moyenne non pas sur une seule journée de 8 heures, mais sur une semaine de 40 heures, sur une année complète, ou même une carrière de travail complète (dans le cas d'une demande d'indemnisation, par exemple), on ne peut se contenter des résultats d'une seule journée d'échantillonnage. Il faut alors identifier les facteurs qui font varier la concentration, prendre des mesures pendant les périodes de fortes, moyennes et basses concentrations et établir à l'aide des statistiques de production les périodes d'exposition moyennes pour chaque teneur de concentration.

Tout ceci pour dire qu'il n'y a pas de chiffre magique permettant de quantifier à lui seul l'exposition à un contaminant lorsque celle-ci varie beaucoup dans le temps.

En plus des problèmes de mesures liées aux fluctuations quotidiennes et/ou saisonnières des concentrations, il y a des problèmes dûs à l'imprécision des méthodes de mesure et d'analyses eux-mêmes. En effet, aucune mesure n'est absente d'erreur et lorsqu'on obtient un résultat et qu'on le compare à une norme, il faut s'assurer que notre jugement sur un respect ou non de la norme tient compte de la variabilité possible due à l'imprécision des méthodes. On trouvera ci-dessous un graphique illustrant ceci:



Classification en fonction des limites de confiance à intervalle semi-ouvert.



Classification en fonction des limites de confiance à intervalle semi-ouvert.

46

Il existe toutes sortes de tests statistiques permettant de quantifier le degré de certitude avec lequel on peut déterminer si la norme est dépassée ou non, dépendamment de la méthode de mesure, du nombre de tests effectués, de la fluctuation des concentrations, etc. etc. Nous n'entrerons pas dans les détails de ces tests, mais il est bon de savoir qu'un résultat tout nu ou une simple moyenne arithmétique de deux ou trois résultats peut ne pas vouloir dire grand chose en soi.

3.3.2 Echantillonnage personnel versus fixe.

Une des premières questions à se poser lorsqu'on veut échantillonner le milieu de travail, c'est si on doit mesurer les concentrations dans l'air ambiant ou dans la zone respiratoire par l'échantillonnage personnel.

L'échantillonnage de l'air ambiant convient bien pour l'évaluation de l'efficacité des systèmes de contrôle et du caractère toxique de telle opération industrielle.

L'échantillonnage personnel convient bien pour mesurer l'exposition du travailleur, notamment si ce dernier a un poste de travail mobile.

Ceci dit, pour toutes sortes de raisons, il est souvent intéressant de connaître les concentrations dans l'air ambiant même si ce que l'on cherche c'est la mesure de l'exposition du travailleur. Toutefois, ces données concernant l'air ambiant doivent toujours être interprétées à la lumière des durées d'exposition possibles du travailleur à ces endroits.

3.3.3 Calcul de l'exposition moyenne.

Pour le calcul de l'exposition, il faut toujours prendre soin de pondérer les valeurs trouvées en fonction de la durée. La formule est la suivante:

$$\frac{C_1 T_1 + C_2 T_2 \dots C_n T_n}{T_1 + T_2 + \dots T_n}$$

où C_2 = concentrations mesurées

T = durée d'exposition à chaque concentration

T ... T_n = habituellement 8 heures

Par exemple: Si à un poste de travail on a procédé à 4 échantillons de 2 heures, et on a eu les concentrations suivantes:

10 ppm pendant 2 heures
 12 ppm pendant 2 heures
 18 ppm pendant 2 heures
 5 ppm pendant 2 heures

On aura:

$$\frac{(10 \times 2)}{2} + \frac{(12 \times 2)}{2} + \frac{(18 \times 2)}{2} + \frac{(5 \times 2)}{2} = \frac{90}{8} = 11,2 \text{ ppm}$$

Si la norme est de 15 ppm, on dira que cette journée là, la norme était respectée (pourvu que statistiquement la précision de notre méthode de mesure et d'échantillonnage nous permette de le dire).

3.3.4 Conditions de travail lors de l'échantillonnage.

Il faut s'assurer la journée d'échantillonnage que les conditions normales minimales sont réunies à savoir:

- pas de bris majeur sur une partie de l'équipement;
- procédé régulier utilisé;
- température ambiante normale pour la saison;
- matières premières habituelles utilisées;
- pas de bris non habituel sur les systèmes de contrôle;
- etc.

Quant au travailleur lui-même que l'on choisit d'échantillonner, il doit accomplir sa tâche normale (pas d'excès de zèle, ni de traînage de pattes indu). Il faut éviter de choisir des nouveaux ou des remplaçants. Il faut aussi surveiller au cas où le ou les travailleurs, par toutes sortes de manoeuvres essaieraient de fausser les données.

VISITE PRELIMINAIRE

1. Connaissance du contexte politique, économique et social.....	43
2. Etude du procédé industriel	43
3. Détermination des contaminants à échantillonner.....	44
4. Estimation des variations de concentration.....	44
5. Voies d'entrée dans l'organisme.....	44

Visite préliminaire des lieux de travail

Avant de faire l'évaluation quantitative d'un milieu de travail, il est préférable d'effectuer une visite préliminaire des lieux afin de mieux déterminer les facteurs suivants:

1. Contexte politique, économique et social lors d'une intervention en hygiène industrielle.

Lorsqu'un hygiéniste industriel pénètre dans un milieu de travail, la plupart du temps ce n'est pas le fruit d'un hasard. La plupart du temps il se rend sur place suite, soit:

- à une demande des travailleurs
- à une demande de l'employeur
- à une demande du comité de santé-sécurité
- à une demande d'un organisme gouvernemental, ou para-gouvernemental (ex: CSST, association paritaire sectorielle, etc.)
- à une exigence légale (programme de santé et/ou de prévention)

Il peut aussi y aller pour des cas plus précis concernant certains postes spécifiques (par ex: lors d'une demande de retrait préventif, d'indemnisation pour maladie professionnelle ou pour un cas d'inspection) mais la plupart du temps il aura à évaluer l'ensemble des postes de travail d'une usine.

Il doit alors essayer de tâter le pouls du milieu de travail, déterminer si les relations patronales-ouvrières sont tendues, si on est à la veille d'un renouvellement de convention collective, si d'autres interventions ont eu lieu avant la sienne et quelle portée elles ont eues, etc. Tout cela doit lui servir à évaluer quelle est la volonté du milieu de vraiment vouloir améliorer les conditions de travail.

2. Etude du procédé industriel.

Avant même de mettre les pieds dans l'usine, il doit avoir déjà une bonne connaissance théorique du procédé: quelles sont les matières premières utilisées, quelles sont les transformations successives qu'elles subissent, quels sont les produits et les sous-produits de réaction, etc. Ceci afin de se faire déjà une idée sur les opérations critiques du point de vue santé au travail avant de visiter les lieux. Il est préférable d'avoir à sa disposition un schéma du déroulement du procédé ("flow chart of materials") et/ou un plan général de l'usine lorsqu'on fait la visite.

- 44
3. Examen des différents postes de travail pour déterminer les contaminants à surveiller.

Une fois dans l'usine, il faut identifier les tâches propres à chaque poste de travail et préciser les risques à la santé qui peuvent être associés à ces tâches ou à l'environnement.

Il faut également se faire une idée sommaire des moyens de contrôle déjà en place afin de déterminer si l'exposition du travail risque d'être importante ou faible.

4. Etude des données de production et discussion avec les travailleurs et contremaîtres pour estimer la variabilité des concentrations.

Il est primordial pour l'hygiéniste d'estimer la variabilité dans le temps de l'exposition. En effet, ce n'est pas tout d'identifier un contaminant potentiel à un poste de travail, encore faut-il déterminer si l'exposition est fréquente ou occasionnelle, si elle varie beaucoup d'une saison à l'autre, d'un mois, d'une semaine ou d'une journée à l'autre selon certains changements dans le procédé. Il faut également déterminer si à l'intérieur de la même journée les variations des concentrations sont importantes, réparties au hasard ou non, etc.

5. Voies d'entrée des contaminants dans l'organisme humain.

Une fois les contaminants identifiés et la variation des concentrations estimées, il faut déterminer sous quelle forme physique les contaminants risquent de pénétrer dans l'organisme. Car comme on l'a vu dans la section "classification des contaminants" cela aura de l'importance lors du choix des appareils de mesure et des méthodes d'échantillonnage. De plus cela influencera notre jugement sur la gravité de la situation.

En effet les principales voies d'entrée sont les suivantes:

- a) Absorption par la peau
- b) Ingestion par le canal digestif
- c) Inhalation par les voies respiratoires

Or, pour un même contaminant, sa toxicité variera selon la voie d'entrée. Sous forme liquide, il sera par exemple un peu absorbé par la peau. Mais si la température augmente, il sera sous forme de vapeurs et pourra amener une intoxication beaucoup plus importante du travailleur.

Généralement c'est par inhalation que les contaminants pénètrent le plus facilement dans l'organisme. Il faut donc se méfier dès qu'on a affaire à un aérosol.

STRATÉGIE D'ECHANTILLONNAGE

1. Durée et fréquence des mesures	46
1.1 But visé	46
1.2 Durée des mesures	48
2. Evaluation des travailleurs à risque maximum	49
3. Echantillonnage personnel vs fixe	49
4. Choix des instruments de mesure	50
5. Erreur d'échantillonnage et d'analyse	50
6. Interprétation des résultats	
6.1 Respect de la norme	53
6.2 Niveau d'action	53
6.3 Estimation du risque	54
6.4 Présentation des résultats	54
7. Conclusion	55

STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

1. Durée et fréquence des mesures

Pour le débutant en hygiène industrielle ou pour celui qui regarde de l'extérieur la situation, ce problème peut paraître simple. En effet on peut croire que mesurer l'exposition du travailleur consiste à se rendre au poste de travail avec un super appareil, appuyer sur le bouton, lire une donnée sur un cadran et... le tour est joué.

En réalité la valeur d'une telle mesure est habituellement très pauvre car dans le milieu de travail les concentrations varient beaucoup à l'intérieur d'une même journée, d'une même semaine, d'un même mois, etc. C'est un peu comme si à l'aide d'une seule mesure instantanée, une journée prise au hasard, on essayait d'évaluer la vitesse moyenne à laquelle roule chaque automobiliste qui passe devant nous.

La durée et la fréquence des mesures à effectuer est un problème primordial en hygiène industrielle, problème trop souvent négligé au profit de la sélection d'instruments de mesures de plus en plus sophistiqués.

1.1 But visé

Evidemment la durée et la fréquence des mesures va varier en fonction des buts visés. En effet ce n'est pas la même chose que de faire une visite d'inspection pour vérifier si la journée ou même à l'instant de nos mesures la norme était respectée que de déterminer, au cours de toute la carrière, d'un travailleur, jusqu'à quel point il a pu être surexposé au bruit lors de son travail. Le premier cas peut se comparer à l'agent de police qui vous arrête sur la route parce que vous dépassez la limite supérieure de vitesse permise. Il est inutile d'essayer d'argumenter avec lui que votre vitesse moyenne cette journée-là ou cette semaine-là respectait les limites. Le policier ne fait pas de différence entre le bon conducteur momentanément distrait et le chauffard invétéré.

Lorsqu'on vise à déterminer quelle est l'exposition habituelle ou moyenne d'un travailleur à un contaminant (en vue par exemple de déterminer les modes de contrôle nécessaire ou s'il doit être soumis à une surveillance médicale et à quelle fréquence, et.c) on ne mesure plus l'exposition mais le risque de surexposition. Qui dit risque, dit probabilité et fait donc intervenir la statistique.

En théorie, compte tenu du mode de distribution que l'on a, on peut déterminer le nombre d'échantillons nécessaire pour obtenir une bonne représentativité et à partir de ces données calculer des paramètres comme la moyenne, l'écart-type, les différences significatives avec une norme, la probabilité de dépasser une norme, etc., tout cela avec un niveau de confiance d'environ 95%.

Mais pour avoir des résultats valables nous aurions besoin d'un grand nombre (sûrement plus de trente) de mesures différentes à chaque poste de travail et bien que cette démarche serait très valable scientifiquement, cela équivaldrait à une paralysie importante des activités en hygiène industrielle. Car comme mentionné dans l'introduction le but final de l'hygiéniste n'est pas de mesurer les contaminants mais de les contrôler. Il est donc souvent nécessaire de sacrifier un peu du temps et de l'argent requis pour la mesure pour en consacrer davantage au contrôle.

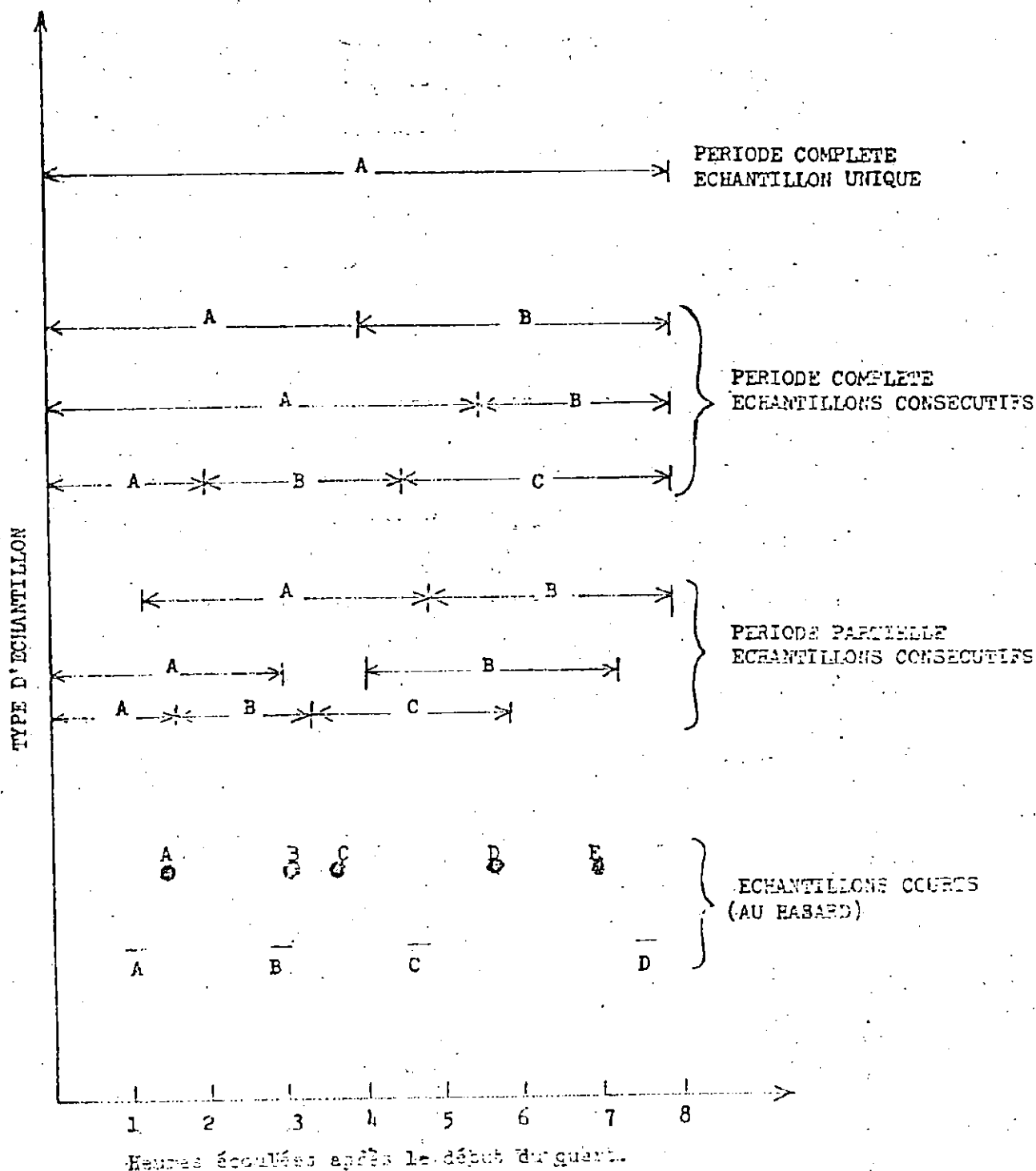
En pratique, dépendamment du but visé et de l'estimation qu'on aura faite de la variation des concentrations, on fera en général de deux à cinq mesures différentes réparties sur toute l'année pour chaque poste de travail. Plus la variation est importante plus le nombre de mesures sera important. De même plus notre intervention exigera une connaissance précise de l'exposition plus le nombre de mesures sera important. Finalement plus les moyens de contrôle mis en place seront efficaces, plus la variabilité des concentrations sera réduite et moins le nombre de prélèvements nécessaires sera important.

Très souvent, l'hygiéniste mettra à profit l'expérience des autres et par exemple à l'intérieur d'une région comme la nôtre si on compilait toutes les mesures effectuées par tous les hygiénistes concernant tel poste de travail (par exemple un opérateur de chargeuse-navette) dans tel type d'industrie (par exemple les mines d'or), on aurait une très bonne idée de l'étendue des valeurs possibles caractérisant ce poste de travail. On pourrait à l'aide de ces mesures calculer un indice de variabilité (tel l'écart-type géométrique) propre à ce poste de travail et à partir de là on aurait un outil en main pour nous permettre de porter un jugement sur la valeur de nos mesures. Faute de données de ce genre, beaucoup d'hygiénistes déterminent la fréquence des mesures à partir de leur jugement, essayant d'établir un compromis entre la précision recherchée et les possibilités pratiques qu'ils ont d'intervenir pour modifier un poste de travail dans telle industrie.

1.2 Durée des mesures

Dans le schéma suivant on a une description des différentes tactiques possibles pour évaluer une journée de travail de 8 heures, les deux extrêmes étant un échantillonnage continu pendant 8 heures et une série d'échantillons instantanés répartis au hasard

PROCEDURE D'ANALYSE DES DONNEES A ETRE UTILISEE



Quand on a le choix, la meilleure technique est celle des échantillons consécutifs (au moins deux) couvrant la période complète (8 heures).

2. Evaluation des travailleurs à risque maximum

Assez souvent, faute de temps et de moyens on ne peut pas faire une évaluation complète de tous les contaminants possibles à chaque poste de travail. A ce moment-là une tactique souvent employée est de sélectionner les travailleurs les plus fortement exposés et de n'échantillonner que ceux-là en se disant que s'il n'y a pas surexposition chez eux, les chances sont faibles de découvrir une surexposition chez les autres. Si les plus exposés présentent une forte surexposition on passe à ceux qui sont modérément exposés et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on ne découvre plus de surexposition.

La faiblesse de cette approche repose sur le fait que l'hygiéniste doit s'en remettre à son flair pour sélectionner les plus exposés et qu'il y a toujours un risque de ne pas découvrir tous les travailleurs les plus exposés.

Cette tactique n'est cependant pas utilisable lorsque l'exposition est à peu près homogène parmi un groupe d'employés. Il existe alors des tables statistiques déterminant le nombre de travailleurs (choisis au hasard) à échantillonner pour être certain (à 90 ou 95%) de ne pas échapper le ou les travailleurs les plus exposés. Malheureusement cette technique est avantageuse surtout pour de grands groupes (50 et plus) et dans notre région elle est peu utilisée. En pratique lorsque le nombre de travailleurs ne dépasse pas 4 ou 5, il est préférable alors d'échantillonner tous ces travailleurs.

3. Echantillonnage personnel vs fixe

Par échantillonnage personnel on entend que le travailleur porte sur lui l'instrument de mesure tout en effectuant sa journée normale de travail. Le fixe par contre consiste à installer l'appareil à un poste fixe pendant toute la durée de l'échantillonnage.

Dans le premier cas on aura une idée de l'exposition individuelle du travailleur cette journée-là alors que dans le second cas on aura une idée de la qualité du milieu de travail en général (ambiance générale).

Lorsque le but visé est d'évaluer l'exposition du travailleur l'échantillonnage personnel est la méthode de choix. Cependant cela n'élimine pas pour autant l'échantillonnage fixe.

En effet il est parfois beaucoup plus pratique de pratiquer l'échantillonnage fixe (par ex. lorsque l'instrument de mesure gêne considérablement le travailleur ou lorsque ce dernier risque fortement d'abîmer l'appareil de mesure ou l'échantillon au cours de son travail) même lorsque le but visé demeure la quantification de l'exposition du travailleur.

A ce moment-là il faudra installer simultanément des appareils aux principaux endroits de travail de l'employé et noter la fréquence et la durée de ses déplacements à chaque endroit. Les résultats seront ensuite à pondérer en fonction des durées d'exposition à chaque endroit. Cette technique cependant devrait être considérée uniquement comme solution de rechange (lorsque l'échantillonnage personnel n'est pas recommandable) car elle est moins précise et valide.

4. Choix des instruments de mesure

Il existe deux grandes classes d'instruments:

1. Les appareils à lecture directe
2. Les instruments à prélèvement subséquent analysés en laboratoire.

Il y a des avantages et inconvénients à l'utilisation de l'un ou l'autre type d'instrument. Lorsque possible l'hygiéniste préférera combiner l'utilisation des deux types d'instruments, les avantages de l'un compensant souvent les inconvénients de l'autre et vice-versa.

Le but visé lors du choix des instruments devrait être d'accroître la précision de la mesure.

Cette section sera vue plus en détail lors des chapitres traitant de l'échantillonnage de chaque contaminant.

5. Erreur d'échantillonnage et d'analyse

Lorsque l'on tente à l'aide de quelques mesures de concentration d'un contaminant de déterminer quelle est l'exposition d'un travailleur, on fait ce que l'on obtient c'est un estimé de l'exposition réelle à partir d'un échantillon.

Lorsque l'on veut comparer la moyenne des résultats de nos mesures avec la norme, pour décider si cette dernière est dépassée ou non, on a un problème car notre moyenne n'est qu'un estimé de l'exposition réelle. Cependant grâce à la statistique nous pouvons évaluer la

précision de notre estimé compte tenu de la variation qu'on retrouve dans nos mesures. Une des façons de faire est de calculer les intervalles de confiance autour de notre moyenne. L'intervalle de confiance consiste à déterminer avec un degré de certitude connu (90,95 ou 99%) que la vraie moyenne d'exposition du travailleur se situe entre telle et telle limite (supérieure et inférieure à notre moyenne d'échantillonnage).

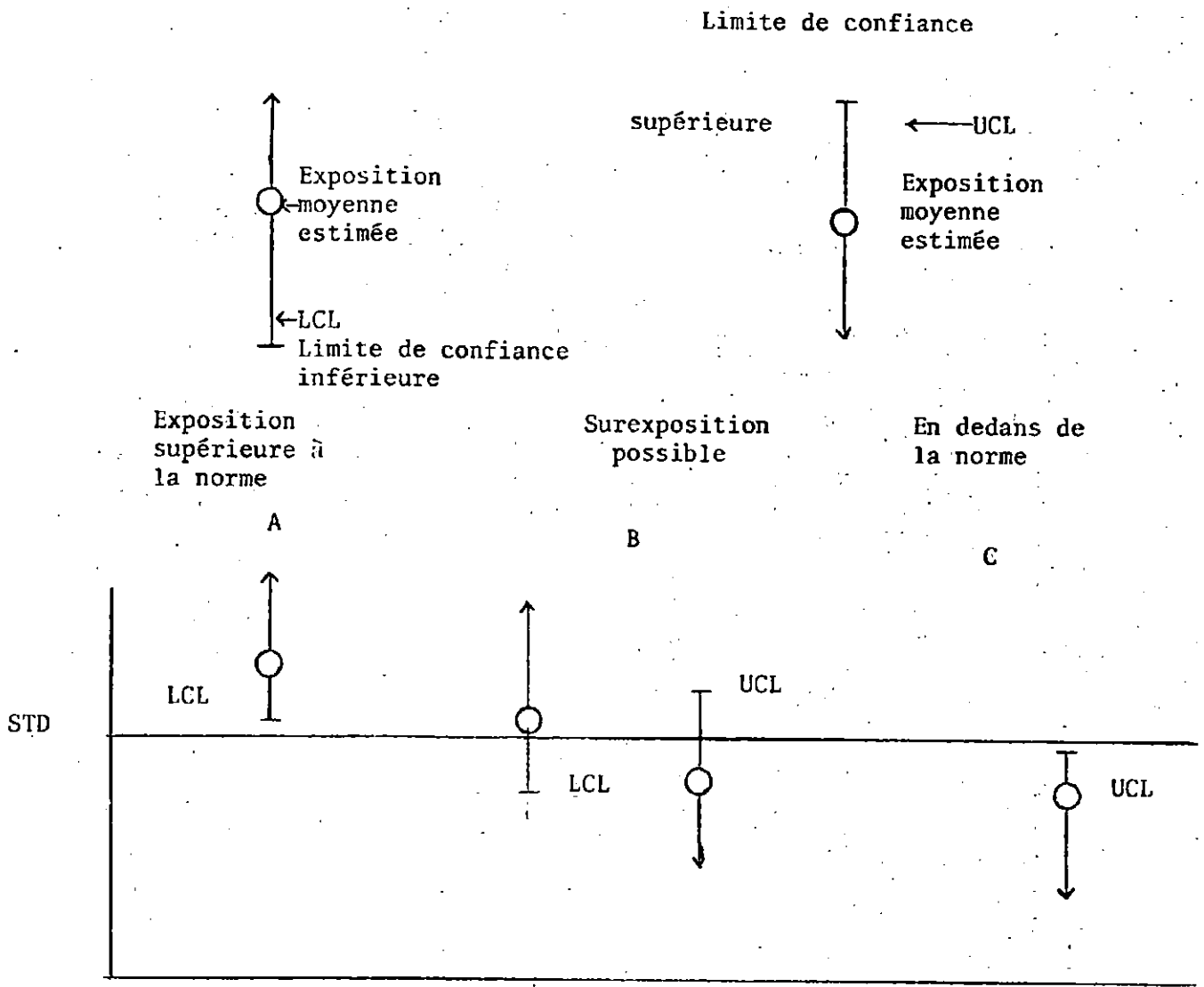
Donc lorsque nous comparons nos résultats avec la norme et que nous voulons nous assurer que la norme a été dépassée nous comparons cette dernière avec la valeur correspondant à la limite de confiance inférieure de notre moyenne. Lorsque au contraire nous voulons nous assurer que la norme n'a pas été dépassée, nous la comparons avec la limite de confiance supérieure de notre moyenne. Il existe des formules statistiques simples permettant de faire ces calculs qui débordent les préoccupations de ce cours.

Cependant la précision de l'estimation n'est pas le seul problème à considérer et c'est la variation due à notre propre méthode d'échantillonnage. En effet aucune méthode de mesure n'est parfaite et il y a toujours une certaine marge d'erreur qui y est associée c'est ce qu'on appelle l'erreur d'échantillonnage. Heureusement celle-ci peut se calculer et on peut interpréter nos résultats en en tenant compte.

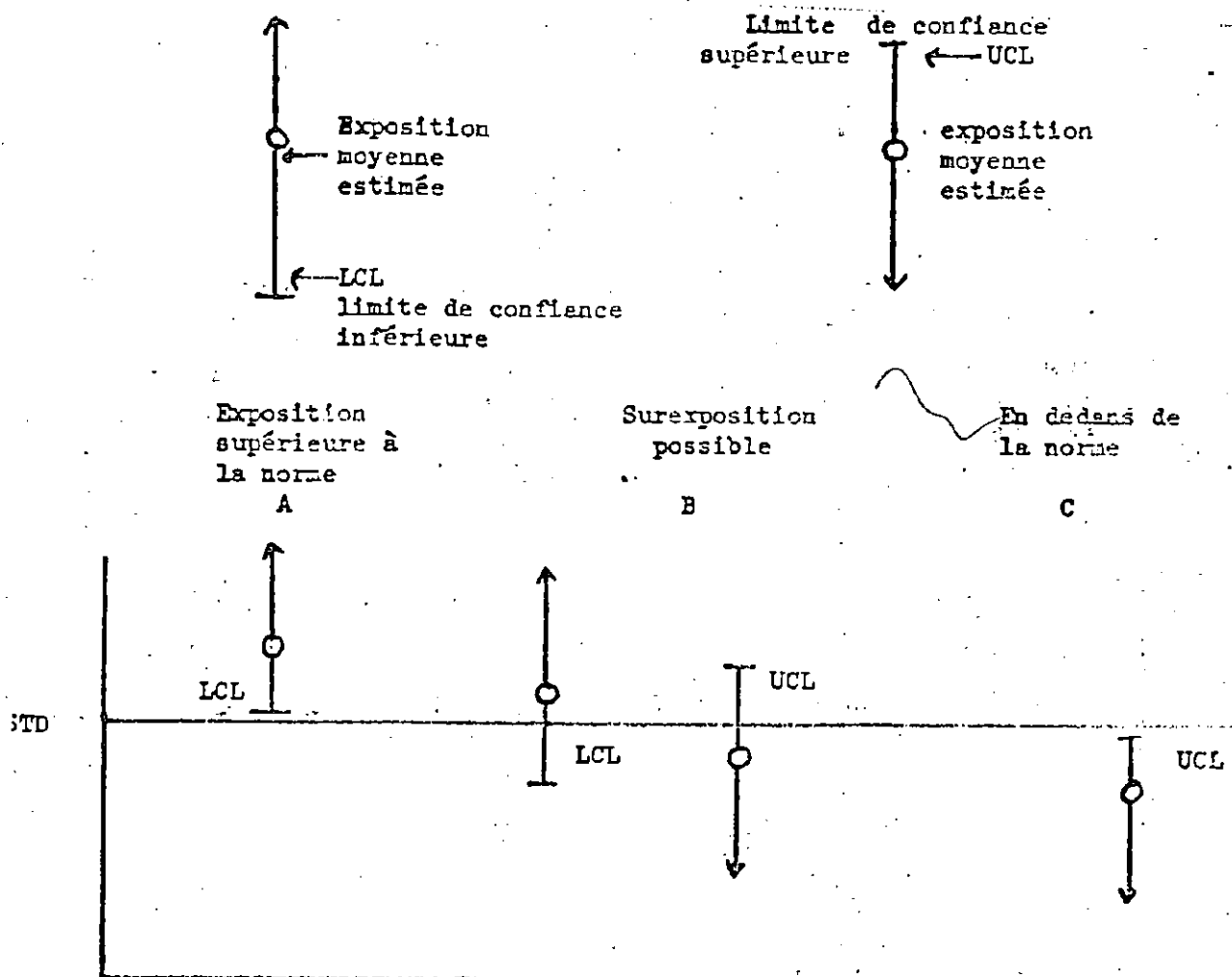
Une des façons d'exprimer l'erreur d'échantillonnage, c'est le coefficient de variation. Aux U.S.A. un grand effort a été déployé pour calculer des coefficients de variation standard pour différentes méthodes de mesure de contaminants spécifiques. Inutile de préciser que ces coefficients de variation ne sont valables que si on respecte intégralement les exigences techniques et la procédure requise pour effectuer tel ou tel type de prélèvement ou analyse. Pour la plupart des méthodes d'analyse et d'échantillonnage les coefficients de variations varient entre 5 et 10%.

Lorsqu'on calcule nos intervalles de confiance supérieurs et inférieurs et lorsqu'on fait tout autre genre de calcul statistique à l'aide de nos données, il faut toujours tenir compte de l'erreur d'échantillonnage.

Dans le graphique suivant, on a une représentation de ce que pourrait donner un schéma de décision basé sur les intervalles de confiance.



Classification en fonction des limites de confiance à intervalle semi-ouvert.



Classification en fonction des limites de confiance à intervalle semi-ouvert.

6. Interprétation des résultats

6.1 Respect de la norme

Une des formes les plus répandues de l'interprétation est de comparer les résultats obtenus à chaque poste de travail avec la norme permise pour tel contaminant, décidant en fait si la norme (légale ou non) est respectée à tel ou tel poste de travail.

Nous avons discuté précédemment des limites que nous imposaient l'estimation que nous faisons des vraies concentrations. En effet les résultats que nous obtenons après une, deux ou même cinq mesures ne sont qu'un reflet plus ou moins fidèle de la vraie concentration à laquelle le travailleur est exposé. De plus nos résultats sont entachés de l'erreur d'échantillonnage.

Nous estimons donc qu'au minimum, lorsqu'on interprète les résultats en fonction d'un respect de la norme, on devrait calculer les intervalles de confiance de nos mesures (en incluant l'erreur d'échantillonnage dans nos calculs).

6.2 Niveau d'intervention ("action level")

Compte tenu de tout ce qui a été dit précédemment concernant la grosseur de l'échantillonnage (fréquence et durée des prélèvements), de l'imprécision relative de nos estimés de la vraie concentration et de l'erreur de mesure, il peut sembler assez décourageant ou du moins assez exténuant de vouloir quantifier l'exposition moyenne à plusieurs postes de travail dans une grosse entreprise.

C'est pourquoi beaucoup d'hygiénistes ont recours à une solution commode qui consiste à se donner une grosse marge de manoeuvre lors de l'interprétation des résultats. L'une des façons de faire les plus courantes c'est de se déterminer un niveau d'intervention correspondant à un résultat d'échantillonnage se situant à la moitié de la norme.

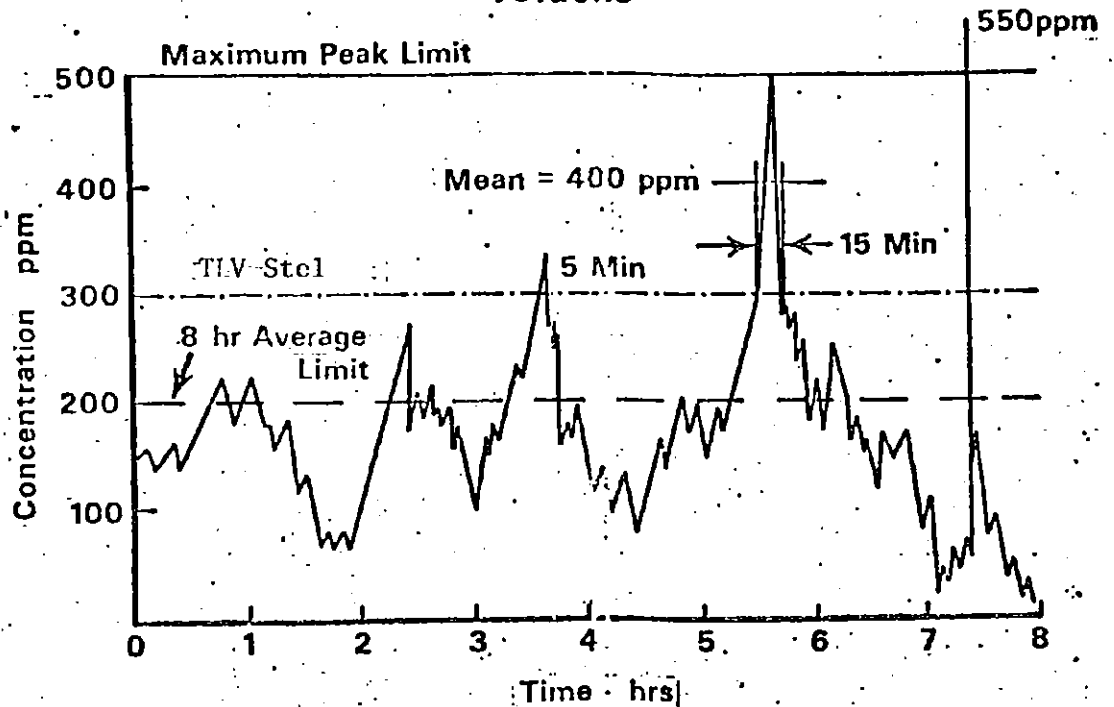
En effet certains statisticiens ont calculé que si l'on a les plus faibles variations dans les concentrations que l'on peut retrouver dans les milieux de travail en général, pour prouver statistiquement que la norme est respectée, il faudrait que la valeur d'exposition que l'on mesure une certaine journée prise au hasard soit égale ou inférieure à la moitié de la norme. C'est donc dire que dans la plupart des milieux de travail, là où la variabilité est beaucoup plus forte, il faudrait mesurer des concentrations équivalentes au 1/3 ou même au 1/10 de la norme pour être certains que la norme soit respectée.

Exposition moyenne pour huit heures, avec limite à ne pas dépasser pour de courtes périodes et limite à ne jamais dépasser.

Valid Representative Air Samples

Ceiling and Peak Limits

Toluene



Dans cet exemple, la limite à ne pas dépasser pour 15 minutes pour le toluène est dépassée, alors que la valeur plafond et la norme pour 8 heures sont respectées.

Les notes de l'annexe «A» du règlement relatif à la qualité du milieu de travail reprennent succinctement les définitions américaines.

ANNEXE «A»

Concentrations admissibles de gaz, poussières, fumées, vapeurs ou brouillards dans le milieu de travail;

TLV

Notes:

- 1) la concentration moyenne se calcule par des échantillonnages multiples où continus d'une durée totale d'au moins 2 heures ou par 5 échantillons de la durée prescrite dans l'ouvrage visé à l'article 13 du présent règlement, les dits échantillonnages étant répartis uniformément à l'intérieur d'une période de temps de 8 heures dans une journée de travail;
- 2) la concentration maximale se calcule sur 15 minutes consécutives;
- 3) l'expression «m.p.p.p.c.» signifie «million de particules par pied cube d'air»;
- 4) la lettre «P» indique une valeur-plafond à ne jamais dépasser pour quelque durée de temps que ce soit;
- 5) la lettre «T» indique une substance dont la toxicité est percutanée, c'est-à-dire qu'un travailleur l'absorbe d'abord par la peau;
- 6) l'expression «p.p.m.» signifie «partie par million»;
- 7) l'expression «mg/m¹» signifie «milligramme par mètre cube d'air»;
- 8) la lettre «C» indique une substance cancérigène.

TLV-TWA

TLV-STEL

TLV-C

2.1.3 L'interprétation des TLV par rapport aux effets biologiques.

Le «Département of Labor» en développant le programme OSHA (équivalent du service de l'inspection chez nous) a considéré l'effet de chaque contaminant et a établi des catégories d'infractions;

Malheureusement, beaucoup de gens, dont le service d'inspection du gouvernement fédéral américain utilisent la valeur de la moitié de la norme pour tous les milieux de travail, quelle que soit leur variabilité. C'est un genre de compromis que ces gens font entre les exigences statistiques et les contraintes du travail pratique sur le terrain.

Le gros avantage du niveau d'intervention c'est qu'il permet de distinguer rapidement, parmi l'ensemble des postes de travail d'une usine, lesquels ont besoin d'échantillonnage supplémentaire et lesquels n'en ont pas besoin de là son utilisation assez répandue.

Cependant utilisé sans discernement c'est une arme à double tranchant, sur-protégeant certains travailleurs et sous-estimant le risque pour d'autres.

6.3 L'estimation du risque

Comme il a été mentionné au début de cette section lorsque le but final de l'évaluation d'un milieu de travail est de déterminer les postes de travail les plus exposés aux contaminants au cours d'une année de travail, l'hygiéniste n'essaiera pas tant de mesurer très précisément l'exposition que de mesurer le risque de surexposition.

La mesure du risque est en fait une probabilité, qui s'exprime souvent sous la forme: probabilité d'un dépassement de la norme et qui peut être calculée statistiquement si on a un nombre de prélèvement décents.

Il n'y a rien de honteux à mesurer un risque de surexposition plutôt que l'exposition comme telle si l'on connaît bien les limites de sa mesure. En effet, mieux vaut un bon estimé du risque qu'une quantification précise mais aberrante de l'exposition.

L'estimation du risque a l'avantage de situer sur un "continuum" tous les postes de travail d'une entreprise permettant de les comparer les uns avec les autres (ce qui ne peut faire un interprétation basée uniquement sur le niveau d'action de la moitié de la norme). Cependant cette procédure a le désavantage de requérir beaucoup plus de mesures et n'est donc pas à la portée de tous les hygiénistes.

6.4 Présentation des résultats de l'échantillonnage

Il est évident que de présenter sèchement les résultats, sans explications ni commentaires limitera beaucoup la portée d'une évaluation d'un milieu de travail. Cependant tout rapport si succinct soit-il, devrait comporter les éléments suivants:

- Objet de l'étude
- Description des méthodes utilisées
- Estimation de la précision des méthodes et notes sur la représentativité des mesures
- Résultats obtenus (copie des analyses de laboratoire en annexe)
- Interprétation.

Conclusion

Si nous essayons de dégager les points majeurs d'une stratégie d'échantillonnage, nous relevons:

- ✓ 1° La valeur d'une seule journée d'échantillonnage pour quantifier l'exposition habituelle à un poste de travail est très contestable.
- ✓ 2° La variabilité des concentrations à un poste de travail doit déterminer le nombre et le moment et la durée des prélèvements requis.
- 3° Habituellement on doit faire un compromis entre la précision recherchée et les moyens pratiques que l'on a à sa disposition. Différentes tactiques permettent parfois de diminuer le nombre de prélèvements requis.
- 4° La précision et la validité des mesures dépendront de la qualité et du type d'échantillonnage choisi.
- 5° Lors de l'interprétation des résultats, il faudrait toujours bien établir les limites de nos mesures tant du point de vue statistique (intervalle de confiance) que du point de vue des méthodes de mesures (erreur de mesure).
- ✓ 6° L'interprétation des résultats ne devrait pas se limiter à une simple comparaison avec la norme lorsque le but visé est de déterminer l'exposition habituelle de travailleurs à un contaminant.

CENTRE HOSPITALIER ROUYN-NORANDA
DÉPARTEMENT DE SANTÉ COMMUNAUTAIRE

PETIT GUIDE PRATIQUE D'ÉCHANTILLONNAGE

Par: Daniel Gagné et
Alain Mayer

MAI 1983

A- Echantillonnage

1) Avant

Se faire une "check-list" avant de partir échantillonner et vérifier tout ce qu'on a à amener:

ex: -filtres appropriés: PVC
ECM
Ag
Teflon
Amiante
etc..

-tubes: charbon activé
gel de silice

-pompes à poussières: MSA
Bendix
autres

-pompes à bas débit

-tubes tygon: c attaches pour collets

-trousse d'outils: tubes détecteurs et pompe
sonomètres
dosimètres
thermoanémomètre
poire à fumée
instruments à lecture directe, etc...

Lorsqu'on quitte les lieux d'échantillonnage, vérifier notre "check-list" pour s'assurer qu'on a ramené tous les instruments que l'on avait apportés.

2) Pendant

Vérifier les points suivants à plusieurs reprises au cours de l'échantillonnage:

- la boule du rotomètre
- les raccords des tuyaux tygon avec la pompe et le filtre
- la cassette, s'il n'y a pas subitement une grosse augmentation de la poussière
- si la galette sur le filtre ne s'est pas décollée

Pour les dosimètres:

- vérifier la batterie
- vérifier le compteur de dose pour les augmentations subites

3) Après

- manipulation délicate de l'échantillon prélevé (s'il s'agit d'un filtre, bouchon rouge sur le dessus)
- information auprès du travailleur si les opérations furent normales.
- s'il existe des feuilles de production, en prendre note, comparer avec une production normale (contremaître)
- s'informer s'il y a eu des opérations anormales dans un autre département qui ont pu influencer le département étudié.
- trousse d'outils

Chaque équipe locale devrait se munir d'une petite trousse d'outils contenant les éléments suivants:

- 1 paire de pinces à long nez
- 1 rouleau de broche (style fil de laiton)
- 1 rouleau de ruban gommé style d'électricien
- 1 kit de tournevis (étoile, plat, carré) ordinaire
- 1 kit de tournevis miniature
- 1 ruban à mesurer (métrique et anglais de préférence)
- 1 couteau de poche
- des batteries de rechange non rechargeables pour sonomètres, dosimètres
- des bouchons de filtre de filtres à poussière et pour tubes de charbon de bois
- du papier parafilm pour les barboteurs et des sacs de plastique autoscellants
- des bouteilles de téflon pour les échantillons de procédés

Vous pourrez compléter selon vos habitudes et dadas de travail personnels.

**FORMATION PRATIQUE
SUR LA MESURE DU BRUIT**

**par: Daniel Gagné
Hygiène industrielle
Département de santé communautaire
Centre hospitalier Rouyn-Noranda
Septembre 1983**

fin de :

INITIATION AUX METHODES
DE DEPISTAGE ET DE SURVEILLANCE AUDIOMETRIQUES
EN USINES BRUYANTES

Raymond Hétu Ph.D.
Professeur d'Audiologie
Faculté de Médecine

Université de Montréal

Daniel Gagné M. Sc. (APPL.)
Audiologie industrielle
DSC ROUIN-NORANDA

Introduction

A) Importance de l'audition.

Très peu de gens, d'organismes ou d'institutions se sont préoccupés jusqu'à maintenant de la prévention de la surdité professionnelle. Pourquoi? Une des raisons est sans doute que ses manifestations sont fort mal connues. La surdité n'est pas une perturbation aussi évidente que la cécité, par exemple, et tout le monde sait que l'on perd une certaine sensibilité auditive avec l'âge.

Ainsi, il apparaît inévitable et presque normal que son audition "vieillisse avec l'âge" lorsque l'on travaille dans des usines comme les scieries, en l'occurrence.

Comment peut-on décrire justement les symptômes ou manifestations de la surdité professionnelle.

- (1) La première de toute est la présence d'acouphènes, c'est-à-dire le sifflement ou bourdonnement dans les oreilles après l'exposition au bruit. Ces acouphènes sont généralement intermittents au début, mais deviennent de plus en plus persistants et intenses. Ils sont particulièrement gênants lorsqu'il n'y a pas de bruit, comme c'est généralement le cas la nuit; chez certains ils perturbent nettement le sommeil.
- (2) La deuxième manifestation, dans l'ordre chronologique, est l'apparition d'une surdité partielle pour les sons très aigus. La plupart des travailleurs ne s'en rendent pas compte à ce stade, si ce n'est pas la manifestation suivante.
- (3) En effet, la surdité pour les aigus s'accompagne de problèmes de discrimination dans le bruit; un bruit ambiant, dès qu'il est assez fort pour que le sujet l'entende, lui apparaît plus intense que chez un auditeur normal. Ces bruits (exemple: des bruits de conversation dans une rencontre sociale, une musique de fond, etc...) l'empêchent d'entendre certains sons en particulier lorsqu'ils peuvent prendre deux (2) sens (par exemple: il confondra "six" et "dix" "deux" et "dix", etc...) Ce problème peut être non seulement gênant mais dangereux en véhicule automobile ou dans une situation de risque à l'usine.
- (4) Si la personne continue à être exposée au bruit industriel, le problème de discrimination s'accroît et s'accompagne d'une surdité partielle pour des sons moins aigus, utilisés très souvent pour la parole. D'une part, il fera répéter très souvent ce qu'on lui dit (en particulier s'il y a du bruit dans l'environnement), ce qui devient très ennuyeux. D'autre part, il entendra très mal ce qu'on lui dit si on lui parle à une certaine distance (trois (3) pieds et plus).

Ces deux (2) handicaps ont pour effet de provoquer un certain retrait chez la personne atteinte d'une telle surdité. Plutôt que "d'embêter" son entourage et parcequ'il ne sait pas de quoi on parle à quelques distances de lui, il se referme. Ce retrait constitue souvent une sorte progressive de contact avec le monde, et ce, avec toutes les conséquences psychologiques que cela comporte.

- (5) Pour certains, ces problèmes devraient être éliminés par le port d'une prothèse auditive. Mais ce n'est pas aussi simple que dans le cas de la vue malheureusement. En effet, la prothèse auditive est une mini-chaîne d'amplification d'assez mauvaise qualité; ce n'est pas de la haute fidélité. D'autre part, tous les bruits lorsqu'amplifiés, deviennent très agressifs; ils apparaissent trop fort la plupart du temps.

Rappelez-vous que le bruit de fond est déjà plus fort pour un sujet atteint de surdité professionnelle que pour une personne normale, et ce, sans prothèse. Qu'est-ce que c'est avec la prothèse! Autrement dit, le port de la prothèse requiert une adaptation très difficile que plusieurs ne parviennent pas à faire. Et, pour certains, elle n'est tout simplement pas supportable.

Donc, la surdité professionnelle est irréversible, incurable et irréparable. Il faut la prévenir.

B) Aspects économiques et légaux du problème de la surdité professionnelle.

Depuis quelques années, des lois provinciales ou nationales imposent des limites à l'exposition au bruit industriel. L'application des normes suppose à long terme l'installation d'une variété d'équipements et de dispositifs servant à réduire le bruit à la source, c'est-à-dire au niveau de la machine qui le produit.

Cette intervention est généralement coûteuse, surtout si elle est faite lorsque les machines sont déjà en fonctionnement. C'est pourquoi les entreprises tendent à retarder le recours à diverses solutions techniques.

Cependant, si l'audition des travailleurs n'est pas protégée contre les expositions excessives au bruit une autre loi peut intervenir, soit la Loi des Accidents du travail. C'est alors la surdité professionnelle des ouvriers qui devient un coût important en terme d'indemnisation pour incapacité partielle.

A titre d'exemple, la Commission des accidents du travail peut verser à un travailleur affecté d'une surdité partielle une compensation annuelle de \$5000.00. On estime qu'environ 5% de la population ouvrière est susceptible de souffrir d'une surdité indolore. Le coût à la collectivité, bien qu'encre encore insoupçonné, est extrêmement lourd et justifie largement, l'application d'autres moyens que la réparation monétaire, voire la réduction du bruit dans l'industrie.

c) Moyens de prévention de la surdité professionnelle.

Prévenir la surdité c'est limiter l'exposition aux bruits dangereux pour l'audition.

La première démarche pour la prévention de la surdité est évidemment l'évaluation des conditions d'exposition au bruit: c'est-à-dire, la mesure des diverses caractéristiques physiques du bruit (niveau sonore, durée d'exposition etc) pour les différents postes de travail. De cette première analyse (généralement effectuée par un ingénieur, ou un hygiéniste industriel ou encore un audiologiste industriel) les principales sources de bruit sont identifiées et les risques pour l'audition sont connus avec une précision plus ou moins grande selon la finesse des mesures. Connaissant le problème du bruit, trois (3) grands moyens d'intervention peuvent être envisagés:

1. La réduction du bruit à la source soit par modification de la machine qui produit le bruit ou en contenant l'énergie sonore autour de la machine (en enfermant celle-ci dans un enclos approprié).
2. La modification des voies de transmission du son, en traitant les parois (murs, plancher et plafond) pour qu'ils réfléchissent moins l'énergie sonore produite par la machine.
3. La protection du travailleur contre le bruit, en utilisant un écran ou un enclos approprié autour du poste de travail ou en exigeant que le travailleur porte des bouchons ou des coquilles anti-bruit ou enfin, en limitant la durée quotidienne d'exposition au bruit excessif. Mais:
 - très souvent un seul de ces moyens ne suffit pas à limiter le bruit à un niveau qui soit inoffensif;
 - par ailleurs, il y a beaucoup d'incertitude quant à l'efficacité des protecteurs personnels (coquilles et bouchons anti-bruit) pour des raisons que nous verrons plus loin;
 - même si on limite la dose de bruit à celle qui est tout juste conforme avec la loi (90 dBA-8 heures par jour), nous ne sommes pas assurés de la protection de tous les travailleurs. En effet et surtout pour une exposition à un même bruit pendant un même nombre d'années, un travailleur peut ne montrer aucune surdité significative alors qu'un autre souffrira d'une perte auditive importante.

Le seul moyen de savoir si l'audition d'un travailleur est en danger, c'est de mesurer périodiquement son acuité auditive. Si au cours des premières années d'exposition au bruit, sa capacité auditive diminue, il y a un risque réel que cette personne souffre plus tard d'une difficulté à comprendre une conversation de tous les jours; cette personne devra donc faire l'objet d'une protection accrue.

En conclusion, la surveillance audiométrique est le seul moyen de vérifier si les ouvriers sont effectivement protégés contre l'effet du bruit.

2- Initiation aux caractéristiques physiques des sons

Les données qui suivent visent à vous communiquer une notion intuitive des principaux concepts physiques de l'analyse des sons. Il ne s'agit pas d'un cours d'acoustique.

A) La nature du son:

Pour que le son puisse se propager, il a besoin d'un milieu (l'air ou un autre gaz ou encore un solide); autrement dit, dans le vide, il ne peut y avoir de sons.

En effet, un son peut se propager si le milieu est

- compressible (comme dans un pneu ou une chambre à air)
- et élastique (si on enlève la force qui comprime, l'air reprend son volume normal comme au moment d'une crevasse)

Le son, c'est une onde de pression qui se déplace dans un milieu compressible élastique. Représentons-nous, comme exemple d'une source sonore, une lame d'acier fixée à une extrémité (Figure 1).

a) Si l'autre extrémité est éloignée de sa position naturelle d'équilibre puis lâchée, la lame va osciller entre deux (2) positions.

b) A l'instant juste avant de lâcher la lame, l'air à droite de la lame est à la pression atmosphérique, les molécules d'air sont réparties de façon régulière.

c) Dans son mouvement vers la droite, la lame entraîne l'air qui est à son contact. Cette couche d'air est comprimée.

d) La pression dans la couche d'air comprimée étant plus forte que dans l'atmosphère environnante, les molécules de cette couche poussent sur la couche suivante et lui transmettent leur mouvement. Donc l'augmentation de la pression par rapport à la pression atmosphérique se propage.

e) Quand la lame revient vers la gauche, la couche d'air immédiatement adjacente (à sa droite) est raréfiée. Il y a dépression par rapport à la pression atmosphérique.

f) La couche de rarefaction suit la couche de compression dans son déplacement vers la droite. Donc la lame oscillant entre deux (2) positions d'équilibre, il y a une succession d'ondes de pression et de dépression qui se propagent.

C'est cette "vague" de compression (compression - rarefaction) qui constitue le son.

Dans l'air, cette vague se déplace à une vitesse d'environ 1100 pieds à la seconde.

2—PHYSICAL CHARACTERISTICS OF SOUND

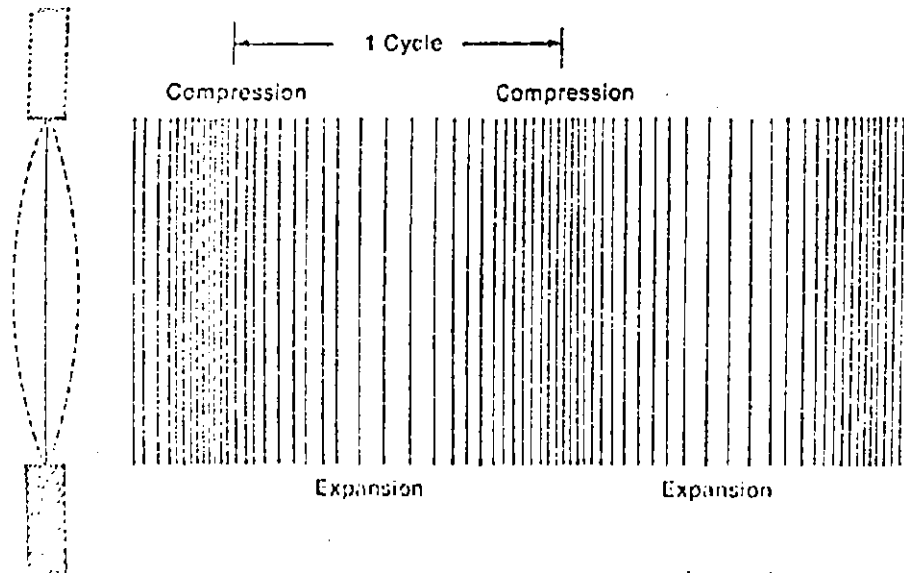


fig. 1a)

Représentation des phases successives de compression et d'expansion des molécules d'air produite par les vibrations d'une lame de métal.

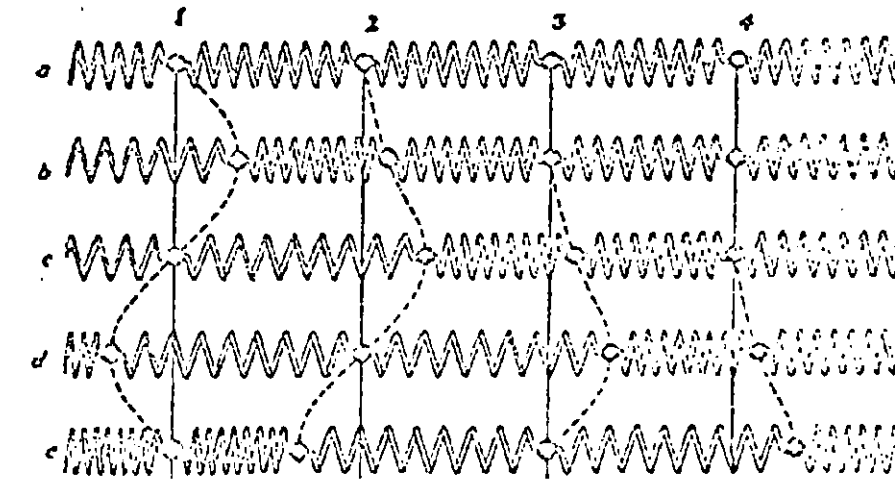


fig. 1b)

Une illustration du mouvement des molécules d'air. La boule noire représente les molécules et les ressorts représentent l'élasticité de l'air. Si on imprime un mouvement périodique aux boules de la colonne 1 (rattachées ensemble par une corde), un mouvement similaire sera déclenché dans les colonnes 2 à 5, mais avec un déplacement de l'onde (ici vers le bas de la figure). Ceci explique comment le son voyage dans l'espace.

B) Fréquence du son:

Supposons que l'on mesure la pression de l'air à un endroit précis du cylindre pendant un mouvement de va-et-vient à un rythme de cinquante (50) fois à la seconde, qu'enregistrerons-nous en fonction du temps? (Figure 2)

La pression sera tantôt plus grande tantôt plus petite que la pression atmosphérique. La pression passe cinquante (50) fois à la seconde;

- de la pression atmosphérique à une pression maximale.
- puis à nouveau à la pression atmosphérique et de là à une pression minimale.
- et enfin à nouveau à la pression atmosphérique.

Cette succession correspond à un cycle de vibrations (un cycle compression - rarefaction).

Le nombre de cycle vibratoire par seconde s'appelle la fréquence et son unité de mesure est le Hertz (Hz)

ex: 50 c. ps = 50 Hz
100 C. ps = 100 Hz

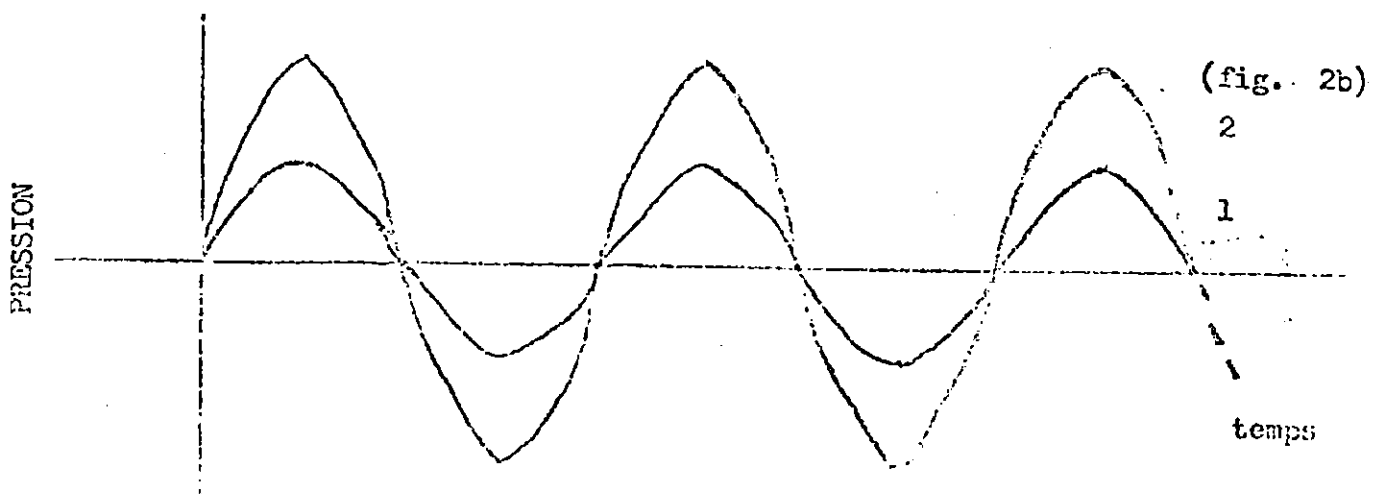
Plus la fréquence du son est élevée (50, 100, 1000, 10,000 Hz) plus le son est aigu et inversement. Mais les sons les plus aigus que nous puissions entendre ne dépassent pas 20,000 Hz.

On appelle ultra-sons, les vibrations dont la fréquence est supérieure à 20,000 Hz.

De même, les sons les plus graves que nous puissions entendre ne descendent pas en bas de 20 Hz. On appelle infra-sons, les vibrations dont la fréquence est inférieure à 20 Hz.

Force du son : le décibel:

Comment qualifie-t-on la force des sons? Reprenons l'exemple de la lame d'acier. Si la force appliquée à la lame est petite, les variations cycliques de pression de l'air seront petites (1). Si cette force est grande les variations de pression seront grandes (2).



La force d'une source sonore est souvent caractérisée par l'amplitude (la grandeur) de la variation de pression.

L'autre façon de mesurer la force de l'onde, c'est en mesurant la puissance (l'intensité) de la source qui produit le son.

Le problème qui se pose alors est qu'entre la plus petite intensité ou variation de pression que nous puissions entendre et l'intensité capable de donner une sensation de douleur aux oreilles, il y a une variation de l'ordre de 1 à 1 milliard. Autrement dit, entre le son le plus faible et le son le plus fort que nous puissions entendre, il y a une telle marge de variations, que les chiffres deviennent très encombrant. C'est pourquoi les physiciens ont eu recours à une échelle logarithmique,

$$\text{niveau d'intensité} = \left(\log_{10} \frac{I_1}{I_0} \right) \text{ bels}$$

où I_0 = intensité de référence (correspondant à la plus petite intensité que nous puissions entendre)

I_1 = intensité mesurée

ex: $\frac{I}{I_0} = 10 \rightarrow \log 10 = 1 \text{ bel}$

$$\frac{I}{I_0} = 100 \rightarrow \log 100 = 2 \text{ bels}$$

$$\frac{I}{I_0} = 1000 \rightarrow \log 1000 = 3 \text{ bels}$$

Mais comme cette nouvelle échelle de mesure exagérât dans l'autre sens (elle comprimait trop les valeurs) elle a été divisée en dixièmes de bels, qu'on a appelé décibels;

$$\text{si } \frac{I}{I_0} = 2 \quad 10 \log 2 = 3 \text{ dB}$$

$$\text{si } \frac{I}{I_0} = 10 \quad 10 \log 10 = 10 \text{ dB}$$

$$\text{si } \frac{I}{I_0} = 100 \quad 10 \log 100 = 20 \text{ dB}$$

$$\text{si } \frac{I}{I_0} = 1000 \quad 10 \log 1000 = 30 \text{ dB}$$

Autrement dit si l'on double la puissance d'une source sonore ($P_2 = 2P_1$) on augmente l'intensité de 3 dB;

-ou si l'on veut réduire de 10 dB l'intensité d'une source, cela veut dire qu'on divise sa puissance par 10 (10 fois moins de puissance)

-une intensité de 80 dB est 100 fois plus élevée qu'une intensité de 60 dB et 1000 fois plus élevée qu'une intensité de 50 dB.

Une dernière subtilité: l'intensité sonore est proportionnelle au carré de la pression sonore.

$$(I \propto P^2)$$

Le niveau de pression sonore en décibel (NPS)

$$NPS = 10 \log \left(\frac{P}{P_0} \right)^2 \text{ dB}$$

$$NPS = 20 \log \frac{P}{P_0} \text{ dB}$$

Cette expression signifie qu'en doublant la pression sonore ($P_2 = 2P_1$) on augmente le NPS de 6 dB (et non pas 3 dB comme en intensité). De même si $P_2 = 10P_1$ on augmente le NPS de 20 dB et si $P_2 = 100P_1$ on augmente le NPS de 40 dB. Maintenant, considérons quelques exemples de mesure de pression sonore.

Ondes complexes:

Jusqu'ici, il a été question d'une onde sonore simple (d'une seule "vague" de compression - rarefaction); il s'agissait d'un son pur, caractérisé par une seule fréquence. Le son pur est le phénomène élémentaire en acoustique (comme les lettres dans un texte).

Dans la réalité, les sons comportent plusieurs fréquences à la fois, et s'appellent sons complexes. (fig. 3).

On distingue des sons complexes périodiques, lorsque leur forme se répète dans le temps de façon périodique, (c'est le cas des sons produits par des instruments de musique, par exemple). Lorsque la forme de l'onde sonore fluctue au hasard dans le temps, il s'agit d'un son complexe apériodique, c'est-à-dire d'un bruit. Les bruits comportent généralement un très grand nombre de fréquences (ou de sons purs).

C) Mesure et analyse des bruits:

La mesure des niveaux de pression sonore se fait à l'aide d'un appareil appelé sonomètre.

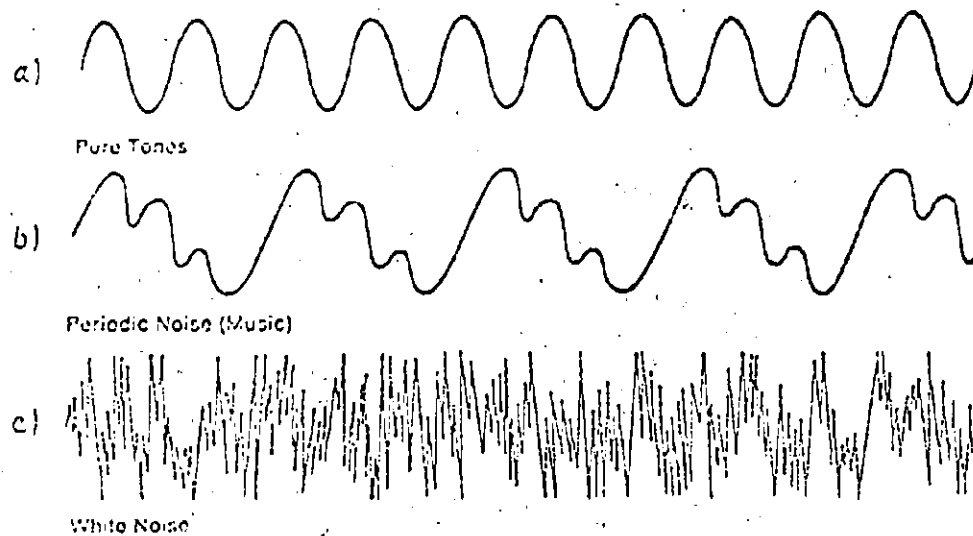


Fig. 5

- a) onde simple: vibration à une seule fréquence (son pur)
- b) onde complexe périodique: (note de violon) vibration de plusieurs ondes simples harmoniquement reliées entre elles et dans laquelle on reconnaît une périodicité
- c) onde complexe apériodique ou bruit: vibrations d'une quasi-infinité d'ondes simples non harmoniquement reliées entre elles et où on ne reconnaît aucune périodicité. (Caractère non cyclique des variations de pression)

Il comprend (en gros) un microphone, un amplificateur et un cadran de lecture en décibel.

Le décibel est une unité objective et cette mesure d'intensité sonore ne correspond pas exactement à la sensation auditive.

L'oreille normale est plus sensible aux sons de fréquence comprise entre 500 et 5000 Hz, environ et est particulièrement insensible aux sons de basses fréquences (inférieures à 500 Hz), comme le montre la figure 4.

La courbe de sensibilité de l'oreille varie aussi avec le niveau sonore; elle "s'aplatie" pour les niveaux forts.

D) La courbe de pondération (A):

Lorsque l'on mesure un bruit (comportant un grand nombre de fréquence) on est avant tout intéressé à connaître son effet sur l'oreille.

Or celle-ci ne se comporte pas comme un appareil électronique; sa sensibilité varie en fonction de la fréquence (figure 4.). On cherche donc, en mesurant le bruit, à simuler ou reproduire la façon dont l'oreille réagit aux sons graves, médium ou aigus.

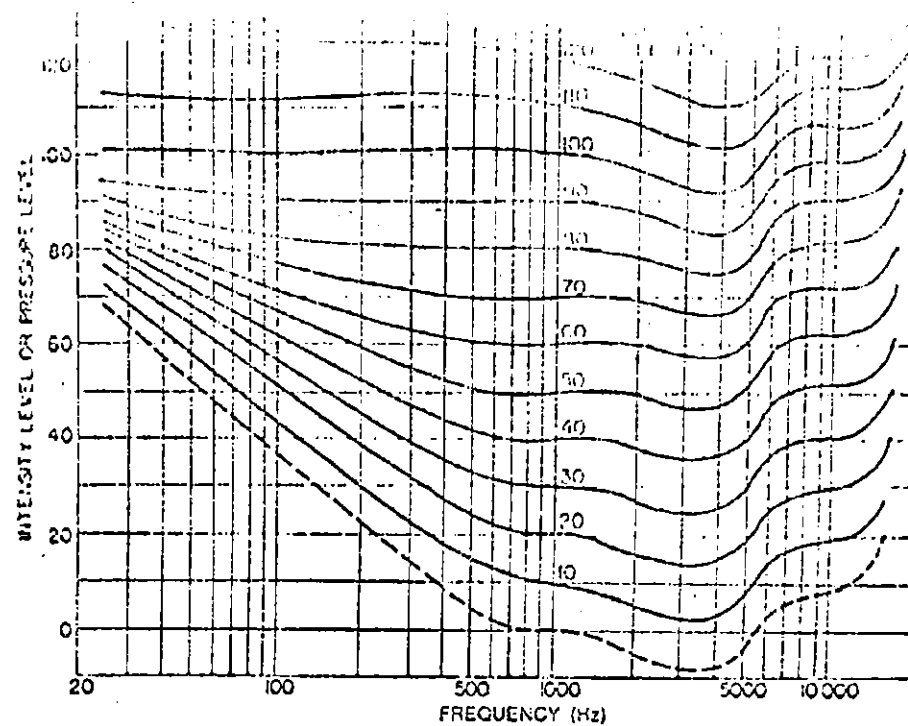
La procédure la plus utilisée est l'application de la courbe de pondération A à la mesure d'un bruit (via des filtres appropriés) (Figure 5).

L'application de cette courbe enlève du "poids", c'est-à-dire une partie de la contribution de sons graves, à la mesure de la pression sonore totale du bruit.

On parle alors de dB (A) par apposition à dB SPL ("Sound Pressure Level" pour niveau de pression sonore sans pondération). Ainsi un bruit riche en basses fréquences peut donner une lecture de 100 dB SPL et de 90 dB (A), la différence entre les deux (2) représentant en quelque sorte l'importance des sons graves.

E) Spectre:

Souvent une analyse détaillée du bruit s'impose, pour diverses raisons. Pour connaître le niveau de pression acoustique associé aux sons graves, médiums ou aigus qui composent le bruit, on découpe le bruit en tranches correspondant à des intervalles de fréquences et on mesure le niveau sonore dans chacune de ces tranches (à l'aide de filtres qui laissent passer l'énergie sonore contenue dans une bande de fréquence). Le découpage le plus utilisé correspond à l'octave; comme en musique, l'octave est l'intervalle entre deux (2) sons purs dont les fréquences sont entre elles dans le rapport 2/1 (100 - 200 Hz, 200-400 Hz, 400-800 Hz...).



From Handbook of Noise Measurement, 7th ed. General Radio Co., 1972.

10.4

Classification de types de bruit

(Selon Acnor Z107.2-1973)

1. Bruit ambiant (ou bruit de fond): mélange de sons de source rapprochée et éloignée; habituellement, le niveau demeurant faible lorsque les sources d'intérêt sont absentes.
2. Bruit régulier ou continu: niveau constant (fluctuations négligeables), avec variations de moins de 6 décibels.
 - a) sans son discret audible: à l'écoute, il n'y a aucun son "prédominant"; l'analyse en fréquence démontre des niveaux relativement de la même intensité. Les unités de mesure sont le db, le db(A) et le db(A) équivalent;
 - b) avec sons discrets audibles: à l'écoute, il y a des sons prédominants; l'analyse en bandes d'octave peut révéler des niveaux plus élevés dans certaines bandes par rapport aux octaves adjacentes (≥ 4 db de la moyenne mathématique des bandes d'octaves adjacentes ou > 5 db que la bande d'octave contiguë, aux bandes de l'extrémité du spectre). Les unités de mesure sont le db SPL (pour l'analyse en fréquence) et le db(A) corrigé (pour la lecture globale, corrigée mathématiquement).
3. Bruit irrégulier: niveau de bruit variant de façon significative dans le temps ($>$ que 6 décibels);
 - a) bruit fluctuant: variation du niveau de pression de plus de 6 décibels (réponse lente) mais n'atteint pas plus d'une (1) fois le bruit ambiant au cours de l'observation.

47

b) Bruit discontinu (ou bruit intermittent): le niveau de pression acoustique égale deux fois ou plus le niveau ambiant et ce pendant une seconde ou plus. Donc le niveau ambiant est atteint plus d'une fois, pendant la période d'observation.

c) Bruit impulsif ou d'impact: bruit caractérisé par un changement de pression gazeuse subit (impulsion) ou par la collision de 2 solides (impact), provoquant une grande différence de pression acoustique supérieure à la pression acoustique ambiante. La durée de l'impact est habituellement inférieure à 1 seconde; il y a par contre 3 catégories de bruit d'impact:

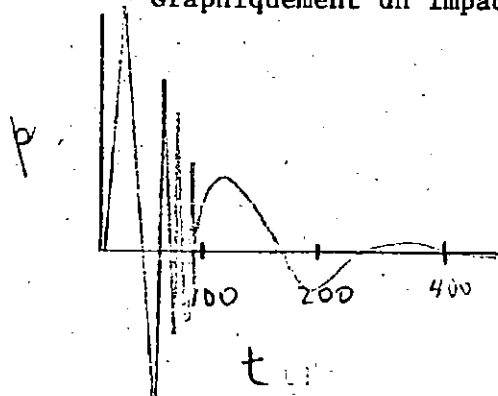
i) Le claquement isolé: sa fréquence est habituellement inférieure ou égale à une (1) par seconde

ii) Le bruit quasi-régulier: sa fréquence est de 10 impact ou plus par seconde.

iii) Le difficilement déterminable: sa fréquence de répétition se situe entre 1 et 10 impact par seconde.

Le temps de montée (temps nécessaire pour passer du niveau 0 à l'amplitude maximale) d'un bruit d'impact est généralement très court, de l'ordre de moins de 50 microsecondes. Ce temps de montée est suivie d'une retombée également très rapide et l'essentiel de l'énergie de l'impact se trouve donc contenu dans les quelques 100 premières microsecondes.

Graphiquement un impact pourrait avoir cette allure:



3- Critères de nocivité des bruits:

Les lois et les réglementations nationales en matière d'exposition professionnelle au bruit sont fondées sur certains critères scientifiques d'évaluation de la nocivité des bruits.

Or, les lois diffèrent d'un pays à un autre, parce qu'elles représentent généralement les résultats d'interprétations différentes des mêmes données scientifiques et des critères qui les résument.

En faisant une revue sommaire de ces critères, en les plaçant dans leur contexte historique, on peut situer leurs limites et leurs lacunes. Il en est de même pour les lois qui en découlent.

Les critères selon lesquels ont été définies les conditions nocives d'exposition au bruit, reposent sur deux (?) types de données:

- d'une part, sur les statistiques de surdité professionnelle, en relation avec certains paramètres d'ambiances sonores industrielles et avec l'ancienneté d'exposition à ces ambiances;
- d'autre part, sur des mesures de fatigue auditive, (c'est-à-dire de déplacements temporaires des seuils d'audition ou surdité réversible) en relation avec divers paramètres d'exposition au bruit. Ces mesures sont faites en laboratoire sur des sujets doués d'une acuité auditive normale.

A) Critères issus de statistiques de surdité:

La première de ces approches pose un certain nombre de problèmes au niveau de l'acquisition des données:

- en premier lieu, les bruits industriels présentent très souvent des caractéristiques qu'il est difficile de quantifier avec précision;
- en second lieu, le recrutement des sujets impose de sérieuses contraintes. Il s'agit, en effet, de réunir des échantillons de personnes qui, d'une part, ont été exposées à une seule et même ambiance bruyante durant plusieurs années et qui, d'autre part, ne présentent autant que possible pas d'autre déficit auditif que celui imputable à l'exposition au bruit industriel;
- enfin, pour des raisons d'ordre éthique, on se refuse généralement à réaliser, sans qu'elles puissent être suivies de mesures de protection, des études longitudinales permettant d'observer chez un même groupe d'opérateurs, l'évolution de la surdité au cours des années d'exposition à une même ambiance bruyante. Les courbes d'acquisition de la surdité sont donc construites à partir d'observations faites pour diverses tranches d'ancienneté d'exposition à un même bruit. Cette procédure nécessite le recrutement d'échantillons plus vastes, alors que le recrutement en lui-même pose déjà de sérieuses difficultés.

Ces contraintes ont pour conséquence que le nombre des environnements bruyants pour lesquels on dispose d'informations précises concernant les risques de surdité, est encore limité. En fait, on ne bénéficie d'une documentation relativement complète que pour les effets des bruits industriels dont les caractéristiques sont uniformes tout au long de la journée d'exposition. Par extrapolation, cette documentation a servi de base à l'élaboration de critères de nocivité des bruits industriels de diverses natures.

Analysons les principales données issues de ces études.

La figure 6 (Burns) décrit l'acquisition de la surdité à 4000 Hz (4 kHz, soit la dernière note à droite du clavier d'un piano) dans le temps pour différents niveaux de bruit continu (8h/jour).

- on remarque que "no noise" correspond à un groupe témoin, et représente la perte due au vieillessement. Donc à 80 dBA (8h/jour) on ne peut distinguer entre les sujets exposés et non-exposés au bruit industriel
- on remarque également que plus le niveau sonore s'élève au-dessus de 80 dB (A) plus l'acquisition de la surdité est rapide.
- dans tous les cas (85 dB (A) et plus) la perte apparaît d'abord très vite, puis de plus en plus lentement. Ainsi de 40 à 50% de la perte totale est apparue après cinq (5) ans d'exposition.

Ceci était valable pour l'audibilité des sons aigus (4000 Hz).
Qu'arrive-t-il aux autres fréquences?

Figure 7. Sous forme d'audiogramme, la perte auditive est représentée en fonction de la fréquence. Ces données ont été recueillies auprès de travailleurs du textile exposés à des niveaux voisins de 95 dB (A) 8 heures par jour.

On voit que la perte apparaît d'abord pour les sons aigus (3,4 et 6 kHz) et ce n'est qu'après quinze (15) ans ou plus que les fréquences médianes (1000 et 2000 Hz) commencent à montrer une atteinte. Les résultats de ces enquêtes ont servi à l'élaboration des lois dans divers pays européens en particulier; nous reviendrons à cet aspect.

Ces données permettent de tirer deux (2) conclusions importantes:

- la surdité professionnelle apparaît d'abord pour les hautes fréquences c'est-à-dire pour des sons rarement utilisés dans la vie quotidienne. C'est pourquoi elle est imperceptible et insidieuse;
- le dépistage précoce de cette surdité peut être très efficace: l'identification de sujets qui montrent l'acquisition de pertes en hautes fréquences permet de les protéger avant qu'ils soient atteints aux fréquences utilisées pour l'audition de la parole.

C'est précisément le principe de la surveillance audiométrique.

UNIVERSITE DU QUEBEC
D'ABITIBI-TEMISCAMINGUE

SST-1003

HYGIENE INDUSTRIELLE I

HIVER 1984

PAR:
NORMAND DUHAIME
DANIEL GAGNE

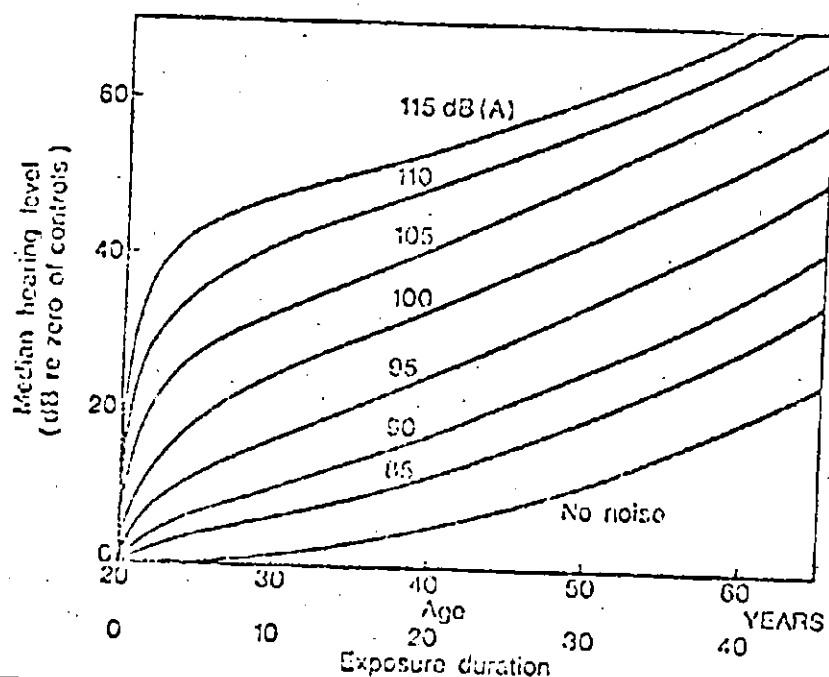


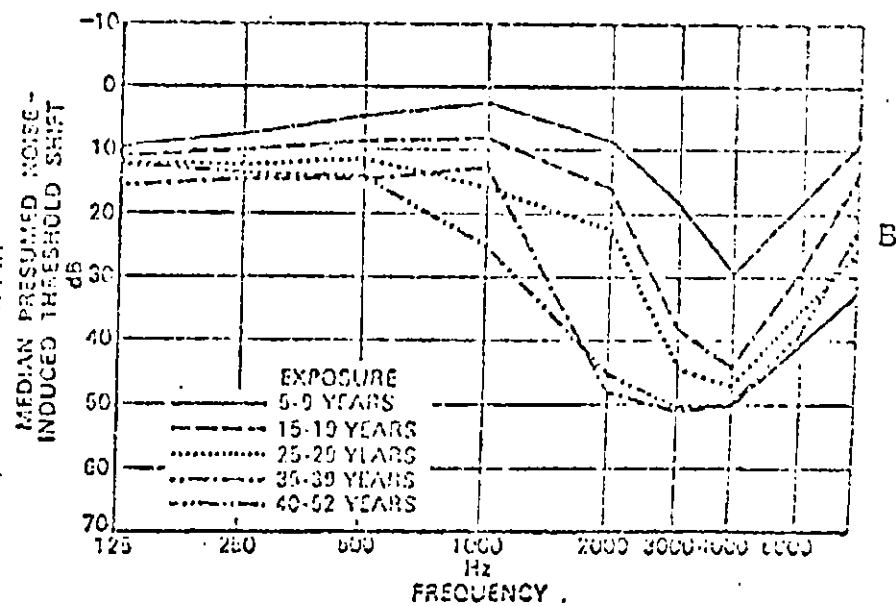
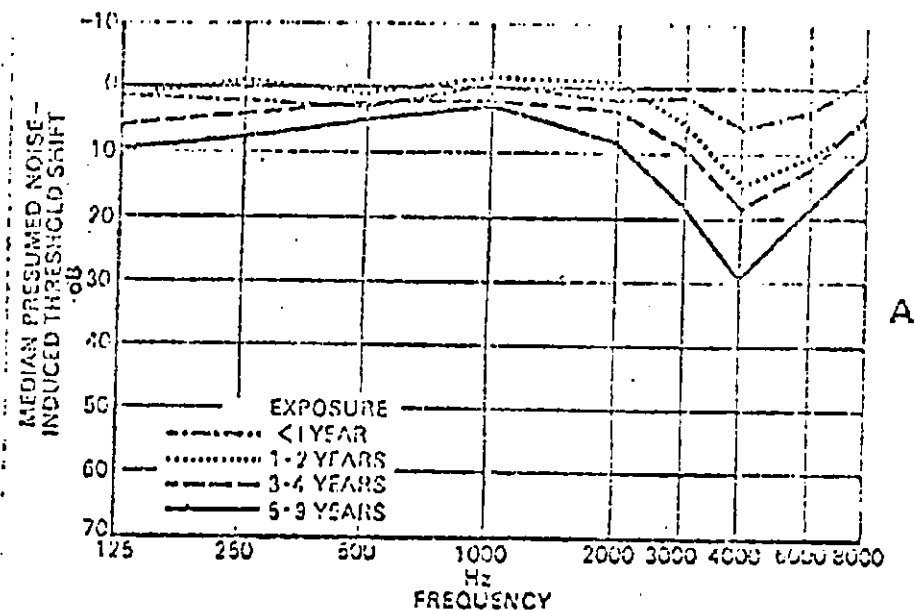
Fig. 6: Acquisition de la surdité industrielle   4000 Hz.

Les temps d'exposition varient de 0   40 ans et l'âge des personnes varie de 20   60 ans. Les niveaux de bruit varient de 85   115 dB A. On remarque que ce sont durant les premières années d'exposition (0-5 ans) que l'essentiel de la perte due au bruit est acquise. Pendant les 35 années suivantes on remarque une très lente progression qui suit la courbe de la perte due au vieillissement (no noise)

Travail de Burns, W., Noise and Man, J. B. Lippincott
co. Philadelphia, 1973

auditives dues à l'exposition au bruit chez un groupe de 461
 Les réparties selon les durées d'exposition (bruit de métiers
 ser). On y constate que pendant les dix premières années,
 les hautes fréquences (3K, 4K et 6K) sont affectées.
 des durées supérieures à 20 ans, la perte se stabilise en
 s fréquences et ce sont les fréquences centrales (500,
 et 2000) qui commencent à être affectées.

de Burns, W., Noise and Man, Londres, 1973).



B) Critères issus d'étude de fatigue auditive.

Considérant les difficultés liées à la réalisation d'enquête de surdité professionnelle et d'autre part, les doutes quant à la valeur des extrapolations pour d'autres types de bruit que les bruits continus, les critères américains se sont en partie appuyés sur les résultats d'études de fatigue auditive.

Les avantages de cette approche sont importants: les conditions d'étude sont bien contrôlées et les effets d'une variété de types de bruit peuvent être analysés. Le principe de cette démarche est le suivant: la surdité temporaire due au bruit est un précurseur de la surdité permanente. Pour le comprendre, considérons la figure 8.

En abscisse, on trouve le temps d'exposition au bruit et le temps de repos hors du bruit. En ordonnée, est représenté l'ampleur de la surdité temporaire à 4000 Hz (TTS: "Temporary threshold shift") c'est-à-dire ce qu'on appelle la fatigue auditive.

On remarque que la fatigue apparaît très rapidement d'abord, puis de plus en plus lentement. Il en va de même pour la récupération, c'est-à-dire au retour à l'acuité auditive normale.

Cependant, dans certains cas d'exposition trop intense (100 dB (A) par exemple), la fatigue acquise n'est récupérée qu'après plusieurs jours, c'est-à-dire longtemps après que les 16 heures de repos qui séparent 2 journées de travail sont écoulées.

On dit alors qu'il y a un risque très grand pour que l'oreille ne récupère jamais complètement si elle est à nouveau exposée au bruit alors qu'elle souffre encore d'une surdité temporaire. C'est ce que certains ont appelé la fatigue auditive pathologique.

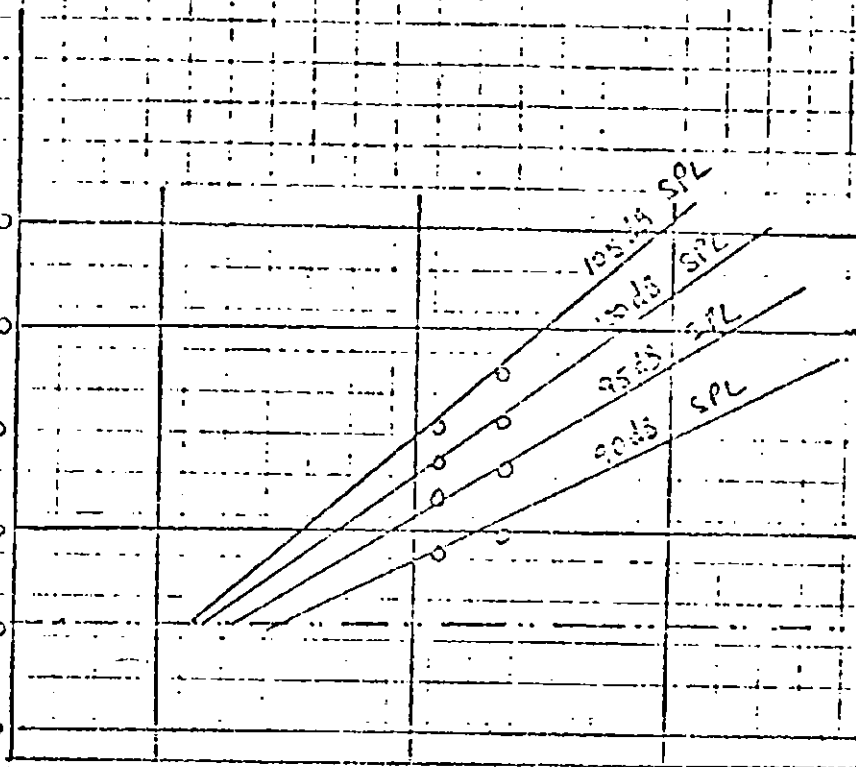
C'est précisément cette fatigue excessive qu'il s'agit de prévenir dans le contexte de l'approche dont il est question.

Malgré l'intérêt de cette approche, elle comporte plusieurs incertitudes. Les études faites en laboratoire sont-elles directement applicables à l'usine? La question est encore ouverte. Par ailleurs, les simplifications sous-jacentes à l'élaboration des lois se sont avérées sources d'erreurs nombreuses et parfois graves.

En somme, les critères de nocivité des bruits industriels issus de l'une ou l'autre approche sont sujets à erreurs. Par ailleurs, quel que soit le critère utilisé, il est impossible, à l'heure actuelle, de spécifier les niveaux et les durées d'exposition admissibles qui soient sans danger pour la totalité des personnes exposées, car les différences inter-individuelles liées à la susceptibilité à l'égard de la surdité professionnelle sont très importantes et encore fort mal connues.

DEPLACEMENT TEMPORAIRE DU SEUIL (dB)

40
30
20
10
0
-10



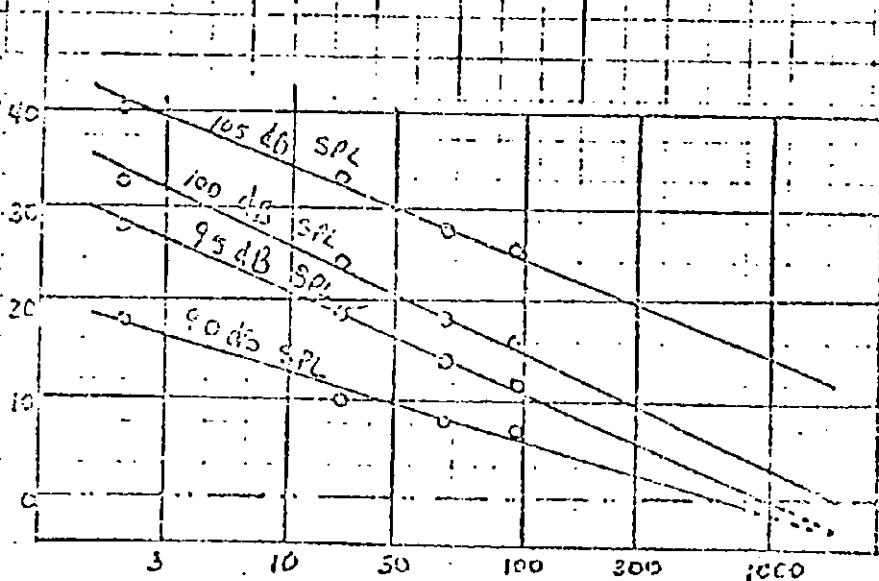
MINUTES
DUREE D'EXPOSITION

La perte d'audition (temporelle) augmente de façon logarithmique avec la durée d'exposition au bruit et est proportionnelle à la pression sonore du bruit.

Récupération de l'oreille après une perte auditive temporaire.

On note que pour des intensités de 100 dB et moins le temps de récupération est sensiblement le même (environ 16 heures) quel que soit le niveau de perte auditive temporaire pré-existant.

DEPLACEMENT TEMPORAIRE DU SEUIL (dB)



DUREE D'EXPOSITION (MIN.)

(Ces deux graphiques sont tirés de: Ward, Clerf et Sklar, JASA, 1959)

En fait, l'application rigoureuse des normes actuelles ne peut protéger plus de 75 à 85% de la population exposée aux bruits industriels intenses. Bien plus, même si ces normes étaient révisées à la lumière des données scientifiques récentes, il y aurait encore 5 à 10% de la population exposée qui serait susceptible d'acquiescer une surdité professionnelle importante.

On ne peut donc s'appuyer sur un critère magique, tel qu'un niveau de bruit continu de 90dB (A) en deçà duquel il n'y aurait aucun danger pour l'audition des travailleurs et au-delà duquel il y aurait un certain risque d'acquisition d'une surdité.

En conclusion, à titre indicatif de l'incertitude associée à ces critères, considérez les différences importantes entre les réglementations nationales; rappelez-vous que l'énergie sonore est doublée chaque fois que l'on augmente le niveau de 3dB pour une même durée d'exposition.

NIVEAUX ET DUREES D'EXPOSITION ADMISSIBLES DANS DIFFERENTS PAYS.

Durée quotidienne (heures)	U.S.A. Canada	Allemagne de l'ouest	Angleterre France	Suède Autriche
	Niveaux admissibles dB (A)			
8	90	90	90	85
4	95	94	93	88
2	100	98	96	91
1	105	102	99	94
30min	110	106	102	97
15min	115	110	105	100

Pour compléter les informations au sujet des normes légales, mentionnons les dispositions spéciales à prendre lorsqu'il y a présence d'un son puraudible dans le bruit et lorsqu'il y a des impacts.

- sons purs et db A corrigés

La raison invoquée pour justifier cette procédure c'est que les sons purs seraient plus nocifs à intensité égale que les bruits à bande large. Quoiqu'il est loin d'être évident que le fait d'avoir une bande d'octave prédominante (au sens de la loi) constitue la preuve qu'on ait un son pur dans cette bande d'octave, le règlement nous demande d'agir comme si c'était le cas. La procédure à suivre est décrite dans le règlement. Inutile de dire qu'il faut faire une analyse par bande d'octave pour appliquer cette norme.

Chose assez curieuse, le règlement ne prévoit aucune procédure lorsque l'analyse spectrale est faite en bandes plus fines que l'octave. Il ne prévoit pas non plus d'appliquer ce règlement que dans les cas où il y a présence audible d'un son pur.

En pratique l'application de ce règlement n'aura de conséquences sur le niveau global que si la bande d'octave prédominante se situe entre 500 et 4000 HZ avec une ampleur maximale autour de 2000 HZ.

- bruits d'impacts

Lorsqu'on soupçonne la présence d'un bruit d'impact, celui-ci doit être mesuré de façon indépendante par rapport aux niveaux de bruit continu. Une dose séparée d'impacts doit être calculée et ne pas être ajoutée à la dose calculée pour les bruits continus.

Les impacts doivent être mesurés en niveau de pression crête (et non en valeur r.m.s.) et en db SPL (et non pondérés A). D'un impact à l'autre, les niveaux peuvent fluctuer et à ce moment il faut faire une moyenne en fonction du nombre total d'impacts dans une journée de travail. Le règlement donne la formule pour effectuer les calculs.

- Exemples de calcul d'une dose de bruit quotidienne

Un machiniste est exposé à 80 db A pendant quatre heures lorsqu'il utilise son tour. De plus pendant la même journée il utilise une fraiseuse (niveau de 98 db A) pendant trente minutes, une foreuse sur pied (niveau de 92 db A) pendant une heure et une scie à métal automatique (niveau de 95 db A) pendant trente minutes. Le reste de sa journée de travail de sept heures (sur un quart de huit heures) se passe à un niveau de bruit ambiant de 70 db A.

Calculez sa dose quotidienne selon un $q = 5$ et selon un $q = 3$.

Solution:

Une façon rapide de résoudre ce genre de problèmes c'est d'utiliser des tables toutes préparées d'avance (ci-jointes en annexe) qui nous permettent de savoir combien de db A il faut retrancher à un niveau de bruit pour un temps $x/8$ heures pour obtenir un niveau équivalent sur huit heures. Il suffit ensuite d'additionner ces fractions de dose en utilisant une table d'addition de db.

Dans le cas ici:

Leq 8 heures

NIVEAUX ET DUREE	q = 3	q = 5
tour 89 db A X 4 heures	77 db A	75 db A
fraiseuse 98 db A X 30 min.	86 db A	78 db A
foreuse 92 db A X 60 min.	83 db A	77 db A
scie métal 95 db A X 30 min.	83 db A	75 db A
bruit ambiant 70 db A X 60 min.	négligeable	négligeable
TOTAL (dose quotidienne)	89,3 db A	86,6 db A

4- Anatomie fonctionnelle du système auditif.

A) Schéma fonctionnel global.

La figure 9 donne une représentation schématique de l'organe périphérique de l'audition, la partie dite "centrale" faisant partie du système nerveux. Ce schéma servira de base pour décrire la séquence des événements quand un son atteint une oreille saine.

- a- le son, qui, nous l'avons vu, est une onde de variations de pression dans l'air, atteint le pavillon de l'oreille et le conduit auditif externe (lequel agit comme une sorte de "tuyau").
- b- les variations de pressions mettent le tympan en vibration celui étant une membrane relativement élastique (un peu comme les coups de baguette font vibrer la peau d'un tambour).
- c- le tympan actionne un système de levier constitué de 3 petits os ou "osselets" localisés dans la cavité osseuse remplie d'air de l'oreille moyenne. Le tympan fait vibrer le marteau (soit osselet qui est directement attaché au tympan), lequel met en mouvement l'enclume qui à son tour met l'étrier en mouvement.
- d- la chaîne d'osselets agit comme un levier en ce sens qu'elle multiplie jusqu'à 50 fois la force des ondes sonores (dépendant de la fréquence des sons). Cette multiplication de la pression sonore est nécessaire pour faire vibrer les liquides dans les canaux de l'oreille interne.
Ce sont précisément ces vibrations qui excitent les cellules sensorielles (de l'organe de Corti) répartie le long de la cochlée laquelle a la forme d'un limaçon.
- e- Les cellules sensorielles, lorsque stimulées, déclenchent des impulsions nerveuses qui se rendent au système nerveux central qui fait l'analyse du message auditif.

B) L'oreille moyenne:

Revenons à l'oreille moyenne pour en ajouter quelques éléments.

La cavité de l'oreille moyenne est en communication avec l'arrière du nez (le naso-pharynx) par la trompe d'Eustache. Ce canal est normalement fermé. Mais il s'ouvre chaque fois que l'on avale afin d'équilibrer la pression de l'air dans la cavité de l'oreille moyenne avec la pression environnante.

Une autre particularité de l'oreille est la présence de deux (2) muscles, le tenseur attaché au marteau et le stapédien attaché à l'étrier. Ils se contractent de façon réflexe en particulier en présence de sons très forts; en se contractant, ils durcissent la chaîne des osselets et

THE HUMAN EAR

MIDDLE EAR

EAR DRUM (Tympanum)

OSSICLES

HAMMER (Malleus)

ANVIL (Incus)

STIRRUP (Stapes)

AUDITORY NERVE

INNER EAR

SEMI-CIRCULAR CANAL

OVAL WINDOW

ROUND WINDOW

COCHLEA

EUSTACHIAN TUBE

OUTER EAR

AUDITORY CANAL (Meatus Auditorius)

EXTERNAL EAR

réduisent l'effet de levier ou de multiplication de la force sonore dans l'oreille moyenne. C'est donc une certaine protection pour la cochlée (oreille interne) contre les bruits trop intenses.

C) L'oreille interne:

La figure 11 représente une cochlée déroulée (qui a perdu sa forme en limaçon) très schématisée. Elle permet de voir qu'il y a en quelque sorte trois (3) chambres ou canaux, celui du haut étant la rampe vestibulaire, celui du bas, la rampe tympanique et celui du milieu, le canal cochléaire.

Les deux (2) rampes communiquent entre elles par l'extrémité appelée hélicotrema, et contiennent le même liquide.

Quand l'étrier vibre, il fait vibrer le liquide de la rampe vestibulaire, lequel met en mouvement les parois du canal cochléaire. Ce mouvement fait lui-même bouger les cils (ou poils) des cellules sensorielles réparties le long du canal cochléaire.

Les sons aigus font bouger les liquides près de l'entrée de la cochlée (à gauche sur la figure) tandis que les sons graves font bouger les liquides vers l'extrémité de la cochlée. Les cellules sensorielles situées près de l'entrée de la cochlée répondent donc aux sons aigus, celles qui sont à l'autre extrémité étant stimulées par les sons graves.

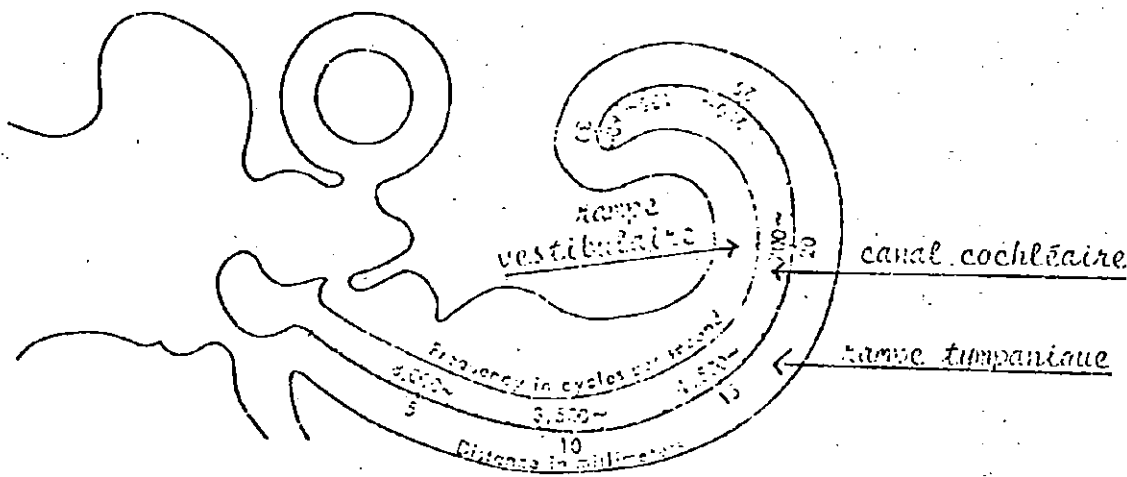
Notons que la destruction d'une partie de ces cellules, comme c'est le cas chez des ouvriers exposés quotidiennement à des bruits trop intenses, entraîne une perte de sensibilité pour les sons correspondants. Comme il s'agit de lésions, c'est-à-dire de destruction des cellules sensorielles, la perte de sensibilité est irréversible; on ne peut même pas la réparer par une intervention chirurgicale quelconque.

5- Éléments de pathologie de l'audition.

Nous n'avons pas la prétention de donner ici un cours d'otologie clinique, qui est une science fort complexe. Il s'agit simplement d'avoir un aperçu des grands types de perturbations de la fonction auditive à la lumière de l'anatomie fonctionnelle que nous avons vu.

Ainsi on divise les diverses surdités en trois (3) grands types:

- celles qui sont causées par une anomalie du mécanisme de transmission des sons jusqu'à la cochlée - les surdités dites de conduction;
- celles qui sont associées à des lésions dans la cochlée ou au niveau du nerf auditif - les surdités dites neuro-sensorielles;
- celles qui sont associées à des anomalies au niveau du cerveau - les surdités dites centrales.



Frequency location along the basilar membrane.

Cochlée déroulée. On y distingue les 3 conduits qu'elle renferme: la rampe vestibulaire, la rampe tympanique et le canal cochléaire qui contient l'organe de l'audition. On remarque également à combien de millimètres de la fenêtre ovale se situent la perception des différentes fréquences (de 8,000 Hz à 30 Hz).

A) Surdités de conduction:

Le mécanisme de transmission des sons à la cochlée comprend le pavillon de l'oreille, le conduit auditif, le tympan, les osselets et les fenêtres qui donnent accès à la cochlée.

Des perturbations ou anomalies de l'une ou l'autre structure entraîne une diminution de la transmission sonore à l'oreille interne.

Les plus communes sont:

- l'obstruction du conduit auditif (par de la cire ou des corps étrangers)
- infection de la cavité de l'oreille moyenne (à la suite d'un rhume ou d'une maladie plus localisée). Des liquides ou du pus peut alors s'y accumuler, et exercer une pression très forte sur le tympan (allant jusqu'à sa perforation);
- les otoscléroses provoquées par la croissance de tissus osseux dans la région des fenêtres de l'oreille interne. A la longue, ces tissus nuisent à la vibration des osselets.

B) Surdités neuro-sensorielles:

Les affections de l'organe sensoriel (la cochlée) ont des causes très nombreuses, les plus fréquentes étant:

- le vieillissement comme tel qui affecte surtout les cellules sensorielles sensibles aux sons de hautes fréquences;
- diverses maladies infectieuses ou encore des intoxications de diverses natures (certaines étant causées par des médicaments puissants utilisés pour traiter des maladies infectieuses);
- le bruit qui affecte précisément la cochlée sauf dans de rare cas où il s'agit d'explosions très fortes qui auraient affecté le tympan ou les osselets;
- des anomalies congénitales ou héréditaires;
- la maladie de Ménière qui consiste en des attaques vertiges, (souvent accompagnées de nausées et vomissements), des pertes auditives et des acouphènes (des sifflements d'origine physiologique).
- la présence d'une tumeur du nerf auditif, causant entre autres des pertes auditives en hautes fréquences.

C) Surdités centrales:

L'étiologie de ces surdités est souvent très complexe.

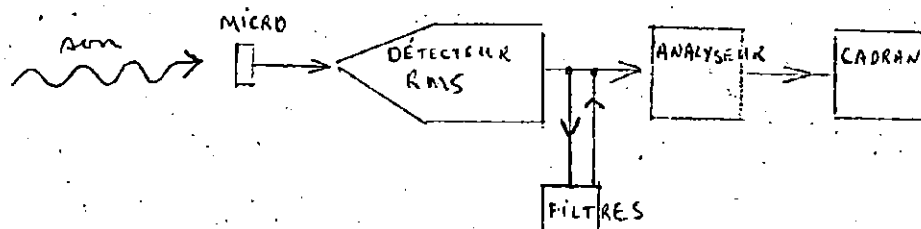
Les tumeurs au cerveau, des hémorragies cérébrales, des fractures du crâne sont des causes fréquentes de surdités centrales. Ces affections sont généralement irréversibles.

C- LES INSTRUMENTS DE MESURE

Les deux instruments les plus utilisés sont le sonomètre et le dosimètre qui seront décrits dans cette section.

1. SONOMETRE

Se compose essentiellement d'un microphone captant les variations de pression atmosphérique et les transformant en signaux électriques (variations de voltage). Ces signaux sont transmis à un analyseur qui les décortique (selon différents paramètres, variables d'un instrument à l'autre) pour finalement transmettre une lecture sur un cadran soit analogiquement (galvanomètre) soit numériquement.



Voyons les composantes une à une :

a- le micro

C'est le grand négligé, sinon oublié dans la documentation sur le bruit. Lorsque vous recevez un instrument, normalement vous devriez avoir une courbe de calibration du microphone qui doit vous renseigner sur deux choses fondamentales :

- sa sensibilité (gamme dynamique)
- sa courbe de réponse en fréquences, notamment en fonction de l'angle d'incidence du son (cf. figures en annexe).

Habituellement, plus le microphone est petit, plus sa sensibilité est réduite (il ne peut donc être utilisé pour mesurer de faibles intensités sonores). Par contre, plus il est petit plus sa fréquence de résonnance est élevée et plus sa courbe de réponse est linéaire en gagnant les hautes fréquences (4000 HZ et plus).

Habituellement aussi, les microphones plus petits peuvent mesurer de plus fortes intensités sonores sans distorsion.

Pour les mesures de bruit en industrie, presque tous les instruments sont équipés de microphone de 1/2 pouce qui peuvent mesurer jusqu'à 140 db SPL et plus et qui ont une réponse assez linéaire en champ libre jusqu'à 15 ou 20 000 HZ.

- Orientation du microphone

Habituellement le manufacturier indique sous quel angle d'incidence on devrait faire les mesures sur le terrain (en champ libre). Pour les microphones Bruël et Kjaer de 1/2 pouce dits de champ libre ("free field"), l'angle d'incidence devrait être de 0° , c'est-à-dire le micro pointé vers la source de bruit.

b- les réseaux d'analyse et de pondération

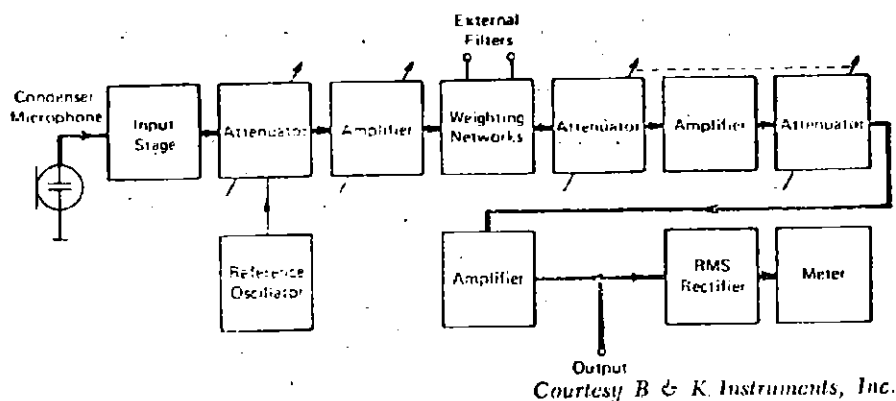
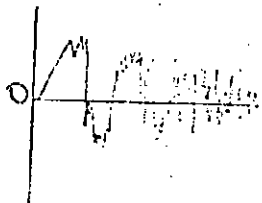


FIG. 4-7.—Schematic diagram of a sound level meter.

Dans le schéma précédent, on a une idée des différents traitements d'information qui se produisent dans un sonomètre simple (non intégrateur).



$$\sqrt{p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + p_n^2}$$

- Ce qu'il faut surtout retenir c'est que le signal est converti en valeurs r.m.s. c'est-à-dire que les variations de voltage sont mises au carré, que la moyenne est faite et qu'on extrait ensuite la racine carrée de cette moyenne.

Cette valeur représente la moyenne des différences de voltage (pression) mesurées au cours d'une période de temps donné.

- Le deuxième traitement subi c'est la pondération A. Sur certains sonomètres, cette pondération est optionnelle, sur d'autres elle est faite automatiquement. La pondération A est règlementée par une norme (ACNOR Z-107) et devrait être la même pour tous les sonomètres. Dans le graphique ci-dessous on a une illustration des pondérations A, B et C.

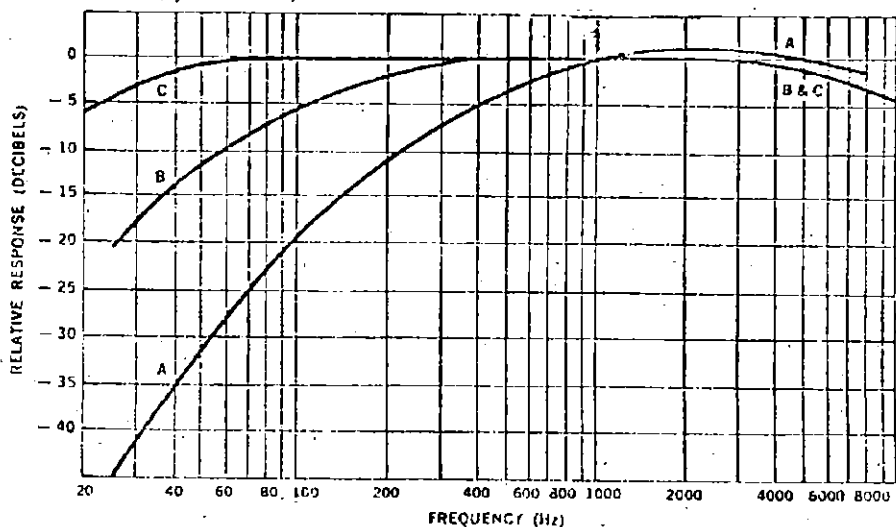


FIG. 4-8.—Frequency-response characteristics of a sound level meter with A, B, and C-weighting.

- La constante de temps de réponse de l'indicateur du sonomètre est un autre facteur à considérer. C'est le temps que met l'instrument à répondre à une impulsion sonore. Il y a une réponse "amortie" dite lente qui a un temps de réponse d'environ une seconde et une réponse moins amortie dite rapide qui a un temps de réponse d'environ 0,1 seconde (100 msec).

La réponse lente du sonomètre est un peu l'ancêtre des sonomètres intégrateurs c'est-à-dire qu'elle est utilisée pour mesurer un genre de niveau de bruit moyen lorsqu'il y a des fluctuations de niveau sonore de plus de 3 db. La procédure recommandée dans le standard ACNOR Z-107,2(1973) est donc de premièrement mesurer le bruit avec une constante de temps rapide et là si le niveau fluctue de plus que ± 3 db, prendre la mesure sur constante lente.

Avec la venue sur le marché des sonomètres intégrateurs, on a éliminé une bonne partie de l'imprécision liée à l'utilisation de la réponse lente. La formule décrivant l'intégrale des niveaux sonores pendant un temps T peut être résumée par ceci:

$$10 \log \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{10} \times t_i$$

Où: L_i représente le niveau sonore en db A de la i ième mesure et t_i , la durée de L_i .

Exemple: dans une minute, le niveau de bruit se situe à 80 db A pendant 40 secondes et à 90 db A pendant 20 secondes. Quel est le niveau moyen?

$$\frac{L_1}{10} = \frac{80}{10} = 8; \quad \frac{L_2}{10} = \frac{90}{10} = 9$$

$$(10^8 \cdot 40) + (10^9 \cdot 20) = (4 \times 10^9) + (2 \times 10^{10}) = 2,4 \times 10^{10}$$

$$\div T (60) = \frac{2,4 \times 10^{10}}{6 \times 10^1} = 0,4 \times 10^9 = 4 \times 10^8$$

$$\text{antilog } 4 = 0,6$$

$$\text{donc: } 0,4 \times 10^8 = 10^{8,6}$$

$$10 \log 10^{8,6} = 86 \text{ db A}$$

Le sonomètre intégrateur permet donc d'avoir une idée exacte du niveau sonore moyen qu'on appelle aussi niveau sonore équivalent ou Leq. Ceci veut dire qu'être exposé à 90 db A pendant 20 secondes suivi de 80 db A pendant 40 secondes est équivalent à être exposé à 86 db A pendant 60 secondes.

Le sonomètre intégrateur est un instrument très pratique car généralement les niveaux de bruit sont très fluctuants en industrie. Sauf qu'il y a un petit problème: certains sonomètres font une intégration selon un indice de bisection de 3 (selon la formule expliquée ci-haut) et d'autres sonomètres selon un indice de 5. Evidemment cela ne donne pas les mêmes valeurs. Ainsi pour l'exemple ci-devant, le niveau équivalent pour un $q = 5$ serait de 85 db A.

96

En plus des réponses en mode lent, rapide et en intégration, il y a sur beaucoup de sonomètres la réponse au bruit d'impacts (appelée "peak" généralement).

Les bruits d'impacts constituent l'une des zones grises de la sonométrie et il n'y a pas vraiment de standard qui précise les caractéristiques de mesure de ces phénomènes acoustiques. (Il existe un standard allemand pour ce qui est appelé impulsions ("impulses") à ne pas confondre avec le bruit d'impact).

En fait deux paramètres fondamentaux caractérisent la mesure des bruits d'impacts: le temps de réponse de l'instrument et le facteur de crête*. Comme il n'y a pas de normes s'appliquant à ces paramètres on doit se dire que plus le temps de réponse est rapide et plus le facteur de crête est grand, mieux c'est pour la mesure des bruits d'impacts. C'est pourquoi on peut s'attendre à ce qu'un même bruit d'impact donne des valeurs différentes lorsque mesuré avec différents sonomètres.

Un dernier point à considérer lorsqu'on utilise un sonomètre c'est sa gamme dynamique. Elle peut se définir comme l'étendue des amplitudes couverte par une gamme de mesures de l'atténuateur.

* Le facteur de crête est la différence entre les variations d'amplitudes maximales d'un signal sonore et son niveau r.m.s. Habituellement le facteur de crête diminue à mesure qu'on approche de la limite maximale de mesure de l'instrument. Ainsi pour un instrument ayant une limite de mesure supérieure de 145 db, le facteur de crête pourra être de 1,5 à 145, de 20 à 135 et de 60 à 50 db.

En effet, même si la plupart des sonomètres peuvent mesurer des intensités variant entre 30 et 125 db A (étendue de 95 db A), tous doivent fractionner cette étendue en sous-gammes de 10 à 60 db (qu'on peut appeler étendue d'atténuation).

Par exemple, dans une usine vous êtes en train de mesurer le bruit d'une machine lequel se situe autour de 80 db A. Vous avez un sonomètre ajusté pour une gamme de mesures allant de 65 à 85 db A et tout va bien. Soudain l'opérateur utilise la machine dans un autre mode et le niveau de bruit monte à 100 db A. A ce moment l'aiguille du galvanomètre "pète au bout" du cadran et votre lecture n'est plus bonne si vous avez un sonomètre intégrateur. Le signal indiquant une surcharge ("overload") devrait s'allumer. Si votre instrument avait eu une gamme dynamique de 60 db et qu'elle avait pu s'ajuster de 75 à 135 db A par exemple, vous n'auriez pas eu ce problème.

Ne pas tenir compte des limites de votre gamme dynamique peut vous jouer des tours, particulièrement lorsque vous laissez un sonomètre intégrer pendant de longues périodes de temps sans le surveiller.

Pour terminer avec les sonomètres disons que les standards canadiens et américains prévoient deux grandes classifications de sonomètres (qu'on appelle type I et type II) pour les mesures standardisées. Les caractéristiques de ces différents types sont données en annexe.

2. LES DOSIMETRES

Le dosimètre est en fait un sonomètre modifié (au sens de limité). Il correspond à un sonomètre de type II ayant uniquement une réponse en constante lente, une pondération A obligatoire, et une étendue de mesure limitée à par exemple: 85 db A à 115 db A. Cet instrument est doté d'un genre de compteur permettant de sectionner le bruit en pourcentages d'une exposition équivalente à la norme et de faire la somme des sections au bout de la période de mesure.

Cet instrument a été conçu en vue de vérifier directement si la norme a été dépassée ou non pour les bruits continus et fluctuants. Les dosimètres sont donc construits selon les particularités propres à chaque norme nationale. Ici au Québec, ils mesurent de 90 (parfois à partir de 85) à 115 db A, et intègrent selon un $q = 5$. Lorsque le bruit dépasse 115 db A, un indicateur s'allume signifiant que la norme a été dépassée. La mesure est exprimée en pourcentage de la norme, 100% équivaut à la norme. On peut cependant convertir les pourcentages en Leq 8 heures grâce à des nomogrammes (copie en annexe).

Les limites de cet instrument sont donc évidentes et sont particulièrement criantes lorsqu'il y a des bruits d'impacts dans l'environnement, lesquels se trouvent généralement sous-estimés par le dosimètre.

Aux Etats-Unis les caractéristiques techniques des dosimètres sont prescrites par la loi et la plupart des fabricants se soumettent à ces spécifications. Cependant certains fabricants ont mis sur le marché, ce qu'on pourrait appeler un sonomètre-dosimètre où un même instrument peut faire le travail de deux. De plus certains sonomètres intégrateurs sont maintenant disponibles en format de poche et peuvent être utilisés comme dosimètres mais sans les limites techniques inhérentes aux dosimètres reconnus par la loi américaine, ce qui en fait

99

des instruments très intéressants pour l'évaluation des doses de bruit dans le cas d'expositions non régulières et imprévisibles au bruit, par exemple chez des travailleurs mobiles.

ANNEXES

Table d'addition des db lorsque
l'indice de bissection égale 3

Différence numérique (dB)	Additionner au niveau le plus élevé									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.8	2.8	2.7	2.7	2.6	2.6
1.0	2.5	2.5	2.5	2.4	2.4	2.3	2.3	2.2	2.2	2.2
2.0	2.1	2.1	2.0	2.0	2.0	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8
3.0	1.8	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.5	1.5
4.0	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2
5.0	1.2	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
6.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8
7.0	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
8.0	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
9.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4
10.0	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3
11.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
12.0	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
13.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
14.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1
15.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
16.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
17.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
18.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
19.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

TABLE D'ADDITION DES NIVEAUX SONORES EQUIVALENTS LORSQU'ON
UTILISE LA NORME LEGALE AU QUEBEC (q = 5) QUE CERTAINS NOMMENT L_{OSHA}

A*	B*	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0		5,0	4,95	4,90	4,85	4,80	4,75	4,70	4,65	4,61	4,56
1		4,51	4,47	4,43	4,38	4,33	4,29	4,24	4,20	4,16	4,11
2		4,07	4,03	3,98	3,94	3,90	3,86	3,82	3,78	3,74	3,70
3		3,65	3,61	3,58	3,54	3,50	3,46	3,42	3,38	3,35	3,31
4		3,27	3,24	3,20	3,17	3,13	3,10	3,06	3,03	2,99	2,96
5		2,92	2,89	2,86	2,83	2,79	2,76	2,73	2,70	2,67	2,64
6		2,61	2,58	2,55	2,52	2,49	2,46	2,43	2,40	2,37	2,34
7		2,32	2,29	2,26	2,24	2,21	2,18	2,15	2,13	2,11	2,08
8		2,06	2,03	2,01	1,98	1,96	1,94	1,91	1,89	1,87	1,84
9		1,82	1,80	1,78	1,76	1,73	1,71	1,69	1,67	1,65	1,63
10		1,61	1,59	1,57	1,55	1,53	1,51	1,49	1,48	1,46	1,44
11		1,42	1,40	1,39	1,37	1,35	1,33	1,32	1,30	1,28	1,27
12		1,25	1,24	1,22	1,20	1,19	1,17	1,16	1,14	1,13	1,12
13		1,10	1,09	1,07	1,06	1,05	1,03	1,02	1,01	0,99	0,98
14		0,97	0,96	0,94	0,93	0,92	0,91	0,90	0,88	0,87	0,86
15		0,85	0,84	0,83	0,82	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76
16		0,75	0,74	0,73	0,72	0,71	0,70	0,69	0,68	0,67	0,66
17		0,65	0,64	0,64	0,63	0,62	0,61	0,60	0,59	0,59	0,58
18		0,57	0,56	0,56	0,55	0,54	0,53	0,53	0,52	0,51	0,51
19		0,50	0,49	0,49	0,48	0,47	0,47	0,46	0,46	0,45	0,44
20		0,44	0,43	0,43	0,42	0,41	0,41	0,40	0,40	0,39	0,39
21		0,38	0,38	0,37	0,37	0,36	0,36	0,35	0,35	0,34	0,34
22		0,33	0,33	0,32	0,32	0,32	0,31	0,31	0,30	0,30	0,30
23		0,29	0,29	0,28	0,28	0,28	0,27	0,27	0,27	0,26	0,26
24		0,25	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,23	0,23	0,23	0,23
25		0,22	0,22	0,22							

A* Différence entre les deux niveaux sonores.

B* Nombre de dB à ajouter au niveau le plus élevé.

Ex:
L_{OSHA}:

90 db A + 92 db A + 85 db A = 97,4 db A équivalent (L_{OSHA})

96

97,4

Valeurs lorsque $q = 3$

t (hrs)	$10 \log (t/8)$
0.5	-12.0
1.0	- 9.0
1.5	- 7.3
2.0	- 6.0
2.5	- 5.1
3.0	- 4.3
3.5	- 3.6
4.0	- 3.0
4.5	- 2.5
5.0	- 2.0
5.5	- 1.6
6.0	- 1.2
6.5	- 0.9
7.0	- 0.6
7.5	- 0.3
8.0	0.0
8.5	0.3
9.0	0.5
9.5	0.7
10.0	1.0
10.5	1.2
11.0	1.4
11.5	1.6
12.0	1.8
12.5	1.9
13.0	2.1
13.5	2.3
14.0	2.4
14.5	2.6
15.0	2.7
15.5	2.9
16.0	3.0

Valeurs $q = 5$ $16.6 \log t/8$

(heures)

(arrondis à ± 1)

.25	- 25
0.5	- 20
1.0	- 15
1.5	- 12
2.0	- 10
2.5	- 8.3
3.0	- 7
3.5	- 6
4.0	- 5
4.5	- 4
5.0	- 3.4
5.5	- 3
6.0	- 2
6.5	- 1.5
7.0	- 1
7.5	
8.0	
8.5	
9.0	+ .8
9.5	
10.0	+ 1.6
10.5	
11.0	+ 2.3
11.5	
12.0	+ 2.9
12.5	
13.0	
13.5	
14.0	
14.5	
15.0	+ 4.5
15.5	
16.0	+ 5

OK

"Long Duration — On" mode
OSHA $q = 5$ criterion

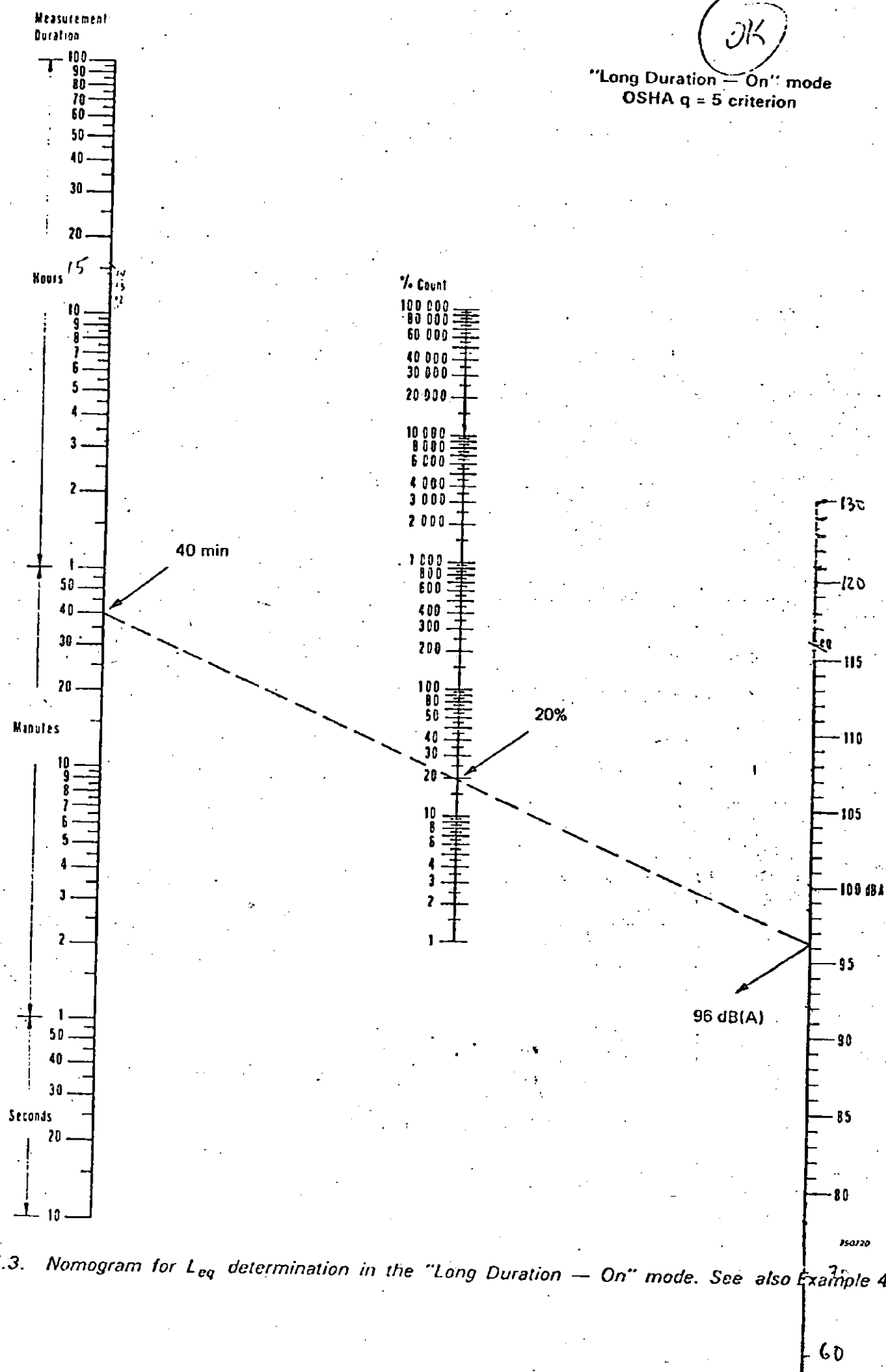


Fig.4.3. Nomogram for L_{eq} determination in the "Long Duration — On" mode. See also Example 4.4.

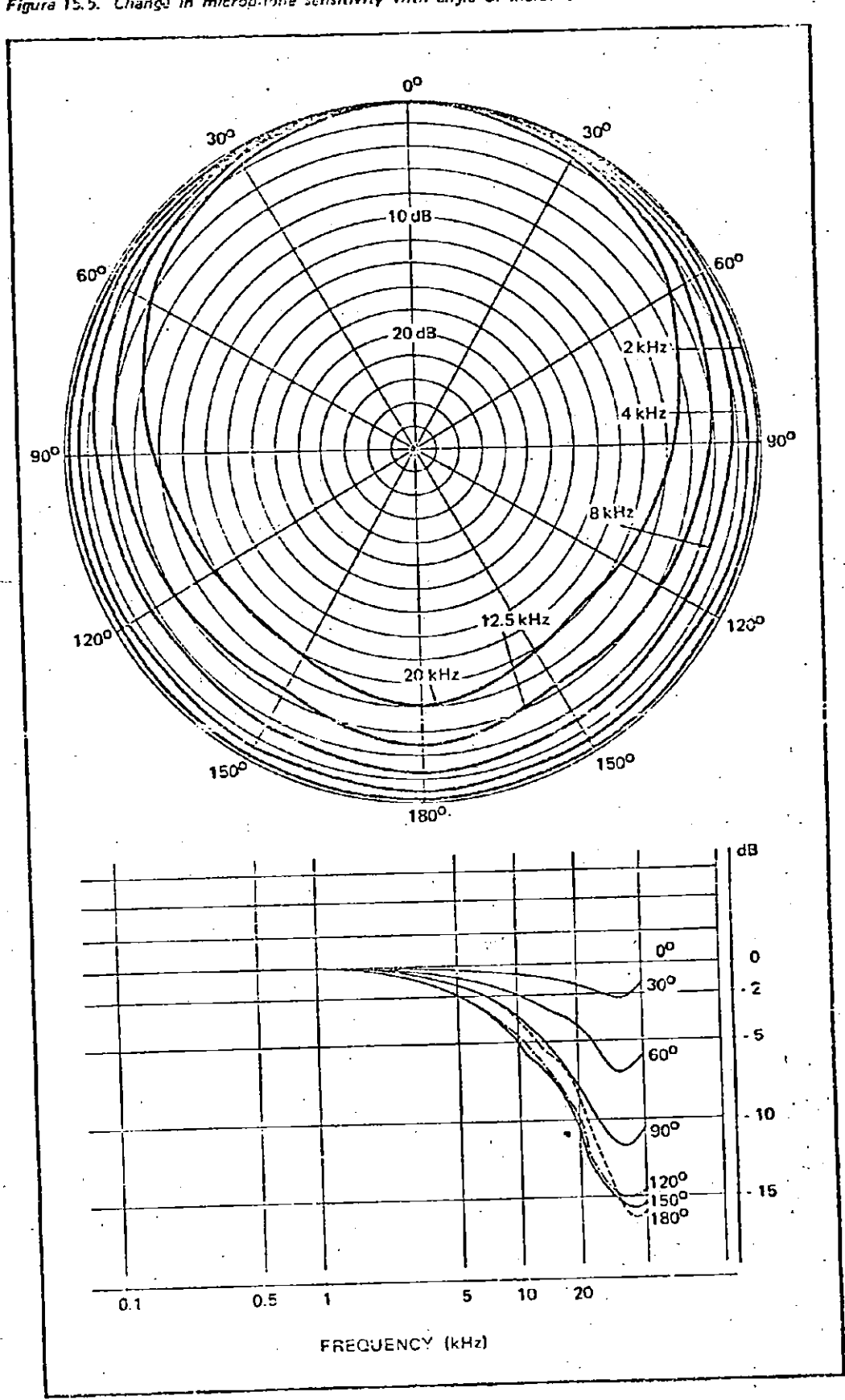


TABLE 4-C
COMPARISONS OF SPECIFICATIONS FOR SOUND
LEVEL METERS BASED ON ANSI S1.4-1971

Type	Type			
	1	2	3	S
	Precision	General Purpose	Survey	Special Purpose
Weighting networks required	A, B & C	A, B & C	A, B & C	One network (more optional)
Total tolerance limit				Consistent with sound level meter to which it is qualified (i.e. type 1, 2 or 3)
@ 1000 Hz dBA dBB dBC	± 1.0 dB ± 1.0 dB ± 1.0 dB	± 2.0 dB ± 2.0 dB ± 1.5 dB	± 3.0 dB ± 3.0 dB ± 2.5 dB	
@ 2000 Hz dBA dBB dBC	± 1.0 dB ± 1.0 dB ± 1.0 dB	± 3.0 dB ± 3.0 dB ± 2.5 dB	± 4.0 dB ± 4.0 dB ± 3.5 dB	
@ 4000 Hz dBA dBB dBC	± 1.0 dB ± 1.0 dB ± 1.0 dB	$\pm 5.5, -4.5$ dB $\pm 5.5, -4.5$ dB $\pm 5.0, -4.0$ dB	± 5.5 dB ± 5.5 dB ± 5.0 dB	
Dynamic range	40 dB Below maximum scale reading	40 dB Below maximum scale reading	Not stated	Not stated
Sensitivity calibration	External acoustic calibrator	External acoustic calibrator	External acoustic calibrator or insert voltage method	Not stated
Gain calibration	Internal electrical check	Internal electrical check	Specified by manufacturer	Not stated

Diminution du son avec la distance en champs diffus (à l'extérieur par exemple):

$$20 \log \frac{d_0}{d_1}$$

Par exemple, si à 2 pieds le niveau de pression sonore est de 100 dB A, à 8 pieds, elle sera de:

$$20 \log \frac{2}{8} = -12 \text{ dB}$$

ANNEXE III

LA REDUCTION DU BRUIT

b) la localisation proposée pour chaque source de bruit, pour chaque opérateur et pour chaque homme d'entretien,

c) la sélection des critères de conception basée sur les temps d'exposition des employés.

Dans la plupart des cas, le manufacturier d'équipement est en bonne position pour réduire le bruit de la machine à sa source. Il est possible de faire des calculs de prédiction de bruit des différents équipements, en fonction du bâtiment dans lequel ils seront installés, pour différents éloignements des travailleurs des machines.

Avant de décider de la localisation de l'équipement bruyant dans l'usine, les questions suivantes doivent être considérées :

- Le bruit est-il continu ou intermittent ?
- S'agit-il d'une ou de plusieurs machines du même genre ?
- L'opérateur est-il près de l'équipement en tout temps ?
- Combien de personnes, à part l'opérateur, seront exposées ?
- L'équipement peut-il être confiné sans affecter la production et l'entretien ?
- Quels sont les niveaux de bruit préalables à l'installation de l'équipement ?

La réponse à ces questions peut aider à localiser ou à insonoriser l'équipement avant son installation, de façon à minimiser les expositions au bruit.

Substitution ou modification de la source du bruit

L'utilisation d'équipements, de procédés ou de machines moins bruyants est quelquefois possible. Il peut être plus économique de payer un peu plus cher pour une machine moins bruyante plutôt que d'encourir des dépenses additionnelles pour une réduction « a posteriori ». Citons quelques exemples :

- Les ventilateurs axiaux produisent du bruit à plus haute fréquence que les ventilateurs centrifuges. Puisque les critères permettent des niveaux sonores plus élevés à basses fréquences, un ventilateur centrifuge peut être requis pour réduire le bruit à un niveau acceptable.
- Des ventilateurs tournant à grande vitesse sont considérablement plus bruyants que ceux tournant à basses vitesses. Un plus gros ventilateur tournant moins vite sera beaucoup moins bruyant.
- Des courbes de bruit existent pour des tournevis pneumatiques et autres outils pneumatiques. Ces courbes permettent le choix d'un équipement moins bruyant.
- Une opération plus silencieuse pourra être habituellement obtenue en utilisant des entraînements par courroie au lieu d'entraînement par engrenage.
- Le bruit des éjecteurs pneumatiques à air, utilisés pour retirer les pièces des presses, peut être éliminé en utilisant un éjecteur mécanique.
- Les vibreurs mécaniques de bennes sont bruyants. Lorsque la température et le matériel le permettent,

de réduire de beaucoup le bruit.

- Utilisation d'outils électriques plutôt que pneumatiques. Des silencieux peuvent être aussi installés par le manufacturier d'outils pneumatiques.
- Une presse hydraulique peut remplacer un marteau river pneumatique. L'échappement d'air comprimé du cylindre des presses hydrauliques peut être muni d'un silencieux.
- Si un outil d'impact doit être utilisé, on doit choisir le plus petit outil capable de faire le travail.
- Lorsqu'il est possible, on doit remplacer l'ébarbage par le meulage.
- Les roues d'acier de certains wagons ou camions ou autres équipements de transport peuvent être remplacées par des roues à pneus de caoutchouc ou de plastique et ainsi réduire le bruit d'une façon importante.
- La réduction de la force d'entraînement par réduction de vitesse peut produire une diminution importante du bruit. Les machines ne doivent pas être opérées à des vitesses indûment élevées. Il peut être préférable d'utiliser une plus grosse machine qui peut opérer à une vitesse moins grande que d'utiliser une plus petite machine à haute vitesse opérant à sa puissance maximale.
- L'entretien des coussinets, une lubrification adéquate et un bon alignement sont essentiels pour garder un équilibre dynamique qui permette de minimiser l'amplitude de forces productrices de bruit.
- Un matériel résilient peut parfois assourdir des bruits d'impact : par exemple, on peut appliquer un revêtement à l'intérieur ou à l'extérieur de barils, chutes, bennes, etc., avec un matériel absorbant le bruit, tels le caoutchouc ou certains plastiques.
- Les équipements doivent être bien isolés de leur base pour réduire les vibrations.
- La direction de la source de bruit peut parfois être utilisée avantageusement pour protéger les travailleurs. Les ouvertures d'entrée et d'échappement d'air, les sources partiellement encloses et les larges surfaces de feuilles métalliques sont quelques exemples de sources dirigées. Il peut être avantageux de diriger la source vers un endroit garni de matériel très absorbant.
- Les silencieux sont de types dissipatifs directs, dissipatifs centrés, non dissipatifs ou de résonance. Ils sont fabriqués de matériaux absorbants et de perforations ou de chicannes. Pour réduire le bruit d'échappement des cylindres à air et des outils pneumatiques, on utilise fréquemment des silencieux de type dispersif ; ce type de silencieux réduit la vitesse en étendant le débit sur une plus grande surface.

Modification de l'onde sonore

Lorsqu'il n'est pas pratique de réduire le bruit à la source, l'atténuation du bruit peut être obtenue en confinant l'onde sonore, de sorte que le bruit ne s'échappe pas dans la pièce et n'atteigne pas l'ouvrier du travailleur.

La différence entre les mesures de niveau sonore à un endroit spécifique avant et après l'installation d'un enclos acoustique. Cette réduction dépend de l'environnement acoustique à l'intérieur et à l'extérieur de l'enclos. D'autre part, la perte par transmission est indépendante de l'environnement : elle dépend uniquement de la paroi utilisée. Des tables nous fournissent les pertes par transmission pour différents matériaux.

Plusieurs facteurs doivent être pris en considération pour obtenir un enclos satisfaisant au point de vue acoustique et au point de vue production :

1. Les caractéristiques géométriques du mur.
2. Le revêtement acoustique. Des tables fournissent les coefficients d'absorption de différents matériaux.
3. L'accès pour la production et l'entretien.
4. L'effet sur la machine : la ventilation peut être requise pour éviter le surchauffage de la machine.

Dans les cas où les pertes par transmission excèdent par exemple 50 dB, il peut être plus économique d'utiliser une construction à murs multiples au lieu d'un mur simple.

Lorsque l'emmagasinement du matériel à la machine ou l'accès à l'enclos empêchent l'installation d'un enclos complet, il est parfois possible d'utiliser un enclos partiel. L'enclos partiel doit séparer la source de bruit du travailleur.

Des écrans acoustiques peuvent être utilisés pour contrôler la transmission du bruit lorsque placés entre la source et le récepteur. Ces barrières sont efficaces pour les bruits de moyennes et hautes fréquences mais pas pour les bruits de basses fréquences.

De faibles réductions (3 à 7 dB) peuvent être obtenues par absorption à l'intérieur de la pièce sous certaines conditions. Il s'agit de choisir des matériaux mous, rugueux, à surfaces poreuses pour absorber le son.

Les conduites de ventilation et les systèmes de convoyeurs sont souvent d'importantes sources de bruit par transmission. Les conduites peuvent être recouvertes pour atténuer le son transmis. La réduction du bruit obtenue par recouvrement de conduites avec du matériel acoustique peut être calculée. Et il y a plusieurs moyens de réduire le bruit d'entrées et de sorties d'air.

Dosimètre et sonométrie

Bien que l'on doive viser à réduire le plus possible le bruit, il est souvent nécessaire, pour l'établissement des priorités, de connaître les travailleurs les plus exposés, et une étude avec dosimètre personnel est très utile pour compléter une étude faite avec un sonomètre. La sonométrie est relativement facile à effectuer; elle nous permet de faire une cartographie du bruit d'une usine et nous indique les sources majeures de bruit à réduire.

Cependant, les microphones stationnaires ne peuvent pas toujours être utilisés pour donner une éva-

luée précise de la machine à évaluer sans nous aux opérations. De plus, il est prioritaire de connaître le bruit qui atteint l'opérateur. Plusieurs opérateurs passent des périodes de temps dans des endroits assez silencieux, comme aux salles de contrôle, aux salles d'entreposage, aux salles de repos ou à la cantine. Un microphone fixé près de leur poste de travail habituel surestimerait leur dose quotidienne de bruit. Le personnel d'entretien, de nettoyage, le personnel de cadre se déplace souvent dans des endroits où l'intensité et la durée des bruits sont variables. Dans bien des cas, il est impossible d'évaluer le risque de dommage auditif avec un sonomètre. Une solution satisfaisante à ces problèmes est d'installer sur le travailleur un dosimètre personnel qu'il porte pendant sa journée normale de travail.

Les dosimètres sont légers et peu encombrants et peuvent avoir en accessoire un fil d'un mètre avec préamplificateur qui nous permet de placer le microphone près de l'oreille du sujet à l'étude. Il faut calibrer régulièrement ces dosimètres avec un calibrateur donnant un signal de 94 dB à 1000 Hz.

Pour une journée complète de mesure, un compte de 100% sera obtenu lorsque le porteur aura été soumis à la dose de bruit maximum recommandée de 90 dBA pour une journée de huit heures. Un compte plus haut que 100% indique que la dose de bruit maximum a été excédée.

Un pourcentage obtenu pour des mesures de moins de huit heures peut facilement être modifié pour une journée complète de travail. Pour ces mesures plus courtes, il faut prendre soin de choisir une période représentative de l'exposition de la journée, afin d'obtenir le niveau continu équivalent pour la journée.

Les normes

Les normes énumérées ci-après sont utilisées aux États-Unis et au Canada. On les retrouvera fort probablement dans le règlement des Services de protection de l'environnement sur la qualité du milieu, actuellement dans sa phase finale de préparation. Ce règlement est préparé en collaboration avec le Ministère du Travail et le Ministère des Richesses naturelles.

« Dans un établissement, aucun travailleur ne doit être exposé aux niveaux de bruit continu prévus ci-après pendant une période de temps plus longue que celle indiquée au tableau qui suit :

Niveau de bruit (en dBA ou dBA corrigés)	Temps d'exposition permis (en heures/jour)
85	16
90	8
95	4
100	2
105	1
110	0.5
115	0.25
>115	0

causé par le bruit.

Pour éviter de se buter à trop de facteurs subjectifs dans l'appréciation du bruit, les spécialistes ont établi des séries de courbes correspondant à la sensibilité de l'oreille à divers niveaux d'intensité et attribué à chacune de ces courbes des notes ou critères de convenance pour différentes conditions de travail ou de vie ainsi que pour les conditions de communication ou d'isolement nécessaires dans l'exercice de certaines professions.

Pour fixer un peu les idées, disons qu'un quartier où le niveau de bruit est inférieur à 40 dbA est considéré comme tranquille alors que s'il est supérieur à 55 dbA, le quartier est considéré comme très bruyant.

COMMENT RÉDUIRE LE BRUIT

Pour parvenir à contrôler les bruits, dangereux ou perturbateurs, plusieurs moyens s'offrent à notre disposition: on peut ramener ces moyens à deux grands principes: l'isolation et la réduction à la source.

Dans beaucoup de cas, les machines de l'industrie produisent des vibrations par suite de leur construction même: il importerait de mieux étudier le concept de ces machines de façon à mieux équilibrer le mouvement et réduire ainsi les vibrations: ceci représente souvent des frais que l'industrie n'a pas les moyens d'encourir; d'autre part, il existe des amortisseurs de vibration beaucoup moins dispendieux et assez efficaces.

Dans les cas de moteurs à explosion, des silencieux plus efficaces peuvent être utilisés: ces moyens sont applicables

autant dans le cas de moteurs stationnaires que dans celui des véhicules motorisés, tondeuses à gazon et autres appareils du genre.

Dans les cas de jets d'air ou de vapeur et dans celui des sorties de systèmes d'air climatisé des silencieux appropriés réduisent efficacement le bruit.

Pour les machines pneumatiques à percussion, comme les marteaux piqueurs, des recherches sont actuellement en cours, et, au moins pour certaines opérations, des modèles d'un type entièrement nouveau et beaucoup moins bruyants existent déjà.

Dans certains cas, l'utilisation de résonateurs absorbants ou de cloisons absorbantes empêchera la réverbération et aidera ainsi à insonoriser certains endroits modérément bruyants.

Pour empêcher le bruit de se transmettre, on utilise souvent des cloisons isolantes au plomb: on peut ainsi isoler une machine en l'insérant dans une boîte ou une chambre isolée; on peut aussi isoler une salle de façon à conserver la confidentialité professionnelle.

Dans certains endroits extrêmement bruyants, on utilise pour protéger les employés, des salles isolantes et insonorisées d'où ils peuvent surveiller leurs machines.

Lorsqu'il s'agit de hautes fréquences sonores, un simple mur fait de matériaux appropriés suffit parfois à faire une excellente barrière contre le bruit.

ANNEXE IV
LES PROTECTEURS AURICULAIRES

EVALUATION DU POUVOIR D'ATTENUATION DES PROTECTEURS INDIVIDUELS

1. Limites du pouvoir d'atténuation

Avant de se demander comment estimer le pouvoir d'atténuation d'un protecteur individuel particulier, il est intéressant d'en considérer les limites techniques ou physiques pour un ensemble de protecteurs.

Alors, quels sont les facteurs qui limitent la performance des protecteurs individuels?

Figure 1

On doit en considérer au moins quatre: ce sont les quatre voies d'accès de l'énergie sonore à l'oreille interne en présence d'un protecteur individuel (voir figure 1).

L'influence de deux de ces facteurs peut être limitée par des améliorations techniques de plus en plus fines à des coûts plus ou moins élevés. Mais, l'influence des deux autres facteurs est à toutes fins pratiques incontrôlable; en effet, d'une part, la vibration du protecteur dépend de sa masse et, il est évident qu'on ne peut concevoir l'utilisation des bouchons ou des coquilles anti-bruit qui seraient très lourds.

D'autre part, nous n'avons aucun pouvoir sur la conduction osseuse à moins d'avoir recours à un casque qui enfermerait, en quelque sorte, la tête dans un enclos.

Figure 2

Comme le montre la figure 2, de par la vibration du protecteur, l'atténuation maximale que l'on puisse obtenir en basses fréquences se situe entre 25 et 30 dB (voir Walker et Martin, 1974). A cause de la conduction osseuse (voir Dicks et Swindeman, 1967), la limite du pouvoir d'atténuation aux fréquences supérieures se situe entre 25 et 40 dB à 1000 Hz et entre 30 et 50 dB aux fréquences supérieures.

Donc, dans le meilleur des cas, c'est-à-dire avec un protecteur idéal sans coulage acoustique, l'atténuation ne dépasserait vraisemblablement pas 30 dB en basses fréquences et 50 dB en hautes fréquences.

Mais en pratique, le pouvoir d'atténuation n'atteint généralement pas ces valeurs.

2. Valeurs d'atténuation affichées

Maintenant, comment déterminer, à l'intérieur de ces limites, des valeurs réalistes d'atténuation? Les différents fournisseurs affichent pour chaque protecteur qu'ils mettent sur le marché, des valeurs d'atténuation estimées d'après une méthode définie par un standard.

Le premier standard (ANSI Z24.22, 1957) en vigueur spécifiait que la mesure du pouvoir d'affaiblissement sonore des protecteurs devait être effectuée de la façon suivante: les seuils d'audition aux sons purs de 10 sujets devaient être mesurés en champ libre à trois occasions différentes aux fréquences audiométriques normalisées, et ce, avec et sans port du protecteur. L'élévation moyenne du seuil à une fréquence provoquée par le port du

116

protecteur représente ainsi son pouvoir d'atténuation à cette fréquence.

Mais, un certain nombre d'études expérimentales ont montré que cette méthode conduisait systématiquement à surestimer le pouvoir d'affaiblissement des protecteurs en hautes fréquences, et en particulier autour de 3000 Hz.

Par exemple, la surestimation peut atteindre plus de 20 dB à cette dernière fréquence dans le cas de coquilles anti-bruit (Taibo, Bebar et Raitzin, 1977).

Pour cette raison, une révision récente de ce standard (ANSI S3.19-1974) a normalisé une méthode plus réaliste d'évaluation.

Figure 3

Le signal utilisé pour mesurer le déplacement des seuils est plus proche des caractéristiques des environnements sonores industriels. Bien que cette méthode fasse encore l'objet de critiques diverses, il est de toute première importance que vous vous assuriez que les mesures d'atténuation affichées par le fournisseur soient conformes à ce standard plus récent.

3. Variabilité du pouvoir d'atténuation

Nous avons vu que le problème d'étanchéité ou en d'autres termes, celui du coulage acoustique autour du protecteur constituait une limite importante de son pouvoir d'atténuation. C'est en fait, un problème d'ajustement individuel du protecteur. Pour cette raison, l'atténuation d'un bouchon ou d'une coquille peut être excellente pour un individu et pratiquement nulle pour un au-

tre. C'est pourquoi les standards incitent les fournisseurs à afficher non seulement la moyenne des valeurs d'atténuation par bande de fréquence mais également, leur écart type. Cette donnée est très importante puisqu'elle permet de connaître les limites inférieures et supérieures du pouvoir d'affaiblissement d'un protecteur.

Figure 4

En effet, l'écart-type représente alors la variation moyenne des valeurs d'atténuation, de part et d'autre, de l'atténuation moyenne obtenue. Sachant que ces valeurs se distribuent suivant une courbe normale, on peut définir les limites inférieures et supérieures d'atténuation avec un certain degré de confiance (en général, 67 et 95%).

Tableau I

Prenons l'exemple d'une coquille anti-bruit typique, couramment utilisée en industrie, pour laquelle l'atténuation moyenne est reproduite au tableau I.. Considérant l'écart-type, pour chaque bande de fréquence, on peut déterminer un intervalle de confiance de l'atténuation de ce protecteur. Ainsi, pour un intervalle de 95% ($\bar{X} \pm 25$), on peut estimer avec peu de chances de se tromper l'atténuation la meilleure et la moins bonne.

Il est clair que le pouvoir d'affaiblissement sonore peut être relativement faible (au mieux 22 dB et ce, à 2000 Hz, dans ce cas). Si le bruit est riche en basses fréquences, comme c'est très souvent le cas, il n'y a pas lieu de parler de protection efficace.

Tableau II

Considérons un exemple où ce protecteur-même est utilisé à un poste où le niveau moyen de bruit durant 8 heures était de 114 dBA (dans un moulin à scie). Les niveaux par bandes d'octaves montrent qu'il s'agit d'un spectre relativement plat entre 250 et 2000 Hz.

Puisque l'atténuation d'une coquille est meilleure en hautes fréquences, on peut dire qu'en moyenne, ce protecteur ne constitue une barrière efficace qu'au-delà de 500 Hz. Dans le meilleur cas, la protection peut être suffisante, puisqu'il peut réduire le bruit d'environ 30 dBA. Mais, pour certains travailleurs ou encore après un certain temps de port du protecteur par un même travailleur, l'atténuation peut vraisemblablement être tout à fait insuffisante (de 10 dBA seulement).

En conclusion, on ne peut espérer assurer, à coup sûr, une protection efficace contre une majorité de bruits excessifs au moyen de bouchons ou de coquilles anti-bruit.

Le pouvoir d'affaiblissement sonore de ces dispositifs est limité et il varie considérablement d'un individu à un autre ou pour un même individu d'un jour à l'autre.

Son usage doit donc être à tout le moins doublé d'un programme efficace de surveillance audiométrique. Inversement, il ne peut constituer un moyen sûr d'éviter toute acquisition d'une fatigue auditive lorsque l'on effectue des examens audiométriques en usine en cours de journée d'exposition au bruit.

Fig. 1

Limites du pouvoir d'affaiblissement sonore des
protecteurs individuels

1. Coulage acoustique autour du protecteur (manque d'étanchéité)
2. Coulage acoustique au travers du protecteur-même
(faiblesse ou insuffisance des matériaux)
3. Vibration du protecteur, laquelle génère de l'énergie sonore
dans le conduit auditif
4. Conduction osseuse et conduction à travers les tissus
adjacents au protecteur

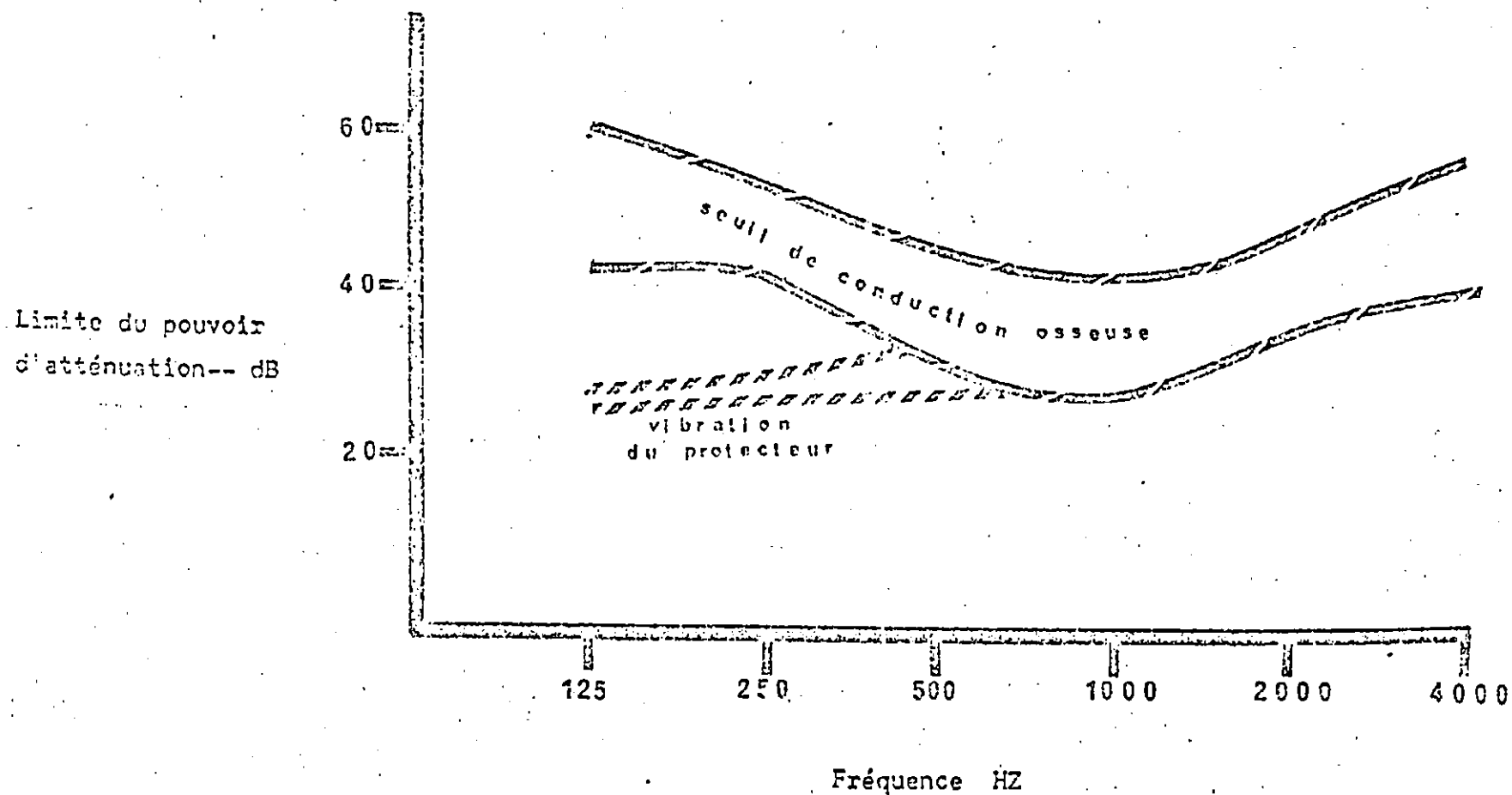


Figure 2. Limite du pouvoir d'atténuation des protecteurs individuels par vibration du protecteur et par conduction osseuse.

Procédures normalisées d'évaluation
du pouvoir d'affaiblissement sonore des protecteurs

Standard ANSI - Z 24.22 (1957)

Mesure du déplacement des seuils aux sons purs en champ libre
(un seul haut-parleur)

Standard ANSI - S 3.19 (1974)

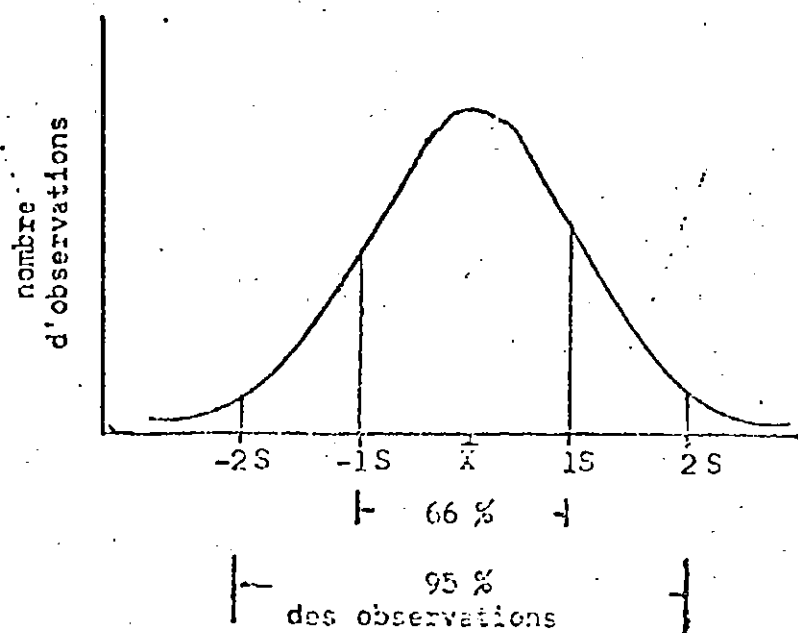
Mesure du déplacement des seuils à des bruits de bandes de $1/3$ d'octave
en champ diffus

fig. 4
1.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N}}$$

où S = écart-type
 X = observation individuelle
 $\bar{X}$ = moyenne des observations
 N = nombre d'observations

donc S = la variation moyenne des X de part et d'autre de $\bar{X}$



Rappel de la notion d'écart-type et de la courbe normale

PROTECTEURS AURICULAIRES

Hearing protection devices are fitted to cover the ears completely, to cover just the ear canals, or to be inserted within the ear canals of the exposed individual. These devices attenuate sound before it reaches the sensitive structures of the ears. Refer to the table or chart for the various categories of protective devices.

□ Ear canal caps are soft molded inserts attached to a spring headband. They seal only the entrance to the ear canal.

□ Ear muffs completely enclose the ears, including the pinna. They effect a tight seal against the head by means of a pliable circumaural sealing cushion and a spring-loaded headband or support. They can also be equipped with headphones for communication purposes.

□ Ear plugs are inserted into the ear canal. There are four varieties available: (1) They can be formed by the user from soft fibrous or plastic materials. (2) They can be obtained preformed in a range of standard sizes and configurations. (3) They can be custom-fitted by inserting a quick-setting plastic material directly into the ear canals. (4) They can be custom-fitted from a set of previously cast ear canal impressions — the finished ear plugs are formed from standard ear-mold materials.

For easy reference to the company or product wanted, refer to the appropriate category in the chart and table. Then, locate the manufacturer by referring to the company listings. Listings which appear in bold-face type identify advertisers in this issue of SJV.

Manufacturers of Hearing Protection Equipment	Ear-Canal Caps	Ear Muffs	Ear Muffs with Communications Equipment	Ear Plugs, Cast-in-Place	Ear Plugs, Custom Molded from Ear-Canal Impressions	Ear Plugs, Formed by User	Ear Plugs, Preformed
Adcoind, Inc.	—	—	—	—	•	•	—
American Optical Corp.	—	•	•	—	—	—	•
AMF Beaird, Inc.	—	•	—	—	—	—	—
Aural Research	—	•	—	—	—	—	—
Bausch & Lomb, Inc.	—	•	—	—	—	—	—
David Clark Co., Inc.	—	•	•	—	—	—	—
H. E. Douglass Engineering Sales Co.	•	—	—	—	—	—	—
Environmental Acoustical Research	—	•	—	—	•	—	—
Floris Products Co., Inc.	—	•	—	—	—	—	—
French Laboratory	—	—	—	—	•	—	—
Frontier Industrial Products Co.	—	—	—	—	—	•	—
General Electric Co.	—	—	—	•	—	—	—
Glendale Optical Co., Inc.	—	•	•	—	—	—	—
Hochler Brothers, Inc.	—	—	—	—	—	—	•
Human Acoustics Labs., Inc.	—	—	—	•	—	—	—
Mine Safety Appliances Co.	—	•	•	—	—	—	—
Oto-Cure, Inc.	—	—	—	•	—	—	•
RHA Audio Communications, Inc.	—	—	•	—	—	—	—
Rockford J. C. Webb, Inc.	—	—	—	—	—	•	—
Safeline Products	—	•	•	—	—	—	•
Safety Ear Protector Co.	—	—	—	—	—	—	•
Scintrex, Inc.	—	•	•	—	—	—	•
Sellstrom Manufacturing Co.	—	•	—	—	—	—	—
Sigma Engineering Co.	—	—	—	—	—	—	•
Sound Master Products, Inc.	—	—	—	•	—	—	—
Surgical Mechanical Research, Inc.	—	—	—	—	—	—	•
Wade Products Co.	—	—	—	—	—	•	—
Welsh Manufacturing Co.	—	•	—	—	—	—	•
Wilson Products Div. ESB, Inc.	—	•	•	—	—	—	•

An asterisk (*) after a listing indicates that real-ear attenuation data per ANSI Z24.22-1957 are available on request.

Adcoind, Inc., 1558 California St., Denver, CO 80202 (3,6)

American Optical Corp., Safety Products Div., 14 Mechanic St., Southbridge, MA 01550 (2, 3,7)*

AMF Beaird, Inc., P.O. Box 1115, Shreveport, LA 71102 (2)*

Aural Research, 5739 Camelia Ave., Temple City, CA 91780 (2,3)

Bausch & Lomb, Inc., 635 St. Paul St., Rochester, NY 14602 (2)*

David Clark Co., Inc., 366 Park Ave., Worcester, MA 01610 (2,3)*

H. E. Douglass Engineering Sales Co., P.O. Box 7209, Berkeley, CA 94705 (1)*

Environmental Acoustical Research, P.O. Box 2145, Boulder, CO 80302 (2,5)*

Floris Products Co., Inc., 103 Park Ave., New York, NY 10017 (2,6)*

French Laboratory, 1978 Marconi Ave., Sacramento, CA 95815 (5)*

Frontier Industrial Products Co., 3521 Sunset Blvd., Los Angeles, CA 90026 (6)*

General Electric Co., Electrical Development Operation, Bldg. 5, Rm. 127, Schenectady, NY 12305 (4)*

Glendale Optical Co., Inc., 130 Crossways Park Dr., Woodbury, NY 11797 (2,3,7)*

Hochler Brothers, Inc., 22-19 37th Ave., Long Island City, NY 11101 (7)*

Human Acoustics Labs., Inc., 888 E. Williams St., Carson City, NV 89701 (4)*

Mine Safety Appliances Co., 791 N. Broadway Ave., Pittsburgh, PA 15203 (2,3,7)*

Oto-Cure, Inc., 3175 Christy Way, Saginaw, MI 48603 (4)*

RHA Audio Communications, Inc., 325 Hudson St., New York, NY 10013 (3)*

Rockford J. C. Webb, Inc., 391 N. Madison St., Rockford, IL 61110 (5)*

Safeline Products, P.O. Box 550, Putnam, CT 06260 (2,3,7)*

Safety Ear Protector Co., 5355 West Pico Blvd., Los Angeles, CA 90019 (7)*

Scintrex, Inc., Creekside Dr., Amherst Industrial Pk., Tonawanda, NY 14150 (2,3)

Sellstrom Manufacturing Co., Sellstrom Industrial Pk., 240 Hicks Rd., Palatine, IL 60067 (2)*

Sigma Engineering Co., 11520 Burbank Blvd., North Hollywood, CA 91601 (7)*

Sound Master Products, Inc., 1529 Broadway, Oakland, CA 94612 (4)*

Surgical Mechanical Research, Inc., P.O. Box 1135, 900 West 15th St., Newport Beach, CA 92663 (7)*

Wade Products Co., 109 East 28th St., New York, NY 10016 (3)*

Welsh Manufacturing Co., 9 Magnolia St., Providence, RI 02909 (2,7)*

Wilson Products Div. ESB, Inc., P.O. Box 672, Reading, PA 19603 (2,3,7)*

Willson

10 Sound Bar **	23	17	18	21	34	42	44	43	46
	3.3	3.1	2.8	4.1	5.3	5.9	9.2	6.3	4.6

Willson

EP100/EP101B **	20	23	24	26	32	41	42	38	35
	7.1	6.0	6.4	5.7	4.4	5.5	5.3	6.7	6.6

Willson

155 **	10	11	21	31	37	42	35	27	21
	6.0	6.1	5.9	7.8	7.1	7.7	6.2	9.0	8.0

Willson

155A **	14	18	25	34	39	43	37	26	23
	4.3	4.4	6.3	7.4	6.8	8.0	7.8	8.7	8.2

Willson

365 **	15	20	22	36	34	32	32	32	30
	2.2	2.1	1.9	1.6	1.8	1.8	1.8	1.4	1.9

* **

LES RESULTATS DE ANSI S3.19-1974 NE PEUVENT ETRE COMPARES RELATIVEMENT AUX RESULTATS DES NORMES ANSI Z24.22-1957. A CAUSE DE LA DIFFERENTE METHODOLOGIE DES TESTS, S3.19-1974 A EN MOYENNE 5 dB DE MOINS QUE Z24.22-1957.

LA CIE SAFETY SUPPLY LTEE

5545, St Jacques Ouest

Montréal, Québec

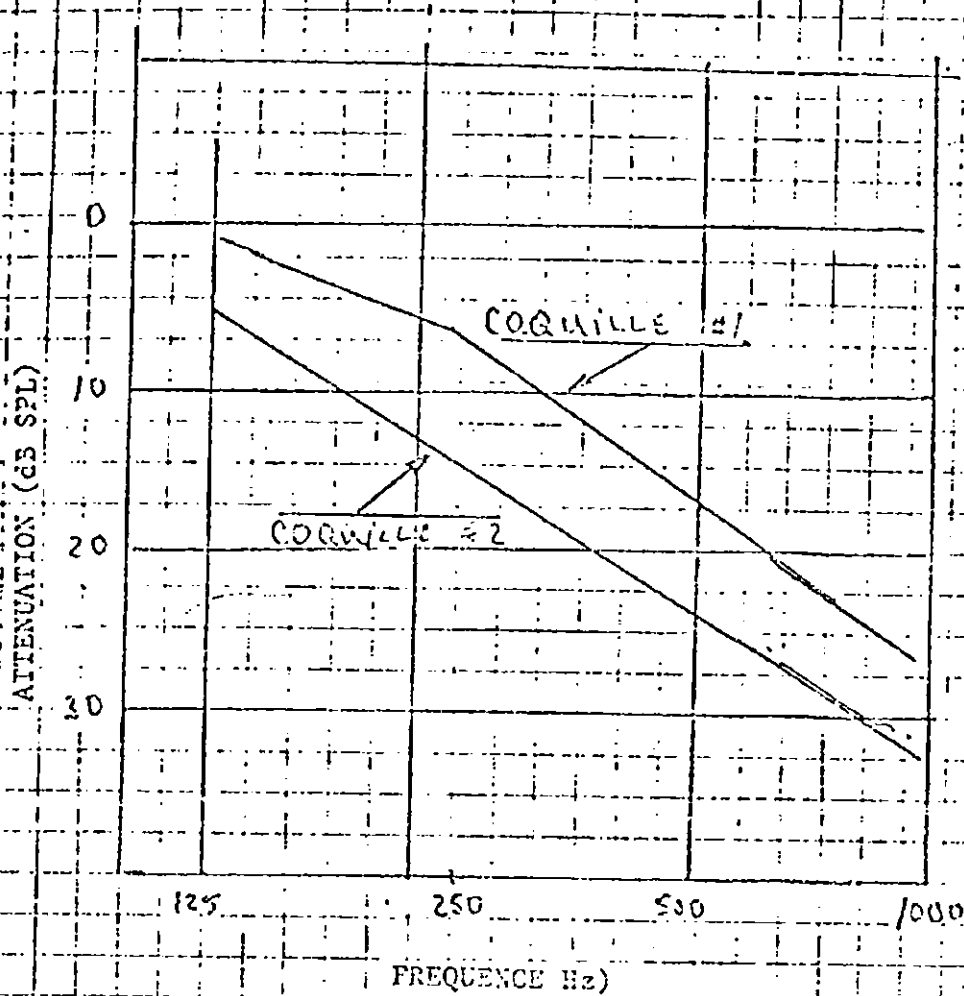
H4A 2E4

Tel: 487-1610

Nov. 9/78

(SUITE)

Comfit									
30423/4/5 **	25.8	25.6	26.6	27.5	35.9	39.0	40.8	43.0	40.8
	6.9	5.9	6.4	4.5	6.6	7.4	8.7	9.6	5.6
Deci Damp **	32.6	34.6	36.7	40.0	41.2	46.1	47.6	48.1	43.9
	4.7	4.5	5.4	3.9	3.3	4.5	4.2	4.1	3.8
Hellberg									
CHFF **	11.0	15.4	29.5	38.5	38.9	40.9	43.3	33.3	30.7
	2.2	3.5	3.8	3.7	4.5	5.2	3.4	6.0	4.7
Peacekeeper **	18.0	16.3	17.9	20.1	35.5	40.5	44.1	40.0	35.4
	5.3	3.9	6.4	4.8	5.7	5.4	5.5	8.6	9.4
Persa Hox	26	19	15	24	26		46		36
	NON EPROUVE SELON ANSI								
Safeco									
204/970 *	11.6	17.8	24.1	34.2	36.8	39.8	40.6	37.8	36.9
	2.2	2.3	1.8	1.5	1.7	2.4	2.4	1.9	2.2
Safeco									
258 **	22.8	25.3	36.7	44.0	42.2	51.5	45.2	37.2	33.7
	4.5	6.6	5.3	5.4	7.7	6.1	5.6	6.1	6.7
Safeco									
290 **	18.5	23.5	32.8	43.8	43.5	47.3	45.5	42.3	38.7
	3.2	4.1	4.6	5.1	6.6	7.8	6.5	6.9	9.1
Silent Partner **	20.8	23.3	25.6	30.6	40.1	44.3	42.7	44.5	38.5
	3.5	4.6	3.8	3.2	4.3	5.3	4.6	3.5	5.3
Sonic									
2D **	8	7	10	20	32	28	33	31	36



Graphique comparant l'atténuation fournie par deux protecteurs type coquille: le # 2 a un plus grand volume d'air retenu, ce qui lui donne une plus forte atténuation en basses fréquences.

(tiré de: Industrial Noise and Hearing conservation, Olshifski et Harford, National Safety Council, Chicago 1975)

Problèmes:

1. Dans une usine, vous mesurez le niveau global du bruit dans un local contenant une raboteuse comme se situant autour de 105 dB A. La compagnie a l'intention d'installer deux autres raboteuses identiques dans le même local sans rien modifier à l'acoustique de la pièce. Quel niveau de bruit global vous attendez-vous à retrouver dans la pièce après l'installation des nouvelles machines ?

- ☐ 110 dB A
- ☐ 108 dB A
- ☐ 109,8 dB A
- ☐ 112,9 dB A
- ☐ 210 dB A
- ☐ Aucune de ces réponses

2. Dans une mine le ventilateur principal est installé à l'extérieur et dérange beaucoup les employés qui dorment dans une roulotte à 30 pieds du ventilateur. Le CSS vous demande de venir mesurer le bruit dans la roulotte, lequel atteint 80 dB A la journée de vos mesures. Le gérant de la mine propose de déménager la roulotte à 90 pieds du ventilateur pour réduire le bruit à l'intérieur. Selon vous, quel sera le nouveau niveau de bruit à l'intérieur de la roulotte ?

- ☐ 68 dB A
- ☐ 74 dB A
- ☐ 75 dB A
- ☐ 70 dB A

3. Dans un moulin à papier, l'expert en hygiène de la compagnie vous dit que l'exposition au bruit des mécaniciens de machinerie lourde est nulle ou négligeable, car il a fait plusieurs mesures avec dosimètre sur eux et chaque fois le dosimètre lisait 0%. Il demande donc qu'au niveau du programme de santé ces travailleurs soient exclus d'une surveillance périodique, qu'en pensez-vous ?

4. Dans une usine de fabrication de machineries forestières la journée de vos mesures, un soudeur travaille deux (2) heures à réparer une presse. Le niveau de bruit ambiant est alors de 82 dB A. Il travaille ensuite dans un atelier à souder un morceau de métal pendant 30 minutes. Ensuite, il fait de l'arc-air pendant quinze (15) minutes. Il retourne ensuite dans l'usine pour aider un millwright à déboulonner une pièce à l'aide d'une déboulonneuse automatique pendant environ trente (30) minutes. Le reste de la journée se passe à effectuer divers travaux de rangements dans son atelier où le niveau sonore est d'environ 75 dB A. Le soudeur travaille sur un quart de neuf (9) heures et il a soixante (60) minutes pour dîner et trente (30) minutes de pause par jour. Sa soudeuse de marque Lincoln 1976 fait 78 dB A, l'arc-air est à 115 dB A et la déboulonneuse pneumatique à 105 dB A. Calculer sa dose de bruit cette journée-là selon la norme légale au Québec ?

- ☐ 90 dB A
- ☐ 91 dB A
- ☐ 100 dB A
- ☐ 78 à 80 dB A

5. Dans une usine de fabrication de maisons un travailleur fervent militant syndical réclame que son patron lui fournisse des protecteurs auditifs de type coquille parce que dit-il des protecteurs de type bouchons n'atténuent pas assez le bruit auquel il est exposé. Le patron rétorque qu'il a fait faire des mesures avec dosimètres et que sa dose de bruit quotidienne est de moins de 95 dB A selon cet instrument ce qui ne dépasserait pas les capacités d'atténuation des bouchons. Le travailleur en question est chargé de clouer les plafonds aux chevrons, ce qu'il fait avec une cloueuse pneumatique (exerçant une force de 1000 lbs au point d'impact). Il plante ainsi environ 1500 clous par jour. Le bruit ambiant autour de lui est de l'ordre de 80 dB A. Comment trancheriez-vous le débat ?

On doit s'assurer que les conditions sont représentatives. En relevant les temps d'exposition à chacun des bruits différents, on peut calculer les différents niveaux sonores et une dose d'exposition journalière. Si les expositions varient beaucoup d'une journée à l'autre, tel pour les postes d'entretien mécanique, soudure,... il faut calculer une exposition pour une plus longue durée, (1 semaine, 1 mois) et déduire une moyenne quotidienne d'exposition en terme "niveau sonore durée". On doit inclure la contribution du temps supplémentaire moyen.

Pour la dosimétrie, il faut aussi vérifier les batteries et étalonner l'appareil avant de s'en servir. Le micro doit être placé le plus près possible de l'oreille du travailleur.

Attention: pour certains appareils, si on les ferme, ils repartent à zéro. Il faut s'assurer que le travailleur n'arrête pas l'appareil. On doit prendre plusieurs lectures pendant la journée, documenter ce qu'a fait l'employé et les événements particuliers (coups de masse,...). Pour certains dosimètres on peut sélectionner $q = 3$ ou $q = 5$ (le noter).

On doit s'assurer que les conditions sont représentatives. En relevant les temps d'exposition à chacun des bruits différents, on peut calculer les différents niveaux sonores et une dose d'exposition journalière. Si les expositions varient beaucoup d'une journée à l'autre, tel pour les postes d'entretien mécanique, soudure, ... il faut calculer une exposition pour une plus longue durée, (1 semaine, 1 mois) et déduire une moyenne quotidienne d'exposition en terme "niveau sonore durée". On doit inclure la contribution du temps supplémentaire moyen.

Pour la dosimétrie, il faut aussi vérifier les batteries et étalonner l'appareil avant de s'en servir. Le micro doit être placé le plus près possible de l'oreille du travailleur.

Attention: pour certains appareils, si on les ferme, ils repartent à zéro. Il faut s'assurer que le travailleur n'arrête pas l'appareil. On doit prendre plusieurs lectures pendant la journée, documenter ce qu'a fait l'employé et les événements particuliers (coups de masse, ...). Pour certains dosimètres on peut sélectionner $q = 3$ ou $q = 5$ (le noter).

Mesure de bruit (Sonométrie)

Date _____ Heure: début _____ fin _____

Cie & division _____

Poste (Localisation) _____

Nom du travailleur _____

Description de l'environnement _____

Description de l'équipement _____

	Source	Niveau	Durée	LEQ
Continu	_____	_____	_____	_____
ou	_____	_____	_____	_____
Fluctuant	_____	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____
	_____	_____	_____	_____
Impact	_____	_____	_____	_____

Appareil utilisé _____

Dose quotidienne 9=3: _____ 9=5: _____

Nombre de travailleurs occupant ce poste _____

Signature _____

Centre de Santé Isle-DieuMesure de bruit (Dosimétrie)

Date _____ Heure: début _____ fin _____

Cie & division _____

Poste (Localisation) _____

Nom du travailleur _____

Description de l'environnement _____

Description de l'équipement _____

No d'appareil _____

Heure Lecture Remarques

Durée d'exposition quotidienne _____

LEQ: _____ Durée _____

Dose quotidienne 9=3: _____ 9=5: _____

Signature _____

Centre de Santé Isle-Dieu

L'ÉCHANTILLONNAGE DES POUSSIÈRES

Daneil Gagné
Hygiène du travail
Département de santé communautaire
Rouyn-Noranda
Septembre 1983

A- Théorie

1. Définition

On a vu dans le cours "Introduction aux mesures d'hygiène industrielle" qu'il y avait une distinction à faire entre poussière, fumée, brouillard, buée et boucane.

Cependant pour des fins d'échantillonnage ces distinctions sont moins importantes, car la façon d'échantillonner peut être très semblable qu'on parle de fumée de plomb, de poussière de bois, de buée d'acide sulfurique, de brouillard de peinture ou de boucane de "saran wrap". Ce sont surtout les méthodes d'analyse qui diffèrent.

En effet, l'échantillonnage de ce qu'on appelle "poussière" (incluant fumée, brouillard, etc) constitue une opération très simple. L'analyse cependant peut se révéler compliquée, mais est généralement faite par un laboratoire extérieur.

2. Comportement aérodynamique des poussières

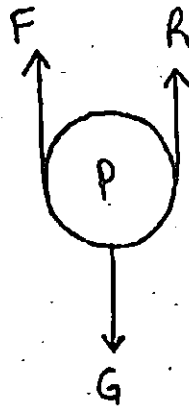
L'intérêt qu'on porte à la poussière en hygiène industrielle vient surtout du fait qu'elle peut être aéroportée, c'est-à-dire demeurée suspendue dans les airs, pendant un certain temps. La voie respiratoire étant de loin la principale voie d'entrée dans l'organisme de la poussière, c'est à la poussière aéroportée qu'on s'intéresse primordiallement en hygiène industrielle (et non pas à la poussière déposée).

Mais qu'est-ce qui fait qu'une particule est aéroportée (et qu'une autre ne l'est pas) ? Les facteurs prédominants sont les suivants (par ordre d'importance):

- ses dimensions
- sa forme
- sa densité
- les courants d'air
- l'humidité

Ainsi on dira que les particules de diamètre supérieur à 40 ou 50 μm ne sont pas considérées comme aéroportées. (Il est à remarquer que 40 à 50 μm constitue à peu près la limite de visibilité à l'oeil nu) donc comme ayant peu de chances d'être inhalées.

Les particules de moins de 40 μm dépendant de leur forme et de leur densité, ont des chances de demeurer aéroportées pendant un certain temps. La suspension dans l'air d'une particule dépend essentiellement de trois forces influençant son mouvement:



où P = particule

G = force de gravité

F = flottabilité de la particule (dépendamment de sa surface vs densité)

R = résistance de l'air due à la friction et à la turbulence.

Tant que la somme des forces F et R est plus grande que G, la particule demeure aéroportée.

Il est possible de calculer ce qu'on appelle la vitesse terminale des particules lorsqu'on connaît leur diamètre aérodynamique et leur gravité spécifique. Ainsi on a pu établir que pour des particules de quartz (d'une densité spécifique de 2,7) elles se déposaient par terre à la vitesse suivante:

Diamètre aérodynamique (μm)	Vélocité terminale
0,5	1,5 pouce/heure
1	5 pouces/heure
5	108 pouces/heure
10	1080 pouces/heure (1,5 pieds/minute)

Un autre point intéressant à noter c'est que la trajectoire des particules se confond avec les mouvements de l'air ambiant. Ainsi si on projetait une particule de $30\mu\text{m}$ dans l'air à une vitesse de 44 pieds par seconde (30MPH), à cause de sa faible masse, sa grande résistance à la turbulence de l'air et de la force de gravité, elle ralentirait très rapidement au contact de l'air et atteindrait sa vélocité terminale à 18 pouces seulement de la source d'émission.

Que faut-il conclure de ces propriétés aérodynamiques des poussières ?

1. Ce n'est pas la poussière que l'on voit, ni la poussière déposée qui est dangereuse;
2. Une particule aéroportée de faible diamètre peut demeurer dans l'air respirable pendant plusieurs heures;
3. Les particules aéroportées se comportent selon les mouvements de l'air ambiant (peu importe si elles sont projetées dans l'air avec plus ou moins de violence). Elles sont donc beaucoup influencées par les courants d'air lesquels peuvent prolonger de beaucoup leur temps de suspension;
4. Pour contrôler les particules aéroportées, il est plus sage de les empêcher de devenir aéroportées que d'essayer de les extraire de l'air ambiant;
5. Que la poussière déposée reste déposée.

B- Les normes

L'application des normes peut s'avérer déroutante au premier abord étant donné le nombre important de substances totalement différentes regroupées sous le vocable de poussière .

Pour simplifier les choses, on divise généralement "les poussières" en deux grandes sous-divisions que nous étudierons plus en détails:

- celles qui produisent une pneumoconiose;
- celles qui n'en produisent pas.

1. Celles qui produisent une pneumoconiose

En un sens large cette poussière correspond à celle qui se dépose au niveau pulmonaire et qui demeure en storage (produisant éventuellement des dommages aux tissus). En un sens plus restreint, c'est la poussière qui s'attaque aux poumons, suffisamment pour causer une dysfonction pulmonaire incapacitante et indemnisable.

Pour l'application des normes, c'est la définition restreinte qu'on utilise. Ce type de poussière comprend surtout l'amiante, la silice, le charbon et le coton. L'application des normes concernant ces poussières suppose d'emploi d'une technique permettant de séparer les particules dites "respirables" des "non respirables" en prenant pour acquis que seule la fraction "respirable" de la poussière constitue un risque pour la santé.

La fraction respirable est cependant difficile à définir . Elle peut varier beaucoup selon certains facteurs (par exemple: le débit respiratoire, la précision et le type d'instrument de mesure, les caractéristiques aérodynamiques de la poussière , les connaissances qu'on a sur l'étiologie d'une pneumoconiose, etc.).

Certaines conventions internationales ont cependant tranché parmi les nombreuses définitions qu'on a pu donner de la poussière respirable. Concrètement cela

se traduit par le choix d'un certain instrument parmi les nombreux disponibles sur le marché qui permet de sélectionner les poussières en fonction de leurs caractéristiques physiques et/ou aérodynamiques. Ainsi, pour la silice libre on utilise au Québec le cyclone de nylon Door-Oliver (qui correspond à la courbe AEC-ACGIH 1961, donnée en annexe).

2. Les poussières ne produisant pas de pneumoconiose

Bien que la principale voie d'entrée dans l'organisme de ces poussières, soit la voie pulmonaire, les normes prévoient cependant que l'on mesure ce qu'on appelle dans le jargon des hygiénistes la "poussière totale".

Cependant en appliquant les normes, il faut bien réaliser que la fumée de soudure peut contenir plus de 95% de particules respirables alors que la poussière de bois dans une scierie peut n'en contenir que 5%. C'est pourquoi pour certains métaux (par exemple: le cadmium, le manganèse, le cuivre, etc.) on aura une norme différente selon qu'il s'agit de fumée, de poussière, de buée, etc... Toutefois, les normes ne prévoient aucune méthode pour spécifier la forme physique de la poussière. De plus, pour beaucoup de contaminants, leur action toxique se trouve renforcée ou diminuée s'ils se présentent combinés chimiquement à une autre substance. Ainsi par exemple, le carbonate de calcium a une concentration moyenne permise de 10 mg/m³, alors que l'oxyde de calcium en a une de 2 mg/m³.* Malheureusement la méthode d'analyse ne permet pas de distinguer entre ces deux formes de calcium (le calcium est exprimé sous forme de calcium total) et l'hygiéniste doit déterminer selon le mode de production ou les données du manufacturier, etc, si on risque de rencontrer dans la poussière échantillonnée surtout de l'oxyde de calcium ou surtout du calcium sous l'une ou l'autre de ces autres formes.

* Règlement sur la qualité du milieu de travail, 21 septembre 82.

C'est pourquoi l'hygiéniste en plus de bien connaître les méthodes d'échantillonnage doit en plus avoir une bonne idée des méthodes d'analyse s'il veut interpréter correctement les données qui lui proviennent du laboratoire.

C- La mesure des poussières

Comme mentionné au début, la technique d'échantillonnage est assez simple et assez uniforme pour tous les contaminants qu'ils se présentent sous forme de poussières, fumées, buées, boucanes ou brouillards. Cela ne signifie pas que l'hygiène industrielle a manqué un peu d'ingéniosité pour l'échantillonnage des poussières, car pour en arriver au système simple pompe et filtre que nous connaissons aujourd'hui, il a fallu passer par toutes sortes d'ancêtres plus ou moins farfelus qui ont jadis fait la pluie et le beau temps parmi diverses écoles d'hygiénistes industriels.

Ceci dit, il semble que le système pompe-filtre utilisé universellement aujourd'hui, semble être là pour rester, du moins pendant un certain temps. Car les améliorations que l'on a connues ces dernières années touchaient beaucoup plus à la qualité des composantes pompe et filtre qu'à la nature de ce type d'échantillonnage. Selon moi les développements majeurs à venir seront du côté des méthodes d'analyse, en particulier l'abandon progressif de la simple gravimétrie, au profit des méthodes plus sensibles, qualitativement parlant.

Tout ceci pour dire qu'il serait trompeur de croire que l'échantillonnage des poussières se résume essentiellement à "plugger" un système pompe-filtre sur un travailleur et attendre ensuite les résultats du laboratoire. L'hygiéniste doit faire tout en son possible pour obtenir d'autres renseignements sur la poussière que le simple poids de son échantillon sur filtre.

Ainsi:

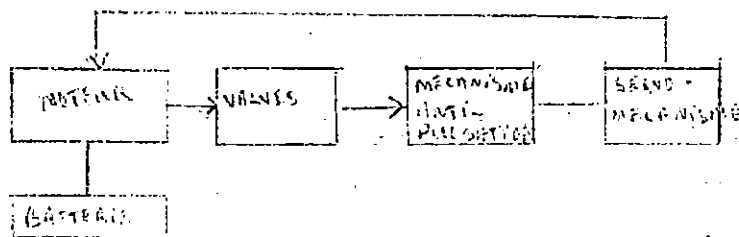
- du laboratoire, il essaiera d'obtenir des précisions sur les limites de la méthode d'analyse (sensibilité, spécificité, interférences) ainsi que des analyses sur la constitution physique et chimique de son échantillon;

- de son expérience et de celle des autres hygiénistes, il essaiera d'évaluer l'influence des conditions de transport des échantillons sur l'intégrité de ceux-ci (par exemple: l'effet des vibrations causant un décollement de la poussière sur le filtre);
- des recherches sur les méthodes d'échantillonnage, il essaiera d'évaluer l'efficacité relative de tel type de filtres ou de cassettes vs les filtres standard;
- des discussions avec les travailleurs et les contremaîtres, il essaiera d'évaluer si la concentration et la nature des poussières varient (par exemple d'une saison à l'autre, d'un procédé à l'autre, d'un type de matière première à l'autre, etc.);
- des données fournies par les manufacturiers de matières premières, il essaiera de préciser la nature chimique et physique de la poussière;
- etc.

1. Les instruments de mesure

La pompe portative à batterie rechargeable ainsi qu'un filtre approprié sont ici les deux outils de base. L'avènement sur le marché des pompes à débit constant a réglé une partie des avatars liés aux problèmes de batterie trop faible, de résistance sur le filtre et d'atmosphère corrodés, mais elle ne dispense pas de la calibration fréquente et régulière.

SCHEMA - POMPE À DÉBIT CONSTANT



Le choix des filtres est un point important souvent négligé. Avant d'échantillonner une poussière quelconque, il vaut toujours mieux de consulter le "Guide d'échantillonnage des contaminants" de l'IRSST pour s'assurer qu'on a le bon filtre. Les caractéristiques des filtres sont données selon deux paramètres principaux:

- a) leur nature: par exemple: esters de cellulose, argent, chlorure de polyvinyle, teflon, etc.
- b) leur porosité: par exemple: $0,8 \mu\text{m}$, $5 \mu\text{m}$, etc.

À côté de ces grandes catégories de filtres, il y a certaines variantes qu'on pourrait appeler des filtres spéciaux (par exemple: le filtre ECM quadrillé pour l'amiante, le filtre combiné argent et cellulose pour brai de houille, etc). Le type de filtre choisi est fonction du type d'analyse. (Par exemple le filtre PVC est moins sensible à l'humidité et le filtre d'argent pour la silice est choisi parce qu'il doit être dissout dans l'acide nitrique).

Le filtre est fait pour être inséré dans une cassette à deux ou trois sections. Dans la cassette, le filtre repose sur un support (genre de carton) pour pallier au manque de rigidité des filtres.

Il y eut un temps une chaude controverse quant à l'utilisation des cassettes à deux ou trois sections qui s'est résorbée avec l'utilisation assez générale maintenant des cassettes à trois sections, lesquelles devraient répartir plus uniformément sur le filtre la poussière aspirée à travers la mince ouverture de la section supérieure. Une autre variante possible c'est la cassette sans section supérieure dite "cassette ouverte". Elle est obligatoire pour l'échantillonnage des fibres qui doivent être comptées comme par exemple: l'amiante. Cependant, des recherches récentes⁽¹⁾ ont démontré que les filtres à cassette ouverte pour l'échantillonnage de plusieurs poussières (entre autres celles ayant de plus grosses particules) étaient plus efficaces.

(1) Beaulieu, H.J., et al., AIHA Journal, vol. 41, octobre 1980, p. 758.

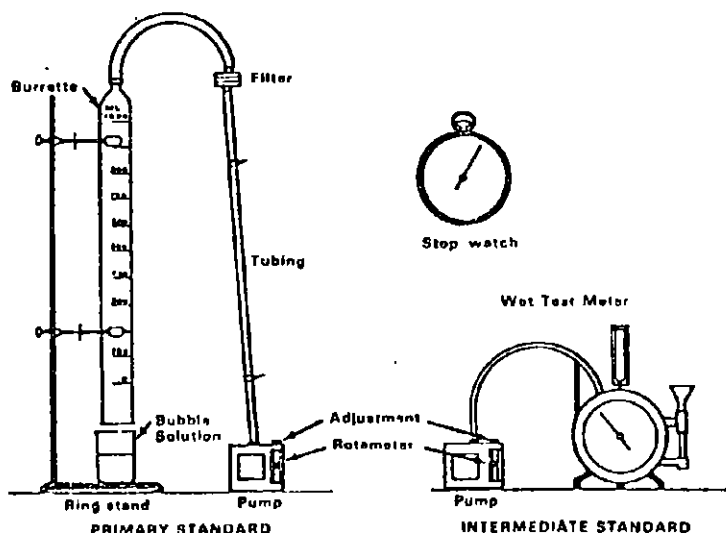
On a ci-dessous une vue d'une cassette fermée à trois sections.



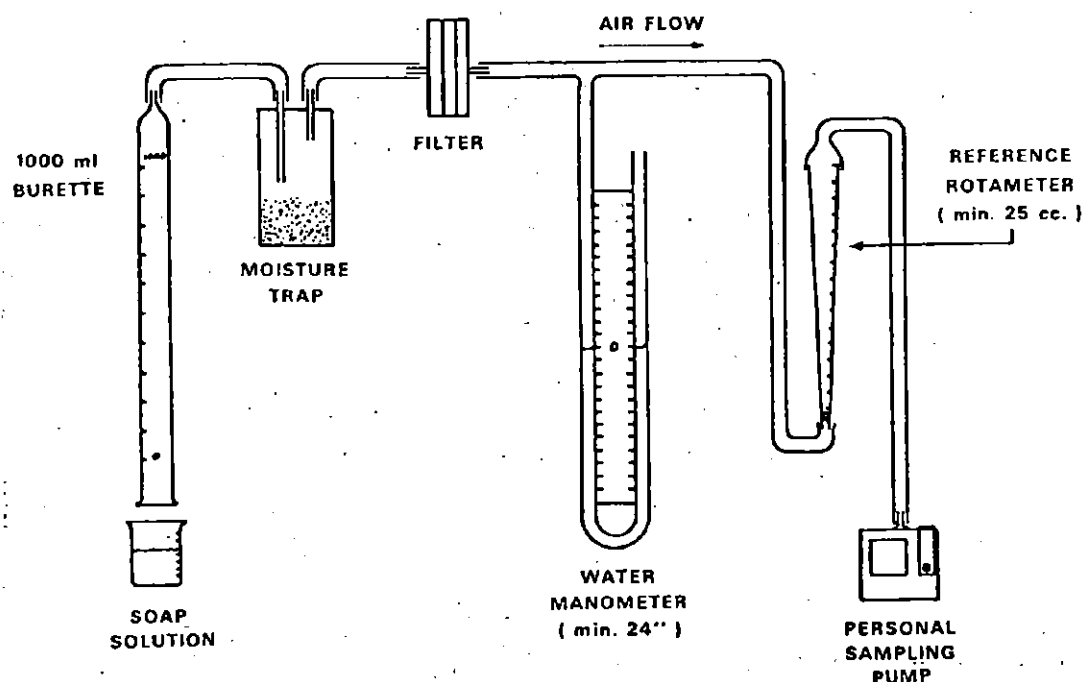
2. La calibration

La calibration est essentielle à l'échantillonnage des poussières puisqu'elle permet de déterminer le volume d'air aspiré par la pompe en cours d'échantillonnage. Elle consiste à mesurer le débit de la pompe (en litres par minute habituellement) par rapport à un standard. Les standard se divisent en trois types selon leur degré de fiabilité: primaire, intermédiaire et secondaire.

Sous l'illustration ci-dessous, on peut noter un standard primaire et intermédiaire (bulle de savon et gasomètre humide):



Sur cette autre illustration, on a un standard secondaire (rotomètre de précision)..



La pratique courante est de calibrer un standard secondaire (par exemple: rotomètre de précision ou débitmètre électronique) avec un standard primaire (peu maniable en usine) et de calibrer ensuite nos pompes sur place avec le standard secondaire moins encombrant.

Il est à noter que beaucoup de pompes ont un rotomètre installé en permanence sur le boîtier. Ce rotomètre n'est pas un standard et ne doit donc pas être utilisé pour la calibration. Le but de cet instrument est de vous donner certaines indications qualitatives sur le débit de la pompe à savoir, est-ce que la pompe a beaucoup changé son débit depuis le début de l'échantillonnage. Mais ces rotomètres sont tellement peu fiables que certains fabricants de pompes à débit constant les ont carrément éliminés.

La calibration doit être faite au minimum avant et après l'échantillonnage et le débit moyen doit être calculé. Ceci repose sur l'hypothèse que le débit varie (diminue) de façon linéaire entre le début et la fin de l'échantillonnage. En pratique rien ne nous permet de vérifier cette hypothèse et il vaut mieux prendre une mesure de débit au milieu de l'échantillonnage (vers midi).

3. Les résultats d'analyse

On a reproduit en annexe une formule de demande d'analyse de l'IRSST, une est une formule vierge et l'autre remplie (fictivement). On va maintenant procéder à l'exercice de remplir une demande d'analyse à partir d'une feuille de notes d'échantillonnage (annexée au cahier).

Par exemple, si on est allé échantillonner à l'usine "X" pour la poussière de bois, et pour le nickel et le chrome dans les fumées de soudure. Selon le "Guide d'échantillonnage" de l'IRSST, pour la poussière de bois, on doit utiliser un filtre CPV, pré-pesé de $0,8\mu m$ de porosité et pour le nickel et cadmium, il faut un filtre ECM de $0,8\mu m$. Le débit recommandé est de 1,5 litres par minute (LPM) pendant un minimum de deux heures.

A cette fin on choisit les filtres #0698-B et 0699-B pour la poussière de bois et le filtre #5944 pour le nickel et le chrome. On procèdera à l'échantillonnage à l'aide de trois pompes MSA 9G dont le débit sera réglé à 1,5 LPM avant l'échantillonnage grâce à un rotomètre de précision pré-calibré deux jours auparavant avec la burette à bulle de savon.

On débute l'échantillonnage (personnel) à 9 h 00 du matin pour la poussière de bois chez deux opérateurs d'écorceuse et on termine à 16 h 00. Les préposés ont eu une pause de 30 minutes pour dîner pendant laquelle on leur a enlevé leur pompe. A midi on vérifie le débit d'une pompe étant donné que le rotomètre sur la pompe semblait montrer une baisse de débit. Le rotomètre de précision donne une lecture de 1,3 LPM. On décide alors de réajuster la pompe à 1,5 LPM. A 16 h 00 le débit mesuré au rotomètre de précision était d'à nouveau 1,3 LPM.

Pour l'autre pompe, le débit semblait stable et de fait à 16 h 00, il était de 1,4 LPM.

Pour la fumée de soudure sur acier inoxydable, on a appris que la baguette à souder contenait 20% de nickel et 1% de chrome. On décide donc de déterminer la concentration de ces deux métaux dans la fumée de soudure. Le soudeur rebâtit un cylindre hydraulique et soudé de 10 h 30 à 11 h 00 le matin. La pompe MSA 9G a été pré-calibrée à 1,5 LPM le matin et 30 minutes après la soudure on retire la pompe au soudeur (échantillonnage personnel). Le débit était demeuré à 1,5 LPM.

On place nos filtres dans une boîte en polystyrène qui nous a suivi sur les lieux et on choisit alors le filtre #0691-B comme témoin pour les deux filtres de poussière de bois et le filtre #5916 comme témoin pour les métaux. Une fois rendu au bureau, on remplit la formule de demande de services à l'IRSST. Auparavant, cependant, on calcule notre débit moyen.

Pour la première pompe à poussière le débit moyen était de:

$$- \frac{1,5 + 1,3}{2} \times (9 \text{ h } 00 \rightarrow 12 \text{ h } 00 = 180 \text{ min.}) = 252 \text{ litres.}$$

$$- \frac{1,5 + 1,3}{2} \times (12 \text{ h } 30 \rightarrow 16 \text{ h } 00 = 210 \text{ min.}) = \frac{294 \text{ litres}}{2}$$

$$\text{total: } 390 \text{ minutes} = 546 \text{ litres}$$

$$\text{débit moyen} = \frac{546 \text{ litres}}{390} = 1,4 \text{ LPM}$$

Pour la seconde pompe à poussière le débit moyen fut de:

$$- \frac{1,5 + 1,4}{2} = 1,45 \text{ LPM pendant } 390 \text{ minutes}$$

Pour la pompe à fumée de soudure le débit a été de 1,5 LPM pendant 60 minutes.

Pour les analyses demandées, on choisit les mesures pondérales (gravimétrie) pour la poussière de bois. Pour des fumées de soudure, les choses se compliquent un peu du fait que pour le nickel on a le choix entre trois types de nickel (sulfure de nickel, nickel métal et composés solubles de nickel). Pour le chrome, il n'y a qu'un type identifié (sels solubles), mais il y a une interférence citée soit les sels insolubles de chrome. Nous sommes placés ici dans une situation un peu embarrassante, car nous ne savons rien d'autre de l'électrode que son contenu total en chrome et en nickel. Il semble bien qu'il faudra avoir recours à une expertise extérieure, soit recontacter le manufacturier d'électrode, soit l'IRSST, soit le DSC, etc.

Dans ce cas, le manufacturier n'est pas rejoignable, l'IRSST nous mentionne que la méthode d'analyse pour le nickel est la même (absorption atomique) qu'il s'agisse de composés solubles ou insolubles ou de sulfure de nickel et qu'ils peuvent seulement exprimer la concentration sous forme de nickel total. Le DSC vous informe que les composés solubles de nickel sont des sels comme le chlorure, le sulfate et le nitrate de nickel et qu'en soudure on est plus susceptible de retrouver le nickel sous forme d'oxyde (NiO). Le sulfure de nickel (Ni_3S_2) lui se rencontre surtout dans l'industrie du smeltage de minerai sulfuré riche en nickel. Le risque de cancer associé au nickel est surtout présent pour les sels solubles et le sulfure. Pour ce qui est du chrome, l'IRSST vous mentionne que l'interférence dont il est question vient non pas d'un biais dans l'analyse, mais du fait que la méthode ne fait pas de distinction entre les formes insolubles et solubles de chrome et, la norme s'appliquant uniquement aux composés solubles, on aura une surestimation des concentrations s'il y a présence de sels insolubles dans l'échantillon. Le DSC vous apprend de son côté qu'en soudure avec arc manuel, ce dont il s'agit, on retrouve un bon pourcentage de chrome hexavalent ou chromate (probablement des chromates de sodium et potassium⁽¹⁾) surtout, lesquels sont considérés comme sels

(1) AIHA Journal, juin 1983, vol. 44, no. 6, p. 387.

AIHA Journal, sept. 1983, vol. 44, no. 9, p. 649

solubles dans l'eau) et que l'IRSST peut analyser les chromates, mais il aurait fallu que l'échantillon soit fait avec filtre CPV. Dans le cas ici, il est trop tard pour recommencer l'échantillonnage et vous décidez de demander l'analyse du chrome total et si ce dernier est élevé vous referez l'échantillonnage pour le chrome hexavalent.

Deux semaines plus tard, les résultats pour la poussière de bois vous parviennent: 3.5 mg/m^3 pour le filtre 0698-B et 3 mg/m^3 pour le 0699-B. La variation du témoin fut de $0,013 \text{ mg}$ et correspond à moins de 5% de différence pour une concentration de 10 mg/m^3 .

Il est bon de préciser que certains laboratoires apportent les correctifs lors de l'analyse des échantillons. Par exemple, l'IRSST corrige le poids des filtres pour considérer les variations pondérales dues aux variations d'humidité. Ainsi, un filtre prépesé en été dans un laboratoire ayant un pourcentage d'humidité près de 60% sera sensiblement moins lourd s'il est repesé en hiver dans le même laboratoire ayant cette fois un pourcentage d'humidité de 15%. Avec l'aide d'une savante équation et de l'ordinateur, l'IRSST corrige les lectures pondérales pour éliminer ce facteur confondant.

La variation du témoin sert à porter un jugement sur la qualité de l'échantillon. Ainsi par exemple, pour le filtre 0698-B:

Volume d'air échantillonné = $546 \text{ L} = 0,546 \text{ m}^3$

$$\frac{\text{Variation du témoin}}{\text{Volume d'air échantillonné}} = \frac{0,013 \text{ mg}}{0,546 \text{ m}^3} = 0,024 \text{ mg/m}^3$$

$$\frac{0,024 \text{ mg/m}^3}{\text{Norme de } 5 \text{ mg/m}^3} = 0,5\% < 5\% \text{ de la norme}$$

L'échantillon ne semble pas avoir été contaminé pendant sa manipulation et le volume d'air échantillonné semble acceptable.

Il s'agirait maintenant de discuter avec le comité de santé et sécurité, les contremaîtres et les travailleurs concernés, si la journée de nos mesures était représentative d'une journée normale et/ou si certains facteurs n'affectent pas la concentration de poussière. (par exemple: bois sec vs bois vert, gros bois vs petit bois, bois charié dans le sable, etc.).

Pour le filtre #5944, un mois plus tard vous recevez les résultats de l'IRSST: 2 mg/m³ de nickel total et 0,1 mg/m³ de chrome total. Vos recherches vous ont démontré qu'il s'agissait principalement d'oxyde de nickel et de chrome.

Ici cependant il s'agit d'une opération sporadique. En discutant avec le soudeur, vous apprenez qu'il ^{ne} fait qu'une demi-heure par semaine (1 fois par semaine) de la soudure sur acier inoxydable. Donc, sa concentration moyenne sur 8 heures cette journée-là fut de : $2 \text{ mg/m}^3 \times \frac{1 \text{ heure}}{8 \text{ heures}} = 0,25 \text{ mg/m}^3$ pour le nickel et de

$0,1 \text{ mg/m}^3 \times \frac{1 \text{ heure}}{8 \text{ heures}} = 0,012 \text{ mg/m}^3$ pour le chrome.

Comme la norme fixe la concentration moyenne à 1 mg/m³ et à 0,5 mg/m³, pour le nickel (métal) et chrome (métal) respectivement, il y a peu de chances qu'on ait ici surexposition à ces produits (à noter qu'il n'y a pas de concentration maximale de 15 minutes fixée pour ces métaux). Si on fait la moyenne sur 1 semaine, l'exposition du soudeur devient de 0,5 mg/m³ en moyenne par jour pour le nickel et de 2,5 mg/m³ pour le chrome. (Il est à noter ici que l'échantillonnage a porté sur 1 heure et non sur les seules 30 minutes que durait la soudure, ceci pour tenir compte de l'efficacité du système de ventilation. Si le système est efficace, il ne devrait pas y avoir d'exposition additionnelle après la soudure, par contre s'il y a beaucoup de fumée qui demeure dans l'air, celle-ci s'ajoute à l'exposition du soudeur pendant la soudure et doit être mesurée en prolongeant le temps d'échantillonnage).

Echantillonnage de poussière

Date _____ Cie & Division _____
 Endroit _____
 Poste fixe No _____
 Localisation _____
 Personnel Nom _____
 No _____
 Classification _____

Echantillons

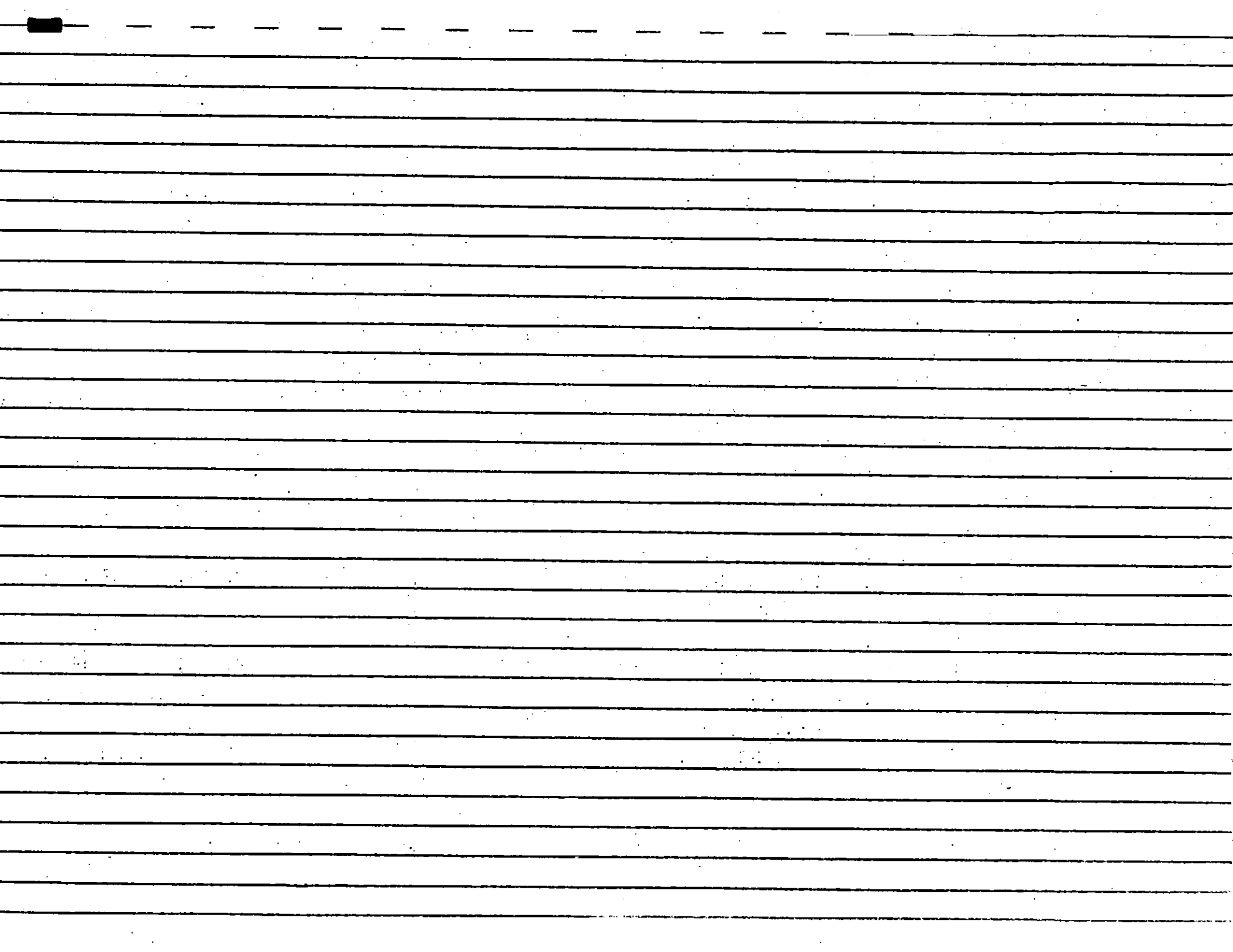
	No	No	No
Produit ou matière			
No pompe			
No filtre			
Début (heure min)			
Fin (heure min)			
Débit (initial)			
Débit (final)			
Débit (moyen)			
Durée			
Temps d'exposition			
Lecture directe			
Signature			

Echantillonnage de poussière

Date _____ Cie & Division _____
 Endroit _____
 Poste fixe No _____
 Localisation _____
 Personnel Nom _____
 No _____
 Classification _____

Echantillons

	No	No	No
Produit ou matière			
No pompe			
No filtre			
Début (heure min)			
Fin (heure min)			
Débit (initial)			
Débit (final)			
Débit (moyen)			
Durée			
Temps d'exposition			
Lecture directe			
Signature			



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

LES POUSSIÈRES
LE PRÉLEVEMENT DE L'ÉCHANTILLON

Résumé de la présentation donnée
lors du colloque sur les poussières
de l'Association pour l'hygiène industrielle au Québec

Le 22 septembre 1982

Texte préparé par: Nicole Goyer
Jan Deadman

1.0 Définitions

Avant de débiter une discussion sur les diverses techniques de prélèvement de poussières, il est important qu'un langage commun existe pour décrire l'échantillonnage.

Quelques définitions sont donc nécessaires.

1.1 Aérosols

Un aérosol est un système colloïdal dont le milieu de dispersion est un gaz, la phase dispersée pouvant être soit un solide (cas d'une fumée) soit un liquide (cas d'un brouillard). On distingue:

- les aérosols de dispersion produits mécaniquement lors du broyage d'un solide ou de la vaporisation d'un liquide;
- les aérosols de condensation produits lors de la condensation d'une vapeur sursaturée ou lors de réactions gaz-gaz ou gaz-solide;

En hygiène industrielle, le terme aérosol est également utilisé pour les poussières.

1.2 Poussières

Le terme "poussières" s'applique aux particules solides de dimension et de provenance variables. Dans l'air du milieu de travail, on évalue dépendant de la grosseur de ces particules la concentration de poussières totales ou la concentration de poussières respirables.

1.3 Poussières respirables et courbes de respirabilité

Les poussières respirables sont les particules qui atteignent les régions alvéolaires des poumons (British Medical Research Council, BMRC, 1952), ou les particules qui atteignent les parties non-ciliées des poumons (Atomic Energy Commission, AEC, 1961).

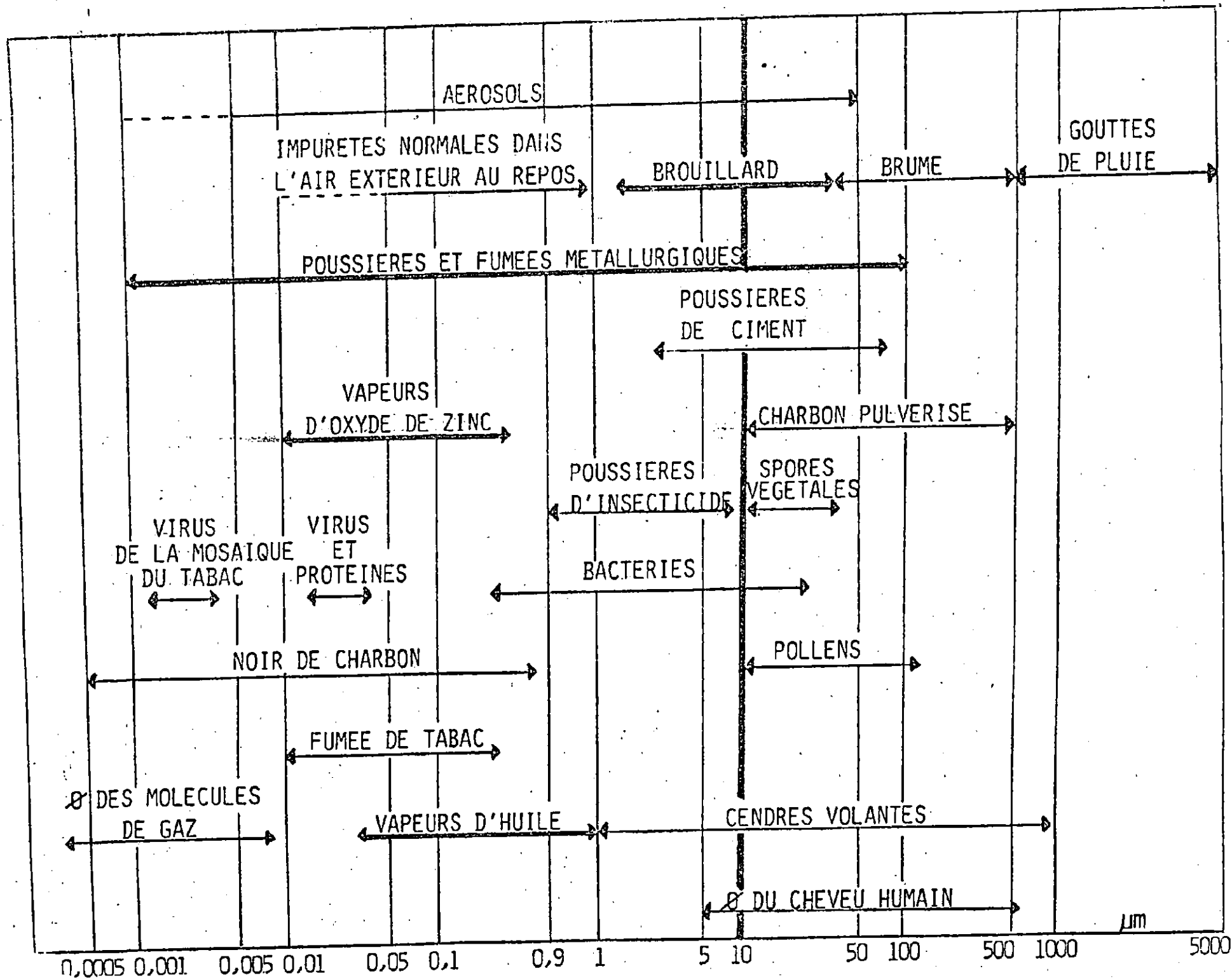


Fig. 1 TAILLE DES PARTICULES ATMOSPHERIQUES EN µm

Deux courbes de référence simulant la déposition des particules dans les poumons en fonction de leur diamètre aérodynamique ont découlé des définitions de poussières respirables. Ces deux courbes supposent que les particules qui se déposent dans les poumons restent dans les poumons.

Courbe BMRC (Fig. 2):

Cette courbe définit les poussières respirables comme celles passant à travers un élutriateur horizontal dont les caractéristiques de sélection de la taille des particules correspondent le plus possible aux données expérimentales de déposition dans les poumons.

Les particules respirables sont celles qui passent à travers l'élutriateur et se distribuent ainsi:

Fig. 3

Diamètre (um)	2,2	3,2	3,9	4,5	5,0	5,5	5,9	6,3	6,9	7,1
% respirabilité	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0

Courbe AEC-ACGIH (Fig. 4):

Cette courbe définit les poussières respirables comme la portion de la poussière inhalée qui pénètre dans les parties non-ciliées des poumons.

Ce concept de poussières respirables et le choix de l'échantillonnage approprié s'appliquent aux poussières fibrogènes (i.e. causes de fibrose pulmonaire).

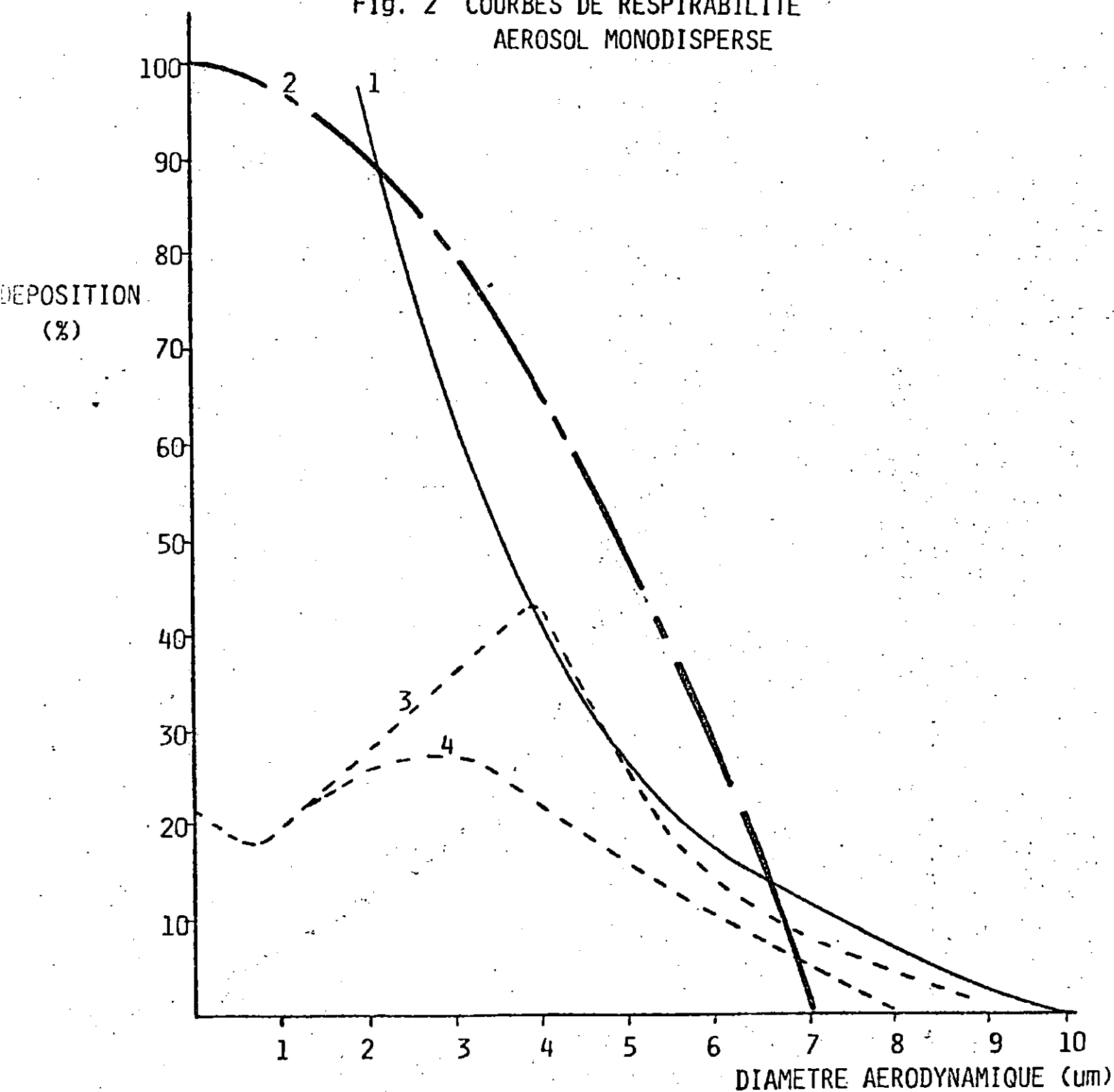
Cela n'inclut pas les poussières solubles dans les fluides du corps et celles qui sont d'abord des intoxicants chimiques.

A l'instar de ces restrictions, les poussières respirables se limitent comme suit:

Fig. 5

Diamètre (um)	1,0	2,5	3,5	5,0	10,0
% respirabilité	100	75	50	25	0

Fig. 2 COURBES DE RESPIRABILITE
AEROSOL MONODISPERSE



(1) Courbe AEC-ACGIH

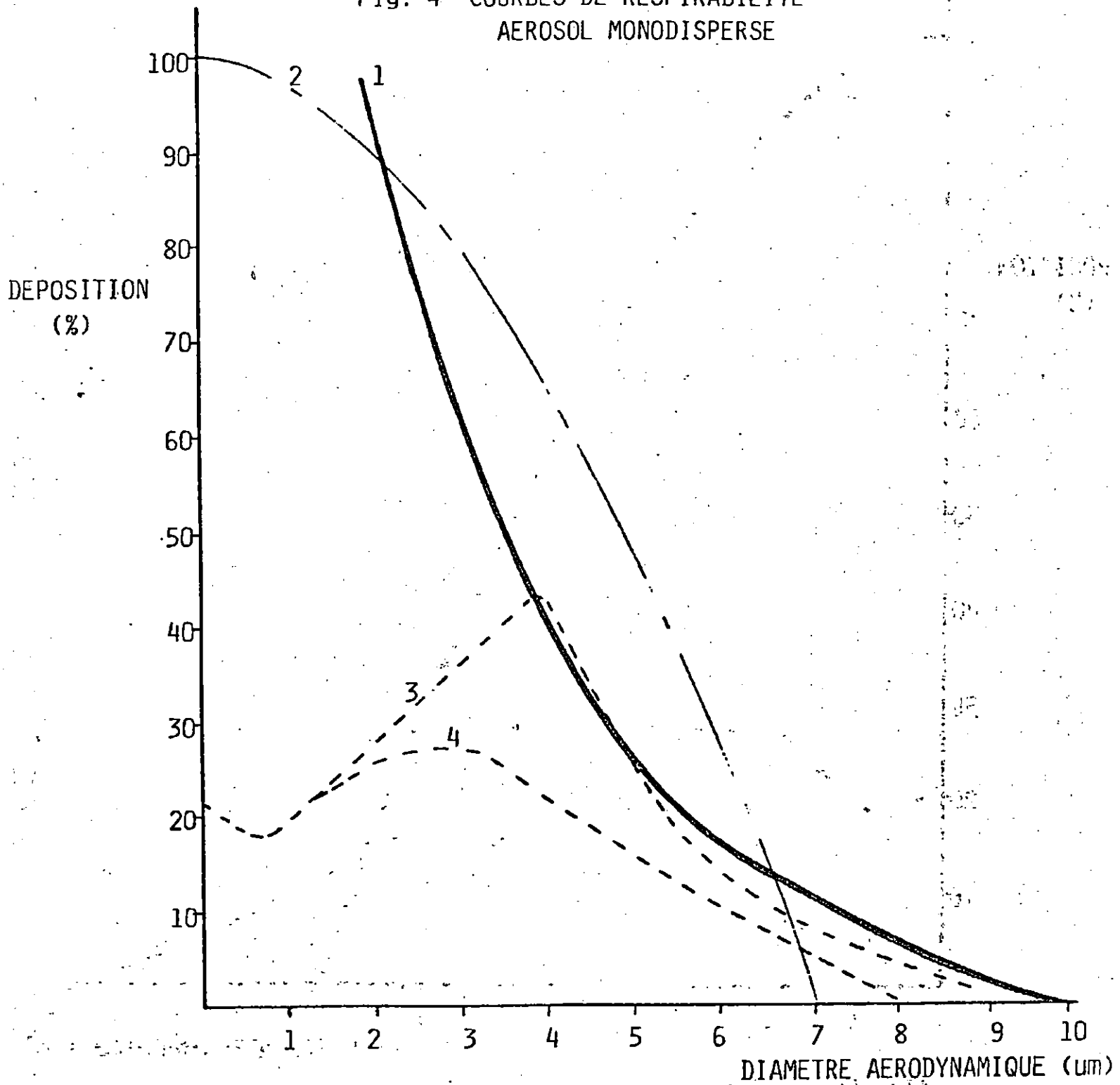
(2) Courbe BMRC

(3) Deposition alveolaire via la bouche

(4) Deposition alveolaire via le nez

Tiré de Corn and Fismen, 1978

Fig. 4 COURBES DE RESPIRABILITE
AEROSOL MONODISPERSE



- (1) Courbe AEC-ACGIH
- (2) Courbe BMRC
- (3) Deposition alveolaire via la bouche
- (4) Deposition alveolaire via le nez

Ces deux courbes ont des caractéristiques semblables mais non similaires.

La courbe BMRC a été choisie pour donner la meilleure concordance entre les caractéristiques calculées d'un élutriateur horizontal idéal et les données expérimentales de déposition des poussières dans les poumons; de son côté, la courbe AEC-ACGIH suit le patron donné par les résultats de déposition dans l'appareil respiratoire obtenus par Brown et al (1959) et est simulé par les caractéristiques de séparation des collecteurs de type cyclone.

Mathématiquement il a été démontré que la concentration en poids de poussières passant à travers un appareil répondant à la courbe ACGIH sera légèrement plus faible que celle obtenue par un sélecteur répondant à la courbe BMRC selon le rapport :

Fig. 6

$$\frac{\text{Concentration ACGIH}}{\text{Concentration BMRC}} = 0,81 \pm 0,11$$

Watson 1953
Beeckmans 1965
Mercer 1966

Ainsi, un échantillonnage effectué avec un élutriateur approximant la courbe BMRC va mesurer une concentration de poussières respirables supérieure d'environ 20 % sur celui fait avec un cyclone répondant à la courbe ACGIH.

Conclusion:

Les définitions de poussières respirables sont très arbitraires et conditionnées par la performance de l'échantillonneur choisi. Le manque de données pour les humains en plus du fait que d'un individu à l'autre, les mécanismes de rétention et l'élimination soient très variables, expliquent cette imprécision (Lippman et al, 1980).

(Un comité de l'International Standards Organization (ISO) s'est réuni en 1979 et 1980 à quatre occasions pour essayer de standardiser les définitions de poussières respirables. Le but de ces rencontres a été de recommander des définitions de grosseur pour l'échantillonnage des particules. Le rapport final de ce comité apparaît en annexe.)

Echantillonnage de gaz et poussières

Date _____ Cie & Division _____
 Endroit _____
 Poste fixe No _____
 Localisation _____
 Personnel Nom _____
 No _____
 Classification _____

Echantillons

	No	No	No
Produit ou matière			
No pompe			
No filtre			
Début (heure min)			
Fin (heure min)			
Débit (Initial)			
Débit (final)			
Débit (moyen)			
Durée			
Temps d'exposition			
Lecture directe			
Signature	_____		

Centre de Santé Isle-Dieu

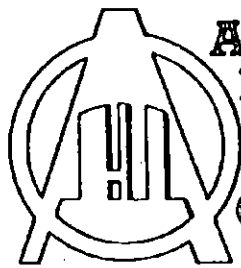
Echantillonnage de gaz et poussières

Date _____ Cie & Division _____
 Endroit _____
 Poste fixe No _____
 Localisation _____
 Personnel Nom _____
 No _____
 Classification _____

Echantillons

	No	No	No
Produit ou matière			
No pompe			
No filtre			
Début (heure min)			
Fin (heure min)			
Débit (Initial)			
Débit (final)			
Débit (moyen)			
Durée			
Temps d'exposition			
Lecture directe			
Signature	_____		

Centre de Santé Isle-Dieu



**Association pour
l'Hygiène
Industrielle
au
Québec**

bulletin

Vol. 4 No. 3

Sept-Oct. 1982

Les silicoses

par Jacques Normandeau

M. Normandeau est hygiéniste industriel à la Commission de la Santé et de la Sécurité du Travail.

Certaines activités professionnelles exposent leurs artisans à des maladies qui sont caractéristiques de ces occupations. Les pneumoconioses entrent dans cette catégorie. Elles sont produites par l'inhalation des poussières et leur rétention dans les voies respiratoires profondes. Elles sont classées selon le type de poussière auquel l'ouvrier a été exposé; ainsi nous aurons des pneumoconioses à l'aluminium, au béryllium, les anthracoses, les amiantoses, les kaolinoses, les sidéroses, les talcoses et les silicoses. S'il y a exposition mixte, on donnera le nom des composants majeurs de la poussière inhalée comme par exemple l'anthraco-silicose, ou selon les symptômes dominants d'un type de pneumoconiose. (Tableau 1).

La silicose, est caractérisée par l'inhalation, la rétention, de particules de silice, et par une fibrose intense, au niveau pulmonaire. De plus on la retrouve assez fréquemment associée à des infections mycobactériennes, comme la tuberculose: ce type de maladie est connue sous le nom de silico-tuberculose.

L'exposition des travailleurs peut se produire lorsque ces derniers traitent directement du matériel silicieux actif, accidentellement lorsque le matériau contient de la silice sous forme d'impuretés, ou lorsque le traitement libère de la silice active à partir d'un corps amorphe.

La silicose est une affection très grave, car la maladie continue d'évoluer malgré la fin de l'exposition,

dans ce bulletin:

- Les silicoses p. 1 à 7
- Le congrès 82 - photos pp. 10 et 11
- "Petite histoire romancée des TLV" pp. 12 et 13
- Congrès et colloques pp. 14 et 15
- Symposium mondiale sur l'amiante p. 18

PNEUMOCONIOSES MAJEURES

AGENT RESPONSABLE

silice libre
silicates (amiante)
silicates (talc)
poussières des mines de
charbon

PNEUMOCONIOSES MINEURES

suie et carbone
silice amorphe

silicates (mica, argile, feldspar)
béryllium

poussières organiques diverses
coton
canne à sucre
foin, paille
grain
graines de tamarin
coton

PNEUMONIOSES BENIGNES

oxydes et sulfates de baryum
oxyde de fer
oxyde d'étain
oxyde de titane
graphite
sels de calcium

MALADIE

silicose
amiantose
talcoses
pneumoconiose des mineurs
de charbon

anthracose
pneumoconiose à terre
de diatomées
silicatose
berylliose
pneumoconioses à poussières
végétales
fièvre des moulins
byssinose
bagassose
poumon du fermier
asthme du grain
asthme de tamarin
toux des tisserands

baritose
sidérose
stannose
titanose
graphose
chalcoses

Tableau 1: Nomenclature des différentes pneumoconioses

HISTORIQUE

Les problèmes causés par l'exposition aux poussières minérales sont connus depuis fort longtemps. Déjà en 1556, Agricole dans son "Treatise on mining" parlait des troubles pulmonaires des mineurs et les associait à la poussière de pierre (4,8). Diemerbroeck (1672) et Ramazzini (1713) décrivaient les mêmes troubles chez les tailleurs de pierres. (8)

La révolution industrielle et la mécanisation ont intensifié les problèmes causés par la silicose. En effet, les machines produisaient une plus grande quantité de poussières et cette dernière était plus fine, donc plus dangereuse. (4,8)

En 1866, Zenker donna l'appellation de "pneumoconioses" aux maladies respiratoires causées par l'exposition aux poussières. La même année, Kussmaul isole des particules de silice dans les poumons de travailleurs décédés. En 1870, Visconti donnait le nom de "silicoses", du latin silex, aux maladies causées par l'exposition à la silice. (8)

Les occupations minières furent surtout la cible de la silicose, à cause du forage à sec produisant beaucoup de poussière et de la mauvaise ventilation des galeries. C'est pour cette raison que les premières études sur la silicose ont été faites dans ce domaine. (8)

En 1902, Haldane proposa la silice comme agent responsable des troubles pulmonaires rencontrés chez les mineurs d'étain, et Collins en 1915, restreignit cet énoncé aux cristaux de silice, mais les accusait en plus d'être les inducteurs de tuberculose chez les mineurs. (8)

Les études se sont par la suite étendues aux autres secteurs de l'industrie traitant des matériaux siliceux. Il est à noter que déjà en 1929, Middleton rapportait un type de silicose aiguë chez les ouvriers travaillant à la production de poudres abrasives, et en 1933 on étudiait l'évolution très rapide de cette forme de pneumoconiose chez les forceurs de tunnels et les "sandblasters". (8)

Entretemps des études ont été entreprises sur l'exposition à des mélanges de poussières. Ainsi, l'antraco-silicose (charbon-silice) chez les mineurs de charbon, fut l'amarce de la compréhension de la pathogénèse de la silicose. (5,8) De toutes ces études il est apparu que la silice était l'agent responsable de la fibrose et de la formation de nodules pulmonaires. (8)

PATHOGÉNÈSE

La pathogénèse de la silicose peut être divisée en 8 étapes principales:

- 1- Inhalation, pénétration et rétention des particules dans les voies respiratoires profondes.
- 2- Phagocytose des poussières de silice par les macrophages alvéolaires.
- 3- Mort des macrophages.
- 4- Libération du cytoplasme et de la particule de silice du macrophage mort dans le milieu.
- 5- Phagocytose de la particule de silice libérée par d'autres macrophages et leur mort subséquente.
- 6- Accumulation graduelle des macrophages morts.
- 7- Production de collagène entraînant la fibrose.
- 8- Hyaliniisation.

Pour qu'il puisse y avoir pénétration et rétention des particules, il faut que ces dernières aient un diamètre suffisamment petit pour passer à travers les mécanismes de défense du poumon. Les particules ayant un diamètre de 1 à 3 μ m. sont les plus susceptibles de passer ces barrières, tout en ayant un diamètre suffisamment grand pour avoir une action sur le macrophage. (8) (Tableau 2.3)

Lors de la phagocytose de la particule de silice par le macrophage, on peut observer la formation du phagosome, puis du phagosome digestif par l'addition d'un lysosome. Quelques heures plus tard, le phagosome se rompt, libérant dans le cytoplasme du macrophage la particule de silice et les enzymes du lysosome, qui seraient d'ailleurs responsables de la mort de la cellule. (8) (Tableau 4)

POUSSIÈRES RESPIRABLES	
DIAMÈTRE AÉRODYNAMIQUE D'UNE SPHÈRE (microns)	% de PÉNÉTRATION
2	90
2.5	75
3.5	50
5.0	25
10.0	0

Tableau 2.: Poussières respiratoires en fonction de leur diamètre.

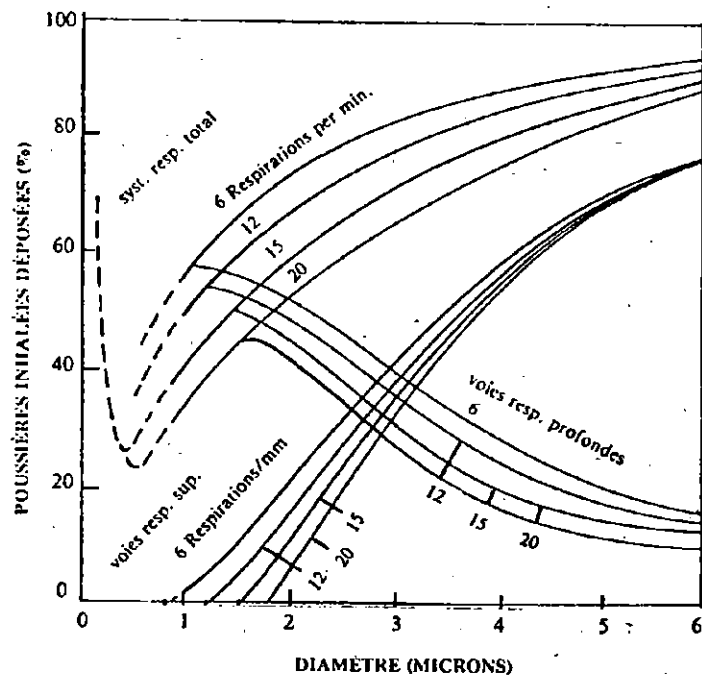


Tableau 3: Rétention pulmonaire de la poussière en fonction du taux respiratoire, et de la dimension des particules inhalées.

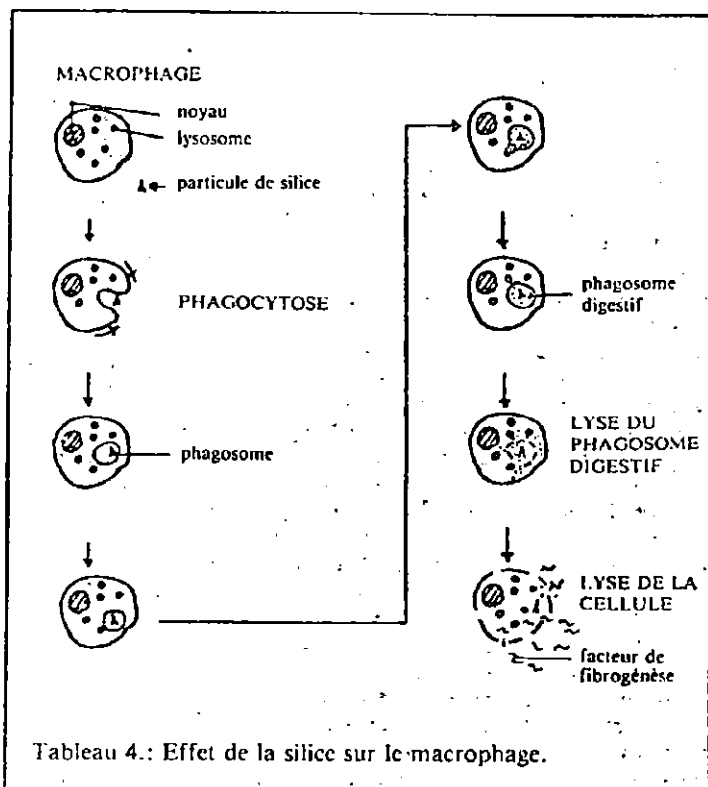


Tableau 4.: Effet de la silice sur le macrophage.

Ce dernier phénomène n'est pas propre à la silicose. Depuis la découverte des lysosomes en 1954, ces derniers ont été reconnus comme responsables de la destruction cellulaire par la rupture de leur membrane causée par divers facteurs tels: les u.v., les détergents, certaines toxines bactériennes, etc.. Ce qui est ici important c'est que ce n'est pas la membrane du lysosome qui est attaquée, mais bien celle du phagosome et ce semble-t-il par la particule de silice.

La cytotoxicité des particules de silice a donc été investiguée; ainsi, Luhr (1958) émit l'hypothèse que les angles aigus des poussières siliceuses agissaient comme perforateurs de la membrane du phagosome. Il "nourrit" donc des cultures de macrophages avec des particules de carborundum (carbure de thungstène) et de diamant. Ces corps, quoique formant des poussières ayant des angles très aigus, ne démontrèrent aucune cytotoxicité, force fut donc d'envisager un autre mécanisme. (4,8)

Des études ultérieures démontrèrent que seules les formes tétraédriques du dioxyde de silicium (SiO_2) comme la coésite, le quartz et la tridymite, ainsi qu'une forme cubique très active, la cristobalite avaient un effet toxique sur les macrophages. La stishovite, une forme octaédrique très rare du SiO_2 n'a elle aucun effet sur le macrophage. (4,8)

D'autres chercheurs ont émit l'hypothèse que la solubilité du dioxyde de silicium serait en cause; mais la coésite qui est beaucoup moins soluble que le quartz, a un pouvoir fibrogénique à ce dernier. (8)

Stober & Brieger (1968), ont avancé l'hypothèse d'une action stéréochimique de la silice sur la membrane du phagosome. Cette action proviendrait des groupes silanols existant à la surface de la particule de silice. (8)

Les silanols sont des alcools où le silicium est substitué au carbone. En voici d'ailleurs la formule:



Ces composés sont plus acides que les alcools, et moins solubles que ces derniers. De plus ce sont des donneurs d'hydrogènes.

Les silanols formeraient des ponts hydrogène avec les phospholipides de la membrane du phagosome, ce qui entraînerait la rupture de cette dernière. (8) Les enzymes du lysosome ne sont sûrement pas inactifs dans ce mécanisme, mais leur participation n'a pas encore été éclaircie. Le fait que les protecteurs expérimentaux employés soient des accepteurs d'hydrogène appuie aussi cette hypothèse. (2,6,8)

La stishovite possède elle aussi des groupes silanols à sa surface, mais sa forme octaédrique préviendrait une orientation favorables de ces groupes pour l'attaque des phospholipides de la membrane du phagosome. (8)

Hailey (1966) a effectué une série d'expériences sur le pouvoir hémolytique des particules de silice. Les particules d'un diamètre supérieur à 3µm. présentent un pouvoir hémolytique très actif, alors que les particules d'un diamètre inférieur, non seulement ne provoquent pas d'hémolyse, mais en plus protègent les hématies lors d'une exposition ultérieure à des particules de 3µm. et plus de diamètre. Il semblerait que les particules de moins de 3µm. peuvent s'attacher fermement à la membrane en formant des ponts hydrogène avec cette dernière mais qu'elles n'ont pas une suffisante pour provoquer une rupture de la membrane. Cette liaison particule-érythrocyte est relativement forte puisque si l'on soumet les cellules à plusieurs lavages, elles demeurent couvertes de particules. Cette carapace les protège en empêchant les particules de plus fort diamètre de s'attacher à la membrane. (8)

Le résultat final de l'effet de la particule de silice est la mort du macrophage, avec libération de son cytoplasme et de la silice

dans le milieu. Ce processus fait qu'une seule particule peut détruire un grand nombre de cellules comme le ferait un agent infectieux, c'est pourquoi on l'appelle pseudo-infectieux. Ici il n'y a pas division de l'agent, mais sa persistance a un effet similaire.

La mort et l'accumulation des macrophages n'est qu'une partie du mécanisme. Il y a aussi la fibrose, qui donne son caractère si nuisible à la silicose.

Heppleston & Styles (1967), ont cultivé des macrophages avec des doses subléthales de silice. Ils ont ensuite centrifugé et mis de l'extrait de culture dans une culture de fibroblastes; il en a résulté la formation de collagène. (2,8). Burrell & Anderson (1972) ont repris cette expérience de façon plus sophistiquée, en mesurant le décharge d'hydroxyproline des macrophages dans les milieu et ont obtenu des résultats similaires. Ils ont de surcroît pu démontrer que le facteur libéré par les macrophages "intoxiqués" provoquant la formation de collagène chez les fibroblastes était résistant au froid et d'un diamètre inférieur à 0.45µm. (2)

Kilroe-Smith et al. (1973), ont pu provoquer cette fibrose à partir du résidu, et non du surnageant. Ils ont procédé avec une centrifugation plus poussée, et le surnageant s'est alors révélé non-fibrogène. Le facteur serait donc non-soluble dans l'eau, ce n'est pas un lipide, et il semblerait que ce ne soit qu'une protéine puis qu'il est résistant au traitement à l'acide tri-chloro-acétique. (8)

On croit que la fibrogénèse serait une réaction immunitaire, et ce pour plusieurs raisons. Premièrement les maladies auto-immunes sont fréquentes chez les silicotiques, et elles affectent le cours de la maladie, comme les maladies du collagène (Lupus érythémateux, arthrite rhumatoïde, sclérodérme). Les malades montrent aussi une plus grande production d'auto-anticorps, et leur taux de G-globulines sanguines est plus haut que la normale. (5,6,8,10). De plus les nodules silicotiques contiennent des cellules plasmiques (8); ainsi que des G-globulines et des B-globulines provenant du sang (6).

Vigliani & Pernis (1959) ont proposé un mécanisme immunitaire pour expliquer l'évolution de la silicose. Les macrophages intoxiqués par la silice produiraient une lipo-protéine antigénique qui entraînerait la formation d'anti-corps. Ces derniers seraient responsables de la venue constantes des macrophages ainsi que de la réaction fibrogéniques (6). On sait maintenant que le facteur libéré par les macrophages intoxiqués agit directement sur les fibroblastes et que ce n'est ni un lipide ni une protéine (8). De plus, on n'a jamais pu mettre en évidence les anti-corps cités (10).

Il demeure néanmoins que la venue constante des macrophages sur le site est probablement une réaction de type immunitaire, et c'est cette accumulation de macrophages qui est à la base de la pathogénèse de la silicose.

Les lipides pourraient aussi avoir une influence sur l'évolution de la maladie. S'ils sont reconnus comme n'étant pas le facteur libéré par les macrophages (8); ils peuvent avoir un rôle dans l'accumulation de ces derniers, ainsi que sur l'hydratation des particules de silice. Quoiqu'il en soit, on note un déséquilibre important dans la teneur et le métabolisme des lipides dans le tissu pulmonaire des silicotiques (6).

Les fibres de collagène produites lors de la fibrogénèse se concentrent entre le paroi alvéolaire et le lit de capillaires sanguins (6). Elles peuvent aussi former des couches concentriques autour d'un foyer de macrophages morts, et ainsi former une petite masse: le nodule silicotique (4,6,8). Ce dernier peut devenir suffisamment important pour bloquer le conduit alvéolaire ou les capillaires par compression (3,6). Une hyalination subséquente des tissus entourant le nodule produit une destruction du type emphysémateuse du tissu pulmonaire (3,8). (Tableau 5).

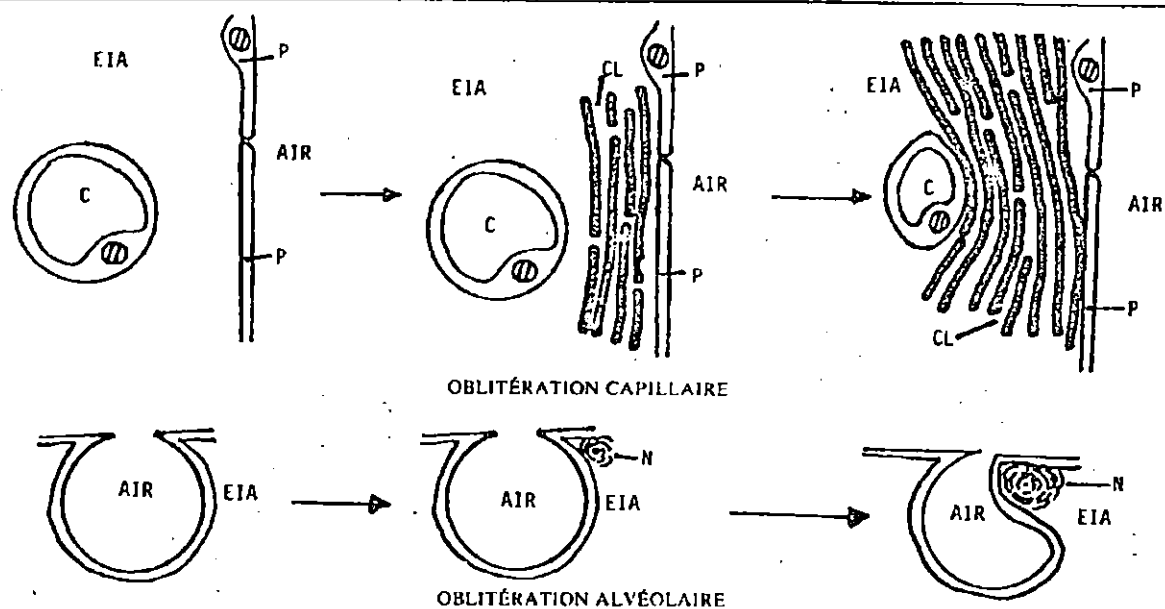


Tableau 5.: Fibrogénèse silicotique oblitérante. (C; capillaire, EIA; espace inter-alvéolaire, P; pneumocyte, CL; collagène, N; nodule).

PATHOLOGIE

Les réactions tissulaires à la silice sont de trois types: chronique, accélérée, et aiguë. Chacune de ces réactions a des caractéristiques propres, quoique le mécanisme pathologique soit le même pour toutes (8).

Chronique:

La réaction chronique se retrouve chez des sujets exposés modérément à la poussière de silice durant 20 à 40 ans. Cette réaction est caractéristique d'expositions à des poussières contenant moins de 30% de Quartz (8), et de diamètres variant entre 0.2 à 5 μm . (6). On rapporte d'autre part que les particules de silice trouvées au centre des nodules sont de 1 à 2 μm . de diamètres (8).

Les premiers nodules silicotiques sont visibles aux Rx après 20 ans d'exposition aux poussières. Le temps de vie moyen du malade après ce dernier Rx positif est d'environ 40 ans, si l'on cesse toute exposition (8).

Les régions touchées sont surtout les lobes supérieurs, moins bien ventilés (4,8). On peut trouver jusqu'à 15 ou 20g. de silice dans les poumons des sujets atteints, alors que la teneur chez les citadins non-silicotiques n'est que de 0.2g. (8)

Les nodules sont surtout situés au niveau des bronchioles; ils compressent les artérioles et peuvent se développer à un point tel qu'ils oblitérent les bronchioles et ainsi les alvéoles demeurent gonflées, formant une bulle (3). Ces bulles peuvent être décelées au Rx par une apparence particulière du film appelée: "pockmarking".

Les premières réactions apparaissent au niveau des ganglions lymphatiques du hile. Ils augmentent de volume, durcissent et montrent une accumulation de particules de silice. (4).

Des conglomérats peuvent se former dans les lobes supérieurs (4,8), et l'on croit qu'ils seraient formés par des mycobactéries non-pathogènes (4). On retrouve d'ailleurs de 40% à 60% de tuberculeux chez les ouvriers présentant des conglomérations (4).

Accélérée:

Cette réaction tissulaire est caractéristique d'expositions à de plus fortes concentrations de silice (8). Le diamètre des particules en cause est de 0.2 à 1 μm , donc plus fines que celles impliquées dans la forme chronique de la silicose (6). L'exposition est aussi plus courte avant l'apparition des premiers nodules sur le Rx: 5 à 15 ans (8). Le temps de survie moyen après le premier Rx positif est diminué à 10 ans. La nodulation se produit surtout dans les espaces interalvéolaires, au milieu et à la base du poumon. La fibrose est aussi plus intense que dans la forme chronique (8).

La différence majeure entre la forme chronique lente et les formes plus rapides de la silicose, accélérée et aiguë, est que chez ces dernières les infections pulmonaires à mycobactéries sont plus fréquentes, même au début de la maladie (8,9,10). Jusqu'à 25% des formes rapides sont caractérisées par ces infections, et 50% d'entre elles sont causées par des souches atypiques non-pathogènes qui profitent de l'état de détérioration du tissu pulmonaire pour se développer (8). Ces formes atypiques sont habituellement *M. kansasii* en Nouvelle-Orléans, dans les grandes villes et les régions côtières, et *M. intracellulare* (Bates, type ii) au Wisconsin et dans les régions rurales (8,9,10).

De plus, 10% des formes rapides sont accompagnées de maladies du collagène (8).

Aiguë

Cette forme est habituellement très rare. Elle n'apparaît que chez les travailleurs exposés à de très hautes concentrations de silice libre. Il n'y a pas ici de nodulation et la fibrose est très intense et interstitielle dans tout le poumon (8). Les particules responsables de cet état sont d'un diamètre inférieur à 0.2 μm . (6).

Une exposition aussi courte que de 1 à 3 ans est suffisante pour faire apparaître une dyspnée importante 6 mois après le début de l'exposition et qui ira sans cesse en s'aggravant (8).

Elle comporte les mêmes caractéristiques infectieuses et collagéniques que la forme accélérée, mais en plus elle présente le même patron que la protéinose alvéolaire (4,8). Il y a oblitération des conduits alvéolaires par la fibrose très intense, et les alvéoles se remplissent d'un exsudat riche en protéines et en lipides, colorable à l'éosine, (4). La mort survient rapidement.

Le processus d'infection caractéristique des formes rapides semble être l'exsudation de liquide par la surface oedématisée des alvéoles. Cet exsudat serait-il un milieu de culture très favorable aux mycobactéries, à un point tel que même les formes atypiques pourraient s'y développer impunément, alors qu'elles ne le peuvent dans un tissu sain (8). C'est sans doute pour cette raison que les infections atypiques sont si fréquentes chez les formes rapides de la silicose.

Allison & Art (1968), ont cultivé des *M. tuberculosis* sur des macrophages intoxiqués à la silice. La maturation et la libération des bactéries était plus rapide que chez les cultures témoins. Il semblerait donc que la silice même joue un rôle dans ces infections par l'entremise des macrophages. Ceci expliquerait le fait que les silicotiques soient la cible préférentielle de la tuberculose, et que cette dernière apparaisse spontanément sous une forme très active chez des ouvriers exposés à la silice mais ne présentant pas de symptômes de silicose. (8)

Enfin, on ne note pas d'effet cancérogène de la silice comme dans le cas de l'amiante, et de façon générale les fumeurs sont plus exposés que les non-fumeurs à la silicose (6).

Pneumoconiose simple silicieuse: (1)

Cette forme de pneumoconiose est caractérisée par la déposition de silice dans les voies respiratoires profondes mais il n'y a pas de fibrose comme dans les cas de silicose. On rencontre cette forme particulière de pneumoconiose chez les habitants de régions désertiques.

Il y a une déposition, parfois massive, de particules de silice, mais sans fibrose ni symptômes respiratoires. Les particules peuvent être libres ou dans des macrophages, mais sans entraîner la mort de ces derniers. Cette affection est semblable à l'antracose des mineurs de charbon, ou aux pneumoconioses légères observées chez les mineurs de fer ou les habitants des villes.

Les sables du Négov sont formés principalement de particules ayant un diamètre de 1 à 3 μ m. (80% à 88%) et d'une teneur d'environ 60% de silice libre. Normalement, un tel sable, avec les tempêtes de poussières fréquentes dans cette région devrait provoquer des silicozes aiguës à de très hautes fréquences, et pourtant les Bédouins habitant cette région, et les autres groupes ethniques habitant des régions similaires ne présentent aucun trouble silicotique. Cependant, les femmes étant plus exposées au sable du désert de par leur activités présentent parfois des micronodulations, mais ces dernières ne contiennent pas de réticuline.

La non-toxicité de ces sables pourrait provenir de la disparition des groupes silanols à leur surface par déshydratation. Ce milieu est très sec, et l'insolation très intense favorise les réactions photochimiques, mais la liaison Si-O est très stable (108 kcal/mole).^{1k}

SYMPTOMATOLOGIE

Dans les cas de silicose nodulaire, au début de la maladie, seuls les Rx peuvent déceler une atteinte pulmonaire. Les tests spirométriques conventionnels sont inadéquats (3). Mais à mesure que la maladie progresse, les symptômes apparaissent, et en premier une toux sèche (4,8).

La fibrose entraîne une destruction du tissu pulmonaire semblable à celle de l'emphysème, et c'est la raison pour laquelle les symptômes seront souvent du type emphysémateux (3,6). Au repos les tests seront habituellement normaux, mais à l'effort une dyspnée importante apparaît (3,5,8) et il peut y avoir hypoxémie et même cyanose dans les cas les plus atteints (3,5,6).

On verra dans les cas chroniques avancés les mêmes symptômes que chez les emphysémateux, i.e.: "barrel chest", augmentation du volume thoractique, hyperrésonance à la percussion, expiration lente et diminution des bruits respiratoires (4).

On aura souvent une diminution de la CV (capacité-vitale) et le VR (volume résiduel) demeurera habituellement normal, sauf s'il y a d'importants conglomérats qui viendront l'augmenter (3). La VEMS (volume expiré maximum seconde) sera aussi diminuée par les conglomérats, surtout si ces derniers se situent près du hile (3).

Certains auteurs (6,8), rapportent que la compliance serait augmentée, à cause de la diminution de l'élasticité des tissus par la fibrose. Cependant d'autres auteurs (3), affirment qu'elle ne varie peu ou pas, et même que chez certains "sandblasters" et silicotiques à conglomérations, elle serait diminuée.

En fait, la compliance peut être définie comme étant la variation de volume obtenue par une variation de pression donnée. Les troubles silicotiques sont un mélange d'emphysème et de fibrose. Chez cette dernière, le volume pulmonaire est réduit et la pression intrathoracique maximale est augmentée, alors que dans l'emphysème, c'est l'inverse qui se produit (6). Selon le type dominant d'atteinte, fibrose ou emphysème, et par l'influence du type mineur, il pourrait y avoir équilibre entre les deux systèmes, donc aucune changement dans la compliance, mais à mesure que la maladie évolue, un système prend le dessus et il en résulte une augmentation ou une diminution de la compliance lors de la phase terminale.

On rapporte aussi (6) que la capacité de diffusion serait diminuée. Cependant d'autres auteurs (3) affirment que la membrane alvéolaire n'est pas nécessairement touchée, ainsi dans les cas de nodulations la diminution de la mesure de la capacité de diffusion pourrait provenir d'une mauvaise perfusion causée par l'effet oblitérant des nodules sur les capillaires.

Enfin, les infections mycobactériennes provoquent les symptômes habituels qui leur sont associés comme: amaigrissement, perte de l'appétit, faiblesse généralisée, etc. Les pneumothorax se retrouvent parfois chez les cas à conglomérats, mais surtout chez les fibroses rapides, et leur guérison est très problématique à cause de l'élasticité amoindrie et de la destruction du tissu pulmonaire (8).

EXPOSITIONS

La croûte terrestre est en majeure partie formée de silicium et d'oxygène; en fait, le silicium est au monde minéral ce que le carbone est au monde vivant (8).

Le composé responsable de la silicose est le dioxyde de silicium (SiO_2) qui peut se présenter sous 5 formes:

- le quartz, cristal hexagonal, forme la plus fréquente.
- la cristobalite, cristal cubique, très actif.
- la tridymite, cristal hexagonal, très actif.
- la coésite, cristal hexagonal, même activité que le quartz.
- la stishovite, cristal octaédrique, rare, aucune activité.

(4,8)

Ces cristaux peuvent se trouver dans le matériel traité ou y apparaître lors du traitement; ainsi, la terre de diatomées ne provoque pas de fibrose, mais si elle est calcinée elle produit de la cristobalite, qui elle est hautement fibrogène (6).

Voici, en résumé, les principales occupations susceptibles d'amener une exposition à la silice chez les travailleurs.

1) Mines, concassage, perçage de tunnels.

Dans ces occupations, la poussière provient d'actions mécaniques et elle contiendra plus ou moins de quartz selon le matériau traité. Dans ce cas, la teneur moyenne en quartz est de 10 à 30%.

On rencontre habituellement la forme chronique dans ce type d'expositions, sauf dans certains perçage de tunnels où l'on rencontre une veine de quartz très pure et que la ventilation est insuffisante; on aura alors apparition de silicoses aiguës (8).

2) Taille et entretien de la pierre.

Le feldspath et le granit contiennent des formes associées de silice, et sont de par le fait même, beaucoup moins fibrogènes. Cependant, la taille et l'entretien à sec de la pierre dégage beaucoup de chaleur et libère de la silice libre. Ici encore la forme chronique est habituellement rencontrée. (4,8)

4) Sablage et "sandblasting"

Les produits abrasifs employés dans ces opérations contiennent beaucoup de quartz très pur (8).

Le "sandblasting" est sans doute le plus meurtrier. Il consiste en un jet abrasif de sable propulsé par de l'air sous pression (60 à 120psi), ce qui entraîne la formation de nuages de poussières très denses (9,10).

Siskind (1973) a étudié 4 cas de silicoses mortelles après 4 années d'exposition seulement chez des "sandblasters" de la Louisiane. Ces hommes travaillaient dans un entrepôt de 60' x 130' et d'une hauteur de 30'. Ce bâtiment était ouvert des deux bouts et la ventilation n'était assurée que par un ventilateur portatif (9).

Les travailleurs ne portaient qu'un masque facial et seulement durant le sablage. Des mesures ont été faites pour déterminer la concentration de particules d'un diamètre inférieur à 10 μm . La plus haute concentration fut trouvée dans un endroit calme de l'entrepôt et elle était de 71 mppcf (million particules per cubic foot of air), et à 25 pieds de l'opérateur, 29 mppcf (9).

Les "sandblasters" souffrent habituellement de silicose aiguë avec protéinose. La majorité d'entre eux souffrent d'infections à M. kansaii (Louisiane) et 40% d'entre eux ont des maladies de collagène. Les pneumothorax sont aussi très fréquents (9,10).

Le sablage par jet est interdit en Grande-Bretagne depuis 1949 (4,8,9,10).

4) Verrerie

Le verre est fait à partir de sable de silice (sable blanc), et en plus on broie du vieux verre en poussière pour ajouter au mélange (8).

5) Fonderies

Les moules des fonderies sont habituellement de sables ou d'argile. Le métal en fusion calcine les moules et libère de grandes quantités de silice libre. De plus la manutention de grandes quantités de sable, nécessaire à la fabrication des moules produit une atmosphère empoussiérée (8).

6) Potteries et porcelaines

Les matériaux employés contiennent de la silice et les hautes températures employées pour la cuisson libèrent de la silice libre (8).

7) Peinture d'émail cuit

Ici aussi les matériaux employés contiennent de la silice et de hautes températures sont employées. De plus des jets d'air comprimé sont employés et favorisent la formation de nuages de poussière (8).

Des facteurs individuels peuvent aussi jouer dans l'évolution de la maladie; ainsi deux individus soumis à la même exposition pourront développer des formes différents de silicose. Les symptômes peuvent aussi apparaître tardivement, ainsi un homme de 70 ans a été hospitalisé pour troubles respiratoires et arthrite rhumatoïde. En faisant son histoire du cas on découvre que cet homme a travaillé 3 ans dans une mine de silice à l'âge de 35 ans. À l'âge de 55 ans une légère dyspnée à l'effort est apparue sans autres symptômes. Il y a deux mois cette dyspnée s'est intensifiée et les troubles arthritiques sont apparus, ainsi qu'une tuberculose. Le patient est décédé en trois mois.

THÉRAPIE ET PRÉVENTION

Il n'existe aucune thérapie pour guérir de la silicose. On ne peut qu'éliminer l'exposition et appliquer une chimiothérapie pour prévenir une infection toujours possible par les mycobactéries. (4,8,9,10)

La silicose a une évolution continue, malgré la fin de l'exposition, et aucun agent connu ne peut ne faire disparaître la fibrose, ni enrayer la fibrogénèse.

Le polyvinyl-pyridine-N-oxyle (PNO) fut expérimenté comme protecteur. Il s'est révélé efficace chez les animaux de laboratoire en protégeant, semble-t-il les macrophages contre l'effet toxique de la silice. Aucune efficacité n'a été enregistrée chez l'homme (4,8).

Le Dr. Le Bouffant et ses collaborateurs, du groupe de recherches sur les pneumoconioses (charbonnages de France) étudient la possibilité d'utiliser certains sel d'aluminium dans la prévention et la thérapie de la silicose.

On recommande l'emploi de cagoules avec apport extérieur d'air, puisque si l'on augmente l'efficacité de filtration des masques le tirage devient trop important et l'étanchéité de ces derniers est loin d'être parfaite (8).

On peut aussi réduire l'exposition en substituant la silice par d'autres produits: ex: "shotblast".

En Suède pour protéger les employés des fonderies, on utilise de l'olivine plutôt que du sable ou de l'argile (4).

L'inhalation de poudre d'aluminium a été couramment employée pendant un certain temps pour empêcher la déposition des poussières de silice dans les poumons, mais cette mesure c'est révélée peu efficaces (4). L'emploi de techniques humides ont beaucoup amélioré la situation, mais il reste beaucoup à faire dans ce domaine.

CONCLUSION

La cytotoxicité du silicium est la base de la pathogénèse de la silicose. Il est fort probable qu'un facteur libéré par les macrophages intoxiqués soit responsable de la fibrogénèse. L'évolution continue de la maladie ainsi que les troubles infectieux et du collagène qui lui sont associés suggèrent un mécanisme immunitaire.

La silicose peut prendre trois formes: chronique, accélérée et aiguë. Ces trois types de réactions tissulaires proviennent d'expositions particulières qui elles-mêmes sont associées à des occupations professionnelles bien précises.

La silicose demeure un problème d'actualité car encore beaucoup de professions exposent leurs travailleurs à ses ravages. Ce qui rend cette maladie particulièrement dangereuse c'est son incurabilité et sa haute fréquence de tuberculeux.

Il est difficile d'avoir une idée exacte des ravages causés par la silicose dans la population puisque seuls les cas ayant été reconnus officiellement et ayant une indemnisation sont enregistrés. Cependant la Société de Médecine du travail de Strasbourg, lors de sa réunion du 24 octobre 1975, a révélé quelques chiffres concernant la République Fédérale Allemande (RFA) et la région de Sarre (France). En 1971, en RFA, 5,000 silicoses déclarées sur 27,000 cas de maladies professionnelles formaient 18% de ces dernières. 73% de ces silicoses provenaient de l'industrie minière. Cette même année, 1314 nouveaux silicotiques (sur les 5,00) ont bénéficié d'une indemnisation contribuant à un total de 80,000 indemnisés silicotiques en RFA. En Sarre, 13% des mineurs actifs sont atteints de silicose (7).

Aux E.U., en 1955, dans 26 états on dénombrait un total de 12,763 indemnisés pour silicose. En 1974, on estime à 2 millions le nombre de gens potentiellement silicotiques de par leur métier (4).

RÉFÉRENCES

- (1) BAR-ZIV, J. & G.M. GOLDBERG
"Simple siliceous pneumoconiosis in Negev Bedouins", Arch. Env. Health: 29 sept. 1974, p. 121
- (2) BURRELL, R. & M. ANDERSON
"The induction of fibrogenesis by silica-treated alveolar macrophages" Env. Res.: 6, 1973, p. 389.
- (3) DENOLIN, H., P. SADOUL & N.G.M. ORIE
"L'exploration fonctionnelle pulmonaire", Flammarion, Paris, 1964
- (4) KLEINERMAN J.
"Industrial pulmonary diseases: Silicosis, Asbestosis, and Talc Pneumoconiosis"
Textbook of pulmonary diseases, 2e éd., G.L. Baum éd., Little, Brown et co., Boston, 1974, p. 489...
- (5) KLEINERMAN, J.:
"Industrial pulmonary diseases: Coal-Workers Pneumoconiosis, Berylliosis and miscellaneous causes"
Textbook of pulmonary diseases, ... p. 509...
- (6) RANKIN, J. & E.H. CHESTER
"Diffuse interstitial diseases of the lung as a cause of pulmonary insufficiency: the alveolar-capillary block syndrome"
Textbook of pulmonary diseases, ... p. 609...
- (7) SYMANSKI, H.
"Particularités des pneumoconioses", communication présentée à la réunion du 24 octobre 1975, à Vandœuvre-lès-Nancy, de la Société de Médecine et d'Hygiène du travail de Strasbourg, présidée par M. A. Leduc.
- (8) ZISKIND, M., R.N. JONES & H. WEILL
"Silicosis", Am. Rev. of Resp. Dis.: 113, #5, mai 1976, p. 643.
- (9) ZISKIND, M., H. WEILL, L.A.E. ANDERSON, B. SAMINI, A. NEILSON & C. WAGGENSPACK
"Silicosis in shipyard sandblasters", Env. Res.: 11, 1976, p. 237.
- (10) ZISKIND, M., H. WEILL, W.C. BAILEY, L.M. BROWN, H.A. BUECHNER & H. ICHINOSE
"Silico-mycobacterial disease in sandblasters", Am. Rev. of Resp. Dis.: 110, 1974, p. 115.

Visite à l'usine Mine Kidd Creek

Dans le cadre d'une activité régionale, neuf (9) membres de la région Nord-Ouest visitaient, le 16 septembre 1982, les installations métallurgiques de la Mine Kidd Creek à Timmins, Ontario.

Mine Kidd Creek est une filiale de la CORPORATION DE DÉVELOPPEMENT CANADIENNE (tel que Petro-Canada par exemple). Elle débuta ses opérations en 1965 et emploie aujourd'hui 3 200 travailleurs(euses) dans la région de Timmins.

Les divers programmes relatifs à la santé et à la sécurité au travail furent présentés. Cependant, l'activité principale de la journée fut la visite des fonderies et affinerie de zinc et de cuivre, en passant par les usines d'acide sulfurique, de cadmium et de plomb, ainsi que du laboratoire.

Pour d'autres renseignements, veuillez contacter: Émile Couture, Mines Noranda Ltée.

"Règlementation en SST au Québec: Actualité et prospectives"

Dans le cadre du programme des activités de l'AHIQ pour 1982-1983, nous avons pour vous une session sur la réglementation québécoise en santé et sécurité au travail qui se tiendra à Sherbrooke le 26 novembre 1982.

Durant cette journée, nous vous présenterons la réglementation actuellement en vigueur au Québec, les secteurs touchés et ce qu'elle implique, un aperçu des règlements à venir, et le rôle des divers intervenants dans le cadre de la réglementation. Vous recevrez bientôt la documentation nécessaire pour l'inscription.

**INSCRIVEZ-VOUS RAPIDEMENT
(MAXIMUM 100 PERSONNES).**

POUSSIÈRES DE BOIS

I- Les effets sur la santé sont liés aux facteurs suivants:

- Types de bois:
 - bois mou
 - bois franc
 - bois allergène
- Grosseur des particules:
 - poussières non respirables ———> VRS
 - poussières respirables ———> VRI
- Additifs ou traitement spéciaux de certains bois:
 - bois contenant des spores ou des larves: insecticides organo-chlorés (ex.: chlordane)
 - bois traités au PCPOH* ou HCH*
 - panneaux plaqués (colle U/F, P/F, etc...)
 - bois créosotés

II- Qu'est-ce qu'une poussière de bois?

- Deux types de poussière sont produites:
 - lors de transformation première du bois (usine de sciage et rabotage, déroulage)
 - lors de la transformation secondaire (usine de meubles, construction, contre-plaqué)
- La poussière est produite par action mécanique des outils. Certains déchiquètent et coupent ("chipper", "clipper", écorceurs, raboteuses) et produisent surtout de la grosse poussière (copeaux et longues fibres de bois), d'autres scient et produisent de la

* PCPOH: Pentachlorophénates.

HCH: Hexachlorohexène.

poussière en forme de grains plus ou moins fins (scies circulaires ou à ruban), d'autres meulent et usent (sableuses et ponceuses) et produisent une poussière très fine (genre farine).

- La poussière varie également selon l'espèce d'arbre traité (les bois durs sont associés à une poussière plus fine que les bois mous).

On peut donc distinguer trois catégories de grosseurs de poussière:

- Très grosse poussière (100 μ m et plus):

- déchiqueteuse
- raboteuse
- écorceuse
- coupeuse (clipper)
- toupie

- Moyenne poussière (50 μ m et plus):

- scies à ruban
- scies circulaires (déligneuses, réfendeuses)
- tronçonneuses

- Petite poussière (moins de 50 μ m):

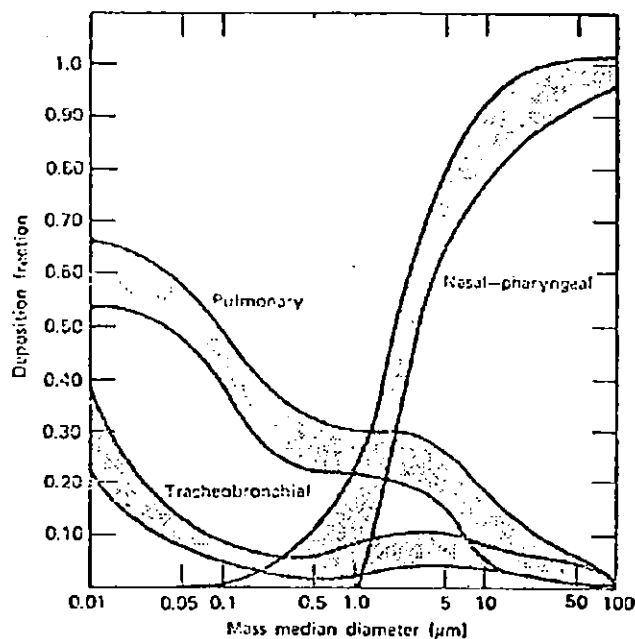
- sableuses et meules de toutes sortes
- tamis (sasseuse)

Chaque outil produit toutes les catégories de poussière cependant. On a souligné ici la catégorie principale de la poussière produite par chaque outil. Malheureusement nous n'avons pas de données permettant de quantifier la distribution granulométrique des particules pour chaque machine. Cela pourra faire l'objet d'études ultérieures du DSC.

III- Comportement des poussières

a) Au niveau aérosol:

- 100 μm et plus: se dépose immédiatement par terre
- 50 à 100 μm : en suspension dans l'air quelques minutes
- moins de 50 μm : en suspension dans l'air jusqu'à plusieurs dizaines d'heures



Each shaded area (envelope) indicates the variability of deposition for a given mass aerodynamic diameter (μm) in each compartment when the distribution parameter is 1.2 to 4.5 and the tidal volume is 1450 ml. From Reference 16.

16. Task Group on Lung Dynamics, International Commission on Radiologic Protection, *Health Phys.* 12, 173 (1966).

b) Au niveau de la déposition dans le poumon (conférer graphique précédent):

- 90% des particules $\geq 50 \mu\text{m}$ est retenu dans le nez
- 80% des particules $\geq 10 \mu\text{m}$ est arrêté au niveau du naso et de l'oropharynx
- 25% des particules $\leq 5 \mu\text{m}$ peut se déposer dans les poumons et 5% dans l'arbre trachéobronchique

c) Aspect physique de la poussière de bois:

La poussière peut être ronde et fibreuse. Par définition une fibre a un rapport longueur/largeur de 3/1. Il est possible que certaines machines produisent plutôt des fibres que des sphères ce qui a son importance du point de vue effet pulmonaire. En particulier nous avons noté par exemple que la poussière des scies à refendre le bardeau dans une usine de bardeaux avait plutôt l'aspect de fibres. Malheureusement nous n'avons aucune donnée objective là-dessus. Des études ultérieures pourront être faites par le DSC à ce sujet.

IV- Mesures de poussières de bois par le DSC à différents postes de travail dans différentes scieries de la région (compilation au mois de mars 1983):

	(CINQ SCIERIES)	MOYENNE GEOMETRIQUE
		(mg/m³)
- Opérateur d'écorceur: (étendue de 2,5 à 4,6)		3,55
- Opérateur de tronçonneuse (scie ronde):		4,1
- Démêleur avant les scies jumelles: (étendue de 1,8 à 19,8)		4,9
- Scieur de scies jumelles: (étendue de 1,6 à 20,1)		5,4
- Entêteur de refendeuse à scies multiples: (étendue de 0,8 à 25,3)		3,16
- Démêleur après la refendeuse à scies multiples: (étendue de 3,9 à 6,2)		4,3
- Entêteur de la déligneuse (edger): (étendue de 2,2 à 5,0)		3,4
- Opérateur du chipper canter: (étendue de 2,9 à 4,8)		3,85
- Démêleur retour:		1,5
- Ebouteur: (étendue de 3,1 à 4,2)		2,65
- Préposé au ménage: (étendue de 1,3 à 21,1)		5,67
- Opérateur de la déchiqueteuse: (étendue de 1,3 à 18,5)		3,46

	MOYENNE GEOMETRIQUE
	(mg/m ³)
- Entêteur de la raboteuse:	0,7
- Ebouteur au rabotage: (étendue de 1,6 à 2,7)	2,15
- Entêteur de la refendeuse:	1,6
- Ebouteur au rabotage: (étendue de 0,8 à 2,0)	1,6
- Pileur au rabotage: (une seule mesure)	40,7

V- Effets sur la santé (1):

- Bois allergènes surtout (y inclus le cèdre rouge et peut-être le thuya occidentalis):

Dermatite, rhinite et conjonctivite, problèmes similaires à de l'asthme avec le cèdre rouge de Colombie (les bois ayant des propriétés insecticides et antibactériennes semblent agir comme des agents sensibilisateurs).

(1) AHIA Journal, volume 43, (pages 674 à 677), Septembre 1982, Whitehead, L.W. et al.

- Bois non allergènes:

Effets sur le système respiratoire: le rapport FEV_1/FVC et le MMEFR sont diminués en fonction de l'exposition avec un risque relatif de deux, mais la FVC et le FEV_1 seuls ne sont pas diminués. Ceci a été démontré pour 200 travailleurs du pin et 354 de l'érable dans l'ébénisterie. (Il n'y avait pas de différence entre les travailleurs oeuvrant dans le bois dur et ceux oeuvrant dans le bois mou). Les changements étaient de type obstructif. Les niveaux d'exposition moyens étaient:

	PIN (mg/m ³)	ERABLE (mg/m ³)
sablage	3,2	4,5
machinage de contreplaqué		1,9
département de finition	1,6	1,8
assemblage	2,8	1,5
sablage du contreplaqué		1,4
département du dégrossissage	0,6	0,8

Ceci était les moyennes, il y avait des excursions par un facteur de 3 à 4 au-dessus de ces moyennes. La majorité de cette poussière avait plus de 10 μm de diamètre (sur 15 échantillons seulement deux avaient une concentration plus grande que 1mg/m³ de poussière plus petite que 5 μm). L'auteur recommande une norme qui serait inférieure à 3mg/m³ pour protéger les travailleurs pendant une durée d'exposition de 40 ans.

- Le cancer nasal et des sinus:

L'exposition à la poussière de bois entraîne une diminution de la clearance du système mucocilié nasal lequel serait dû à un contact prolongé entre les particules de bois et les cellules du nez et des sinus. La mucostase qui en résulte augmente directement avec l'exposition. Par exemple on a mesuré qu'avec une exposition qui varie entre un et trois mg/m^3 la mucostase augmentait de 11%; entre trois et cinq mg/m^3 elle augmentait de 25%; entre cinq et sept mg/m^3 elle augmentait de 31%; entre sept et dix mg/m^3 elle augmentait de 46% et pour une exposition plus grande que dix mg/m^3 elle augmentait de 63%.

Le type de cancer du sinus nasal le plus associé à l'exposition au bois est l'adéno-carcinome du sinus ethmoïdal. La prévalence du cancer du sinus nasal chez le travailleur du bois a été démontrée comme se situant autour de 7 000/1 000 000 versus 7/1 000 000 dans la population en général (en Angleterre en 1968), soit une augmentation d'un facteur de 1000.

VI- Autres effets sur la santé des poussières de bois:

- a) A côté des effets sur le système respiratoire, les poussières de bois peuvent gêner beaucoup les travailleurs lorsqu'elles se logent dans l'oeil. Nous avons noté que cela se produisait fréquemment aux postes de travail entourant les scies à ruban jumellées où une poussière très fine est produite et reste longtemps en suspension dans l'air, entretenu en cela par le tourbillon d'air produit par le mouvement des scies à ruban. En plus de nuire à la sécurité, ce phénomène s'il se produit souvent, peut conduire à l'apparition de conjonctivite et de kératite.

- b) Si les poussières se logent dans des régions du corps mal ventilées (aisselle, aines, pieds, etc...) et s'il y a une hygiène personnelle assez pauvre, une irritation cutanée peut se produire surtout chez les travailleurs plus sensibles ou chez les préposés au ménage qui sont en contact physique très important avec des poussières de toutes formes et grosseurs.
- c) Poussières des écorces: C'est une poussière qui n'est pas considérée différemment des autres. Aucun effet particulier sur la santé ne lui a été attribuée jusqu'ici (exceptée pour l'écorce d'érable). Cependant chimiquement elle diffère du coeur et du tronc du bois en général. De plus c'est dans l'écorce que se loge habituellement les parasites et les spores du bois. Si elle n'a pas été étudiée, c'est que les écorceuses sont répandues depuis relativement peu de temps. Il vaudrait donc la peine que le DSC fasse des analyses sur cette poussière pour la caractériser par rapport à la poussière générale des scieries. D'ailleurs il y a déjà un article de Normand Duhaime qui est paru dans le bulletin d'information en santé au travail # 8 vous illustrant que cette poussière se distinguait de la poussière de bois en général au moins en ce qui concerne son pourcentage en silice.. Parallèlement il faudrait suivre de façon spéciale les sous-groupes des travailleurs de scieries en contact important avec la poussière d'écorces.

Daniel Gagné

SESSION DE FORMATION SUR
L'ÉCHANTILLONNAGE DES GAZ ET VAPEURS

Par: Normand Duhaime et
Daniel Gagné
Hygiène industrielle
Département de santé communautaire
Rouyn-Noranda
Octobre 1983

TABLE DES ANNEXES

- Safety data sheet, étude de cas pour tension de vapeur	234
- Classification des peintures	237
- Éléments de chimie organique	240
- Limites olfactives et CMA	245
- Characterization of odor properties of 101 petrochemicals	256

A) INTRODUCTION GÉNÉRALE

1) DÉFINITION

A température et pression normales, on définit un gaz comme un état de la matière caractérisé par l'absence de forme propre et un volume variable du fait de son expansabilité et de sa compressibilité.

La phase gazeuse d'une substance qui est liquide à la température et à la pression normale, se nomme vapeur.

2) GÉNÉRALITÉS

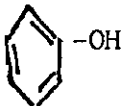
La concentration d'un gaz ou d'une vapeur dans l'air s'exprime soit en:

- partie par million (ppm);
- milligrammes par mètre cube (mg/m^3).

3) CLASSIFICATION

Les différents gaz et vapeurs se retrouvent sous les deux grands groupes de la chimie moderne, soit les produits organiques et inorganiques. Les produits organiques sont les composés à base de carbone (et d'hydrogène la plupart du temps) et les inorganiques sont les composés des différents autres éléments, composés auxquels le carbone n'est pas associé.

Les composés organiques sont de loin de la famille la plus nombreuse avec plus de 100,000 composés différents connus alors que les composés inorganiques ne comptent que quelques milliers de représentants. Cela est dû principalement au fort développement des produits synthétiques dérivés du pétrole. Pour ceux qui seraient peu familiers avec la classification des produits organiques, nous donnons ci-après une liste des principaux groupements fonctionnels que l'on est susceptible de retrouver en industrie.

	Fonction	Gr. fonctionnel	Formule générale (et suffixe utilisé généralement)	Exemple
aliphatiques	1° alcane	$\begin{array}{c} & & & \\ -C- & C- & C- & C- \\ & & & \end{array}$ simples liaisons (saturées)	$R - H$ " - ane "	méthane, butane, propane, etc
	2° alcène	$\begin{array}{c} \diagup & \diagdown \\ C & = & C \\ \diagdown & \diagup \end{array}$ doubles liaisons (insaturées)	$RCH = CHR'$ " - ène "	éthylène, méthylène
	3° alcyne	$-C \equiv C-$ triples liaisons (insaturées)	$RC \equiv CR'$ " - yne "	acétylène
	4° aromatiques (benzéniques)	 cycliques avec noyau benzénique	 (variable)	benzène, toluène, xylène
	5° phénols		(variable)	phénol, chlorophénol, hydroquinone
alicyclique	6° cycloalcanes	  etc	"cyclo -"	cyclopentane, cyclobutane, etc
	7° cycloalcène	  etc	"cyclo -"	cyclohexène, cyclobutène
	8° cétone	$\begin{array}{c} \diagup & \diagdown \\ C & = & O \\ \diagdown & \diagup \end{array}$	$\begin{array}{c} O \\ \\ R-C-R' \end{array}$ " - one "	acétone, hexane, méthyl isobuty cétone
	9° aldéhyde	$\begin{array}{c} H \\ \\ -C=O \end{array}$	$\begin{array}{c} O \\ \\ R-C-H \end{array}$ " - yde "	formaldéhyde, acétaldéhyde, etc

Fonction	Gr. fonctionnel	Formule générale (et suffixe utilisé généralement)	Exemple
10° dérivés halogénés	$\begin{array}{c} \\ -\text{C}-\text{X} \\ \end{array}$ $\text{X} = \text{Cl, Br, F, I}$	$\text{R} - \text{X}$ "Xure" et (variable)	perchloroéthylène, tétrachlorure de carbone, etc.
11° amines	$\begin{array}{c} \\ -\text{C}-\text{NH}_2 \\ \end{array}$	$\text{R} - \text{NH}_2$ "amine" et variable	méthylamine, diméthylamine
12° alcool	$\begin{array}{c} \\ -\text{C}-\text{OH} \\ \end{array}$	$\text{R} - \text{OH}$ "-ol"	isopropanol, méthanol tert butyl alcool
13° nitrile	$-\text{C} \equiv \text{NH}$	$\text{R} - \text{CN}$	acétnonitrile
14° acide carboxyliques	$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ -\text{C} \\ \backslash \\ \text{OH} \end{array}$	$\text{R} - \text{COOH}$ "acide <u>X</u> - ique"	acide acétique acide pentanoïque, etc.
15° éther	$\begin{array}{c} & & \\ -\text{C} & - \text{O} - & \text{C}- \\ & & \end{array}$	$\text{R} - \text{O} - \text{R}'$ "éther"	éthyl éther
16° esters.	$\begin{array}{c} \text{O} \\ // \\ -\text{C} \\ \backslash \\ \text{O} - \text{C} - \\ \end{array}$	$\text{R} - \text{COOR}'$ "- ate"	acétate d'amyle
17° etc			

À ces groupements fonctionnels simples, il faut rajouter les groupements poly-
fonctionnels ou dans un même composé on retrouve plus d'un groupe fonctionnel.

Exemple:

- alcène + dérivé halogéné: $\text{CH}_2 = \text{CHCL}$ (chlorure de vinyle)
- alcane + dérivé halogéné: $\text{Cl} - \text{CH}_2 - \text{Cl}$ dichlorométhane
(chlorure de méthylène)
- éther + cétone: $\text{CH}_3\overset{\text{O}}{\underset{\text{||}}{\text{C}}} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{O} - \text{C}_2\text{H}_5$ éthoxy 5, pentanone 2
- amine + aromatique:  aniline
- etc.

Nous n'avons donné ici que des exemples des groupements bi-fonctionnels. En fait on peut multiplier les combinaisons de groupements fonctionnels presque à l'infini. On a un exemple ici d'un composé polyfonctionnel plus compliqué:

- phényl + aniline + éthyl  N,N diéthyl
aniline ou
diéthylphénylamine.

À cette classification, il faut rajouter la chimie des plastiques et polymères divers que l'on rencontre fréquemment en industrie.

Il serait trop long d'entrer dans les détails des réactions de polymérisation. Retenons cependant ici que chaque fois que nous rencontrons le mot "résine" ou le préfixe "poly -" nous avons affaire à des plastiques quelconques.

Ce qu'il est intéressant de retenir ici c'est que dans l'industrie plastique ce ne sont pas les produits terminaux qui sont toxiques, mais les monomères de départ, les catalyseurs, accélérateurs, solvants et autres réactifs qui peuvent se dégager au

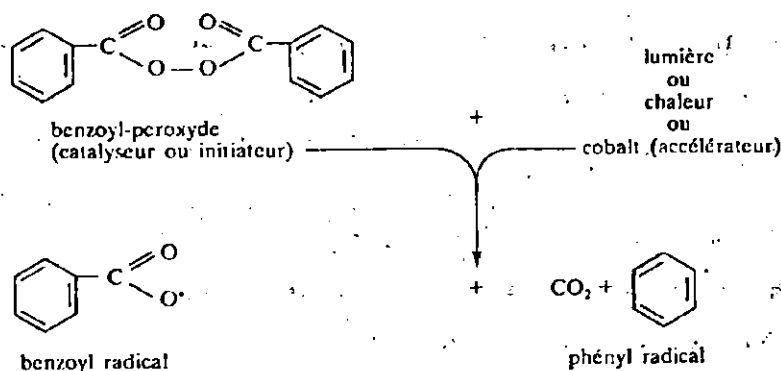
cours de la réaction de polymérisation (et/ou polycondensation).

Pour décrire brièvement ce qui se passe dans une réaction de polymérisation on distingue trois étapes:

1. Initiation: où il y a formation de radicaux libres à partir d'un catalyseur. Ceci se produit en présence de lumière, d'air ou par l'addition d'un accélérateur.
2. Propagation: c'est une réaction en chaîne qui se produit entre les radicaux libres du catalyseur et le monomère de base, provoquant la formation de radicaux libres qui se recombinent avec le monomère pour former de très longues chaînes moléculaires.
3. Terminaison: Lorsque les radicaux libres ont réagi avec toutes les molécules du monomère ou presque, la réaction se termine (il y a différents types de terminaisons possibles que nous n'aborderons pas ici).

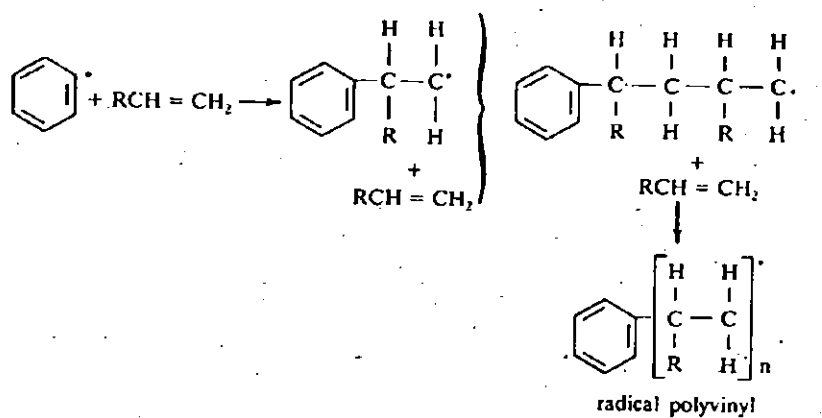
Exemple: Formation du polyvinyl

1. Initiation



N.B. : un radical possède un électron libre (non partagé par deux atomes adjacents).

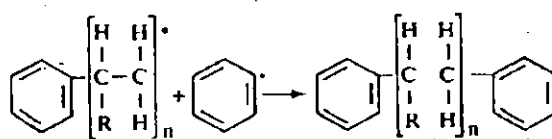
2. Propagation



3. Terminaison

c) Terminaison :

— Réaction entre 2 radicaux libres



B- Comportement physique des gaz et vapeurs

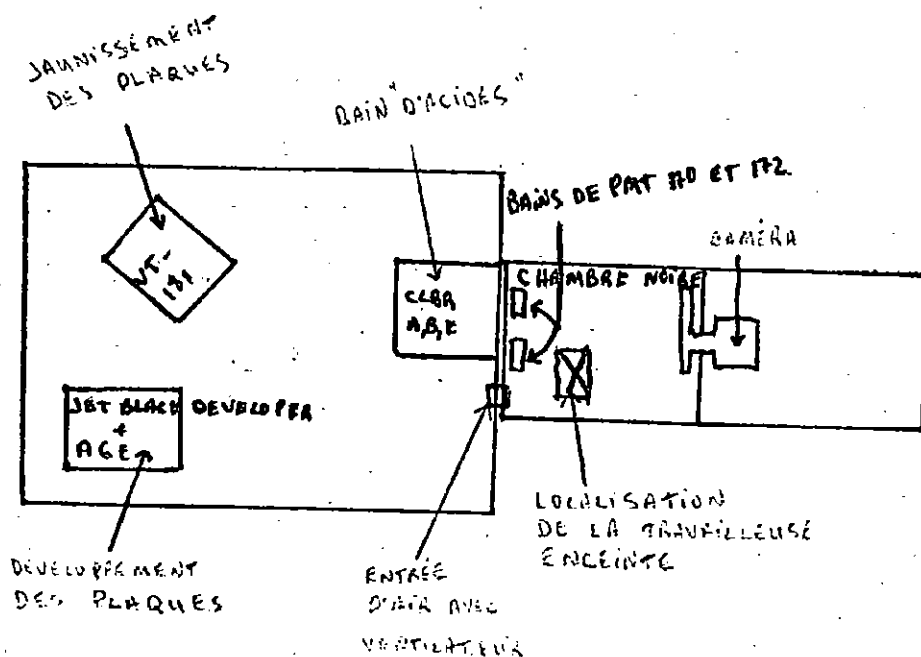
1-

TENSION DE VAPEURCas de retrait préventif pour femme enceinte dans une imprimerie.

A l'imprimerie X dans la région, une employée affectée au développement des films (procédé "off-set") fait une demande de retrait préventif. Elle travaille dans une chambre noire où elle utilise le révélateur "PMT activator 170 et 172". De plus elle prétend être incommodée par les vapeurs provenant de la salle de jaunissement des plaques lorsque ce procédé est utilisé. La préposée au jaunissement utilise le "VT 181". Elle se sert également du "Western Jet Black developer" et du "Western A.G.C." pour le développement des plaques.

Dans le bain des "acides" servant au développement on utilise les produits suivants: Cronalith CLBR partie A, B et E.

On a ci-dessous un schéma de l'aménagement des lieux de travail:



Vous communiquez avec les fabricants de ces produits et vous obtenez les renseignements suivants:

PRODUITS COMMERCIAUX

- PMT 120

- PMT 172

- VT-181

CONSTITUANTS MAJEURS

- méthylaminoéthanol

- hydroquinone

- diéthyl aminoéthanol

- hydroquinone

- cyclohexanone

Jet Black Fast Developer

Le fabricant donne les ingrédients suivants:

- Alcool aliphatique (moins de 3%) VS - 50 ppm

Solvants du type:

- Cétones aliphatiques (moins de 3%) VS - 50 ppm

Solvants du type:

- Esters aliphatiques (moins de 3%) VS - 100 ppm

- Acide organique (moins de 3%) VS - 100 ppm

La dernière revision de cette feuille de données remonte au mois de juillet 1980, et je suppose que les composants du Jet Black Fast Developer sont probablement l'alcool isobutyl, la méthylisobutylcétone, l'acétate d'iso-amyle et l'acide acétique.

Age

Le produit est un mélange des substances suivantes:

- Acide organique (moins de 2%) VS-10 ppm

Solvants du type:

- Cétones aliphatiques (moins de 2%) VS-50ppm
- Solvants aliphatiques (moins de 2%) VS-500 ppm
- Acide inorganique (moins de 2%)

Ici encore, cette feuille de données a été révisée en 1980 et je suppose que l'acide organique en question est l'acide acétique, et le solvant du type cétones aliphatiques peut très bien être le méthylisobutylcétone dans ce cas-ci également. Le solvant aliphatique semble être un aliphatique à six carbones. La Western Litho n'a pas fourni d'indices quant à l'identité de l'acide organique, mais je me doute qu'à des concentrations inférieures à 2% elle n'est probablement pas hautement dangereuse.

Cronalith liquid Blender

Partie A: Solution eau-glycol contenant 11% d'hydroquinone, pH de 7,6

Partie B: Solution alcaline contenant des sulfites, pH de 11,5

Partie E: Solution alcaline contenant des sulfites, pH de 12,2.

Face à cette avalanche de produits chimiques, vous recherchez une bouée de sauvetage quelque part. La première question à se poser c'est: "quels sont ceux qui sont volatils et ceux qui ne le sont pas?" La deuxième c'est: "parmi ceux qui sont volatils, lesquels sont les plus volatils?"

D'après vous, comment peut-on déterminer la volatilité respective de chacune de ces substances?

On consulte les propriétés physiques figurant soit dans les "Safety data sheet", soit au répertoire toxicologique, soit dans un manuel de chimie. Pour les produits en question, vous obtenez les renseignements suivants:

- diéthylaminoéthanol
 - tension de vapeur (20°C): 1mm Hg
 - point d'ébullition: 163°C (à 1 atm)
 - densité: 0,89 g/L à 20°C
 - flash point: 140°F "open cup"
 - solubilité: sol. eau, alcool, éther, benzène, pétrole.
- méthylaminoéthanol
 - tension de vapeur: 0,7 mm Hg (à 20°C)
 - point d'ébullition: 97,1°C (à 1 atm.)
 - densité: 0,97 (à 20°C)
 - point de fusion: - 4°C
 - flash point: 165°F "open cup"
 - solubilité: sol. eau, alcool + éther
- hydroquinone
 - tension de vapeur: 1mm Hg (à 132°C)
 - point d'ébullition: 285°C
 - point de fusion: 170°C
 - densité: 1,33
 - flash point: 329°F "closed up"
 - solubilité: 1: 14 parties eau
- cyclohexanone
 - tension de vapeur: 10mm Hg (à 38°C)
 - point d'ébullition: 155°C (à 1 atm.)
 - point de fusion: - 16°C
 - densité: 0,94 (à 25°C).

D'après ces renseignements, sur quoi vous baseriez-vous pour déterminer la volatilité respective de ces substances?

C'est au niveau de la tension de vapeur que l'on retrouve le plus d'information sur la volatilité respective de ces substances.

Habituellement la tension de vapeur est donnée à 20°C mais pas toujours. Il vaut mieux toujours vérifier. Ainsi dans les exemples donnés, on voit que la tension de vapeur du diéthylaminoéthanol est égale à celle de l'hydroquinone (1 mm Hg) cependant dans le cas de l'hydroquinone c'est sa tension de vapeur à 132°C. A 20°C, elle est infime. Concernant le cyclohexanone sa tension de vapeur à 37°C est de 10 mm Hg mais à 20°C, elle est de 2 mm Hg seulement.

On se rend compte à l'étude des composés décrits ci-avant que certains sont solides (par exemple l'hydroquinone) donc non volatils (ou à peu près) et que les autres ont tous une faible volatilité (1 à 2 mm Hg à 20°C). Pour fins de comparaison la tension de vapeur de l'éther est de 438 mm Hg!

Ceci n'implique pas qu'ils ne s'évaporeront pas ou presque car l'évaporation dépend non seulement de la tension de vapeur mais aussi de la surface de liquide exposée (un grand bassin ouvert favorise l'évaporation par rapport à un goulot étroit de bouteille), de la température ambiante (plus il fait chaud, plus il y a évaporation), des courants d'air et de la ventilation dans la pièce (plus il y a de mouvements d'air, moins rapidement il y a un équilibre des tensions de vapeur entre la surface et le liquide et plus il y aura d'évaporation), de l'agitation mécanique ou autre du liquide (plus on agite le liquide, plus ça favorise l'évaporation), etc.

En résumé donc, les informations fournies par la tension de vapeur sont partielles mais elles nous permettent tout de suite de jeter les premières bases de notre plan d'échantillonnage.

2- Effet de T° et pression:

Discussion sur le cas de préparation d'un standard pour la calibration d'un ILDE pour le mercure.

Vous devez préparer un standard de mercure pour étalonner un ILDE pour la vapeur de mercure. Vous recevez un "kit" accompagnant l'appareil vous permettant de préparer (en faisant évaporer jusqu'à saturation une boule de mercure dans un erlenmeyer) une concentration de 18 mg/m^3 à 25°C et 760 mm Hg de pression dans un erlenmeyer de 1 litre.

Cependant dans votre laboratoire les conditions sont de 18°C et 740 mm Hg.

Quelle concentration de mercure aurez vous dans votre erlenmeyer dans votre laboratoire?

VAPOR PRESSURE OF MERCURY

Vapor pressure of mercury in mm. of Hg for temperatures from -38 to 400°C. Note that the values for the first four lines only, are to be multiplied by 10⁻⁴.

Temp. °C	0	2	4	6	8	Temp. °C	0	2	4	6	8
-30	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	200	17.287	18.437	19.652	20.936	22.287
-20	4.78	3.50	2.66	1.97	1.45	210	23.723	25.233	26.826	28.504	30.270
-10	18.1	14.0	10.8	8.28	6.30	220	32.133	34.002	35.153	38.318	40.552
0	60.6	48.1	38.0	29.8	23.2	230	42.989	45.503	48.141	50.909	53.822
	185.	149.	119.	95.4	78.2	240	56.855	60.044	63.384	66.882	70.540
+0	.000185	.000228	.000276	.000335	.000408	250	74.375	78.381	82.508	86.944	91.591
+10	.000480	.000588	.000706	.000846	.001009	260	96.298	101.28	106.48	111.91	117.57
+20	.001201	.001426	.001691	.002000	.002359	270	123.47	129.82	136.02	142.69	149.64
+30	.002777	.003281	.003823	.004471	.005219	280	156.87	164.39	172.21	180.34	188.79
+40	.006079	.007067	.008200	.009497	.01098	290	197.57	206.70	216.17	226.00	236.21
50	.01267	.01459	.01677	.01925	.02206	300	248.60	257.78	269.17	280.98	293.21
60	.02524	.02883	.03287	.03740	.04251	310	305.89	319.02	332.62	346.70	361.28
70	.04825	.05469	.06189	.06993	.07889	320	376.33	391.92	408.04	424.71	441.94
80	.08880	.1000	.1124	.1261	.1413	330	459.74	478.13	497.12	516.74	537.07
90	.1582	.1769	.1976	.2202	.2453	340	557.90	579.45	601.69	624.64	648.35
100	.2729	.3032	.3366	.3731	.4132	350	672.69	697.83	723.73	750.43	777.97
110	.4572	.5052	.5578	.6150	.6776	360	806.23	835.38	865.36	896.23	927.97
120	.7457	.8198	.9004	.9882	1.084	370	960.66	994.34	1028.9	1064.4	1100.9
130	1.186	1.298	1.419	1.551	1.692	380	1138.4	1177.0	1216.6	1257.3	1299.1
140	1.845	2.010	2.188	2.379	2.585	390	1341.9	1386.1	1431.3	1477.7	1525.2
150	2.807	3.046	3.303	3.578	3.873	400	1574.1				
160	4.189	4.528	4.890	5.277	5.689						
170	6.128	6.598	7.095	7.628	8.193						
180	8.796	9.436	10.116	10.839	11.607						
190	12.423	13.287	14.203	15.173	16.200						

VAPOR PRESSURES OF SOME OF THE ELEMENTS* AT VARIOUS TEMPERATURES °C

Element	Melting point (°C)	Pressure (mm Hg)					
		10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	10 ⁻⁷	1
Ag	961	767	848	936	1047	1184	1353
Al	660	724	808	889	996	1123	1279
Au	1063	1083	1190	1316	1465	1646	1867
Ba	717	418	476	546	629	730	855
Be	1284	942	1029	1130	1246	1395	1582
Bi	271	474	536	609	698	802	934
C		2129	2288	2471	2681	2926	3214
Cd	321	148	180	220	264	321	
Co	1478	1249	1362	1494	1649	1833	2036
Cr	1900	907	992	1090	1205	1342	1504
Cu	1083	946	1035	1141	1273	1432	1628
Fe	1535	1094	1195	1310	1447	1602	1783
Hg	-38.9	-23.9	-5.5	18.0	48.0	82.0	126
In	157	667	746	840	952	1088	1260
Ir	2454	1993	2154	2340	2556	2811	3118
Mg	651	287	331	383	443	515	591
Mn	1244	717	791	878	980	1103	1251
Mo	2622	1923	2095	2295	2533	2811	3128
Ni	1455	1157	1257	1371	1510	1679	1879
Os	2697	2101	2264	2451	2667	2920	3212
Pb	328	483	548	625	718	832	967
Pd	1555	1150	1271	1405	1566	1759	1987
Pt	1774	1606	1744	1904	2080	2283	2514
Sb	630	466	525	596	678	779	894
Si	1410	1024	1116	1223	1343	1485	1659
Sn	232	823	922	1042	1189	1373	1587
Ta	2996	2407	2599	2820	3099	3421	3797
W	3382	2554	2767	3016	3309	3647	4031
Zn	419	211	248	292	343	405	479
Zr	2127	1527	1660	1816	2001	2212	2459

Reprinted with permission from Saul Dushman, "Scientific Foundations which are in agreement. The table is to be used, therefore, only as a guide. For a detailed discussion of vapor pressure data, see Dr. Dushman of Vacuum Technique," 1949, John Wiley and Sons, Inc., New York.

* The values given in this table are from a variety of sources, not all of book, pages 752-754.

VAPOR PRESSURE OF CARBON DIOXIDE

Solid
From Bureau of Standards Journal of Research
(Mercury column, density = 13.5951 g/cm³, g = 980.665)
Pressure in microns of mercury

°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-180	0.013	0.008	0.006	0.004	0.003	0.0017	0.0011	0.0007	0.0005	0.0003
-170	.37	.27	.20	.14	.10	.074	.052	.037	.026	.018
-160	5.9	4.6	3.6	2.7	2.1	1.68	1.19	.90	.67	.50
-150	50.5	48.8	39.2	31.4	25.1	19.9	15.8	12.4	9.8	7.6
-140	431	358	298	247	204	168	138	113	92	75
Pressure in mm of mercury										
-130	2.31	1.97	1.69	1.43	1.22	1.03	0.87	0.73	0.61	0.51
-120	9.61	8.57	7.46	6.49	5.63	4.83	4.22	3.64	3.13	2.69
-110	34.63	30.76	27.27	24.14	21.34	18.83	16.58	14.58	12.80	11.22
-100	104.81	94.40	84.91	76.27	68.43	61.30	54.84	48.99	43.71	38.94
-90	279.5	254.7	231.8	210.6	191.4	173.6	157.3	142.4	128.7	116.2
-80	672.2	618.3	568.2	521.7	478.5	438.6	401.6	367.4	335.7	306.5
-70	1486.1	1377.3	1275.6	1180.5	1091.7	1003.9	931.7	859.7	792.7	730.3
-60	3073.1	2865.1	2669.7	2484.3	2314.2	2152.8	2001.5	1859.7	1726.9	1602.5
-50								3760.9	3530.2	3304.6
Liquid										
°C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
-50	5127.8	4922.7	4723.9	4531.1	4344.3	4163.2	3987.9	3818.2	3653.9	3494.7
-40	7545	7271	7005	6746	6494	6250	6012	5781	5557	5339
-30	10718	10363	10017	9679	9350	9029	8716	8412	8115	7825
-20	14781	14331	13891	13461	13040	12630	12229	11838	11455	11080
-10	19572	19312	18764	18228	17703	17189	16688	16194	15712	15242
0	26142	25457	24768	24127	23482	22849	22229	21622	21026	20441
10	28142	26840	25552	24277	23017	21771	20539	19323	18121	16934
20	33763	34607	35467	36343	37236	38146	39073	40017	40980	41951
30	42939	43977	45014	46072	47150	48250	49370	50514	51680	52859
40	54086	55327								

* Undercooled liquid.
Critical temperature = 31.0°C. Triple point, -56.602 ± 0.005°C; 3555.2 ± 0.1 mm Hg

La variation de pression et de température aura deux effets sur la concentration de mercure dans l'erlenmeyer: Elle entraînera une variation du niveau d'évaporation du mercure et une variation du poids de l'air contenu dans le récipient.

- 1) Nous cherchons en premier lieu quel sera le niveau d'évaporation de mercure à 18°C et 740 mm de Hg. La table ci-jointe nous indique qu'à 18°C, la tension de vapeur du mercure est de 0,001009 mm Hg. Le rapport du nombre de molécules mercure/air est proportionnel au rapport des pressions mercure/air.

$\frac{\text{Nbrc moléculcs de mercure}}{\text{nbrc moléculcs d'air}} = \frac{\text{tension de vapeur du mercure (à 18°C)}}{\text{pression de l'air (à 18°C)}}$

$$\frac{1 \times 10^{-3} \text{ mm Hg}}{740 \text{ mm Hg}} = 1,35 \times 10^{-6} = 1,35 \text{ ppm}$$

- 2) Nous connaissons le volume d'une mole d'air à 25°C et 760 mm Hg soit 24,45 l. Quel volume cette mole occupe-t-elle à 740 mm Hg et 18°C ? Pour des gaz idéals, nous connaissons l'équation $PV = nRT$; Ici les variables "n" et "R" demeurent constantes.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = nR = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

$V_2 = V_1 \frac{P_1}{P_2} \frac{T_2}{T_1}$

où la température est exprimée en degré Kelvin

$$V_2 = 24,45 \times \frac{760}{740} \times \frac{273^\circ + 18^\circ}{273^\circ + 25^\circ}$$

$$V_2 = 24,52 \text{ litres.}$$

- 3) Nous pouvons maintenant convertir les PPM en mg/m³ à l'aide de l'équation suivante:

équation simplifiée ⁽¹⁾ $\text{mg/m}^3 = \frac{\text{ppm} \times \text{poids moléculaire (en gramme)}}{\text{volume d'une mole d'air (en litre)}}$

$$\frac{1,35 \text{ ppm} \times 200 \text{ gr.}}{24,52 \text{ litres}} = 11 \text{ mg/m}^3 \text{ à } 18^\circ\text{C et } 140 \text{ mm Hg.}$$

L'ILDE devrait, si bien calibrer, indiquer une concentration de 11 mg/m³ de Hg présente dans l'erlenmeyer.

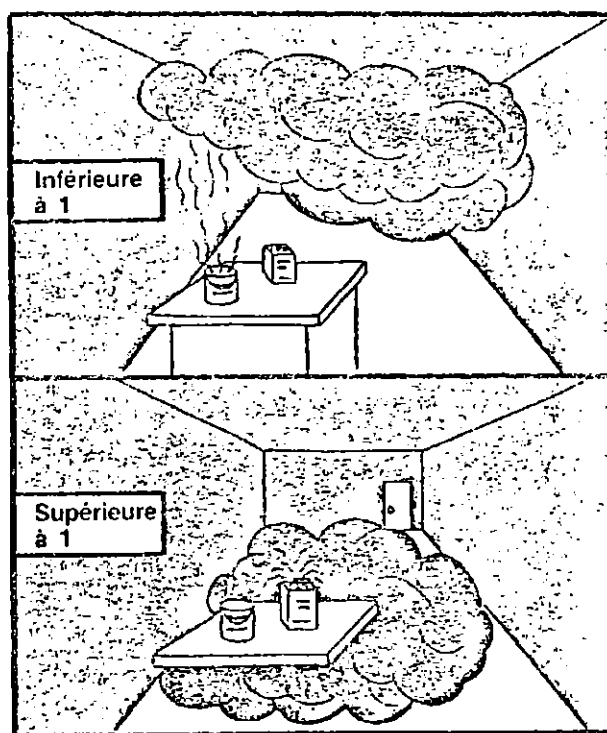
(1) cf: p.17 dans NIOSH, The Industrial Environment, its evaluation and control, 1973.

3- DENSITÉ DE VAPEUR:

Indique combien de fois les vapeurs sont plus pesantes ou plus légères que l'air. Un produit ayant une densité de vapeur supérieure à "1" aura tendance à se maintenir près du plancher d'une pièce. Il est à noter qu'il est rare qu'un produit possède une densité de vapeur inférieure à 1; ce serait le cas d'un gaz plus léger que l'air.

Ex: Le toluène a une densité de vapeur de 3.14. Donc, à l'état gazeux, il aura une forte tendance à rester au niveau du plancher.

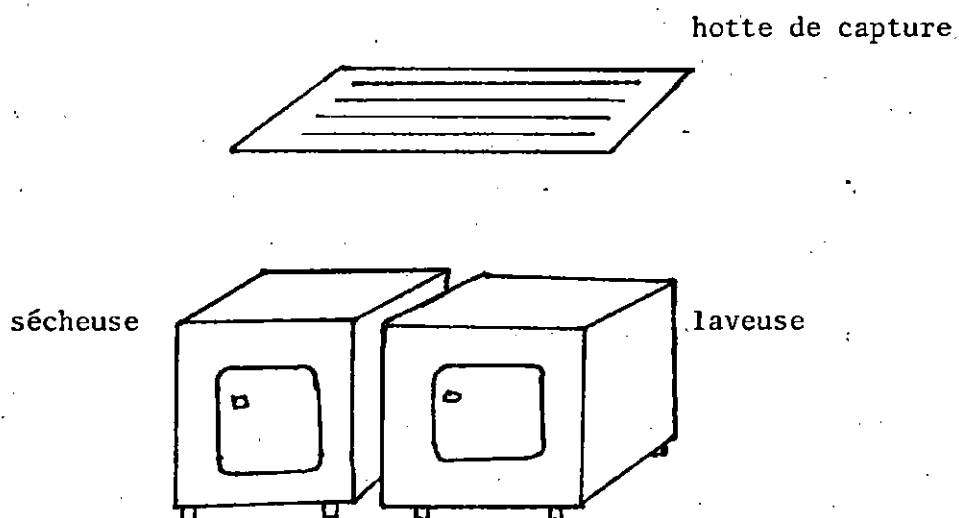
Ex: L'alcool allylique a une densité de vapeur de 1.1. Donc, il se mélangera assez facilement avec l'air puisqu'il a une valeur près de 1.*



* Tiré du Guide d'utilisation du répertoire toxicologique de la CSST.

PROBLÈME:

On rencontre dans un nettoyeur à sec l'installation suivante:



Une hotte d'évacuation assure une dilution des vapeurs. Le procédé de nettoyage utilise du perlux comme agent nettoyant. Des analyses avec tubes détecteurs de marque gastec révèlent une concentration instantanée de perchloroéthylène de 80 ppm entre deux nettoyages et une concentration variant entre 275 et 300 ppm lorsque le linge est transféré de la laveuse à la sècheuse. De plus, on trouve une concentration supérieure à 250 ppm de perchloroéthylène derrière la sècheuse; cette concentration pouvant indiquer la présence d'une fuite. À l'autre extrémité de la pièce, on retrouve une concentration moyenne pour 40 minutes (tube de charbon activé et chromatographie en phase gazeuse) de 57 ppm. La concentration moyenne à laquelle est exposé l'employé se situe à près de 93 ppm. Une étude nous révèle que cette concentration est très élevée pour ce type d'industrie. Sachant que la densité spécifique de vapeur du perchloroéthylène est de 5,7 par rapport à la densité de l'air (1), commentez l'emplacement de la hotte de ventilation.

Texte traduit de "Industrial Ventilation" ACGIH, 16e édition, 1980, p. 1-3 et 1-4.

Fréquemment l'emplacement des hottes d'évacuation de gaz est basé sur la supposition erronée que ce gaz est "plus léger" ou "plus lourd" que l'air. Dans la plupart des analyses d'hygiène industrielle, ce critère est insignifiant. Les poussières, fumées, vapeurs et gaz sont très bien aéroportés, ils suivent bien les courants d'air et ne sont pas sujets à d'appréciables déplacements verticaux causés par leur gravité spécifique. À titre d'exemple, considérons le comportement du perchloroéthylène. Si on assume que les vapeurs de perchloroéthylène sont bien mélangées à l'air, les calculs suivants indiquent la densité de vapeur spécifique pour un mélange de 10 000 ppm de perchloroéthylène:

- densité spécifique de l'air 1
 - densité spécifique du C_2Cl_4 = 5,7
 - 10 000 ppm = 1 partie de C_2Cl_4 et 99 parties d'air
- $$0,01 \times 5,7 = 0,057$$
- $$0,99 \times 1 = \underline{0,990}$$
- $$1,047 = \text{densité spécifique du mélange}$$

Comme 10 000 ppm représente 100 fois le TLV du perchloroéthylène, les concentrations que l'on rencontre d'ordinaire sont très inférieures à 10 000 ppm. Par un calcul similaire, on peut trouver une densité spécifique de 1,0005 pour un mélange d'air contenant 100 ppm de perchloroéthylène.

C'est pourquoi le mélange d'air et de perchloroéthylène en comparaison à de l'air pur aura tendance à subir une poussée verticale suivant un ratio de 105/100 ppm pour un mélange de 10 000 ppm et un ratio de 10 005/10 000 pour un mélange de 100 ppm plutôt qu'un ratio de 5,7/1 comme on le laisse fréquemment entendre. Alors les effets des courants d'air, de la turbulence, de la température, ... rendent insignifiant l'effet de la densité spécifique. De plus, cet exemple illustre le cas d'un gaz assez lourd, et les gaz ayant une densité spécifique se rapprochant de 1 seront encore moins sujets à suivre les forces dues à leur gravité spécifique.

On voit donc qu'il n'y a pas lieu de baisser la hotte de capture au niveau du plancher pour considérer la densité spécifique du perchloroéthylène. Naturellement, enclore ou isoler la source du contaminant aiderait à baisser la concentration de perchloroéthylène dans l'air ambiant.

4-

TAUX D'ÉVAPORATION: ÉTUDE DE CAS

Une entreprise fabrique des embarcations nautiques en fibre de verre et désire connaître le débit de ventilation requis pour diluer les vapeurs nocives. Elle déménage dans de nouveaux locaux et elle doit concevoir un nouveau système de ventilation. Nous possédons les connaissances suivantes:

La résine polyester:

La résine thermodurcissable est composée d'un alkyde de base dissous dans un monomère de styrène.

En général, la résine polyester est constituée de 30 à 50% de styrène, substance partiellement volatile selon la température ambiante.

Lorsque la polymérisation est recherchée, un catalyseur chimique à base de peroxyde (peroxyde de méthyle Ethyle cetone) est utilisé à de faibles concentrations <2%.

La polymérisation est une réaction chimique de type exothermique (250°F à 350°F).

En général, le délai entre l'application de la résine liquide et sa polymérisation finale (stage solide) est fonction de la grandeur de la pièce à mouler et le temps requis pour le laminage.

Il y aura donc évaporation du volatile styrène durant le délai de polymérisation choisi par le fabricant.

Le catalyseur malgré qu'il soit volatile demeure minime dans l'ensemble du phénomène d'évaporation à cause de son faible pourcentage <2% d'utilisation.

Dimensionnement du système de ventilation:a) Vapeurs de styrène

Taux d'émission = 35 grammes/m²/hre (77°F)
Surface exposée = 75 mètres² par moule
Durée de l'évaporation cycle de moulage = 1 heure par moule

b) Superficie du bâtiment: 20m X 20m = 400 mètres²
Hauteur du bâtiment: 12 mètres

c) Un seul moule est laminé à la fois.

Pouvez-vous calculer la capacité de ventilation requise?

Le nombre de m³/hre de ventilation requis pour que la concentration de styrène dans l'air ne dépasse pas 410 mg/m³ (norme légale au Québec).

Donc:

- Poids de styrène évaporé

$$\frac{75\text{m}^2 \times 35 \text{ grammes}}{\text{m}^2} \times \frac{1 \text{ heure}}{1 \text{ heure}} = 2625 \text{ grammes/hre}$$

- le volume d'air dans le bâtiment est:

$$20\text{m} \times 20\text{m} \times 12\text{m} = 4800 \text{ m}^3$$

- la concentration maximale de vapeurs de styrène sans évacuation sera:

$$\frac{2625 \text{ gr}}{4800 \text{ m}^3} = \frac{0,55 \text{ gr}}{\text{m}^3}$$

ou 550 mg/m³

- nombre de changement d'air requis à l'heure:

$$\frac{550 - 410}{550} = 1/4$$

- capacité de ventilation requise (minimum)

$$4800 \text{ m}^3 \times 1/4 = 1200 \text{ m}^3/\text{heure}$$

$$\text{ou } 20 \text{ m}^3/\text{min} = 6400 \text{ pcm (pied cube/min)}$$

- choix du ventilateur fixé à 10,000 CFM pour compenser les pertes d'évacuation.

Le ventilateur devra être en opération continue durant le cycle de laminage et un circuit d'amenée d'air frais devra compenser le volume évacué: (air make-up).

C-

LA PRÉPARATION DE L'ÉCHANTILLONNAGE

Analyse de cas: Femme enceinte travaillant dans un atelier de débosselage

Une femme enceinte travaillant dans un atelier de débosselage se plaint de la présence de "senteur de gaz" et de "douleurs" associées à sa tâche. Elle fait une demande de retrait préventif. Le médecin responsable nous demande d'échantillonner pour connaître le type et le niveau d'exposition de cette travailleuse.

L'employée a fourni, au médecin par téléphone, une description sommaire de ses tâches et ses endroits de travail. Elle répond au téléphone, dactylographie et effectue la comptabilité dans un petit local avoisinant le garage. Le même air circule dans le garage et son bureau. De plus, elle nettoie les voitures dans le garage. Le sablage et l'application de "Primer" s'effectuent dans le garage alors que la peinture est appliquée dans une chambre à peinture avoisinante. Un petit ventilateur aère la salle de peinture. Deux à trois voitures sont traitées par semaine. Le médecin retire la femme enceinte de son milieu de travail jusqu'à ce que notre étude soit effectuée. Quelle démarche doit-on prendre avant d'échantillonner?

1) Connaître la nature des contaminants.

A) On appelle l'employeur (on se présente, ...)

- L'employeur confirme les tâches et les emplacements de travail de l'employée ainsi que le nombre de voitures traitées par semaine.
- L'employeur possède-t-il les "Safety Data Sheets" des produits qu'il utilise? NON
- Quels sont les produits qu'il utilise le plus couramment?
 - . Le primer 80-S de la Compagnie Dupont.
 - . Le thinner 3608-S de Dupont Canada Inc. (Acrylic lacquer thinner).
 - . Les peintures acryliques E 1305 et E 1306 de Dupont
 - . Vinil Wash Primer 848 A et 848 B de RM.
 - . Et deux autres produits moins utilisés.
- La composition du produit est-elle inscrite sur l'étiquette? NON
- L'employeur nous fournit le numéro de téléphone et l'adresse du fabricant (il n'y a pas de distributeur).
- L'employeur nous dit utiliser ces produits plusieurs heures par semaine. "Ça varie, une semaine on peut les utiliser trois heures, une autre huit à dix heures..."

Ensuite, que fait-on?

B) Nous cherchons à connaître la composition de ces produits.

- Un texte général traite de la classification des peintures (voir en annexe). Il nous renseigne sur les constituants des peintures et il nous aide à comprendre ce qu'il faut rechercher dans la peinture.
- Le DSC possède la composition de quelques produits*:

. Vinyl Wash Primer 848 A de RM

Butyl, isopropyl alcohol	69%
Methyl ethyl Ketone	10%
Vinyl polymer	9%
Pigment (Zn chromate, Carbone Black...)	12%

. Vinyl Wash Primer 848 B de RM

Butyl, isopropyl alcohol	95%
Phosphoric acid	2,5%
H ₂ O	2,5%

* Ces informations proviennent du Centre de Toxicologie du Québec.

Nous ignorons encore la composition du primer 80-S et des peintures acryliques E-1305 et E-1306 de Dupont. Comme nous désirons échantillonner le plus tôt possible, nous appelons nous-mêmes la firme Dupont. Après plusieurs appels téléphoniques, nous obtenons la liaison avec un chimiste de la compagnie à Toronto. Il nous fournit verbalement les renseignements suivants:

Le primer 80-S de la Compagnie Dupont:

- Toluène:	12%	
- Aliphatic alcool:	10%	
- Aliphatic kétone:	8%	
- Aliphatic kétone:	8%	norme = 1 000 ppm
- Aliphatic kétone:	11%	norme = 250 ppm
- Aliphatic kétone:	4%	norme = 100 ppm
- Aliphatic ester:	1%	
- Aliphatic pétrole:	1%	
- Solution acide:	0,5%	

Peinture acrylique E-1305 de Dupont:

- Aliphatic alcool:	80%
- Chrome III (basé sur poids total):	7,7%
- Zinc (basé sur le poids total):	2,5%

Peinture acrylique E-1306 de Dupont:

- Toluène:	40%
- Aliphatic alcool:	32%
- Aliphatic kétone:	17%
- Solution (acide phosphorique à 85%)	

NUMÉRO DE SÉRIE: 3602

USAGE ET CONDITIONS D'UTILISATION: _____

QUANTITÉS UTILISÉES PAR AN: _____

NOMBRE DE TRAVAILLEURS EXPOSÉS: 2FABRICANT: DU PONT CANADA

DISTRIBUTEUR: _____

ADRESSE: _____

ADRESSE: _____

CODE
POSTAL: _____CODE
POSTAL: _____

TÉL: () _____

TÉL: () _____

NATURE DE LA DEMANDE

DEMANDE DE
COMPOSITION ☒DEMANDE SUR
LA TOXICITÉ ☐AUTRE
DEMANDE ☐

UTILISATEUR IMPLIQUÉ

ENTREPRISE ☒AUTRE ☐

CLASSIFICATION: DIVISION: _____

GROUPE: _____

CODE
D'ACTIVITÉS: _____ACTIVITÉ PRINCIPALE: Peinture

RÉSERVÉ AU CENTRE DE TOXICOLOGIE DU QUÉBEC

RÉPONSE EFFECTUÉE PAR: J. NormandDATE: 29/12/80 T: _____

COMPOSITION:

TOLUÈNE 64%ETHER ESTER 3%CÉTONE ALIPHATIQUE 16%CÉTONE ALIPHATIQUE 3%ALCOOL ALIPHATIQUE 6%ALCOOL ALIPHATIQUE 9%714 ppm
1001001000100400100

TOXICITÉ:

L'usage de gant et lunettes est recommandé.
Ventilation à l'extérieur.

NUMÉRO DE SÉRIE: 90-3

USAGE ET CONDITIONS D'UTILISATION:

QUANTITÉS UTILISÉES PAR AN:

NOMBRE DE TRAVAILLEURS EXPOSÉS:

FABRICANT: Dupont

DISTRIBUTEUR:

ADRESSE: Canada

ADRESSE:

CODE
POSTAL:

CODE
POSTAL:

TÉL: ()

TÉL: ()

NATURE DE LA DEMANDE

DEMANDE DE
COMPOSITION ☒

DEMANDE SUR
LA TOXICITÉ ☒

AUTRE
DEMANDE ☐

UTILISATEUR IMPLIQUÉ

ENTREPRISE ☒

CODE
POSTAL:

TÉL: ()

CLASSIFICATION: DIVISION: 05

GROUPE: 12

CODE
D'ACTIVITÉS: 3241

ACTIVITÉ PRINCIPALE: soudure

RÉSERVÉ AU CENTRE DE TOXICOLOGIE DU QUÉBEC

RÉPONSE EFFECTUÉE PAR:

Yves Normand

DATE: 27/12/80 T:

COMPOSITION:

TOLUÈNE

22%

TOXICITÉ: 720 ppm
100

ALCOOLS ALIPHATIQUES

10%

400

CÉTONE ALIPHATIQUE

8%

1000

CÉTONE ALIPHATIQUE

11%

200

CÉTONE ALIPHATIQUE

4%

100

ESTERS ALIPHATIQUES

1%

100

DISTILLATS DE PÉTAOLE ALIPHATIQUES

1%

500

ACIDE PHOSPHORIQUE

0.5%

1 mg/m³

Comment à partir des informations obtenues, pouvons-nous préparer
l'échantillonnage?

2 -

PRÉCISER LA NATURE DES CONSTITUANTS

Les Compagnies ne nous ont pas fourni la composition exacte de leur produit. Elle nous ont plutôt indiqué la catégorie ou famille dans laquelle se retrouve le produit. A partir de ces renseignements, on se démerde pour connaître la composition précise du produit.

A titre d'exemple, considérons la composition du diluant à laque 3608 de Dupont: Que contient-il? - à 64% du toluène
- à 16% une cétone aliphatique ayant un TLV de 1000 ppm.

Nous savons que ce produit est une cétone, ce qui restreint les possibilités. (Le terme cétone réfère à la structure moléculaire et nous indique la présence d'un radical avec un carbone en double liaison avec l'oxygène $R - C = O$; les cétones possèdent généralement un nom se terminant par "one"). Le fait que se soit une cétone aliphatique vient préciser encore davantage nos connaissances (nous savons par exemple qu'elle ne peut contenir de groupements cycliques). Enfin le TLV (1000 ppm) apporte un supplément d'information. Nous feuilletons les TLV publiés par l'ACGIH en 1979 (car la fiche toxicologique date de 1980), en recherchant tout produit ayant un TLV de 1000 ppm. Plusieurs produits ont un TLV de 1000 ppm à savoir: l'acétone, le butadiène, le chlorodifluorométhane, le dichlorodifluorométhane, le dichloromonofluorométhane, le dichlorotétrafluoroéthane, le diméthoxyméthane, l'éthanol, l'éthyl chloride, le fluorotrichlorométhane, le LPG, le méthyl acétylène, etc... Nous éliminons tous ceux qui ne sont pas des cétones, et il nous reste l'acétone. Donc 16% d'acétone:

- à 6% d'alcool aliphatique avec un TLV de 400 ppm. Nous feuilletons la liste des TLV et nous trouvons que l'isopropanol possède un TLV de 400 ppm,
- à 9% d'alcool aliphatique - TLV de 100 ppm. Ce peut être du butyl tertiaire alcool ou du 2 - Ethoxyéthanol. Le butyl tertiaire semble plus probable (selon Daniel) étant donné qu'il correspond davantage à la description d'un alcool aliphatique,

- à 3% d'éther Ester, 100 ppm, probablement du 2 - Ethoxyéthanol!
(On y perd son latin!);
- à 3% de cétone aliphatique, 100 ppm. Hexone, Méthyl N-amyl kétone,
ou méthyl isoamyl kétone.

Ceux pour qui la chimie organique c'est du chinois, nous vous présentons en annexe un article traitant de ce propos et tiré du livre de NIOSH.

Nous procédons de la même façon pour l'ensemble des produits utilisés chez l'employeur. Connaissant les constituants qui peuvent se retrouver dans les produits utilisés, quelle est la prochaine étape à réaliser avant d'échantillonner?

3-

CHOIX DE LA TECHNIQUE D'ECHANTILLONNAGE

Nous consultons le "guide d'échantillonnage des contaminants de l'air en milieu de travail" de l'IRSST afin de déterminer quelles méthodes d'échantillonnage sont disponibles pour ces contaminants.

PRODUIT	COMPOSITION	MÉTHODE D'ECHAN- TILLONNAGE (IRSST)
R-M Vinyl wash primer 848 A	- butanol } 69% - isopropanol } 69% - MEK 10% - chromate de zinc et autres pigments 12%	
R-M Vinyl wash primer 848 B	- butanol } 95% - isopropanol } 95% - acide phosphorique 2,5%	
Diluant à laque 3608 de Dupont	- toluène 64% - 2 - éthoxyéthanol 3% - acétone 16% - MIBK 3% - isopropanol 6% - tert-butanol 9%	
Lacquer primer surfacer 90-S de Dupont	- toluène 72% - acétone 8% - MEK ou 2 - Pentanone 11% - MIBK 4% - acétate d'amyle-n 1% - naphta 1% - acide phosphorique 0,5%	

Pouvez-vous remplir ce tableau?

Nous vérifions aussi pour quels produits il existe des tubes détecteurs disponibles. Nous vérifions la spécificité des outils d'échantillonnage, les interférences possibles, ainsi que leur sensibilité. Comme toutes les analyses avec charbon activé requièrent une chromatographie en phase gazeuse, un seul prélèvement permet de déterminer la concentration de tous ces produits à la fois. Cependant étant donné que certains de ces produits peuvent être en faibles quantités, il est préférable d'échantillonner avec deux ou trois tubes en parallèle et de demander pas plus de trois ou quatre produits par tube au charbon.

Nous décidons donc de procéder à trois types d'analyse, à savoir prélèvement avec charbon activé, prélèvement avec gel de silice et échantillonnage avec filtre FCPV 5µm. Nous compléterons l'analyse par des lectures directes avec tube gastec. Nous notons le débit requis pour échantillonner et le volume et/ou durée d'échantillonnage requis. Pour chaque produit commercial utilisé, nous notons les constituants que l'IRSST devra doser.

Finalement, nous rappelons l'employeur. Nous lui demandons la date à laquelle il compte utiliser les différents produits. Nous nous assurons que nous aurons la possibilité d'échantillonner pendant la durée requise. Nous prenons entente pour échantillonner tel jour à telle heure, en prenant soin d'y aller en début de semaine (mercredi plus tard) afin de ne pas risquer que nos échantillons sur C.A. passent la fin de semaine au terminus d'autobus à Montréal.

Nous préparons le matériel requis, précalibrons les appareils, etc... Rendu sur place, nous visitons les lieux et décidons d'une stratégie d'échantillonnage. Nous nous assurons que l'IRSST peut traiter nos échantillons dans des délais respectables. Une fois sur place chaque fois qu'une peinture ou apprêt est utilisé, nous notons quels composés doivent être analysés à l'IRSST. Pour chaque produit commercial où il y a plus de trois constituants, nous échantillonons avec deux tubes en parallèle.

Dans cet exemple, nous n'avons pas analysé l'exposition à la poussière et nous n'avons pas prélevé d'échantillon de procédé (étant donné que le naphta était déjà mêlé à la peinture).

CONCLUSION

Cet exemple voulait illustrer les étapes nécessaires à la préparation de l'échantillonnage.

1) compréhension du problème:

- qui fait la demande
- raisons de l'échantillonnage
- études antérieures?
- contexte de la demande
- études dans d'autres industries similaires?

2) connaître la nature du risque:

- quels sont les produits et les procédés utilisés
- en quelle quantité les produits sont-ils utilisés
- comprendre les procédés utilisés
- que contiennent ces produits
- qui utilisent ces produits
- possède-t-on les "safety data sheet" de ces produits
- où ses produits sont-ils utilisés

3) à partir de la composition des produits les plus utilisés (ou parfois les plus dangereux) on détermine quelle procédure d'échantillonnage doit être utilisée:

- connaît-on le taux d'évaporation ou la tension de vapeur de ces produits
- on consulte le guide d'échantillonnage de l'IRSST et les listes des tubes détecteurs
- on recherche s'il faut prendre un échantillon de procédé

4) lorsque c'est possible, on effectue une visite préliminaire des lieux de travail et d'entreposage. On porte attention, entre autres, aux aspects suivants:

- conditions d'utilisation des produits
- plaintes ou remarques des utilisateurs et des contremaîtres
- conditions d'hygiène et de ventilation
- fréquence et durée d'utilisation
- lorsque c'est possible, on fait quelques analyses avec des tubes détecteurs pour connaître l'ordre de grandeur des concentrations de contaminants dans l'air ambiant
- dates futures d'utilisation prévue et possibilité d'échantillonner à ces dates
- moyens de protection individuelle utilisés

5) on prépare les outils d'échantillonnage:

- types d'instruments utilisés (considérer les caractéristiques des techniques)
- calcul du débit d'échantillonnage
- calcul des durées d'échantillonnage
- inventaire des analyses de laboratoire requises par produit et par échantillon
- s'assurer que l'on a le matériel nécessaire; sinon, le faire venir
- s'informer des interférences possibles
- si l'on prévoit beaucoup de demandes d'analyse en laboratoire, avertir à l'avance l'IRSST
- précalibrer, les appareils
- vérifier si l'on a tout ce qu'il faut pour échantillonner

1.0 Evaluation de la qualité du milieu de travail.

La principale raison d'effectuer des prélèvements dans un milieu de travail est d'obtenir de l'information concernant la qualité de l'environnement dans ce milieu:

Cette information permet à l'intervenant de déterminer deux choses:

1° Les types de contaminants présent

2° leur concentration

Généralement, avant de procéder à des prélèvements dans un milieu on connaît déjà la composition des contaminants recherchés. Si ce n'est pas le cas, nous devons dans la planification de l'étude prévoir un ou deux échantillons supplémentaires qui serviront à déterminer la nature des contaminants et, un échantillon (prélevé à l'aide d'une bouteille) des produits utilisés dans le procédé de fabrication.

EX: Vous échantillonnez au niveau d'un bain de dégraissage et vous ne savez pas s'il s'agit de trichloroéthylène ou de perchloroéthylène Vous prélevez à l'aide d'un contenant en verre un échantillon du solvant dans le bain de dégraissage pour analyse en laboratoire.

* Tiré d'un texte de Gilles Lebeau, DSC Sacré-Coeur.

1 Principes généraux pour la prise d'échantillons.

Avant de procéder à toute évaluation du milieu de travail vous devez de consulter au préalable, les publications concernant les méthodes d'analyse (Ex. Guide d'échantillonnage des contaminants de l'IRSST) ou votre laboratoire. Cette démarche vous permettra de planifier correctement votre méthode d'échantillonnage et d'ajuster certains des éléments suivants:

1. Volume d'échantillonnage
2. Débit de l'échantillonnage (temps)
3. Assemblage du train d'échantillonnage
4. Calcul du volume échantillonné
5. Échantillon blanc
6. Calcul d'erreur
7. Transport
8. Compilation des données

1.1 Volume d'échantillonnage.

Deux méthodes se présentent: - calcul du volume
- utilisation du volume suggéré

Calcul du volume

Le volume peut-être calculé à partir de la quantité minimum nécessaire pour analyser un contaminant.

Volume minimum (litres)=

$$\frac{\text{Limite de détection de la méthode ou de l'instrument (Mg.)}}{\text{Concentration estimée du contaminant dans l'air}} \times 1000$$

Ex. Si la limite de détection du Diméthylamine par chromatographie en phase gazeuse est de .05 mg et que la concentration estimée

est de 1Mg/m^3

le volume minimum nécessaire sera: $\frac{.05\text{mg} \times 1000 \text{ litres}}{1\text{mg/m}^3 \text{ m}^3} = 50 \text{ litres}$

Volume Suggéré

Heureusement, la plupart des méthodes d'analyse publiées nous renseignent sur le volume nécessaire.

(Ré, annexe du chapitre 3)

1.2. Débit d'échantillonnage

Généralement le débit d'échantillonnage est fonction de la méthode utilisé, (Re, annexe du chapitre 3) d'une façon très générale nous pouvons dire que pour les:

absorbants
(gel de silice, charbon activé)
Filtres: _____

le débit est de 0.2L/min. ou moins

2 litres/min ou 1 litre/min
1.9 litres/min avec un cyclone

Midget impinger

le débit est de 1 à 2 litres/min

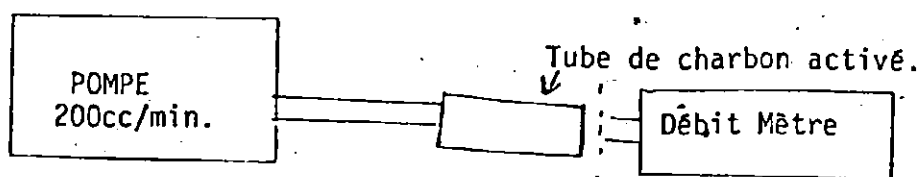
Pour les gaz et vapeurs et 2.8
litres/min pour les poussières

1.3. Assemblage du train d'échantillonnage

Quelques précautions générales doivent être prises lors du montage d'un train d'échantillonnage soit:

- assembler votre train d'échantillonnage dans un endroit exempt de tout contaminant.
- utiliser des tuyaux de raccord les plus court possible afin de minimiser les pertes de charges.
- assurer vous que tous les raccords sont bien fixés afin d'éliminer toutes les fuites.

Exemple d'un train d'échantillonnage

1.4. Calcul du volume échantillonné

Les étapes suivantes doivent être suivies afin de s'assurer d'un volume d'air (et débit) précis et uniforme.

- 1) Avant de prélever des échantillons sur le terrain, monter le train d'échantillonnage à l'atelier (au bureau) et fixer le débit choisi à l'aide d'une débitmètre à bulles de savon, mécanique ou électronique. Pour les faibles débits (0-200 cc/min gaz et vapeurs) l'utilisation d'un débitmètre à bulle de savon est préférable.
- 2) Réassembler l'équipement sur le site d'échantillonnage.
- 3) Partir la pompe et la laisser fonctionner au moins 15 minutes.
- 4) Ajuster de nouveau le débit avec un calibreur électronique et enregistrer les données dans un cahier.
- 5) Enlever le débit mètre
- 6) Débuter l'échantillonnage en prenant soin si c'est le cas de vérifier la position de la bille du rotamètre afin de vous assurer qu'elle demeure au même point
- 7) Après la prise du dernier échantillon (Fin de l'avant midi par exemple) mesurer de nouveau le débit de la pompe et enregistrer les données.
- 8) Enlever le débitmètre et arrêter la pompe.
- 9) Calculer le débit moyen par la formule suivante

$$\text{débit moyen} = \frac{(\text{Débit au départ} + \text{Débit à la fin})}{2}$$
- 10) Calculer pour chacun des échantillons prélevés durant cette période le volume d'air.

Volume = débit moyen X Temps d'échantillonnage X (Corrections pour température et pressions extrêmes)

11) Note 1: Plusieurs types de pompes sont à débit constant donc la vérification du débit est moins fréquente

11) Note 2 : Si le débit d'une pompe a varié de plus de 10%, rejetez l'échantillon l'erreur est trop grande.

11) Note 3 : Pour le calcul des facteurs de corrections pour température et pression on utilise la relation $\frac{P_1}{T_1} \cdot V_1 = \frac{P_2}{T_2} \cdot V_2$

d'où $V = \text{Débit} \times \text{Temps} \times \frac{P_N}{\text{pression lors de l'échantillonnage}} \times \frac{\text{Temp. Lors de l'échantillonnage}}{T_N}$

P_N et T_N ,sont les température et pressions normales

à noter que ces facteurs de correction s'applique principalement

lorsqu'un échantillonnage est effectué sous des conditions extrêmes

Pour plus de détails, voir NIOSH, Occupational Exposure, Sampling Strategy Manual, pages 90, 91, 92, 93, 94.

EXEMPLE:

Données de l'échantillonnage:

Pompe NO	Echantillon NO.	Temps	Débit	Remarques
14	1	20min.	2l/min	T.P.N.
14	2	20min.	2l/min.	T.P.N.
14	6	30min.	2l/min	50°C P.N.
Débit de la pompe à 9:00 AM:		2.00 litres/min		
"	"	10:10 AM:	1.95 litres/min	

Calcul du volume échantillonné

$$\begin{aligned} &\text{Echantillon no 1} \\ &\text{no 2} \left(\frac{2:00 + 1.95}{2} \right) \times 20 \text{ min.} \times 1 \text{ (TPN)} \\ &= 39.50 \text{ litres} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{no 6} \left(\frac{2:00 + 1.95}{2} \right) \times 30 \text{ min.} \times \left(\frac{760}{760} \times \frac{323}{298} \right) \\ &= 64.22 \text{ litres} \end{aligned}$$

1.5. Echantillon blanc

à chaque fois que vous échantillonnez avec des filtres, tubes ou autres vous devez rapporter au laboratoire un échantillon qui a subi les mêmes manipulations que les autres sauf qu'il n'aura pas servi à faire un prélèvement. Un blanc devrait être gardé pour chaque neuf échantillons ou moins prélevés. C'est à dire que s'il s'agit d'un tube de charbon, vous devez briser les extrémités au même endroit que les autres et les refermer de la même manière.

2) Instruments de mesure

Essentiellement, on peut évaluer la concentration d'un gaz ou d'une vapeur par l'une des trois méthodes suivantes:

- 1- Par l'utilisation de tubes détecteur
- 2- par l'utilisation d'instruments à lecture directe électronique
- 3- Echantillonnage intégré; par absorption sur charbon activé, gel de silice, solutions, filtres ou contenant et analyse en laboratoire.

PRINCIPE:

Le tube détecteur se compose d'un absorbant solide, comme le gel de silice, imprégné de produits chimiques réactifs contenus dans un petit tube de verre.

Après avoir brisé les deux extrémités du tube, on l'insère dans un bouchon troué qui sert d'entrée pour une pompe ou piston. Un volume précis d'air est aspiré et la concentration du polluant est déterminée par l'un ou l'autre des procédés suivants:

- 1) en comparant l'intensité de la couleur obtenue avec une série de standards;
- 2) en mesurant la longueur de la coloration et en comparant avec des courbes de calibration;
- 3) en mesurant le volume nécessaire pour produire une coloration et en comparant avec des standards.

La technique qui consiste à mesurer la longueur de la coloration est la plus utilisée.

UTILISATIONS:

A cause de leurs coûts peu élevés ainsi que de leur simplicité, les tubes indicateurs sont largement utilisés. Notons:

- identification des gaz dans des réservoirs;
- échantillonnage en milieu de travail;
- échantillonnage d'urgence;
(opération anormale, fuite, etc.);
- échantillonnage personnel;
- échantillonnage de contrôle;
- détection des fuites;
- détection de gaz toxiques durant les incendies;

- détection des dangers d'explosion;
- analyse sanguine;
- échantillonnage à distance (source d'émission difficile d'accès);
- détermination du manque d'oxygène.

LIMITES:

De nombreux facteurs affectent la validité de cette méthode apparemment très simple.

La meilleure précision que l'on peut obtenir est de $\pm 20\%$ mais plusieurs tubes ne sont fiables qu'à $\pm 50\%$.

Pour palier à ces déficiences, plusieurs organismes (Union internationale de Chimie pure et appliquée, American Industrial Hygiene Association, etc.) ont recommandé l'adoption d'essais de performance standardisés.

C'est ainsi que l'organisme américain, National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) a mis sur pied en 1974 un "Detector Tube Certification Program" (voir Annexe 3).

Les principales sources d'erreur associées aux tubes détecteurs proviennent:

- d'une granulométrie non uniforme du support solide;
- de la construction du tube (généralement, plus le diamètre du tube est petit, plus la coloration est bien délimitée, pas d'effet tunnel);
- du compactage inégale (ce qui affecte de façon critique le débit d'échantillonnage);
- du débit d'échantillonnage (la variable la plus importante, la variation doit être au maximum de $\pm 5\%$);
- du volume d'air échantillonné (l'erreur volumétrique doit être au maximum de $\pm 5\%$);
- de la température;
- de la stabilité des réactifs chimiques (on ne doit pas utiliser un tube dont la date de péremption est échue);
- des interférences et de la spécificité;

- de la lecture de la coloration (l'examen du tube doit se faire sous la lumière naturelle).

CONCLUSION:

Bien que cette méthode soit très simple, il en demeure pas moins qu'à cause des multiples sources d'erreur, elle requiert beaucoup d'expertise et la qualité des résultats dépend des connaissances et des habiletés du manipulateur. On ne saurait trop insister sur la préparation de l'échantillonnage (calibration, etc.) et sur la nécessité de connaître tous les polluants présents dans le milieu de travail, avant d'utiliser tout tube détecteur.

AVANTAGES. de l'utilisation des tubes détecteurs

- permet d'obtenir une indication de la concentration d'un contaminant promptement
- Peuvent être utilisés par toute personne ayant reçue un minimum de formation
- format de poche
- ne requiert aucune source d'alimentation

DESAVANTAGES:

- peu précis
- les propriétés des tubes peuvent varier d'un lot de production à l'autre.
- sujet à de nombreuses interférences
(température, humidité, et autres contaminants)
- durée de vie limitée.

Procédure d'utilisation

- 1- S'assurer que les pompes donnent le débit spécifié
- 2- S'assurer de l'étanchéité de la pompe avant chaque utilisation.
- 3-Lire attentivement les instructions, afin de connaître principalement le volume d'air nécessaire et les interférences connues.
- 4- Vérifier la date d'expiration des tubes
- 5- S'assurer que les tubes sont à la température de la pièce avant leur utilisation
- 6- Allouer le temps nécessaire entre chaque coup de pompe afin de vous assurer que le volume d'air requis est passé dans le tube.
- 7-Après le dernier coup de pompe, lire le résultat avant 15 minutes.
- 8- Répéter, si possible (conclusion p.43)

Les I.L.D.E. sont utilisés pour évaluer instantanément ou en continu la concentration d'un ou plusieurs contaminants. Ces types d'instruments sont disponibles en très grande variété, de prix, format, versatilité ect.

Les principaux principes de détection sont les suivants:

- la chemiluminescence (ozone, NO_x)
- combustion (combustible)
- conductivité électrique
- colométrie
- Ionisation de la flamme pour les hydrocarbure
- infra rouge
- réactifs sur ruban
- chromatographie en phase gazeuse
- autres

AVANTAGES:

- lecture directe
- enregistrement en continu
- excellente méthode chimique dans certains cas

DESAVANTAGES:

- relativement couteux
- requiert de fréquentes calibration
- la précision est souvent liée à la qualité de la calibration
- ne peuvent pas être utilisé comme échantillonneur personnel
- sujet aux interférences

Pour ce type d'instrument, il n'existe pas d'instruction générale d'utilisation.

Referer aux guides des manufacturiers.

Il existe plusieurs types de méthode pour échantillonner des contaminants soit par:

- 1° absorption sur tubes de charbon de bois, gel de silice, tenax, ect.
- 2° Récipients sous vide
- 3° Filtres
- 4° Midget impinger
- 5° Seringues

Avantages de cette méthode

- on peut échantillonner sur une longue période
- l'échantillonnage personnel est possible
- Une analyse détaillée et précise est réalisable

Désavantages

- les équipements de laboratoire ne sont pas toujours disponibles et sont très coûteux
- le personnel de laboratoire doit être qualifié
- Une détérioration de l'échantillon peut survenir avec le temps.

F : MOYENS DE CONTRÔLE

Etant donné la grande facilité de capture des vapeurs et gaz, l'emploi de hotte de ventilation est très répandu et s'avère assez efficace. Toutefois, le système d'aspiration à la source doit être bien conçu.

Le contrôle à la source et la ventilation locale peuvent être complétés par le port de moyens de protection individuelle. Nous approfondirons ces moyens de protection lors des sessions de formation à venir.

G- Seuils de détection olfactive

Dans le domaine de la mesure des gaz et vapeurs autant que dans celui de leur contrôle, il y a un instrument de mesure vieux comme le monde qui a occupé longtemps toute la place et qui encore aujourd'hui demeure largement utilisé. Bien entendu je veux parler du "pif", ce bon vieux nez.

Instrument "beau, bon, pas cher" qui ne requiert ni piles, ni accessoires fragiles, ni analyses en laboratoire, il n'en demeure pas moins. Mais sa grande faiblesse est du côté de la calibration, de la précision et de la spécialité. En effet, d'un "nez" à l'autre les seuils de détection minimale d'un gaz ou d'une vapeur diffèrent de beaucoup et chez le "même nez" la mesure n'est pas linéaire passant rapidement "d'odeur à peine perceptible" à "odeur trop forte". En fait, nous ne sommes pas là pour faire le procès du "pif" (son sort a été réglé depuis longtemps), mais ceux qui veulent en savoir davantage sur les avantages et limites de l'odorat sont invités à lire certains textes en annexe.

Tout cela ne veut pas dire que l'odorat est un attribut nuisible pour l'hygiéniste industriel, loin de là. Bien éduqué et contrôlé l'odorat peut rendre encore de grands services. Combien de fois en effet lors d'une première visite d'usine n'avons-nous pas soupçonné la présence de certains contaminants rien qu'en "accrochant" au passage une odeur d'apparence "anodine"? Combien de fois aussi lorsque nous mesurons un certain gaz, n'avons nous pas reconnu l'odeur familière d'un autre gaz, mais qui était une interférence pour notre appareil?

En effet un appareil ne peut pas réfléchir, mais un nez lui le peut.

À chacun d'entre vous donc explorer les possibilités de vos cellules sensorielles olfactives, mais en les éduquant et en les contrôlant!

ANNEXE

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

SECTION I

MANUFACTURER'S NAME E. I. du Pont de Nemours & Co. (Inc.)		EMERGENCY TELEPHONE NO. (302) 774-7500
ADDRESS (Number, Street, City, State, and ZIP Code) Wilmington, Delaware 19898		
CHEMICAL NAME AND SYNONYMS Cronalith® Liquid Blender Equalizer		TRADE NAME AND SYNONYMS CLBE
CHEMICAL FAMILY Aqueous alkaline solution with sulfite and buffering agents		

SECTION II HAZARDOUS INGREDIENTS

PAINTS, PRESERVATIVES, & SOLVENTS	%	TLV (Units)	ALLOYS AND METALLIC COATINGS	%	TLV (Units)
PIGMENTS			BASE METAL		
CATALYST			ALLOYS		
VEHICLE			METALLIC COATINGS		
SOLVENTS			FILLER METAL PLUS COATING OR CORE FLUX		
ADDITIVES			OTHERS		
OTHERS					
HAZARDOUS MIXTURES OF OTHER LIQUIDS, SOLIDS, OR GASES				%	TLV (Units)

SECTION III PHYSICAL DATA

BOILING POINT (°F.)		SPECIFIC GRAVITY (H ₂ O=1)	1.328
VAPOR PRESSURE (mm Hg.)		PERCENT VOLATILE BY VOLUME (%)	
VAPOR DENSITY (AIR=1)		EVAPORATION RATE (H ₂ O=1)	
SOLUBILITY IN WATER		pH	11.5
APPEARANCE AND ODOR			

SECTION IV FIRE AND EXPLOSION HAZARD DATA

FLASH POINT (Method used)	FLAMMABLE LIMITS	Let	Uel
EXTINGUISHING MEDIA No fire hazard			
SPECIAL FIRE FIGHTING PROCEDURES			
UNUSUAL FIRE AND EXPLOSION HAZARDS			

NOTICE FROM DU PONT

The data in this Material Safety Data Sheet relates only to the specific material designated herein and does not relate to use in combination with any non-photographic material or process.

4/12/76 -L

U.S. DEPARTMENT OF LABOR

Occupational Safety & Health Administration

MATERIAL SAFETY DATA SHEET

SECTION I	
MANUFACTURER'S NAME E. I. du Pont de Nemours & Co. (Inc.)	EMERGENCY TELEPHONE NO. (302) 774-7500
ADDRESS (Number, Street, City, State, and ZIP Code) Wilmington, Delaware 19898	
CHEMICAL NAME AND SYNONYMS Cronalith® Liquid Blender Replenisher, Part B	TRADE NAME AND SYNONYMS CLBR, Part B
CHEMICAL FAMILY Aqueous, alkaline solution with sulfite and buffering agents	

SECTION II HAZARDOUS INGREDIENTS					
PAINTS, PRESERVATIVES, & SOLVENTS	%	TLV (Units)	ALLOYS AND METALLIC COATINGS	%	TLV (Units)
PIGMENTS			BASE METAL		
CATALYST			ALLOYS		
VEHICLE			METALLIC COATINGS		
SOLVENTS			FILLER METAL PLUS COATING OR CORE FLUX		
ADDITIVES			OTHERS		
OTHERS					
HAZARDOUS MIXTURES OF OTHER LIQUIDS, SOLIDS, OR GASES				%	TLV (Units)

SECTION III PHYSICAL DATA			
BOILING POINT (°F.)		SPECIFIC GRAVITY (H ₂ O = 1)	1340
VAPOR PRESSURE (mm Hg.)		PERCENT VOLATILE BY VOLUME (%)	
VAPOR DENSITY (AIR = 1)		EVAPORATION RATE (_____ = 1)	
SOLUBILITY IN WATER		pH	12.2
APPEARANCE AND ODOR Clear, colorless liquid. Slight odor.			

SECTION IV FIRE AND EXPLOSION HAZARD DATA			
FLASH POINT (Method used)	FLAMMABLE LIMITS	Lel	Uel
EXTINGUISHING MEDIA No fire hazard			
SPECIAL FIRE FIGHTING PROCEDURES			
UNUSUAL FIRE AND EXPLOSION HAZARDS			

NOTICE FROM DU PONT

The data in this Material Safety Data Sheet relates only to the specific material designated herein and does not relate to use in combination with any non-photographic material or process.

U.S. DEPARTMENT OF LABOR
Occupational Safety & Health Administration
MATERIAL SAFETY DATA SHEET

4/12/76-L 236

SECTION I

MANUFACTURER'S NAME E. I. du Pont de Nemours & Co. (Inc.)		EMERGENCY TELEPHONE NO. (302) 774-7500
ADDRESS (Number, Street, City, State, and ZIP Code) Wilmington, Delaware 19898		
CHEMICAL NAME AND SYNONYMS Cronalith® Liquid Blender Replenisher, Part A		TRADE NAME AND SYNONYMS CLBR, Part A
CHEMICAL FAMILY Water-glycol solution		

SECTION II HAZARDOUS INGREDIENTS

PAINTS, PRESERVATIVES, & SOLVENTS	%	TLV (Units)	ALLOYS AND METALLIC COATINGS	%	TLV (Units)
PIGMENTS			BASE METAL		
CATALYST			ALLOYS		
VEHICLE			METALLIC COATINGS		
SOLVENTS			FILLER METAL PLUS COATING OR CORE FLUX		
ADDITIVES			OTHERS		
OTHERS					
HAZARDOUS MIXTURES OF OTHER LIQUIDS, SOLIDS, OR GASES				WT %	TLV (Units)
Hydroquinone				11	2mg/M ³
¹ OSHA Regulation Sec. 1910.1000					

SECTION III PHYSICAL DATA

BOILING POINT (°F.)		SPECIFIC GRAVITY (H ₂ O = 1)	1.181
VAPOR PRESSURE (mm Hg.)		PERCENT VOLATILE BY VOLUME (%)	
VAPOR DENSITY (AIR = 1)		EVAPORATION RATE (1 = 1)	
SOLUBILITY IN WATER		pH	7.6
APPEARANCE AND ODOR Light amber color. Clear, odorless liquid.			

SECTION IV FIRE AND EXPLOSION HAZARD DATA

FLASH POINT (Method used)	FLAMMABLE LIMITS	Let	Det
EXTINGUISHING MEDIA No fire hazard			
SPECIAL FIRE FIGHTING PROCEDURES			
UNUSUAL FIRE AND EXPLOSION HAZARDS			

NOTICE FROM DU PONT

The data in this Material Safety Data Sheet relates only to the specific material designated herein and does not have to use in combination with any non-photographic material or process.

E 421	Mannitol
E 422	Glycérol
E 440	Pectines
E 450	Polyphosphates de sodium et de potassium
E 461	Carboxyméthylcellulose
E 462	Hydroxypropylméthylcellulose
E 463	Méthyléthylcellulose
E 470	Sels des acides gras alimentaires
E 471	Mono et diglycérides d'acides gras alimentaires
E 472	Ester des glycérides d'acides gras alimentaires
E 473	Sucresters
E 474	Sucroglycérides
E 475	Esters polyglycérides des acides gras alimentaires
E 477	Monocsters du propylène-glycol
E 480	Stéaroyl-2-lactyllactate de sodium
E 481	Stéaroyl-2-lactyllactate de calcium

Toxicologie des additifs alimentaires non colorants : se reporter à leur intitulé alphabétique dans l'index situé en fin de l'ouvrage.

43.22.6. Cyclamates

Ces agents, toxiques et cancérogènes, sont retirés du commerce.

45.1. Page 426, Bibliographie

Mauranges (P.). La pollution des puits par les détergents synthétiques.
Sem. Hôp. Paris, 1961, 11, 383.

47.17.1. Page 433

Classification des peintures *

Les peintures ont en général 5 constituants

1. Élément filmogène : il s'agit d'huiles, de résines ou de colles, synthétiques ou naturelles, dont le rôle est de supporter les pigments. Au séchage, le film se forme in situ soit par évaporation du solvant, soit par transformation chimique du liant sous l'action de l'oxygène, de l'humidité ou d'un catalyseur.
2. Solvant : il dissout la ou les matières filmogènes.
3. Diluant : il amène à la viscosité désirée et facilite l'application: il améliore l'action du solvant.
4. Pigment : il rend la peinture opaque et masque la surface, colore le film et enfin protège le fond sur lequel la peinture est appliquée.

* Pour la toxicité des constituants se reporter à l'index alphabétique à la fin de l'ouvrage.

XXX

de sodium et de potassium

ulose

éthylcellulose

ulose

as alimentaires

des d'acides gras alimentaires

des d'acides gras alimentaires

des des acides gras alimentaires

opylène-glycol

ate de sodium

ate de calcium

non colorants : se reporter à leur

en fin de l'ouvrage.

et retirés du commerce.

et par les détergents synthétiques

ants

es, de résines ou de colles, synthe

apporter les pigments. Auséchant,

nation du solvant, soit par trans

tion de l'oxygène, de l'humidité

es filmogènes,

desirée et facilite l'application,

que et masque la surface, colore

et la peinture est appliquée.

des alphabétique à la fin de l'ouvrage

5. Produits auxiliaires : il peut s'agir de :

— siccatifs : catalyseurs du filmogène;

— mouillants : alkyl-sulfonates de naphthalène;

— dispersants : naphthaline sulfonée;

— thixotropes : modifient la viscosité de la peinture : gel au repos, liquide après agitation;

— anti-peaux : dérivés des aldéhydes;

— anti-ferments : phénols chlorés;

— anti-mousse : alcools ou silicones.

Il existe 12 variétés principales de peintures

1. Les peintures à la colle ne sont toxiques que par leurs produits auxiliaires : plastifiants glycoliques, anti-ferments phénoliques (penta-chlorophénol).

2. Les peintures à l'huile ne sont toxiques que par leurs solvants (diluants): térébenthine, hydrocarbures aliphatiques (white spirit, essence).

3. Les peintures à l'alcool contiennent des résines classiques (collophane) ou phénoliques et un solvant éthylique.

4. Les peintures émulsions ont un filmogène à base de caoutchouc ou de résines vinyliques (peintures plastiques).

5. Les peintures synthétiques ont un filmogène glycérophthalique et des solvants divers : hydrocarbures aliphatiques (white spirit)

hydrocarbures aromatiques (xylène-toluène)

alcools

cétone (méthyl-éthyl-cétone)

ester (acétate de butyle)

6. Les peintures cellulosiques ont un filmogène à base de nitrocellulose; leurs solvants sont des esters (acétate de butyle) ou des alcools (butylique ou supérieur). Leurs diluants peuvent être des alcools ou des hydrocarbures aliphatiques ou aromatiques. Leurs plastifiants, enfin, sont des phosphates de triphényle ou de tricerésyle.

7. Les peintures aux résines polyester ont comme filmogène le styrène monomère et comme diluant un hydrocarbure. Elles sont parfois combinées avec des résines époxy.

8. Les peintures aux polyuréthanes ont comme filmogène une résine polyester, polyéther ou polyalcool ou encore le di-isocyanate de toluylène. Leurs solvants sont des hydrocarbures.

9. Les peintures aminoplastes ont comme filmogène une résine urée-formol ou mélamine-formol et comme solvant le butanol.

10. Les peintures anti-oxydantes agissent :

— soit par une couche isolante au minimum de plomb;

— soit par dépôt d'un métal très oxydable comme le cadmium;

— soit enfin par formation en surface d'un composé du métal à protéger avec l'acide phosphorique ou l'acide chromique.

11. Les peintures bitumeuses ont comme filmogène du brai de houille et comme solvant un hydrocarbure.

12. Les peintures sous-marines ont comme filmogène une résine synthétique (époxy) ou naturelle, comme solvant un hydrocarbure aromatique, comme anticryptogamique enfin, un dérivé du cuivre.

Si les variétés sont nombreuses, les composants sont relativement restreints.

Les peintures modernes (une fois sèches) ne sont guère toxiques si ce n'est par les métaux qu'elles contiennent, les plus fréquemment rencontrés sont le cadmium qui expose à une variété assez singulière de tuberculopathie chronique et le cuivre qui n'entraîne d'accidents hématologiques que si ses sels sont absorbés en grande quantité, ce qui n'est guère possible par léchage.

47.20.1. Page 433

Classification des cosmétiques

1. Produits capillaires :

Laques capillaires
Shampoings
Produits pour permanentes
Colorants
Décolorants
Fixateurs pour mise en plis

2. Produits d'hygiène :

Savons de toilette et de parfumerie
Savons à barbe, crèmes à raser
Crèmes, pâtes et savons dentifrices
Lotions pré et après rasage
Déodorants et antiperspirants
Dépilations
Produits pour bains
Tales

3. Produits de beauté :

Crèmes et laits
Produits solaires
Rouge à lèvres
Vernis à ongles
Fards et mascaras
Poudres libres et compactes

xxxii

41.1. Page 405

antico
antico
poussier
la que
en ure

40.1. Page 421

1) Ch...
1967, 42
2) W...
1) P...
laomer
choir...
3) R...
ant...
omette

41.4. Page 425

G...
les...
Med...

49. Page 481

Re...
201

49. Page 481

1) R...
1) R...
2) C...
he...
3) H...
over N...

per milliliter or to one milligram per liter of solution.

In aqueous solutions the concepts of acidity and basicity are important. For most purposes an acid can be described as a hydrogen ion (proton) donor. Hydrochloric acid is an excellent example of a strong acid. Similarly, a base is described as a hydrogen ion acceptor. Sodium hydroxide is an example of a strong base. For aprotic compounds which have no ionizable hydrogen, an acid can be defined as a substance (such as aluminum chloride) which accepts an electron pair from a base, and any substance, (such as NH_3) that can behave as an electron pair donor is a base.

In aqueous systems, the acidity or basicity of a solution is measured by pH which is defined as the negative logarithm of the hydrogen ion concentration (expressed in moles per liter). It ranges from 1 to 14, pH 14 being extremely basic (the hydroxide ion, OH^- , greatly predominating), pH 1 being extremely acidic (the hydrogen ion, H^+ , greatly predominating), and pH 7 being neutral (the hydrogen ion and hydroxide ion concentrations equal).

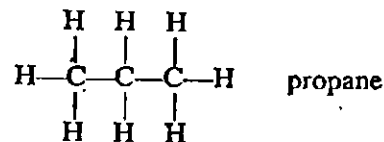
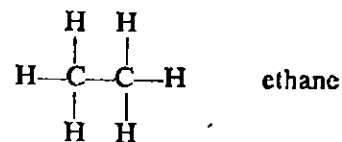
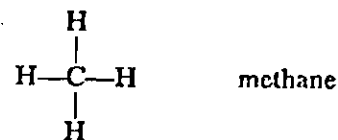
The basic concepts of general chemistry presented in this section are designed to provide the non-chemist members of the industrial hygiene profession with a general understanding of the principles of chemistry as they relate to the application of analytical chemistry to occupational health. The reference texts cited at the end of this chapter should be consulted periodically, as the needs of work situations require, to obtain the more detailed information on the aspects of individual problem areas.

ORGANIC CHEMISTRY

Organic chemistry is the study of carbon compounds, excluding the limited number of those inorganic substances which contain carbon such as carbon monoxide, carbon dioxide, carbonates and metal carbonyls. The common elements found in the thousands of organic compounds include carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen, phosphorus, sulfur, chlorine, bromine, and iodine, in the order of their relative occurrence. Organic chemistry is involved in most activities of modern life. The basic principles of organic chemistry are applied to the study of drugs, rubber, clothing, plastics, explosives, fuels, paints, solvents and numerous other essential commodities.

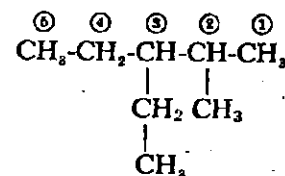
The carbon atom forms four covalent bonds. These bonds may be to other carbon atoms, to hydrogen, oxygen, one of the halogens (chlorine, bromine, iodine, fluorine), nitrogen, sulfur or to other atoms. The bonds may involve single electron-pairs which form single bonds, two electron-pairs giving double bonds (>C=C<), or three electron-pairs forming triple bonds ($\text{-C}\equiv\text{C-}$).

More than one million organic compounds are known. Their existence is due to the unique capacity of carbon atoms to join together forming chains or rings. Compounds formed from hydrogen and carbon only are called *hydrocarbons*. The aliphatic series of saturated hydrocarbons provides the simplest example of this property.

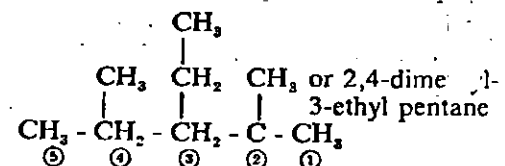


Homologous series of compounds are named according to the number of carbon atoms in the longest chain. The standard (International Union of Pure and Applied Chemistry) rules for naming carbon compounds are summarized below:

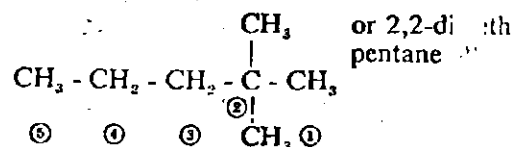
- 1) The longest continuous chain of carbon atoms is named as the parent compound.
- 2) The carbon atoms in this chain are given numbers starting at one end, and substituents are given numbers corresponding to their position on the chain. The direction of the numbering is chosen to give the smallest sum for the numbers of the side chain constituents:



- 3) If the same group appears more than once, the prefix di-, tri-, or tetra- is used to indicate how many groups there are:



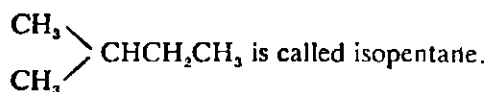
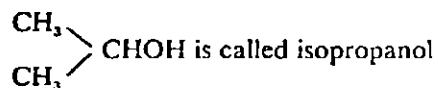
- 4) With two identical side chain groups at the same position, numbers are given for each:



- 5) If several different substituent groups are present, they are assigned according to the alphabetical arrangement of substituent names or in order of increasing size of the side chain.

Branched chains often have names of their own.

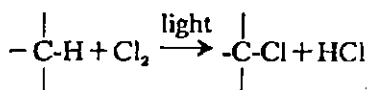
Thus, $\begin{matrix} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3 \end{matrix} \text{CH}-$ is an isopropyl group. For example,



The field of organic chemistry is generally divided into two broad classes of organic compounds, aliphatic compounds and aromatic compounds.

Aliphatic Hydrocarbons

The saturated hydrocarbons, which contain only single bonds, are also known as alkanes or paraffinic hydrocarbons. The general formula for these compounds is $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ where n is an integer. They are less reactive than the unsaturated hydrocarbons and are insoluble in water, sodium hydroxide and sulfuric acid. They do, however, undergo reaction under certain vigorous conditions. When treated with either chlorine or bromine and light or a catalyst, a halogen atom can substitute for a hydrogen atom:

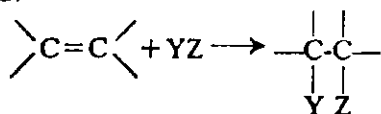


They can be heated from 400° to 600°C to promote thermal decomposition, a process called cracking, and yield simpler alkanes, alkenes and hydrogen.

Alkenes are unsaturated, olefinic hydrocarbons. They contain at least one carbon-carbon double bond. The suffix -ene is substituted for -ane in naming them. The parent hydrocarbon chain is chosen as the longest chain containing the double bond. The position of the double bond is designated by the number of the first carbon atom involved in the double bond. Thus, $\text{CH}_3\text{CH}=\text{CHCH}_3$ is 2-butene, and $\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{CH}_3$ is 1-butene. The double bond is given the lowest number, so the compound $\text{CH}_3-\text{CH}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$

is 4-methyl-2-pentene rather than 2-methyl-3-pentene.

Characteristic reactions of this group occur at the carbon-carbon double bond. The most characteristic reaction of the alkenes is the addition reaction. Generalized, this reaction can be represented:



Any substitution groups can be represented by X and Z (examples are H_2 , HX , X_2 , H_2SO_4 , H_2O and others where $-\text{X}$ is used to indicate a halogen such as chlorine or bromine).

The paraffin-base oils contain mainly saturated open-chain hydrocarbons, whereas asphalt-base

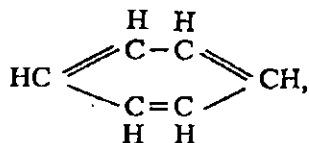
oils contain appreciable amounts of naphthenes such as cyclopentane, cyclohexane and their alkyl derivatives. The major fractions separated from crude petroleum are shown in the following table:

TABLE 4-1
Major Fractions
in Crude Petroleum

Fraction	Boiling Point Range, $^\circ\text{C}$	Composition (Approximate)
Gas	<20	C_1-C_4
Petroleum Ether	20-60	C_5-C_6
Ligroin (Light Naphtha)	60-100	C_6-C_7
Natural Gasoline	40-205	C_8-C_{10} + Cycloalkanes
Kerosene	175-325	$\text{C}_{10}-\text{C}_{18}$ + Aromatics
Fuel Oil	300-375	$\text{C}_{15}-\text{C}_{20}$
Lubricating Oil	>300	$\text{C}_{20}-\text{C}_{25}$
Asphalt or Petroleum Coke	>300	$>\text{C}_{25}$

Aromatic Hydrocarbons

Benzene is the simplest of the aromatic compounds; it has the formula C_6H_6 and its structure is:



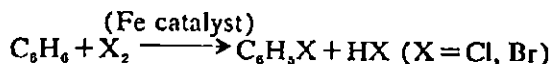
although experimental evidence indicates that all the carbon-carbon bonds are equivalent.

The correct structure is often shown as:



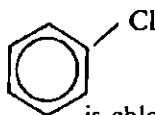
Where the circle indicates that the multiple bonding is shared equally among all six carbon atoms.

Benzene readily undergoes substitution reactions, such as halogenation:

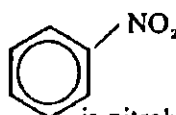


Benzene is very stable and resists addition reactions which would destroy the ring system.

In naming monosubstituted derivatives of benzene, the substituent's name is prefixed to "benzene." Thus:

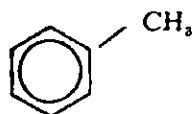


is chlorobenzene

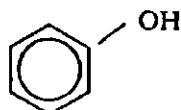


is nitrobenzene

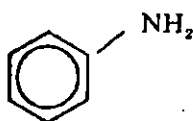
Some aromatic compounds are better known by such common names as:



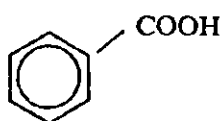
toluene



phenol

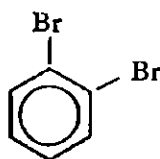


aniline

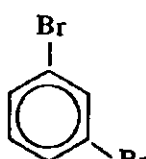


benzoic acid

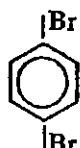
For aromatic derivatives containing two ring substituents, the position on the ring is designated by the use of the terms ortho (o), meta (m), and para (p) as exemplified by:



o-dibromobenzene

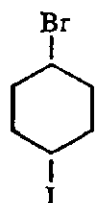


m-dibromobenzene

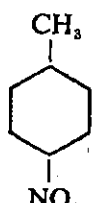


p-dibromo-
benzene

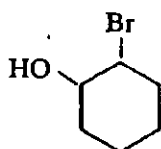
When the substitution groups are different, they are named successively and the compound name is terminated with "benzene." If one of the substitution groups provides a compound which has a commonly accepted name (e.g., toluene or phenol) any further derivative is named after the last-named compound:



p-bromoiodo-
benzene

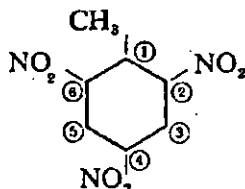


p-nitro-
toluene



o-bromo-
phenol

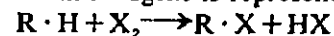
If more than two substitution groups are attached to the ring, numbers (starting with the parent group) are assigned to each carbon atom to indicate the position of each substituent:



2, 4, 6-trinitrotoluene (TNT)

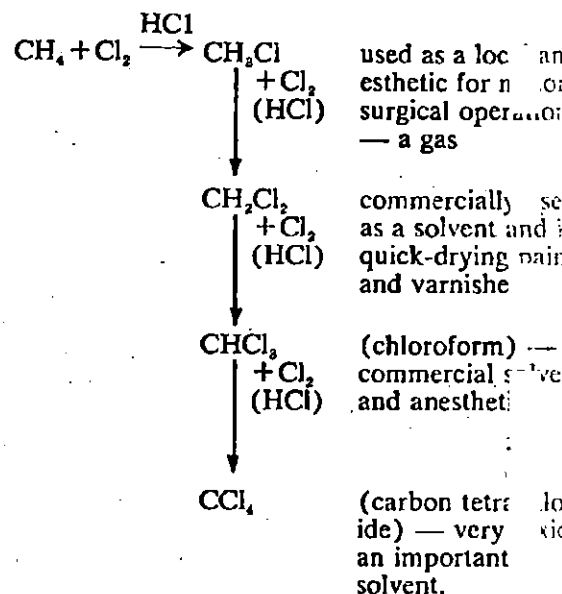
Halogen Derivatives of the Hydrocarbons

Halogenated hydrocarbons are obtained from the substitution reaction of hydrocarbons with HX or X_2 under varied conditions. Generally the reaction with halogens is represented:



where R is an alkyl group and X is a halogen such as chlorine or bromine.

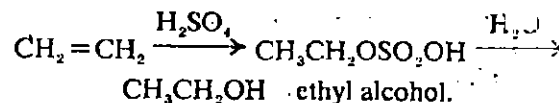
One or more halogen atoms may be attached to a chain or ring structure; each additional atom changes the physical and chemical properties of the preceding compound in a series. For example, the successive derivatives of methane are:



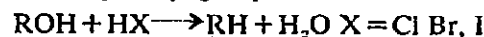
Typical aromatic halogen derivatives, such as the chlorobenzenes, are obtained by the substitution reaction of the halogens with the aromatic hydrocarbon. The halogen derivatives of benzene are called aryl halides which are generally less reactive than the alkyl halides. Halogenation may proceed with the complete substitution of hydrogens attached to the ring carbons.

Oxygen Derivatives of the Hydrocarbons

An oxygenated carbon compound is one containing oxygen in a functional group attached to a chain or ring carbon. The *alcohols* have the general formula ROH , where R is an alkyl group. If the hydroxyl group ($-OH$) is attached directly to an aromatic ring, it is referred to as *phenol*, *cresol*, *xenol*, or *naphthol*. Alcohols are often prepared by conversion of an alkene by addition of sulfuric acid to the double bond and hydrolysis of the resulting alkylsulfuric acid:



The characteristic reactions of alcohols involve either the replacement of the OH hydrogen or the entire hydroxyl group.



M = metal such as Na , Mg , Al

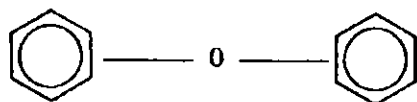
Some of the common alcohols are:

methyl alcohol (methanol) CH_3OH

ethyl alcohol (ethanol) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$

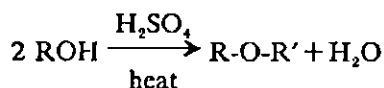
isopropyl alcohol (isopropanol) $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3-\text{CHOH} \end{array}$

Ethers have the general formula $\text{R}-\text{O}-\text{R}'$. Their names are derived from those of "R" groups followed by the word "ether." Thus, $\text{CH}_3\text{OC}_2\text{H}_5$ is methyl ethyl ether and



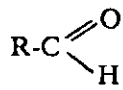
is diphenyl ether.

Diethyl ether is the most common member of this class of compounds. It is used as a solvent and an anesthetic. Ethers are often prepared by dehydration of alcohols:

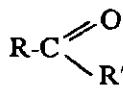


Ethers, as compared with alcohols are fairly inert.

Aldehydes and ketones are carbonyl compounds having one and two alkyl groups respectively joined to the carbonyl function:



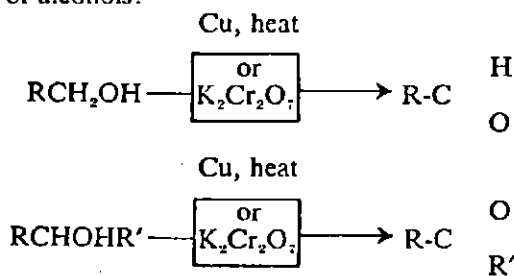
aldehyde



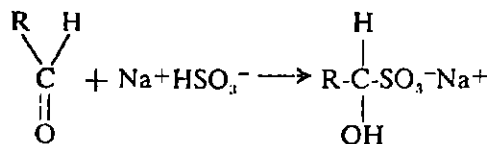
ketone

(R and R' may be either aromatic or aliphatic)

These compounds can be prepared by oxidation of alcohols:



The carbonyl group ($-\text{C}-$) is primarily responsible for the characteristic reactions of these compounds which can be oxidized to carboxylic acids or reduced to alcohols. They also undergo addition reactions involving the carbon-oxygen bond such as the analytically important one with sodium bisulfite:



Some common aldehydes are:

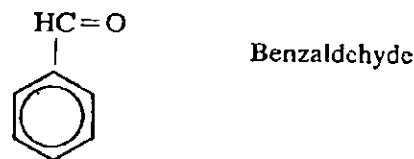
HCHO

CH_3CHO

Formaldehyde

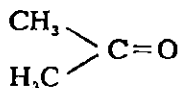
Acetaldehyde

$\text{CH}_2=\text{CHCHO}$ Acrolein

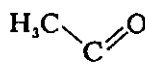


Benzaldehyde

A few common ketones are:

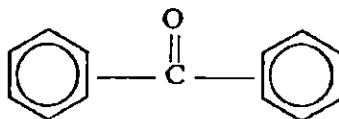


Acetone



Methyl Ethyl Ketone

CH_2CH_3

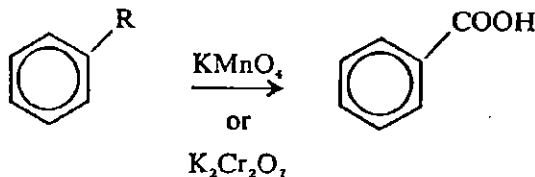


Benzophenone

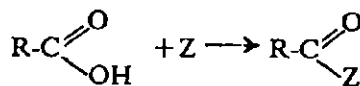
Carboxylic acids contain a carboxyl group

($-\text{C} \begin{array}{l} \nearrow \text{O} \\ \searrow \text{OH} \end{array}$) and are acidic in nature. The general

formula for monocarboxylic acids is RCOOH where R may be aromatic or aliphatic. These acids can be obtained by the oxidation of primary alcohols, aldehydes or alkyl benzenes.



In the reactions that occur, the hydroxyl is usually the reacted group. A typical reaction is one of the type:

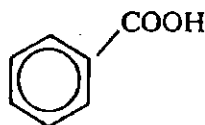


where Z may be Cl, OR', NH_2 , etc.

Some of the common acids are:

HCOOH Formic acid

CH_3COOH Acetic acid

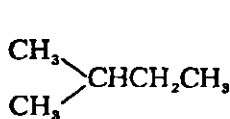


Benzoic acid

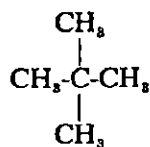
Isomers are defined as compounds having the same molecular formula but a different structure. There are essentially two major types of isomerism: structural isomerism and optical isomerism. Examples of structural isomers include the pentanes, all of which have the empirical formula C_5H_{12} but different physical and chemical properties:



n-pentane



iso-pentane



neopentane

A more striking example of structural isomerism is the compound C_2H_6O . This can be the molecular formula for methyl ether CH_3OCH_3 or ethyl alcohol CH_3CH_2OH , two compounds showing marked differences in physical and chemical properties.

Optical isomers involve a central atom to which a number of different groups are attached. Two optical isomers are molecules which are identical except for the spatial orientation of the groups attached to the central, asymmetric atom. They are mirror-images of one another. The most readily observed difference between the two is the difference in the rotation of the plane of polarization if a beam of plane-polarized light is allowed to pass through a solution of the compound. This type of isomerism is useful in identifying certain biochemical reaction products.

ANALYTICAL CHEMISTRY

The analytical methods used in industrial hygiene may be divided into classical chemical methods and instrumental methods. Such a distinction is based more on the historical development of analytical chemistry than on any clear differences between the two methods, as both the strictly chemical and the instrumental methods usually are completed with a physical measurement, such as spectrophotometry. It is possible to further separate the classical chemical methods as volumetric or gravimetric.

Classical Chemical Methods of Analysis

A *volumetric analysis* is one which is completed by measuring the volume of a liquid reagent of known concentration required to react completely with a substance whose concentration is being determined. The chemical reaction must be such that the amount of the known reactant can be related exactly to the amount of the analysis substance present. A reaction, to be useful for volumetric analysis, must be rapid, complete and have a sharp endpoint. Two basic types of reactions may be considered as representative of volumetric analyses.

Acidimetry and alkalinity reactions involve the neutralization of acids and bases. A titrimetric procedure is used to determine the amount of a standard solution of a reagent (i.e., one of precisely-known concentration) required to react

completely with a specific chemical substance in a prepared solution of a sample.

Titration dependent upon neutralization reactions must be complete at a definite endpoint based on an abrupt change in pH which occurs at the equivalence point. An example of a neutralization reaction in an aqueous system is the following:



When the hydrogen ion (H^+) and hydroxide ion (OH^-) concentrations are equal, the solution is said to be neutral (pH 7.0 aqueous solution). However, the actual pH at the equivalence point of an acid-base titration is not necessarily equal to 7.0, since it depends on the degree of ionization and hydrolysis of the products of the reaction.

The majority of titrimetric procedures use an indicator to determine the endpoint accurately. An indicator is generally a complex organic compound having a weakly acidic or basic character capable of a sharp transformation in color over a definite, but narrow, pH range. Several factors play a role in determining the pH interval over which a given indicator exhibits a color change:

- 1) Temperature,
- 2) Electrolyte concentration (total ionic strength),
- 3) Effect of organic solvent systems.

Two sources of error that may occur when determining the end-point of a titration using visual indicators are:

- 1) The indicator does not change color or near the hydrogen ion concentration that prevails at the equivalence point;
- 2) Very weak acids (or bases) cannot be titrated with satisfactory results.

The first of these sources of error can easily be corrected by using a blank. The second, however, cannot be remedied because of the difficulty in deciding exactly where the color change occurs.

The other type of chemical reaction suitable for titrimetry is called *oxidation-reduction* or "*redox*." The ions of a large number of elements can exist in different oxidation states. Suitable oxidizing or reducing agents can cause a redox reaction with such ions. Many of these reactions satisfy the requirements of volumetric analysis.

One of the most widely used oxidizing agents is potassium permanganate ($KMnO_4$). It has an intense purple color which can serve as its own indicator for the endpoint. The reagent will oxidize metallic ions from low to high oxidation states and negative ions such as chloride to chlorine at the zero or ground state. Its use in some reactions is restricted due to the multiplicity of possible reactions that may occur in the presence of more than one oxidizable substance.

Potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$) is an important oxidant. It is not as powerful as potassium permanganate and some of its reactions proceed slowly. However, the solid reagent can be obtained in high purity and stable, reliable solutions may be prepared conveniently. Dichromate solutions are most useful for titrations carried out in 1 to 2 normal acid or alkaline solutions.

I.N.R.S.
30, rue Olivier-Noyer
75680 Paris Cedex 14

Note n° 1098-90-78
(36)
CDU 613.63 : 612.86

LIMITES OLFACTIVES ET CONCENTRATIONS MAXIMALES ADMISSIBLES

de gaz et de vapeurs toxiques

*Note établie par M. A. BERTON,
ancien chef du laboratoire de toxicologie industrielle
de la CRAM de Paris.*

LE CENTRE DE TOXICOLOGIE DU QUÉBEC
Le Centre Hospitalier de l'Université Laval
2705, Boulevard Laurier
Sainte-Foy, (Québec) G1V 4G2

On sait que parmi les produits chimiques toxiques gazeux, certains sont peu odorants ou même inodores. Il ne semble pas alors qu'il soit possible de trouver une relation entre les limites minimales olfactives et les concentrations maximales admissibles (CMA) dans l'air d'un point de vue toxicologique. Néanmoins, tous ceux qui s'intéressent à la pollution atmosphérique voudraient avoir une idée plus précise sur la question.

Un auteur allemand, E. HILLE, a publié [1] un article dans lequel, après comparaison entre ces valeurs pour toute une série de substances, principalement des solvants et autres liquides volatils, il conclut à la non-existence d'une relation directe entre elles. Nous avons, pour notre part, préféré les classer suivant leurs familles chimiques correspondantes, ce qui a fait mieux apparaître en valeurs chiffrées les caractéristiques odorantes et toxiques propres à chacune d'entre elles. En outre, nous nous sommes adressés non seulement aux limites olfactives et aux CMA d'origine allemande [1, 2] et américaine [3, 4, 6], mais également aux CMA russes [6].

Il est curieux que ces comparaisons n'aient jamais été faites d'une manière systématique jusqu'à maintenant. La cause réside sans doute dans la disparité des valeurs obtenues depuis que les chercheurs s'intéressent aux mesures olfactives minimales, celles-ci variant de 1 à 100 et même plus pour un même produit [5]. L'odeur dépend en effet de nombreux facteurs : pureté de l'échantillon, concentration, conditions suivant lesquelles les vapeurs odorantes sont dispersées dans l'air (procédés de diffusion, influence des parois des récipients, degré hygrométrique de

l'atmosphère...) et naturellement sensibilité individuelle pouvant aller jusqu'à des anosmies. Il en résulte qu'on ne peut obtenir des valeurs bien définies.

Néanmoins, les quatre principales listes de limites olfactives publiées [2, 3, 4, 5], en ce qui concerne des produits couramment utilisés dans les laboratoires et les ateliers (gaz, solvants et autres liquides volatils), nous ont permis, malgré leurs différences, d'aboutir à une estimation olfactive suffisamment représentative. Nous n'avons pas retenu naturellement toutes les valeurs proposées, surtout parmi celles s'écartant trop les unes des autres, nous basant pour ce choix sur la liste établie sous la direction de A.D. LITTLE de l'Association américaine des chimistes industriels [3]. Nous avons estimé, en effet, qu'elle devait être relativement plus cohérente que les autres en ce qui concerne la hiérarchie dans l'échelle des odeurs, car les valeurs ont été obtenues par une même équipe d'« olfacteurs » (35 personnes) et ne représentent pas des résultats provenant de sources diverses [1, 2, 5]. Nous avons, pour les mêmes raisons, retenu également la deuxième liste américaine [4].

En outre, nous avons tenu compte de l'expérience que nous avons acquise en ce domaine par plus de trente ans de contrôle de la pollution atmosphérique dans les laboratoires et les usines de la région parisienne, ayant, par ailleurs, procédé à des essais simples de détermination des limites olfactives pour un certain nombre de produits. Cette méthode a consisté à utiliser une phase déjà gazeuse (évitant l'évaporation artificielle d'échantillons liquides), c'est-à-dire les vapeurs saturantes surmontant le produit et

240

dont les teneurs sont bien définies, à une température donnée [7]. Celles-ci sont calculées d'après les tensions de vapeur p à la pression atmosphérique ordinaire suivant la formule $V = \frac{p \cdot 100}{760}$ (volume pour

cent). Une petite partie aliquote de 0,01 à 10 ml, suivant les substances, a été injectée, grâce à des seringues, dans un récipient de 10 litres en verre (cloche à vide ou cristalliseur à couvercle) dans lequel nous respirons l'air étalon rendu homogène par l'agitation d'une plaquette d'aluminium.

Ces essais rudimentaires, mais ayant l'avantage de la simplicité, nous ont confirmé ou non dans nos appréciations. C'est ainsi qu'on ne pouvait admettre que l'acétone soit plus odorante que la méthylisobutylcétone, alors que c'est l'inverse; que la limite olfactive pour le pentane, à peine odorant en phase saturante, présente une valeur de 2 p.p.m. bien différente de la valeur 1 000, plus vraisemblable, rapportée dans la liste française [5]; que pour l'acétate d'éthyle on admette un écart entre les limites olfactives proposées de 0,05 à 50 p.p.m. et qu'il soit considéré comme plus odorant que les acétates de butyle ou d'amyle. Des différences aussi importantes s'observent également pour le nitrobenzène, les crésols, l'ammoniac et l'aniline.

Dans nos tableaux récapitulatifs (1 à 12), pour chaque produit ont été inscrites les limites olfactives (française, allemande et américaine) suivies des CMA américaine et russe, et cela suivant un classement qui nous a paru le mieux adapté aux caractéristiques propres à chaque famille chimique. En outre, pour rendre ces listes plus directement compréhensibles quant à leurs particularités, nous les avons reportées sur des graphiques (1 à 12).

A noter que le domaine des limites olfactives et des CMA des groupes 1 à 7 s'étend de 0 à 1 000 p.p.m.; pour les groupes 8 à 12, comprenant les produits plus particulièrement irritants, l'échelle se situe entre des limites plus étroites et plus basses. Rappelons enfin, pour faciliter la lecture de ces graphiques, que plus un produit est odorant ou toxique, plus les hauteurs des traits, représentant les valeurs des limites olfactives ou des CMA, sont petites.

1. Hydrocarbures saturés.

Ils se révèlent en général peu odorants et peu toxiques. Leurs limites olfactives et leurs CMA se situent, pour la plupart, entre 150 et 1 000 p.p.m. On observe néanmoins des différences notables entre les valeurs des limites olfactives de la liste française et de la liste allemande; pour celle-ci, elles sont beaucoup plus faibles. Cela doit être dû au fait que suivant l'origine des échantillons les teneurs en impuretés très odorantes (acides organiques) sont suffisantes pour avoir une influence marquée.

En ce qui concerne les CMA, il est bon de noter ici qu'il suffit que les vapeurs de produits considérés comme relativement peu nocifs atteignent des concentrations suffisamment élevées pour qu'elles réagissent sur l'organisme par action toxique (ou plus simplement asphyxiante, par manque d'oxygène). C'est ainsi que pour des concentrations en hexane dépassant 500 p.p.m. on a observé dans plusieurs

pays des polynévrites graves. Aussi la CMA américaine de 500 p.p.m. a-t-elle été abaissée à 100 en 1975 [6, 8].

2. Composés à noyaux benzéniques.

Ils sont beaucoup plus odorants que les précédents, leurs limites olfactives variant de 0,001 à 50 p.p.m.; ils sont aussi plus toxiques (CMA comprises entre 0,08 et 100 p.p.m.).

Ces produits deviennent même irritants sous forte concentration, surtout ceux comme le phénol et les crésols possédant dans leur molécule, à côté des noyaux « aromatiques », des radicaux hydroxylés très polaires et réactifs.

Le plus dangereux des hydrocarbures de cette famille est le premier terme, le benzène, car il conduit à des maladies du sang insidieuses qui peuvent être fatales. On sait que son emploi est strictement réglementé. Notons, par ailleurs, que son odeur n'est pas suffisante pour servir d'avertisseur valable et qu'on s'habitue facilement à elle.

On note les faibles limites toxiques proposées par les différents auteurs pour le benzène, par rapport à ses homologues les plus proches, toluène et xylènes. Il en est de même pour le nitrobenzène et le phénol.

On remarque également l'apparition des très faibles limites olfactives pour le styrène (ou vinylbenzène) par suite de la présence dans sa molécule du radical vinyl, à caractère éthylénique, très réactif.

3. Solvants fluorés et chlorés.

Ils sont relativement peu odorants, comme le montre le graphique 3. Les dérivés contenant du fluor dans leur molécule (fréons) sont considérés comme très peu nocifs.

A noter pour les autres solvants les faibles CMA russes, beaucoup plus basses que les valeurs américaines, sauf pour le tétrachlorure de carbone, particulièrement toxique, dont les limites sont moins différentes.

4. Alcools.

Ils sont très peu odorants pour les deux premiers termes : l'alcool méthylique et l'alcool éthylique. Par contre, ils diffèrent par leur toxicité, les hygiénistes russes proposant pour l'alcool méthylique une CMA 130 fois plus faible que pour son homologue, les américains une valeur 5 fois plus faible seulement.

A noter, d'autre part, les différences importantes entre les limites olfactives allemande et américaine pour les deux premiers alcools. Elles pourraient s'expliquer par le fait que ceux-ci étant peu odorants, il serait difficile d'en saisir les limites minimales olfactives.

Les homologues supérieurs, butylique et amylique, deviennent plus odorants et même légèrement irritants.

Pour l'alcool allylique, la présence d'une double liaison réactive dans la molécule exalte l'odeur et rend ce produit nettement irritant.

5. Éthers - oxydes.

Ce sont des produits moyennement odorants et toxiques.

A noter que la volatilité de l'éther ordinaire est telle que ses vapeurs diffusent très rapidement dans l'air, leur odeur caractéristique se ressentant aussitôt.

6. Cétones.

Relativement peu toxiques, leur odeur et leur léger pouvoir irritant, à partir de la méthyléthylcétone, s'intensifient avec la complexité de la molécule (tableau et graphique 6).

7. Esters - acétates.

Les produits de ce groupe sont diversement odorants. Les acétates deviennent légèrement irritants pour les deux derniers cités, butylique et amylique, à forte concentration (supérieure à 500 fois leur limite olfactive).

Les esters cités dans la liste sont relativement peu toxiques.

Pour les groupes suivants, comprenant des produits très odorants ou irritants et toxiques, les valeurs des limites olfactives et des CMA sont beaucoup plus faibles que pour les groupes précédents. Elles varient de 0 à 10 p.p.m. pour la plupart des constituants.

8. Bases azotées.

Elles sont très odorantes et irritantes. A remarquer les valeurs relativement élevées des limites olfactives (55 et 47 p.p.m.), allant d'ailleurs de pair avec celles des CMA (25 et 28 p.p.m.) pour l'ammoniac; ce qui signifie un pouvoir odorant, agressif et toxique moindre que pour les autres bases volatiles du groupe, dont la triméthylamine serait la plus nocive.

Il est à noter, par ailleurs, que les limites olfactives pour l'ammoniac varient entre 55 et 0,2 p.p.m. avec un groupe assez cohérent de quatre valeurs comprises entre 55 et 20 p.p.m. (tableau 8). On peut expliquer ces différences par le fait que l'ammoniac anhydre NH_3 se transforme en ammoniacque NH_4OH et cela suivant le degré hygrométrique de l'air dans lequel ont été effectuées les mesures olfactives. Ceci expliquerait également les « anomalies » de l'anhydride sulfureux SO_2 formant, en présence d'eau, de l'acide sulfureux SO_3H_2 , et celles de l'acide chlorhydrique HCl formant un hydrate, tous produits « dilués » qui seraient sans doute moins actifs sur les cellules olfactives humides que les produits originaux secs.

Nous mentionnerons également dans ce paragraphe, à titre d'exemple, l'action que peut avoir l'oxygène de l'air sur l'odeur d'un produit, phénomène bien connu des parfumeurs. Ici, nous citerons le cas de l'aniline qui se transforme avec le temps, par oxydation, en quinones inodores brunes. Ce phénomène pourrait être à l'origine de la disparité entre les différentes limites olfactives proposées.

9. Acides.

Les acides organiques et l'acide chlorhydrique sont irritants. Les autres acides hydrogénés sont odo-

rants. Leur toxicité est élevée, un peu moindre pour l'hydrogène sulfuré.

A noter ici que l'hydrogène arsénié serait, à l'état pur, pratiquement inodore [9], ce qui le rendrait encore plus dangereux dans ces conditions.

10. Aldéhydes.

Elles sont très irritantes et toxiques.

11. Composés soufrés.

Les composés soufrés sont les plus odorants. Ils sont aussi toxiques. A noter les différences considérables entre les limites olfactives allemandes et américaines (tableau 11).

12. Gaz divers.

Les produits de ce groupe, gazeux à la température ordinaire, sont très irritants et toxiques. Leurs CMA, pour chacun d'entre eux, sont du même ordre de grandeur, qu'elles soient américaines ou russes (tableau et graphique 12).

Nous citons ici, à titre de comparaison, l'oxyde de carbone, bien connu pour sa toxicité, mais inodore. Ses CMA se situent à une valeur assez élevée (U.S.A. = 50 p.p.m., U.R.S.S. = 20) si on les compare à celles de l'acide cyanhydrique, par exemple (10 et 3 p.p.m.), des acides hydrogénés également très toxiques (entre 0,3 et 0,05 p.p.m.) et des gaz irritants (entre 5 et 0,05 p.p.m.). Pour ces derniers, c'est leur agressivité élevée qui a dû conduire à des CMA aussi basses, aussi bien russes qu'américaines.

Les seuls autres produits inodores toxiques sont le gaz carbonique et les vapeurs de mercure. La limite de ce dernier est très basse : 0,01 mg/m³, soit 0,001 p.p.m., pour les Russes; 0,05 mg/m³, soit 0,005 p.p.m., pour les Américains.

Par contre, on sait que le gaz carbonique ne devient dangereux qu'à partir de quelques pour cent, soit quelque dix mille parties par million. La CMA américaine - il n'en existe pas de russe - est de 5 000 p.p.m. Les hygiénistes français [10] et allemands [11] ont préconisé une limite plus basse, 1 000 p.p.m., en tenant compte des odeurs dégagées par les corps humains et qui sont à l'origine de l'impression de « manque d'air ».

Impuretés.

A la fin de ce classement, nous devons faire remarquer également que si la toxicité et l'odeur d'un produit dépendent essentiellement de certaines particularités de sa constitution moléculaire, le rendant même différent de ses homologues dans une famille chimique donnée, les CMA et les limites olfactives correspondantes ne sont, par ailleurs, que des valeurs indicatives, déterminées pour des échantillons « purs » et isolés; ce qui n'est pas toujours le cas dans l'industrie où l'on emploie le plus souvent des mélanges complexes contenant des impuretés. Or, ces dernières sont assez fréquemment à l'origine des plaintes des utilisateurs.

C'est ainsi que dans le cas d'acétates entrant couramment comme solvants dans les peintures ou les

colles, si à l'état pur ils peuvent être considérés comme relativement peu nocifs, des traces d'acide acétique et d'aldéhydes les rendent irritants.

D'une manière insidieuse, car indécélables à l'odeur, de faibles teneurs de benzène, supérieures à 0,2 %, peuvent rendre très dangereux d'autres hydrocarbures benzéniques liquides lors d'expositions de longue durée à leurs vapeurs.

Dans ces conditions, seule la connaissance aussi complète que possible de la composition des produits utilisés à l'état liquide et diffusés dans l'atmosphère peut déterminer le risque, ce qui est obtenu par des analyses chimiques et physiques poussées.

Odeur et toxicité.

Avant de tirer des conclusions concernant les résultats obtenus lors des classements précédents, nous devons mieux préciser les notions de limites minimales olfactives et de concentrations maximales admissibles de produits polluant l'atmosphère aux postes de travail.

Le phénomène de l'olfaction est essentiellement un phénomène de surface. Il a lieu au niveau de la tache jaune du nez, comprenant un nombre considérable de cellules olfactives. Les molécules gazeuses venant à leur contact les excitent suivant un processus qui n'a pas été encore complètement élucidé [14]. Il semble bien néanmoins qu'il faille distinguer deux modes d'action principaux; le plus général consiste en un passage momentané des molécules odorantes à la surface du mucus, l'autre en une action irritante, corrosive, destructrice même des cellules dans les cas extrêmes, et pouvant naturellement s'étendre aux parois nasales voisines. C'est ce qui a lieu lorsqu'on respire des gaz particulièrement irritants comme le chlore et son dioxyde, le brome, l'anhydride sulfureux, les vapeurs d'acides organiques et inorganiques, les bases volatiles (ammoniac et amines), les aldéhydes... tous produits pour lesquels les CMA, aussi bien russes qu'américaines, rejoignent plus ou moins les limites olfactives correspondantes.

Quelle est la signification d'une limite olfactive ? C'est la concentration moyenne en p.p.m. (parties par million en volume) des plus petites quantités d'un produit volatil pour lesquelles tous les membres d'une équipe d'« olfacteurs normaux » reconnaissent d'une manière univoque la nature de ce dernier. D'une expérience à l'autre, la reproductibilité sera considérée comme satisfaisante lorsque les valeurs obtenues ne diffèrent pas au maximum d'un facteur 4. C'est dans ces limites qu'on peut donc qualifier de comparables les limites olfactives.

Malheureusement, comme nous l'avons déjà noté, les limites olfactives, dans la littérature, varient beaucoup plus pour un même produit. Cela provient du fait que d'autres facteurs que « l'olfaction normale » entrent en jeu. Nous les avons cités. Il semble qu'il faille avoir plus confiance dans les valeurs déterminées par une même équipe que dans celles collationnées à partir de données provenant de sources diverses. C'est ce qui nous a permis d'aboutir à des résultats assez cohérents dans nos classements et également sur le plan de l'échelle hiérarchique des odeurs. On peut de la sorte distinguer les groupes suivants :

- les produits peu odorants, aux limites olfactives supérieures à 100 p.p.m. environ;
- les produits moyennement odorants, aux limites olfactives comprises entre 100 et 10 p.p.m.;
- les produits très odorants, aux limites olfactives comprises entre 10 et 0,1 p.p.m.;
- les produits excessivement odorants, aux limites olfactives inférieures à 0,1 p.p.m.

On peut y ajouter les produits qui sont si peu odorants, par rapport à leurs CMA, que les limites olfactives correspondantes ne jouent plus leur rôle d'« avertisseurs ». C'est le cas principalement des solvants chlorés courants, de l'alcool méthylique, de la diméthylformamide, du phosgène, du benzène.

Il ne faut pas oublier aussi que les limites minimales olfactives sont des valeurs trop peu fiables pour qu'on puisse compter dessus. Elles sont influencées par trop de facteurs, comme nous l'avons vu. De plus, l'odorat se fatigue et s'accoutume à de fortes concentrations de polluants; c'est ainsi que des odeurs fortement ressenties par le nez frais d'un étranger n'incommodent guère les habitués de l'atelier visité.

Par ailleurs, il faut se rappeler que les limites olfactives sont des limites inférieures extrêmes qui, dans la pratique, devraient être remplacées par des valeurs cinq fois supérieures environ pour qu'il n'y ait pas ambiguïté. Faut-il encore que le polluant soit seul, car dans des mélanges on peut observer des phénomènes d'exaltation ou d'inhibition (masquage) des odeurs, phénomènes peu étudiés, tout au moins dans le domaine de la pollution industrielle.

En définitive, devant ces incertitudes, toute odeur gênante et à plus forte raison irritante devrait être éliminée comme l'indique l'article R. 232-12 du Code du travail concernant les mesures d'hygiène générale dans les ateliers, lors de la manipulation de « gaz incommodes, insalubres ou toxiques ».

Précisons maintenant la signification d'une concentration maximale admissible d'un polluant toxique dans l'air.

C'est la plus petite quantité d'un produit diffusé dans l'atmosphère (en volume - parties par million - ou en mg/m³) à laquelle on estime que peut être exposée la presque totalité des ouvriers, jour après jour, sans effet défavorable (norme américaine). Ces CMA sont des moyennes pondérées pour une durée de travail de huit heures quotidiennes et de quarante heures par semaine. Elles ont été déduites tant de la pratique industrielle que de l'expérimentation animale, en tenant compte des réactions à court ou à long terme.

Les hygiénistes des États-Unis ont, par ailleurs, proposé des « valeurs plafond » dans le cas de quelques substances à action particulièrement rapide, limites qui ne doivent être en aucune manière dépassées.

Les CMA russes diffèrent principalement par les moyens de déceler les altérations observées chez les individus et qui consistent en des méthodes généralement électro-physiologiques très sensibles [16]. C'est pour cette raison que ces CMA sont, pour la plupart inférieures, et parfois de beaucoup, aux valeurs américaines. Il serait souhaitable que ces différences soient explicitées, ce qui aboutirait sans doute

à l'établissement de groupes définis, selon la nature des atteintes physiologiques retenues comme critères du choix pour lequel on a opté. Rappelons en effet que l'action des gaz et des vapeurs sur l'organisme humain peut se présenter suivant différents modes pouvant d'ailleurs s'interpénétrer; une action toxique profonde (oxyde de carbone, acide cyanhydrique, benzène, cancérrogènes...), une action irritante (acides, bases...), superficielle (yeux, peau, voies respiratoires supérieures) ou profonde (œdème du poumon), une action narcotique (solvants chlorés...), une action sensibilisante (isocyanates...), une action odorante qui peut être agréable ou désagréable et même insupportable au-delà d'une certaine concentration (acrylates, mercaptans, thiols...). C'est pour toutes ces raisons qu'on ne peut comparer d'une manière absolue les CMA entre elles si ce n'est pour des membres d'une même famille chimique ou de familles voisines.

Signalons en outre que les CMA ne sont pas immuables; elles sont corrigées en fonction des progrès obtenus dans la recherche toxicologique. C'est ainsi que les valeurs américaines ont été abaissées, notamment pour les produits suivants: oxyde de carbone, de 100 à 50 p.p.m.; phosgène, de 1 à 0,1; benzène, de 25 à 10; toluène et xylènes, de 200 à 100; acétaldéhyde irritant, de 200 à 100; ammoniac, de 50 à 24 p.p.m. Elles ont été relevées entre autres pour les produits suivants: fluor, de 0,1 à 1 p.p.m.; dichlorométhane, de 100 à 200 p.p.m. M. le Professeur TRUHAUT et le Docteur BERROD ont proposé pour le chlorure de vinyle, reconnu récemment comme cancérrogène [15], la CMA de 5 p.p.m. et la valeur plafond de 15 p.p.m., alors que la valeur américaine, en cours de révision, était de 200 p.p.m., la valeur russe ayant été fixée à 12 p.p.m. [6].

En U.R.S.S., également, il a été procédé à des réajustements. C'est ainsi que les CMA ont été ramenées de 6 à 1,7 p.p.m. pour le benzène, de 0,8 à 0,025 pour l'aniline, de 1 à 0,08 pour le phénol, de 3 à 0,3 p.p.m. pour le sulfure de carbone.

En considérant la variété et la complexité des réactions toxiques, la difficulté qu'on a d'en mesurer les effets sur l'organisme, tous les individus ne réa-

gissant pas d'ailleurs de la même manière, il semble donc impossible de fixer d'une manière absolue des concentrations maximales admissibles. Celles qui ont été établies paraissent néanmoins, dans l'état actuel de nos connaissances, présenter une bonne garantie contre les intoxications par voie respiratoire. Dans la pratique, les valeurs fixées aux États-Unis par l'ACGIH servent de référence dans la plupart des pays d'Europe occidentale.

Conclusion.

Des examens auxquels nous venons de procéder, on peut conclure que la validité des limites minimales olfactives et des concentrations maximales admissibles toxiques n'est pas absolue; beaucoup trop de facteurs, difficiles à saisir, entrant en jeu dans leur détermination.

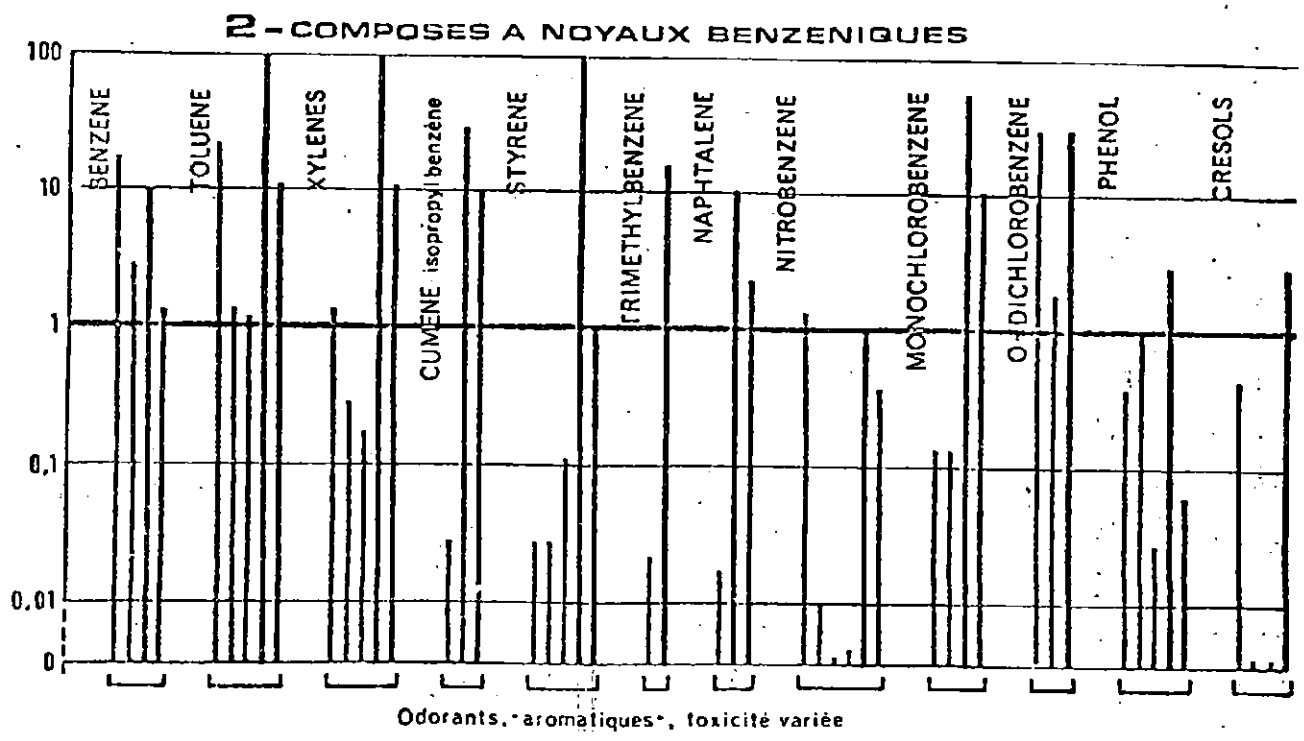
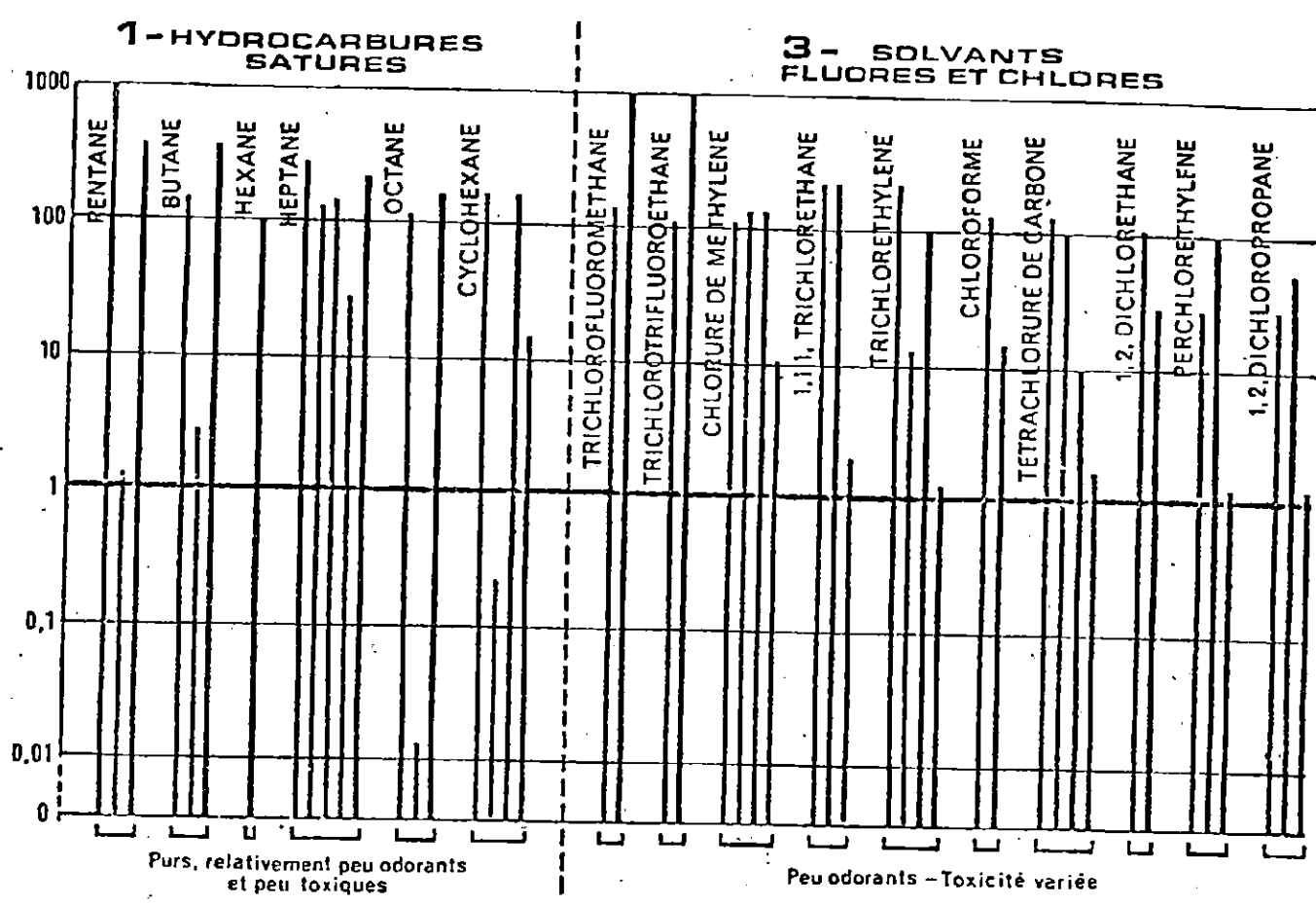
En outre, elles ne présentent pas entre elles de relations directes. En effet, si l'on se réfère aux tableaux et aux graphiques, on observe des différences en général notables et variées, pouvant, parfois, changer de sens. L'olfaction est un phénomène de surface très localisé, l'intoxication un phénomène profond, aux mécanismes très variés touchant tout l'individu. On peut toutefois noter une certaine correspondance, pour des produits très irritants vis-à-vis des voies respiratoires, les deux phénomènes se confondant alors en une zone bien définie.

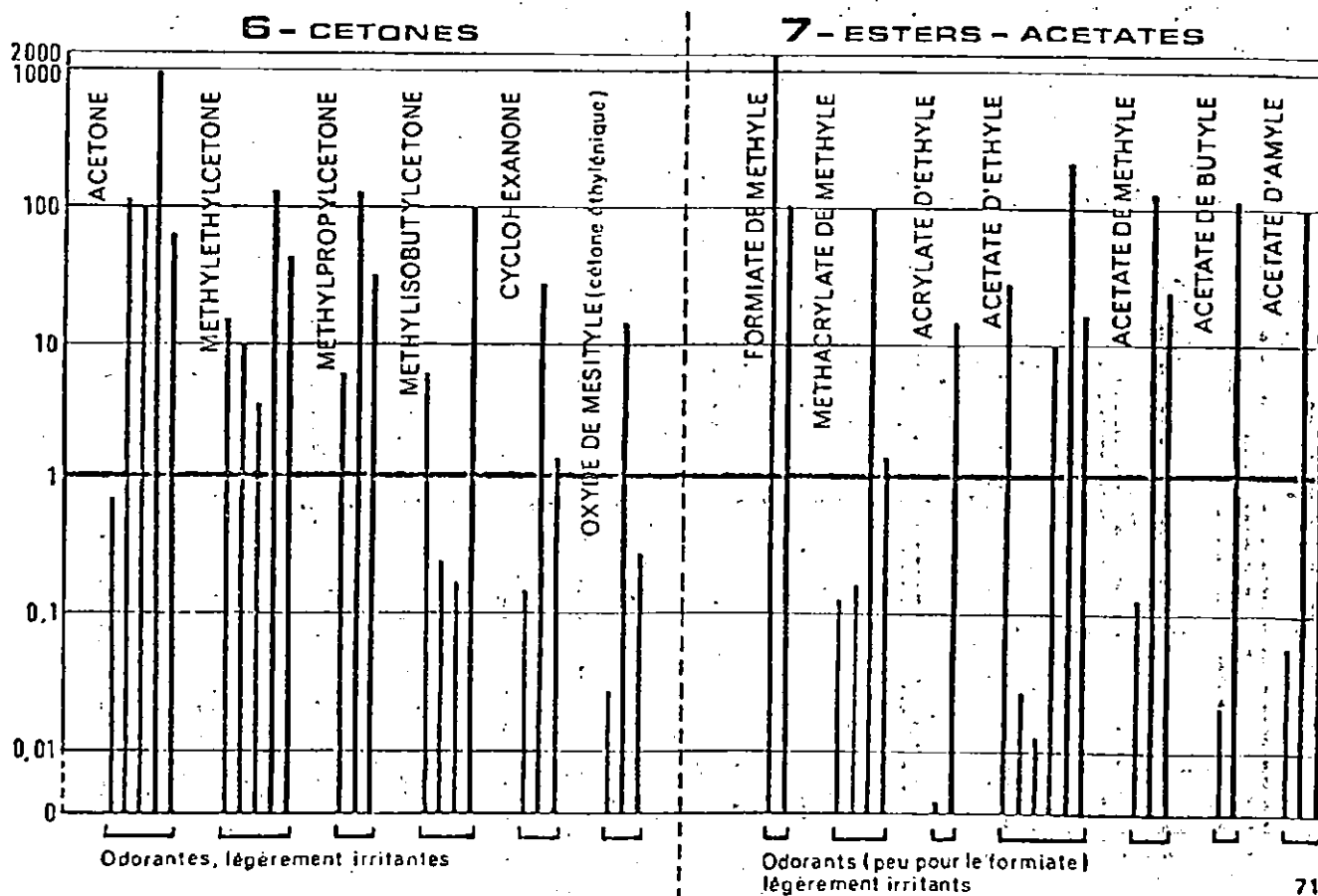
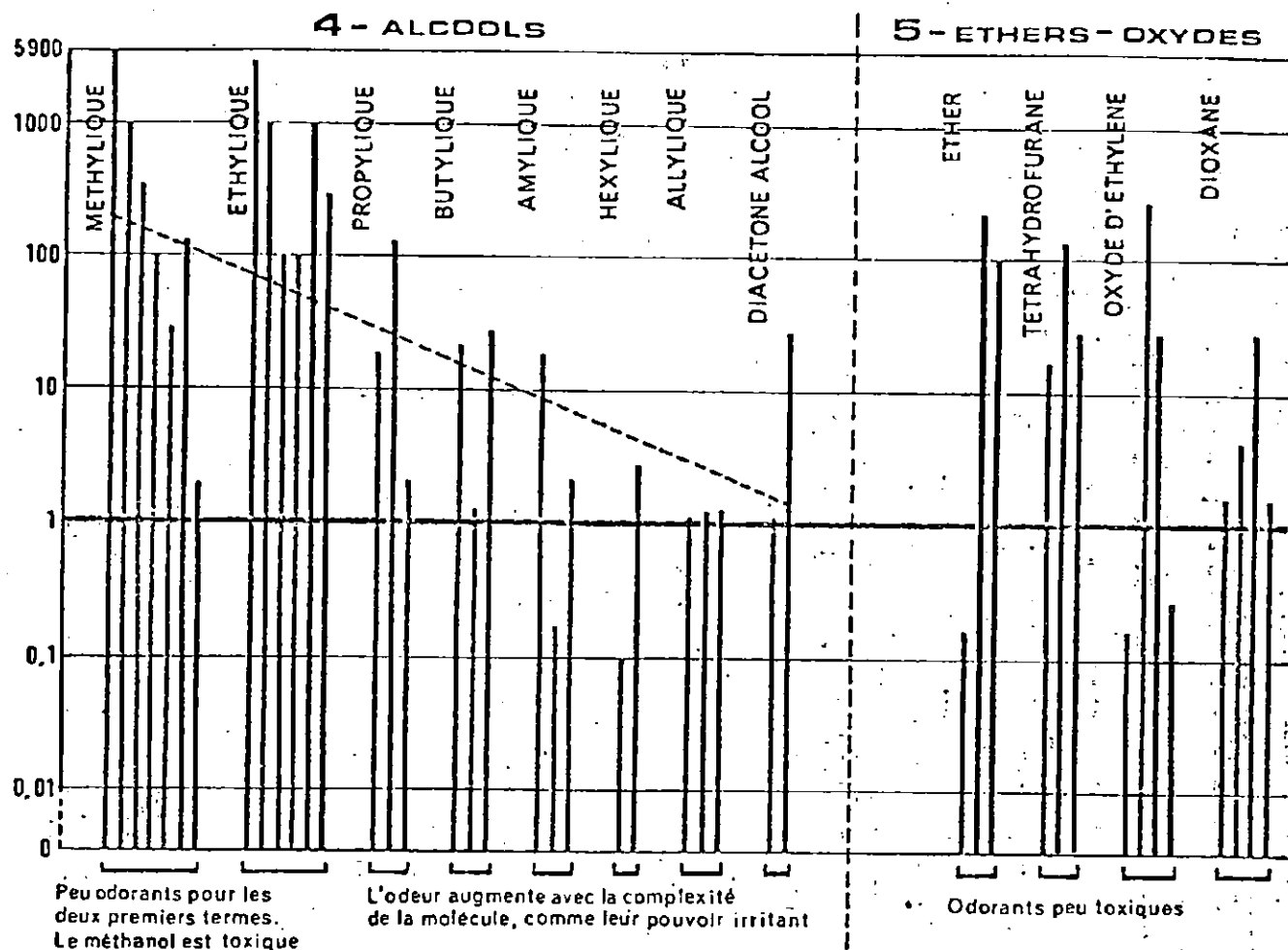
Par ailleurs, le classement que nous avons effectué, lors de cette étude, des limites minimales olfactives et des limites maximales admissibles toxiques, suivant les familles chimiques, a fait apparaître d'une manière plus précise, en valeurs chiffrées, les caractéristiques odorantes et toxiques propres à chacune d'elles. Ces résultats présentent un intérêt didactique certain pour tous ceux qui veulent mieux comprendre les réactions sur l'organisme humain des substances chimiques polluant l'atmosphère des usines, et, de la sorte, mieux se prémunir contre elles. Ils démontrent également qu'il est illusoire, voire dangereux, d'utiliser l'odorat, aussi aiguë soit-il, comme indicateur d'un niveau de pollution, ou de vouloir lier une odeur à une notion précise de risque.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] HILLE E. - *Staub-Reinhalt. Luft*, 1977, vol. 37, n° 5, p. 199-201.
- [2] GELERT H.H., FLORIAN T. - *Staub-Reinhalt. Luft*, 1972, vol. 32, n° 10, p. 400-407.
- [3] LITTLE A.D. - Research on chemical odors. I: Odors Threshold for 53 commercial chemicals, Washington, Manufacturing Chemists Association, 1958.
- [4] HELLMAN T.M., SMALL F.H. - *J. Air Pollution Control Assoc.*, 1974, vol. 24, p. 979-982.
- [5] LAFFORT P. - *Arch. sci. physiol.*, 1963, vol. 17, n° 1, p. 75-101.
- [6] Valeurs limites de concentration des substances toxiques dans l'air. Note documentaire n° 1101-90-78.
- [7] PATTY F.A. - *Industrial hygiene and toxicology*, New York, Londres, Interscience publ., 1962.
- [8] Essences spéciales. - Fiche toxicologique n° 96 (note documentaire n° 796-67-72).
- [9] GUÉRIN H. - *Traité d'analyse des gaz*, Paris, Masson, 1952.
- [10] FABRE R. - *Leçons de toxicologie*, Paris, Hermann, 1943, vol. III.
- [11] Ets Dräger, Lübeck. - Communication n° 15, juin 1958.
- [12] Ets Dräger, Lübeck. - Communication n° 53, juin 1961.
- [13] Ets Dräger, Lübeck. - *Livret des tubes réactifs*, 2^e éd., mai 1973, p. 129.
- [14] GUILLOT M. - *Recherches*, juillet 1974, n° 19, p. 279.
- [15] TRUHAUT R., BERROD J. - Note documentaire n° 973-80-75.
- [16] Concentrations maximales biologiquement non dangereuses. Réunion de l'O.M.S., Moscou, 12-19 décembre 1972.

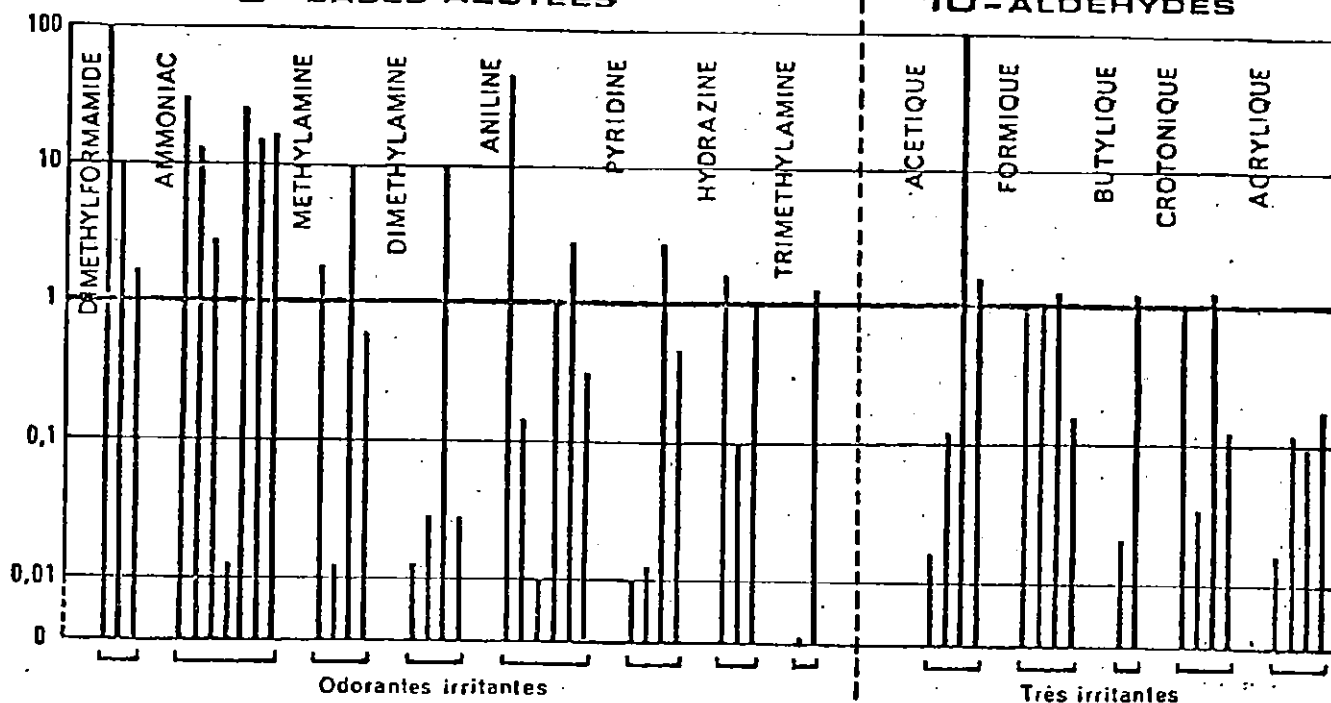
— Limites olfactives
— C.M.A.





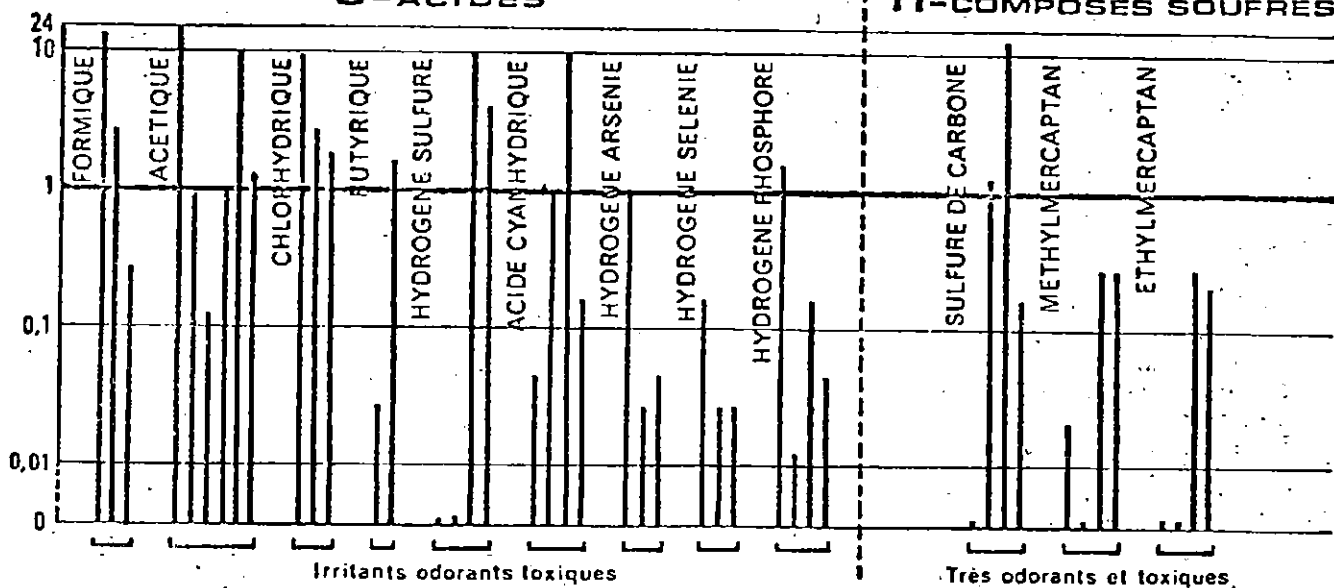
8 - BASES AZOTEES

10 - ALDEHYDES

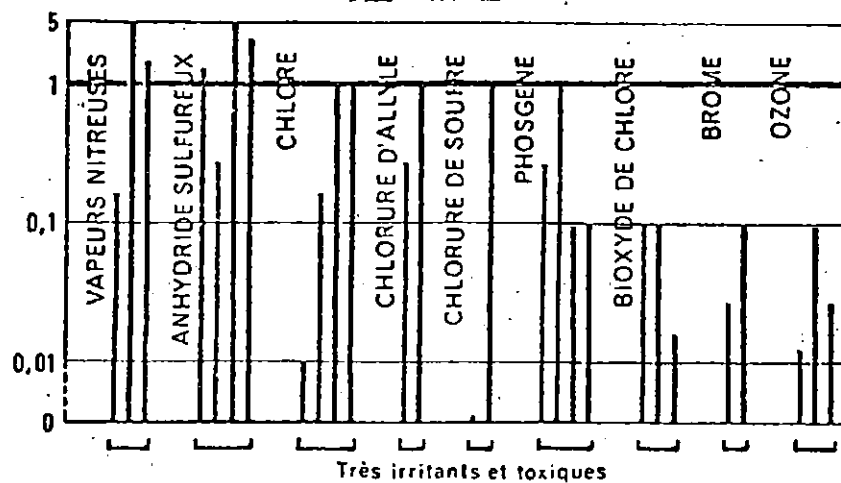


9 - ACIDES

11 - COMPOSES SOUFRES



12 - GAZ



	Limites minimales olfactives (en p.p.m.)			CMA (en p.p.m.)	
	France [5]	RFA [1]	USA [3, 4]	USA [6]	URSS [6]
I. HYDROCARBURES SATURÉS					
Pentane	1 000	2	-	600	-
Butane	250	5	-	600	-
Hexane	-	-	-	100	-
Heptane	{ 500 200	{ 20 50	-	-	-
Octane	150	0,02	-	300	-
Cyclohexane	300	0,4	-	300	24
II. COMPOSÉS A NOYAUX BENZÉNIQUES					
Benzène	-	31	4,7	10	1,6
Toluène	-	40	{ 2 1,7	100	13
Xylènes	-	2	{ 0,5 0,3	100	12
Cumène (isopropyl benzène)	-	-	0,05	50	10
Styrène	-	0,05	{ 0,05 0,15	100	1
Triméthylbenzène	0,04	-	-	25	-
Naphtalène	-	0,03	-	10	4
Nitrobenzène	{ 0,01 0,002	1,9	0,005	1	0,6
Monochlorobenzène	-	0,2	0,2	75	10
o-Dichlorobenzène	-	50	3,3	50	-
Phénol	1	0,6	0,05	5	0,08
Crésols	0,002	0,65	0,001	5	-
III. SOLVANTS FLUORÉS ET CHLORÉS					
Trichlorofluorométhane	-	-	210	1 000	-
Trichlorotrifluoroéthane	-	-	135	1 000	-
Chlorure de méthylène	-	150	214	200	14
1,1,1-Trichloroéthane	-	400	-	350	3,7
Trichloroéthylène	-	400	21	100	2
Chloroforme	-	200	-	25	-
Tétrachlorure de carbone	-	200	100	10	3
1,2-Dichloroéthane	-	120	-	50	-
Perchloroéthylène	-	50	-	100	1,5
1,2-Dichloropropane	-	50	-	75	2
IV. ALCOOLS					
Méthylque	{ 1 000 600	5 900	{ 100 53	200	3,8
Éthylque	{ 1 000 100	5 100	100	1 000	520
Propylque	-	35	-	200	4
Butylque	-	40	2	50	-
Amylique	-	35	{ 0,3 1	-	2,7
Hexylque	-	-	0,1	-	5
Allylique	-	1,4	-	2	1,3
Diacétone alcool	-	-	1,7	50	-
V. ÉTHERS - OXYDES					
Éther	-	0,3	-	400	100
Tétrahydrofurane	-	30	-	200	34
Oxyde d'éthylène	-	0,3	500	50	0,5
Dioxane	-	2,7	5,7	50	2,7

	Limites minimales olfactives (en p.p.m.)			CMA (en p.p.m.)	
	France [5]	RFA [1]	USA [3, 4]	USA [6]	URSS [6]
VI. CÉTONES					
Acétone	-	0,8	{ 140 100	1 000	83
Méthyléthylcétone	-	25	{ 10 6	200	68
Méthylpropylcétone	-	8	-	200	57
Méthylisobutylcétone	-	8	{ 0,47 0,3	100	-
Cyclohexanone	-	-	0,25	50	2,5
Oxyde de mésityle (cétone éthylé- nique)	-	-	0,05	25	0,25
VII. ESTERS - ACÉTATES					
Formiate de méthyle	-	2 000	-	100	-
Méthacrylate de méthyle	-	0,2	0,3	100	2,5
Acrylate d'éthyle	-	-	0,0003	25	-
Acétate d'éthyle	-	{ 50 0,05	13	400	57
Acétate de méthyle	-	0,2	-	200	33
Acétate de butyle	-	-	0,04	150	-
Acétate d'amyle	-	0,08	-	100	20
VIII. BASES AZOTÉES					
Diméthylformamide	-	-	100	10	3
Ammoniac	5	{ 55 20 0,02	47	25	28
Méthylamine	-	3,3	0,02	10	0,8
Diméthylamine	-	0,02	0,05	10	0,05
Aniline	{ 0,25 0,01	70	1	5	0,025
Pyridine	-	0,01	0,02	5	1,7
Hydrazine	-	3	-	0,1	0,1
Triméthylamine	-	-	0,0002	-	1,8
IX. ACIDES					
Formique	-	21	-	5	0,5
Acétique	{ 2 0,2	24	1	10	2
Chlorhydrique	-	-	10	5	3,5
Butyrique	-	-	0,05	-	3
ACIDES HYDROGÉNÉS					
Hydrogène sulfuré	-	0,001	0,005	10	6,7
Acide cyanhydrique	-	0,07	1	10	0,3
Hydrogène arsénié	-	1	-	0,05	0,07
Hydrogène sélénié	-	0,3	-	0,05	0,05
Hydrogène phosphoré	-	2,7	0,02	0,3	0,07
X. ALDÉHYDES					
Acétique	-	0,03	0,2	100	3
Formique	-	1	1	2	0,3
Butylique	-	-	0,04	-	2
Crotonique	-	1,5	0,06	2	0,2
Acrylique	-	0,03	0,2	0,1	0,3

	Limites minimales olfactives (en p.p.m.)			CMA (en p.p.m.)	
	France [5]	RFA [1]	USA [3, 4]	USA [6]	URSS [6]
XI. COMPOSÉS SOUFRÉS					
Sulfure de carbone	—	0,001	2	20	0,3
Méthylmercaptan	—	0,04	0,002	0,5	0,5
Éthylmercaptan	—	0,00001	0,001	0,5	0,4
XII. GAZ DIVERS					
Vapeurs nitreuses	—	0,3	—	5	2,8
Anhydride sulfureux	—	2	0,5	5	4
Chlore	—	0,01	0,3	1	0,3
Chlorure d'allyle	—	—	0,5	1	—
Chlorure de soufre	—	—	0,001	1	—
Phosgène	—	0,5	1	0,1	0,1
Bioxyde de chlore	—	0,1	—	0,1	0,03
Brome	—	—	0,05	0,1	—
Ozone	—	0,02	—	0,1	0,05

*Odour thresholds and maximum allowable concentrations
of toxic gases and vapours*

Comparison of maximum allowable concentrations (figures from U.S.A. and U.S.S.R.) and the minimum olfactory limits for about 80 currently-used products.

The products are grouped by chemical "families" (saturated hydrocarbons, alcohols, halogenated solvents, etc.) and the two series of values are given in tables and corresponding graphs.

The author comments upon the comparative data and indicates the methods of determination used. The dispersion of the values obtained, especially for the minimum olfactory limits, shows that it is a delusion, and even a dangerous one, to believe that the sense of smell can be used to estimate the level of pollution.

Characterization of the Odor Properties of 101 Petrochemicals Using Sensory Methods

Thomas M. Hellman and Francis H. Small
Union Carbide Corporation

The absolute and recognition thresholds, odor index, quality, and hedonic tone of 101 petrochemical compounds have been determined using a trained panel and a laboratory method. The odor fountain method combines the features of accurate results, simplicity, reproducibility, and speed.

Of the common forms of air pollutants, odors present a unique measurement problem. As their major effect is the subjective response of humans, the most widely used odorant measurement techniques are based upon human odor panels. At this time, except for a few sample cases, the human nose has been found to detect and identify odorants in concentrations impossible to detect and identify with available instrumentation. The work summarized in this paper represents the culmination of a research program carried out at the Union Carbide Technical Center in South Charleston, West Virginia. This program involved the utilization of a selected odor panel coupled with an "odor fountain" to characterize the sensory odor properties of 101 petrochemicals. Complete descriptions of the procedures used to select the odor panel and of the technology and experimental procedures associated with the odor fountain have been published.¹

Odor Data

Table I summarizes the results of odor testing on 101 petrochemicals containing a variety of oxygenated, halogenated, olefinic, and amine type functionality. The definitions of the threshold values are as follows:

1. Absolute odor threshold: the concentration at which 50% of the odor panel observed an odor in the working fountain.
2. Odor recognition threshold (50%): the concentration at which 50% of the odor panel defined the odor as being representative of the odorant being studied.
3. Odor recognition threshold (100%): the concentration at which 100% of the odor panel defined the odor as being representative of the odorant being studied.
4. Hedonic tone: The pleasure or displeasure that the odor judge associated with the odor quality being observed.

The odor quality is a description of the odor using familiar terms. Hedonic tone indicates the connotations of pleasure or displeasure that the odor judges associate with the particular odor quality. Odor index is a dimensionless term which is based upon vapor pressure and odor recognition threshold (100%);

odor index =

$$\frac{\text{vapor pressure in ppm}}{\text{odor recognition threshold (100\%) in ppm}}$$

This is in essence a ratio of the driving force to introduce an odorant into the air versus the susceptibility of an odorant to create a recognized response.

The odor index is a concept that will provide information pertaining to the potential of a particular odorant to cause odor problems under evaporative conditions. Examples of evaporative conditions are spills, leaks, and solvent evaporation processes. The odor index takes into account the vapor pressure of a compound, which is a qualitative measure of the potential of an odorant to get into the air community, as well as the odor recognition threshold (100%), which is a measure of the potential of an odorant to smell in the community air. The odor index concept has less meaning when the relative effect of these odorants is superimposed on those odors already present in the community air. When considering super-threshold odorant concentrations in practical situations, the odor threshold value serves as a base to judge odor units. Also in these situations the curves relating intensity to super-threshold concentration should be evaluated. Once the odorant is in the community air, its relative effect has to be judged using the threshold and super-threshold criteria. Additional discussion of the odor index concept can be found in reference 1.

Compound	Absolute ppm	50% Recognition ppm	100% Recognition ppm	Odor Index 100% Recognition	Quality	Hedonic Tone
Acetic anhydride	<0.14	0.36	0.36	14,611	Sour acid	Neutral to unpleasant
Acetone	20.0	32.5	140	1,742	Sweet/Fruity	Pleasant to neutral
Acetophenone	0.30	0.60	0.60	2,183	Sweet/Almond	Pleasant
Acrylic acid	0.094	1.04	1.04	105,700	Rancid/Sweet	Unpleasant
Amyl acetate, primary (Mixed isomers)	0.067	0.15	0.21	25,047	Sweet/Ester/Banana	Pleasant
Amyl alcohol	0.12	1.0	1.0	13,150	Sweet	Pleasant
1,3-Butadiene	0.45	1.1	1.3	769,230	Undefined	Unpleasant to neutral
n-Butanol	0.30	1.0	2.0	2,630	Rancid/Sweet	Neutral to unpleasant
2-Butanol	0.12	0.41	0.56	28,179	Sweet	Pleasant to neutral
Butyl acetate	0.006	0.037	0.037	284,300	Sweet/Ester	Pleasant
n-Butylamine	0.08	0.24	0.24	449,166	Sour/Ammoniacal	Unpleasant to pleasant
Butyl Cellosolve	0.10	0.35	0.48	2,729	Sweet/Ester	Pleasant
Butyl Cellosolve acetate	0.11	0.20	0.20	6,550	Sweet/Ester	Pleasant
n-Butyl chloride	8.82	13.3	16.7	6,377	Pungent	Unpleasant
n-Butyl ether	0.07	0.24	0.47	33,978	Fruity/Sweet	Pleasant
Butylene oxide	0.07	0.71	0.71	260,563	Sweet/Alcohol	Pleasant
Butyraldehyde	<0.0046	0.0092	0.039	2,984,615	Sweet/Rancid	Unpleasant
Carbitol acetate	0.026	0.157	0.263	498	Sweet	Pleasant to unpleasant
Carbitol solvent	<0.21	1.10	1.10	600	Sweet/Musty	Neutral
Cellosolve acetate	0.056	0.138	0.250	10,520	Sweet/Musty	Pleasant
Cellosolve solvent	0.30	0.55	1.3	33,909	Sweet/Musty	Unpleasant to pleasant
Cumene	0.008	0.047	0.047	83,000	Sharp	Unpleasant
Cyclohexanone	0.12	0.12	0.24	10,958	Sweet/Sharp	Pleasant
Diacetone alcohol	0.28	1.1	1.7	776	Sweet	Unpleasant to pleasant
Di-N-butylamine	0.08	0.27	0.48	5,479	Fishy/Amine	Unpleasant to neutral
Dicyclopentadiene	0.011	0.020	0.020	440,500	Sweet/Sharp	Unpleasant
Diethylamine	0.02	0.06	0.06	4,250,000	Musty/Fishy/Amine	Unpleasant
Diethyl ethanolamine	0.011	0.04	0.04	33,000	Amine	Unpleasant
Diisobutyl carbinol	0.032	0.048	0.160	8,187	Sweet/Alcohol	Pleasant
Diisobutyl ketone	<0.11	0.31	0.31	4,258	Sweet/Ester	Pleasant
Diisopropylamine	0.13	0.38	0.85	92,823	Fishy/Amine/Ammoniacal	Unpleasant to pleasant
Dimethyl ethanolamine	0.015	0.045	0.045	116,888	Amine	Unpleasant
1,4-Dioxane	0.80	1.8	5.7	6,228	Sweet/Alcohol	Pleasant
1,3-Dioxolane	16.9	64.0	128.0	804	Sweet/Musty	Neutral
Di-N-propylamine	0.02	0.10	0.10	270,600	Ammoniacal/Amine	Unpleasant to neutral
Ethyl acetate	6.3	13.2	13.2	7,575	Sweet/Ester	Pleasant
Ethyl acrylate	0.0002	0.00030	0.00036	113,000,000	Sour/Pungent	Unpleasant
Ethyl amine (70-72% in water)	0.27	0.83	0.83	622,891	Sharp/Ammoniacal	Unpleasant
Ethylene	260	400	700	1,428	Olefinic	Unpleasant to neutral
Ethylenediamine	1.0	3.4	11.2	1,178	Ammoniacal/Musty	Unpleasant
Ethylene dichloride	6.0	40.0	40.0	2,037	Sweet	Unpleasant to neutral
Ethylene oxide	260	500	500	2,000	Sweet/Olefinic	Neutral
2-Ethylbutanol	0.07	0.77	0.77	1,701	Musty/Sweet	Neutral
2-Ethylhexanol	0.075	0.138	0.138	949	Musty	Unpleasant to pleasant
Ethylhexyl acetate	0.1	0.21	0.21	6,290	Sweet	Pleasant to neutral
2-Ethylhexyl acrylate	0.073	0.18	0.18	7,333	Musty/Sharp	Unpleasant
Ethylidene norbornene	0.02	0.073	0.073	75,616	Sweet/Aromatic	Unpleasant to pleasant
2-Ethoxy-3,4-dihydro-1,2-pyran	0.020	0.10	0.60	10,950	Sweet/Fruity	Pleasant
N-Ethyl morpholine	0.08	0.25	0.25	26,280	Ammoniacal	Unpleasant to pleasant
Glycol diacetate	0.093	0.312	0.312	4,198	Fruity/Acid	Pleasant
1-Hexanol	0.01	0.09	0.09	14,666	Sweet/Alcohol	Pleasant
Isobutanol	0.68	1.80	2.05	5,131	Sweet/Musty	Unpleasant to pleasant

The values of odor index for the 101 odorants listed in Table I range from a high of 113,000,000 for ethyl acrylate to a low of 54 for UCON 113 solvent (trichlorotrifluoroethane). In its present form the odor index does not differentiate between "good" and "bad" odor qualities. However, if it becomes appropriate to make this differentiation, the odor index could incorporate a quality factor which would reflect a consideration of the odor quality, e.g., a "bad" odor might have a higher quality factor than a "good" odor.

Since the odor index is proposed to be a general indicator of odor pollution potential, it would be reasonable to utilize categories of odor index values for comparison, rather than comparing individual values. These values can be

separated into three categories: Category I, odor index $\geq 1,000,000$ (high odor potential); Category II, odor index $\geq 100,000$ – $<1,000,000$ (moderate odor potential); Category III, odor index $<100,000$ (low odor potential). The values used here to distinguish between categories are subject to change, if a change is justified. A review of the odor index values in Table I indicates that classes of compounds falling into Categories I and II are the acrylates, the amines, and the aldehydes. These classes of compounds are among the major sources of plant odor problems observed in the petrochemical industry. Compounds with very high odor index values will be stringently controlled, thus, causing odor problems only upon accidental release. Compounds in mod-

erate odor potential class may cause a more apparent problem, as they are less likely to be controlled initially. Sulfur-bearing compounds such as mercaptans and hydrogen sulfide, which are not included in these results, also have high odor index values. For example, the odor index for ethyl mercaptan is 571,000,000 (using A. D. Little's threshold data¹).

The reproducibility of our odor threshold data was determined by repeating the odor tests for four compounds. These data are summarized in Table II. These results show, as was suggested in earlier literature,¹ that the absolute odor threshold for an odorant is quite variable. The absolute threshold for cyclohexanone varied from 0.03 to 0.12 ppm for the same group of odor judges

Compound	Absolute ppm	50% Recognition ppm	100% Recognition ppm	Odor Index 100% Recognition	Quality	Hedonic Tone
Isobutyl acetate	0.35	0.50	0.50	34,200	Sweet/Ester	Pleasant
Isobutyl acrylate	0.002	0.009	0.012	525,000	Sweet/Musty	Unpleasant to pleasant
Isobutyl cellosolve	0.019	0.114	0.191	34,397	Sweet	Pleasant
Isobutyraldehyde	0.047	0.141	0.236	766,949	Sweet/Ester	Pleasant to unpleasant
Isodecanol	0.020	0.031	0.042	309	Musty/Alcohol	Unpleasant to pleasant
Isopentanoic acid, Mixed isomers	0.005	0.015	0.026	9,615	Goaty	Unpleasant
Isophorone	0.20	0.54	0.54	2,444	Sharp	Unpleasant to pleasant
Isopropanol (anhydrous)	3.20	7.50	28.2	1,539	Sharp/Musty	Unpleasant
Isopropyl acetate	0.49	0.90	0.97	56,907	Sweet/Ester	Pleasant to unpleasant
Isopropylamine	0.21	0.71	0.95	661,052	Ammoniacal/Amine	Unpleasant to pleasant
Isopropyl ether	0.017	0.053	0.053	2,924,528	Sweet	Pleasant
Mesityl oxide	0.017	0.051	0.051	210,000	Sweet	Pleasant
Methanol	4.26	53.3	53.3	2,393	Sour/Sharp	Neutral
Methyl amyl acetate	<0.07	0.23	0.40	13,150	Sweet/Ester	Pleasant
Methyl amyl alcohol	0.33	0.52	0.52	12,634	Sweet/Alcohol	Unpleasant to pleasant
2-Methyl butanol	0.04	0.23	0.23	17,130	Sour/Sharp	Unpleasant to neutral
Methyl cellosolve	<0.09	0.22	0.40	19,725	Sweet/Alcohol	Pleasant
Methyl cellosolve acetate	0.34	0.64	0.64	4,109	Sweet/Ester	Pleasant
Methylethanolamine	1.0	3.4	3.4	388	Musty/Ammoniacal	Unpleasant
Methyl ethyl ketone	2.0	5.5	6.0	15,350	Sweet/Sharp	Neutral to unpleasant
2-Methyl-5-ethyl pyridine	0.005	0.008	0.010	137,200	Sour/Pungent	Unpleasant
Methyl isoamyl alcohol	0.07	0.20	0.20	6,600	Sweet/Pungent	Pleasant
Methyl isoamyl ketone	0.012	0.049	0.070	75,142	Sweet/Sharp	Pleasant
Methyl isobutyl ketone	0.10	0.28	0.28	70,357	Sweet/Sharp	Pleasant to unpleasant
Methyl methacrylate	0.05	0.34	0.34	119,705	Sweet/Sharp	Unpleasant
2-Methylpentaaldehyde	0.09	0.136	0.136	131,571	Sweet/Rancid	Unpleasant
2-Methyl-1-pentanol	0.024	0.024	0.082	24,024	Sweet/Alcohol	Pleasant
α -Methyl styrene	0.052	0.156	0.156	16,020	Sweet/Aromatic	Pleasant
Morpholine	0.01	0.07	0.14	65,857	Fishy/Amine	Unpleasant
2,4-Pentanedione	0.01	0.020	0.024	384,166	Sour/Rancid	Unpleasant
n-Pentanol	0.21	0.31	0.31	4,258	Sweet/Alcohol	Pleasant
2-Picoline	0.014	0.023	0.046	114,347	Sweet	Unpleasant
n-Propanol	<0.03	0.08	0.13	246,625	Sweet/Alcohol	Pleasant
Propionic acid	0.028	0.034	0.034	91,500	Sour	Unpleasant
n-Propyl acetate	0.05	0.15	0.15	218,666	Sweet/Ester	Pleasant
Propylene	22.5	67.6	67.6	14,792	Aromatic	Neutral to pleasant
Propylenediamine	0.014	0.048	0.067	218,000	Sharp/Amine	Unpleasant
Propylene dichloride	0.25	0.50	0.60	87,096	Sweet	Pleasant
Propylene oxide	9.9	35.0	35.0	16,600	Sweet	Neutral to pleasant
Propionaldehyde	0.009	0.040	0.020	4,346,000	Sweet/Ester	Pleasant
Styrene	0.05	0.15	0.15	44,391	Sharp/Sweet	Unpleasant
Styrene oxide	0.063	0.40	0.40	3,420	Sweet	Pleasant
Tetraethyl ortho silicate	3.6	5.0	7.2	341	Sweet/Alcohol	Pleasant
Toluene	0.17	1.74	1.74	16,609	Sour/Burnt	Unpleasant to neutral
Triethylamine	<0.09	0.28	0.28	253,571	Fishy/Amine	Unpleasant to pleasant
Ucon-11 (trichloromonofluoro- methane)	5.00	135.0	209.0	84	Sweet	Pleasant to unpleasant
Ucon-113 solvent (trichlorotri- fluoroethane)	45.0	68.0	135.0	54	Sweet	Pleasant to unpleasant
Vinyl acetate	0.12	0.40	0.55	220,000	Sour/Sharp	Unpleasant
Xylene	0.08	0.27	0.27	29,222	Sweet	Neutral to pleasant

on two separate test days. The odor recognition thresholds show a much better degree of reproducibility. The variation in the values for diethylamine is attributed more to difficulties in analysis of this compound at low concentrations than to the variability in the odor panel's response to a given concentration.

The accuracy of the threshold data is estimated by comparing the odor recognition threshold (100%) values determined by this group with the odor recognition threshold values determined by A. D. Little² for the compounds studied by both groups. This comparison of results is presented in Table III. These data, determined by using completely different odor generation and presentation systems, are essentially the same.

The exception is methanol where the UCC value is approximately one-half the A. D. Little value. However, in the comparison of odor threshold data this difference is insignificant. The consistency of the two sets of results indicates that the simple and fast odor fountain testing method will produce accurate results.

The odor thresholds for 101 petrochemicals are reported in ppm (volume) in Table I. The values for carbonyl compounds range from a minimum of 0.00036 ppm for ethyl acrylate to a maximum of 140 ppm for acetone. It is interesting to note that both compounds contain a central carbonyl group. In the case of acetone the carbonyl structure includes a methyl group on each side. In the case of ethyl

acrylate the carbonyl odor properties may be enhanced by an ethoxy group on one side and an olefinic group on the other. An olefinic moiety in conjugation with a carbonyl group appears to be a structural relationship that results in a low odor threshold and obnoxious odor quality. This conclusion is in accord with our data on the acrylate class of compounds. In contrast to the acrylates, the acetate esters, which as a class of compounds also have relatively low odor thresholds, have generally pleasant odor qualities associated with them. The alkyl amines is another group of low-odor threshold compounds that exhibit interesting behavior. As more hydrocarbon character is added to the alkyl amine the odor quality at threshold value appears to change from an

Table II. Results of reproducibility study.

	Date	Absolute ppm	50% Recognition ppm	100% Recognition ppm	Odor Index 100% Recognition	Quality	Hedonic Tone
Acetone	5-23-72	15	40	120	2,033	Sweet/Fruity	Pleasant to neutral
	8-31-72	20	40	140	1,742	Sweet	Pleasant
Cyclohexanone	1-4-73	0.12	0.12	0.24	10,958	Sweet/Sharp	Pleasant
	1-19-73	0.03	0.09	0.18	14,611	Sweet/Sharp	Pleasant
Diethylamine	10-25-72	0.037	0.130	0.130	1,961,000	Amine	Unpleasant
	1-24-73	0.14	0.498	0.498	512,000	Amine/Fishy	Unpleasant
Isobutanol	6-6-72	0.68	1.80	2.05	5,131	Sweet/Musty	Pleasant
	7-31-72	0.19	1.13	1.13	9,309	Sweet/Alcohol	Pleasant to neutral

ammoniacal quality to a fishy-type quality. This conclusion is based upon the odor qualities associated with ethyl amine (ammoniacal/sharp), isopropylamine (ammoniacal/amine), diethylamine (musty/fishy amine), diisopropyl (fishy/musty ammoniacal), and di-n-butylamine (fishy amine). In the future as the data pertaining to odor thresholds become more complete, reasonably accurate predictions as to the effects of substituent groups on odor threshold may become a reality.

The odor qualities of the 101 chemicals studied are recorded in Table I. The purpose of evaluating the odor qualities is to develop an "odor language" or odor quality characteristics that can be used in defining the odor qualities of petrochemicals. However, even in this limited application, it is apparent that more data will be required before a language can be developed. The hedonic tone values provide an approximate indication of the pleasure or displeasure associated with an odor quality. The inherent variability in these determinations is indicated in Table I where mixed hedonic tone values are seen for a number of compounds. A mixed hedonic tone indicates that the panel members react differently to the odor quality. However, some general trends can be observed in this group of compounds. For example, the amines generally elicit an unpleasant response. The Cellosolve solvents as a class tend to elicit a pleasant response. The alcohols elicit mixed responses. The saturated acetate esters studied elicit a pleasant response. The addition of olefinic character in vinyl acetate changed the response to unpleasant.

We propose that odor quality characterization could be made for the synthetic organic chemical industry by classes of compounds familiar to the

organic chemist and chemical engineer. These quality traits may be identified with types of functionality. Our goal is to couple to the reproducible, objective, quantitative measures of odors, a reproducible odor quality vocabulary. Although the vocabulary may be limited to the synthetic organic chemical industry, it would still serve the purpose of providing an objective reproducible language.

Conclusion

The absolute and recognition thresholds, odor index, quality, and hedonic tone of 101 petrochemicals have been determined using a trained odor panel and a laboratory method that combines the features of accurate results, simplicity, reproducibility, and speed. The odor recognition threshold data determined using this technique were consistent with data determined using the A.D. Little total exposure technique.² In most cases the odor testing for a compound was completed in 20 minutes. The short time requirement makes the odor fountain method attractive with respect to manpower requirements and costs. We invite members of the petrochemical industry to adopt this simple technique and add to the construction of an objective odor language for our industry.

References

1. T. M. Hellman and F. H. Small, "Characterization of odors from the petrochemical industry," *Chem. Eng. Progr.* 69: 75 (1973).
2. G. Leonardos, D. Kendall, and N. Barnard, "Odor threshold determination of 53 odorant chemicals," *J. Air Poll. Control Assoc.* 19: 91 (1969).
3. R. Harper, "Some Fundamental Problems of Odor Perception," in *Theories of Odors and Odor Measurement*, Edited by Tanyolac, Circa Publ., Inc., Pelham, N. Y., 1968.

Table III. Comparison of UCC and A. D. Little recognition thresholds in ppm by volume.

	UCC	ADL
Acetone	140	100
Ethyl acrylate	0.00036	0.00047
Methanol	53.3	100
Methyl ethyl ketone	6.0	10.0
Methyl isobutyl ketone	0.28	0.47
Methyl methacrylate	0.34	0.21
Styrene (inhibited)	0.148	0.1
Toluene (petroleum)	1.74	2.14

Dr. Hellman is presently Corporate Manager Air and Water Pollution Control at Allied Chemical Corporation in Morristown N. J. Mr. Small is Group Leader at the Union Carbide Technical Center in South Charleston W. Va.

SESSION DE FORMATION SUR LE
STRESS THERMIQUE (FROID ET CHALEUR)

Par: Normand Duhaime et
Daniel Gagné
Hygiène industrielle
Département de santé communautaire
Rouyn-Noranda
Octobre 1983

A- MODALITÉS PHYSIQUES DES ÉCHANGES THERMIQUES ENTRE LE CORPS HUMAIN ET LE MILIEU AMBIANT.

CHAPITRE I

AMBIANCE THERMIQUE *

1. RAPPEL DE DONNEES PHYSIOLOGIQUES

La température centrale du corps humain est pratiquement constante (37°C), alors que la température des autres parties de l'organisme peut varier de façon notable (en particulier la température des muscles et de la peau). Pour maintenir la température centrale constante, quelles que soient les conditions ambiantes et quel que soit le niveau de production de chaleur de l'organisme, le corps humain dispose d'un système de thermorégulation.

Avant de préciser quels sont les processus physiologiques de régulation thermique qui permettent au corps humain de maintenir une température centrale quasi constante, même pour des conditions extérieures variables, il est nécessaire de préciser comment s'effectuent les échanges thermiques entre le corps et le milieu ambiant.

1.1. MODALITES PHYSIQUES DES ECHANGES THERMIQUES ENTRE LE CORPS HUMAIN ET LE MILIEU AMBIANT.

Les échanges thermiques entre le corps et le milieu ambiant s'effectuent selon quatre modalités : par conduction, par convection, par évaporation et par rayonnement.

1.1.1. Echanges par conduction.

Ils se produisent entre deux milieux en contact et immobiles : les échanges par conduction sont donc évidents lorsqu'il y a une partie du corps en contact avec un milieu solide : sol pour un homme debout, siège pour une personne assise, bras en appui sur une table, mains manipulant des objets, etc. Ces échanges par conduction sont d'autant

* Pour compléter ou approfondir certains points de ce chapitre, on pourra consulter la brochure rédigée depuis et signalée en page de garde : F. Guélaud. *Éléments d'analyse des conditions de travail.*

L'ambiance thermique. Editions du CNRS.

plus importants que la différence de température entre les deux milieux en contact est plus importante et que le coefficient de conductibilité thermique est plus élevé. Les métaux, la pierre ont un coefficient de conductibilité élevé, tandis que le bois, le liège, le feutre, par exemple, ont des coefficients de conductibilité faibles, c'est-à-dire qu'avec ces matériaux, les échanges par conduction sont moins importants.

1.1.2. Les échanges par convection.

Ils se produisent entre le corps et un fluide en mouvement : ils sont donc importants entre le corps humain et l'air, et d'autant plus que la différence entre la température de l'air et celle du corps est importante et que l'agitation de l'air est plus élevée.

1.1.3. Les échanges par rayonnement

Ils existent lorsqu'il y a plusieurs corps en présence. L'importance des échanges par rayonnement dépend de la différence entre la température de la peau et la température des objets ou surfaces voisines, mais nullement de la température de l'air. Ainsi, lorsqu'en hiver on est placé non loin d'une surface vitrée, on éprouve une sensation de froid, même si la pièce est bien chauffée : en effet les échanges par rayonnement entre la peau et la vitre sont alors importants.

VOIR ANNEXE I

1.1.4. Les échanges par évaporation.

Ils se produisent lorsque la sueur émise par le corps humain se transforme en vapeur, ce qui entraîne une perte de chaleur du corps humain. Une certaine quantité d'eau s'évapore normalement, et de façon pratiquement insensible, du corps humain (par respiration et transpiration insensible). Mais lorsque la température du milieu ambiant augmente, le corps humain accroît le mécanisme de compensation que constitue l'évaporation de la sueur. Celle-ci est d'autant plus importante que la différence des tensions de vapeur d'eau dans l'air ambiant et dans la couche-limite entre l'air et la peau est plus importante. C'est-à-dire que les échanges par évaporation dépendent de la température de l'air, de la pression partielle d'eau dans l'air (degré d'humidité) et de la vitesse de l'air.

1.2. LE BILAN THERMIQUE.

La variation du contenu calorifique du corps (S) (gain ou perte de chaleur) est décrite par l'équation:

$$S = M + R + C + P - E$$

où M est la chaleur métabolique (fonction de l'intensité du travail).

R: transfert par rayonnement

C: transfert par convection

P: transfert par conduction

E: perte par évaporation de la sueur.

Pour que la température centrale du corps reste stable, il faut que le bilan thermique soit nul, c'est-à-dire que la perte d'énergie calorifique par conduction, convection, radiation ou évaporation équilibre l'énergie calorifique produite par l'organisme. Si le bilan est positif, il y a augmentation de la température du corps humain. Si le bilan est négatif, il y a diminution de la température centrale et, dans les deux cas, des risques graves, voire mortels, pour l'organisme. Il apparaît finalement dès maintenant que les facteurs physiques qui déterminent l'ampleur des échanges thermiques entre le corps humain et le milieu ambiant sont les suivants:

- la température de l'air: pour les échanges par convection et par évaporation;
- l'humidité relative de l'air: pour les échanges par évaporation;
- le mouvement de l'air: pour les échanges par convection et par évaporation;
- la température des surfaces en contact avec le corps (sol, table, siège, machines, outils...) pour les échanges par conduction, ou à proximité du corps (parois, plafonds, machines...) pour les échanges par rayonnement.

Composantes du bilan thermique	Définition	Sens des échanges par rapport à l'homme	
		Apports	Pertes
Convection (C)	Echanges de chaleur dus aux mouvements de l'air en contact avec la peau	si $t_a > \bar{t}_{sk}$	si $t_a < \bar{t}_{sk}$
Rayonnement (R)	Echanges de chaleur par rayonnement entre les parois de l'enceinte et l'homme	si $\bar{t}_r > \bar{t}_{sk}$	si $\bar{t}_r < \bar{t}_{sk}$
Evaporation sudorale (E)	Pertes de chaleur dues à l'évaporation de la sueur sur l'enveloppe cutanée		toujours
Production interne de chaleur (H)	Quantité de chaleur dégagée dans le corps Variable selon le niveau d'activité	toujours	

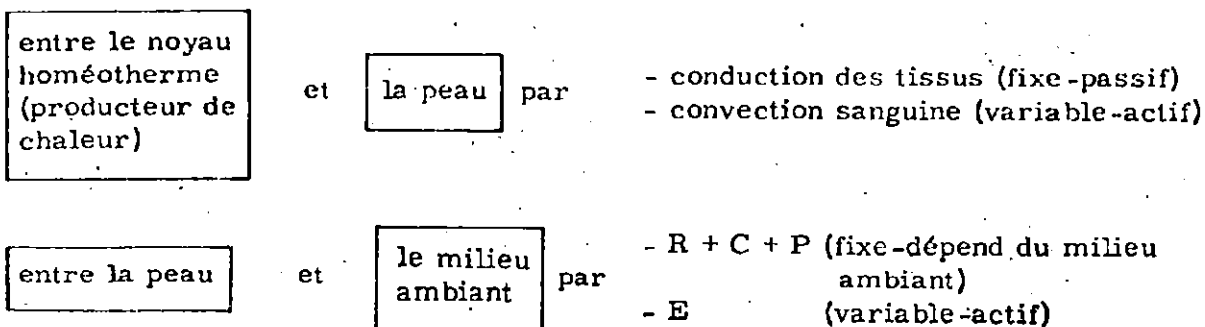
t_a : température de l'air.

$\bar{t}_r$: température moyenne de rayonnement de l'enceinte.

$\bar{t}_{sk}$: température cutanée moyenne (de skin : peau).

Tableau 5: Principales sources d'apports et de pertes de chaleur relatives à l'organisme.

- Les échanges thermiques se font :



- Le système de thermo-régulation peut donc jouer sur plusieurs mécanismes :

- . production de chaleur (thermogenèse)
- . circulation sanguine (transport de chaleur)
- . sudation (thermolyse)

- On peut ainsi définir :

- . l'évaporation requise : c'est-à-dire celle qui est nécessaire pour maintenir le bilan thermique nul;
- . l'évaporation possible : qui dépend du pouvoir maximum de sudation de l'organisme et de l'évaporation maximale permise par l'ambiance.
- . le bilan thermique est donc dépendant de la différence entre l'évaporation requise et l'évaporation possible.

B- LES PROCESSUS PHYSIOLOGIQUES DE RÉGULATION THERMIQUE DU CORPS HUMAIN.

Au niveau de chaque cellule s'effectuent des transformations analogues à une combustion: l'énergie chimique des aliments, brûlés dans les cellules au contact de l'oxygène véhiculé par le sang, se transforme en énergie calorique et éventuellement en énergie mécanique.

Pour assurer la permanence de la température centrale, il faut que le corps puisse céder au milieu ambiant une certaine quantité de chaleur ainsi produite. Pour cela le corps humain dispose de trois mécanismes:

- la circulation sanguine, plus particulièrement l'irrigation cutanée puisque c'est la peau qui est en contact direct avec le milieu ambiant. Le sang, en circulant dans l'ensemble de l'organisme, transporte la chaleur produite au niveau des diverses cellules jusqu'à la peau d'où elle est cédée au milieu ambiant selon un des mécanismes physiques précédemment décrits (convection, conduction, rayonnement, évaporation);
- la sécrétion de la sueur: pour accroître le phénomène d'évaporation lorsque cela est nécessaire en ambiance chaude, le corps humain peut accroître la sécrétion de la sueur;
- l'accroissement de la thermogénèse: le corps a la possibilité d'accroître la production interne de chaleur, en augmentant les réactions de combustion au niveau des muscles (cela se traduit par des frissons).

Précisons: un peu l'importance de chacun de ces processus, selon que le corps humain est placé dans une ambiance froide, modérée ou chaude, sans prendre en compte tout d'abord le facteur travail. C'est-à-dire que nous supposons d'abord que l'homme est au repos.

1- L'homme au repos:

a) Dans la zone de froid:

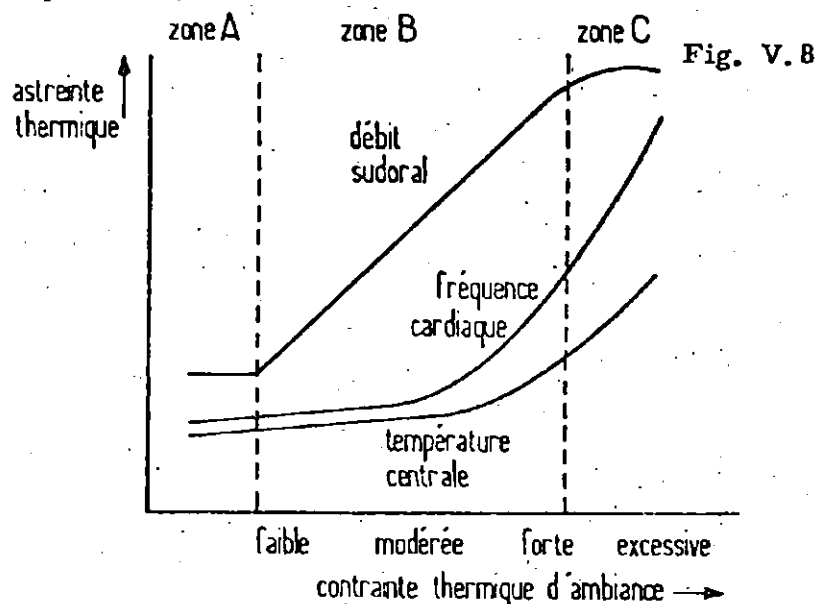
- la production de chaleur est augmentée (frisson thermique)
- les échanges entre le noyau et la peau sont ralentis (vaso-constriction périphérique)
- les échanges entre la peau et le milieu ambiant sont atténués (diminution de la température de la peau).

b) Dans la zone de température modérée (neutralité thermique):

- les modifications de la vaso-motricité suffisent à équilibrer les échanges thermiques.

c) Dans la zone de chaud:

- la production de chaleur ne peut être diminuée
- les échanges entre le noyau et la peau sont augmentés (vaso-dilatation périphérique et augmentation du débit sanguin dans les zones sous-cutanées),
- les échanges entre la peau et le milieu ambiant sont augmentés (sudation-évaporation).



Valeurs respectives de diverses variables biologiques comme indicateurs de la contrainte thermique ambiante selon le niveau de celle-ci, d'après BELDING H.S. et coll.

2- L'homme au travail:

Dans la zone de chaud:

- la production de chaleur peut être multipliée par 8
- les échanges par R - C et P sont peu modifiés
- les échanges - entre le noyau de la peau sont augmentés (vaso-dilatation) (fig. V.5)
- entre la peau et le milieu ambiant sont très augmentés (sudation - évaporation).

3- Effets du travail à la chaleur - au froid

a) Travail à la chaleur:

Le travail à la chaleur provoque:

1) une augmentation

- du débit sudoral (en relation avec l'évaporation requise)
- une augmentation de la température ambiante due à la production de chaleur métabolique et à la charge de chaleur ambiante;

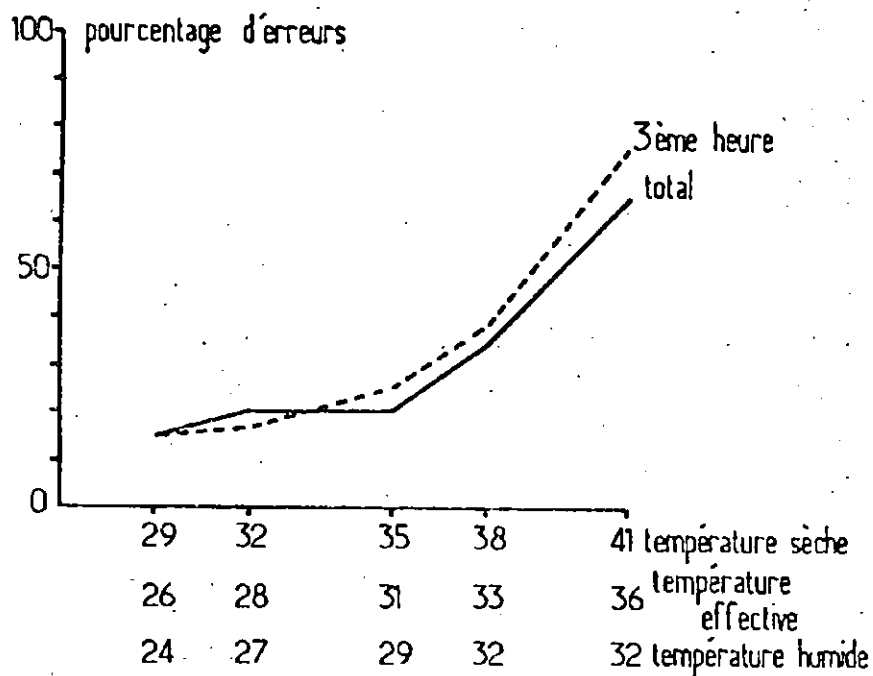
- une augmentation du débit sanguin et de la fréquence cardiaque due :

- . aux exigences de transports d'oxygène aux muscles
- . à la charge de chaleur métabolique
- . à la charge de chaleur ambiante

2) une baisse de la vigilance et un allongement des temps de réactions.

3) une augmentation des accidents - une baisse du rendement (fig. V. 6 - fig. V. 7).

Fig. V. 6



Evolution des erreurs de réception télégraphiques dans différentes conditions thermiques, d'après MACKWORTH N.H.

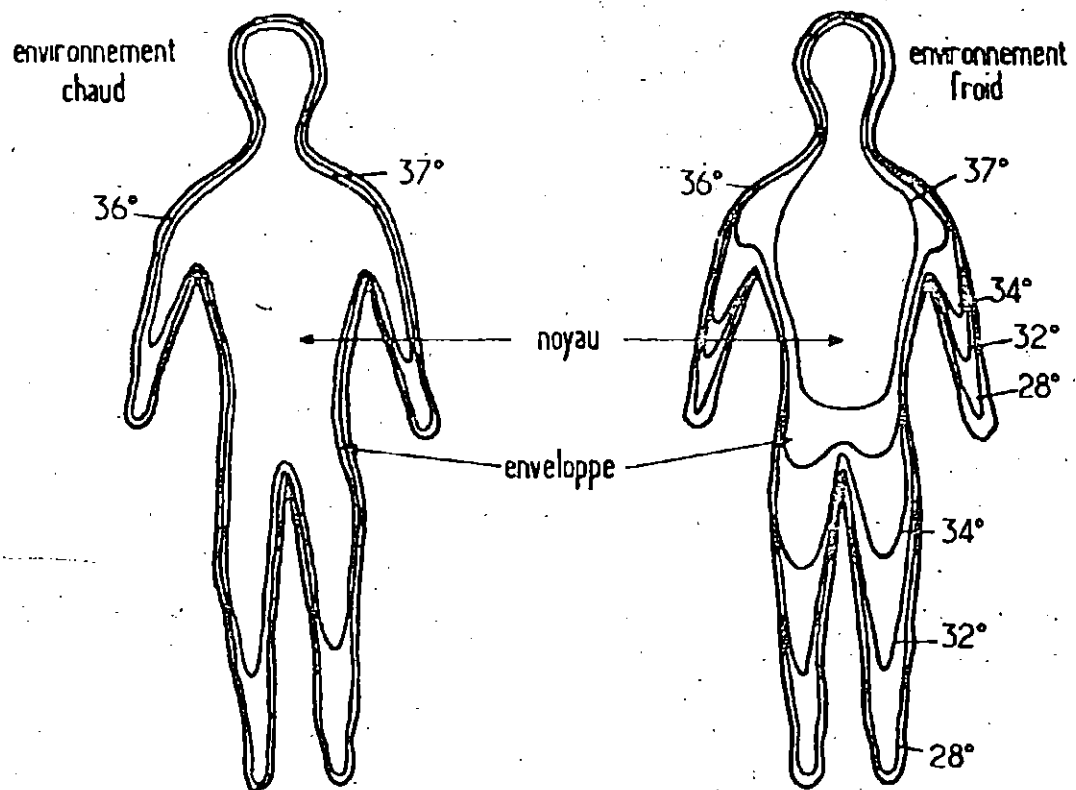
b) Travail au froid :

L'exposition au froid provoque : (fig. V. 9)

- un abaissement de la température cutanée
- une perturbation de l'activité manuelle (fig. V. 10)
- une augmentation des accidents.

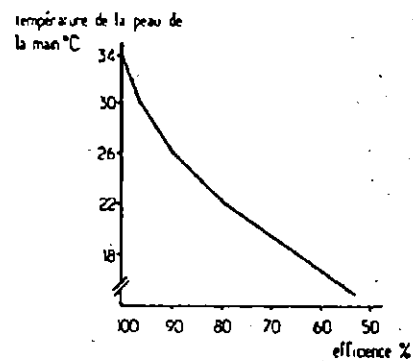
L'exposition au froid provoque aussi des frissons. Ce mécanisme de défense permet au corps d'augmenter la production de chaleur métabolique. Il implique le travail synchronisé de presque tous les groupes de muscles (muscles antagonistes). Comme l'efficacité mécanique des frissons est de 0% , la production de chaleur est assez élevée et la "chaleur métabolique" peut être augmentée deux à quatre fois par rapport à la production au repos. Le travail musculaire ordinaire, quant à lui, peu facilement accroître la production de chaleur métabolique d'un facteur de 10 ou plus. (Text book of Work Physiology).

Fig. V.9



Variations dans la disposition des isothermes corporels suivant la température de l'environnement, d'après ASCHOFF et WEVER

Fig. V.10



Relation entre la température de la peau de la main et l'efficience dans un travail de dactylographie, d'après FOX R.H.

C-

ACCLIMATATION

Définition: L'acclimatation est une adaptation physiologique du mécanisme de thermorégulation de l'homme dans des environnements inhospitaliers.

1. Chaleur:

Ce n'est pas une question de tout ou de rien (ou tu es acclimaté ou tu ne l'es pas). Les seuls gens qu'on peut considérer comme acclimatés sont ceux qui travaillent de façon continue (8 heures par jour) à la chaleur. Ceux qui sont exposés de façon sporadique à la chaleur auront une acclimatation moins complète, mais pourront développer une certaine tolérance au travail à la chaleur pendant de courtes périodes.

Les altérations physiologiques les plus marquées se situent au niveau du système cardio-vasculaire et de la capacité à suer.

- Rythme cardiaque:

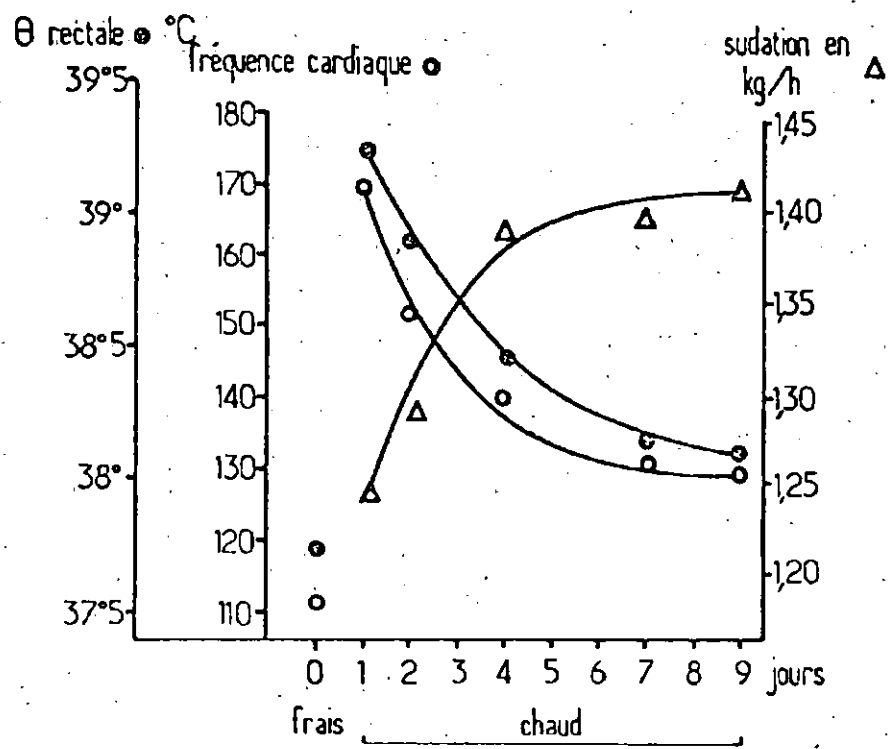
On note une diminution du rythme cardiaque au fur et à mesure que l'acclimatation progresse. (Ainsi le pouls peut passer de 170 à 130 pour le même travail après 10 jours d'acclimatation.)

- Capacité à suer:

Contrairement au rythme cardiaque, celle-ci augmente avec l'acclimatation. (Ainsi on pourrait passer de 1,24 à 1,42 kg/heure.)

Sur le graphique suivant on a une bonne illustration de ces phénomènes.

Fig. V.23)



Evolution de la température rectale, de la fréquence cardiaque et du débit sudoral au cours d'un même travail (300 kcal en 100 minutes) effectué le 1er jour au frais et ensuite chaque jours à θ sec 48,9°C. θ hum. 26,7°C d'après LIND A.R. et BASS D.E.

On peut expliquer la baisse du rythme cardiaque par une augmentation de l'évaporation. En effet, le sang se refroidit lors de son contact avec la peau. Si la capacité à suer augmente et que l'évaporation n'est pas entravée, la peau se refroidira beaucoup plus vite et ainsi le coeur n'a pas besoin d'envoyer autant de sang vers la peau pour le refroidir. Un autre facteur pouvant expliquer la baisse du rythme cardiaque c'est l'augmentation (jusqu'à 23%) du volume du plasma sanguin qui influencerait la tension artérielle et par la suite, le rythme cardiaque. Cependant, chez les acclimatés, le volume charrié par chaque battement semble plus élevé.

Un autre changement notable lors de l'acclimatation c'est le contenu en sel de la sueur qui diminue. En effet, la perte en sel passe par exemple de 20 gr par jour chez les non acclimatés à 4 gr par jour chez les acclimatés et ce, même si ces derniers secrètent plus de sueur en quantité absolue.

- Facteurs individuels:

Il semble que chez les femmes, la tolérance à la chaleur soit plus limitée (plus faible capacité à suer entre autres) et ce particulièrement lorsqu'elles commencent à dépasser la quarantaine. Toutefois, cela reste à valider davantage.

Les personnes obèses ou qui ont un faible ratio surface-volume, sont désavantagées à la chaleur. Beaucoup d'autres facteurs individuels viennent compliquer le tableau de l'acclimatation.

2. Froid:

L'acclimatation au froid a été beaucoup moins étudiée que celle de la chaleur vu la faible quantité de travailleurs impliqués.

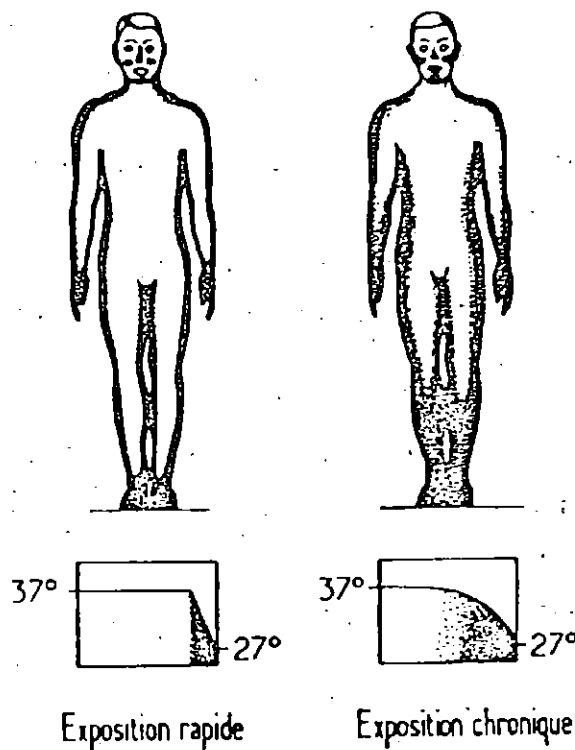
À la première vue, il semble que les possibilités pour l'homme de modifier certains paramètres physiologiques pour s'adapter au froid sont beaucoup plus limitées que pour l'adaptation à la chaleur. Les principaux mécanismes décrits sont les suivants:

- Les tremblements qui ont lieu surtout dans le thorax supérieur et dans les fesses;
- l'augmentation des mouvements volontaires causés par l'inconfort dû au froid;
- l'augmentation du taux métabolique (consommation d'O₂) par des sécrétions hormonales (norépinéphrine)..

Ces mécanismes ont tous pour conséquence immédiate de favoriser la production de chaleur interne afin de compenser la perte de chaleur au niveau de la peau. Cependant, plus un sujet semble acclimaté moins il semble dépendre des tremblements et des mouvements musculaires pour se réchauffer et plus il peut arriver à se réchauffer par une thermogénèse interne.

Un des changements physiologiques les plus marqués qui se produisent au niveau du système cardiovasculaire, c'est une contraction des vaisseaux périphériques, ce qui a pour effet de diminuer la température de la peau. Comme la perte de chaleur par convection et radiation dépend du ΔT° entre la peau et le milieu environnant, plus la surface de la peau sera froide, moins il y aura transfert de la chaleur interne vers l'extérieur. (Cf figure à la page suivante).

Fig. V.24



Variations dans l'étendue du refroidissement de l'enveloppe corporelle selon les modalités de l'exposition au froid, d'après CARLSON L.D. et coll.

Il est à noter ici que l'acclimatation au froid est assez difficile à étudier, car généralement l'homme a tendance à se vêtir pour lutter contre le froid, diminuant ainsi beaucoup son exposition réelle. À titre d'exemple, mentionnons que les Inuits du cercle polaire, dans leurs conditions climatiques normales, subissent un stress thermique inférieur à celui d'être exposé constamment à une température de 8°C en étant vêtu seulement de short et de camisole. Ce qui fait que l'homme est rarement placé dans des conditions suffisamment extrêmes pour forcer des modifications physiologiques profondes à se produire.

L'acclimatation se remarque beaucoup plus au niveau d'une augmentation de l'ingéniosité, de l'expérience et de la forme physique que l'homme nordique doit déployer pour réduire au minimum son exposition.

En terminant, mentionnons qu'il convient de distinguer entre l'acclimatation de tout le corps ou d'une partie seulement (acclimatation locale). On a remarqué par exemple que certains individus pouvaient travailler de longs moments les mains nues dans l'eau glacée. Or, il est possible de s'acclimater assez facilement à cela, par exemple en s'exposant 1/2 heure chaque jour les mains dans l'eau glacée pendant quelques semaines. On remarquera alors une augmentation du débit sanguin dans les mains pendant l'immersion. Cela contrecarre l'un des mécanismes de protection contre le froid, soit la vasoconstriction périphérique, mais la déperdition de chaleur qui en résulte peut n'être pas très grave si elle est compensée par une activité métabolique accrue.

D- LES EFFETS PATHOLOGIQUES:

Exposition au froid:

4.1 Gelures:

Exposition au froid sous 0°C avec lésions tissulaires réversibles, ou permanentes.

4.1.1 Stades:

- 1^{er} degré: Hyperémie + oedème: congestion des tissus
- 2^e degré : hyperémie avec vésicules
- 3^e degré : nécrose de la peau + tissus cellulaires sous-cutanés
- 4^e degré : nécrose complète avec perte du membre

4.1.2 Gravité de la partie intéressée:- légère

tissus atteints

blanc jaunâtre
douloureuse
engourdie

- le réchauffement s'accompagne de:

- . sensation de brûlure
- . paresthésie
- . peau chaude et rougeâtre
- . oedème

- Retour à la normale en quelques minutes ou quelques heures. Pas de dommage permanent.

- Sévère:

Tissus atteints { Plus raide
Plus engourdie
Insensible au toucher

- Le réchauffement s'accompagne de:

soit { réactions hyperhémiques autour de
la zone gelée
Douleur, brûlement, paresthésie
Larges vésicules qui disparaissent
en 2-3 semaines (peau rose, mince)

soit { Gangrène imminente:
Persistance de peau dure, insensible
sans oedème Vésicules hémorragi-
ques. Cyanose persistante, entourant
zone chaude, douloureuse. Escares noires
plus dure desquamation, ulcération
profonde.

4.2 \ Pied d'immersion ou de tranchée:

- Lors d'exploration océanographique, travaux sous marins.
- Lors d'un séjour prolongé par un froid au-dessous de 0°C avec immobilité relative en position déclive dans l'humidité ou dans l'eau.
- Aspect clinique: Oédème, fourmillement, douleur importante. Vésicules et nécrose de la peau. Ulcération.

4.3 Hypothermie:

Refroidissement général du corps et du cerveau.
 Vasodilatation suite à vasoconstriction dépassée:
 Fatigue généralisée → perte de chaleur accentuée
 par sédatifs et alcool.

Survie	H_2O à 0°C	1 heure	voir tableau II
	H_2O à 15°C	6 heures	

4.4 Anomalies vasculaires:

Conditions pathologiques aggravées par le froid

4.4.1 Engélure (Pernio-chilblain)

A la suite d'une exposition prolongée à un froid humide (voir congélation)

Oédème + vésicule au pied

Rx: pied élevé

4.4.2 Maladie de Raynaud

4.4.3 Accrocyanose

4.4.4 Thrombo angéite oblitérante

4.5 Urticaire du au froid:

- Apparaît brusquement chez les adultes
- Breuvages froids → urticaire cavité buccale et lèvre

4.6 Syncope:

Réaction systématique au froid. Chez baigneurs en eau froide, quelques morts rapportés. Céphalée baisse de T.A., syncope.

4.7 Aggravation de symptômes angineux:

Augmentation de la demande O_2 au myocarde.

Tableau

TABLE DE TEMPERATURE RELATIVE SELON LA VITESSE DU VENT

Température au thermomètre °F

VITESSE
DU
VENT
mille/
heure

	50	40	30	20	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60
CALME	Température équivalente °F											
	50	40	30	20	10	0	-10	-20	-30	-40	-50	-60
5	48	37	27	16	6	-5	-15	-26	-36	-47	-57	-68
10	40	28	16	4	-9	-24	-33	-46	-58	-70	-83	-98
15	36	22	9	-5	-18	-32	-45	-58	-72	-85	-99	-112
20	32	18	4	-10	-25	-39	-53	-67	-82	-96	-110	-124
25	30	16	0	-15	-29	-44	-59	-74	-88	-104	-118	-133
30	28	13	-2	-18	-33	-48	-63	-79	-94	-108	-125	-140
35	27	11	-4	-20	-35	-51	-67	-82	-98	-113	-129	-145
40	26	10	-6	-21	-37	-53	-69	-85	-100	-116	-132	-148

Peu de danger quand
bien vêtu

Danger de gel
des tissus
exposés

GRAND DANGER

d'hypothermie

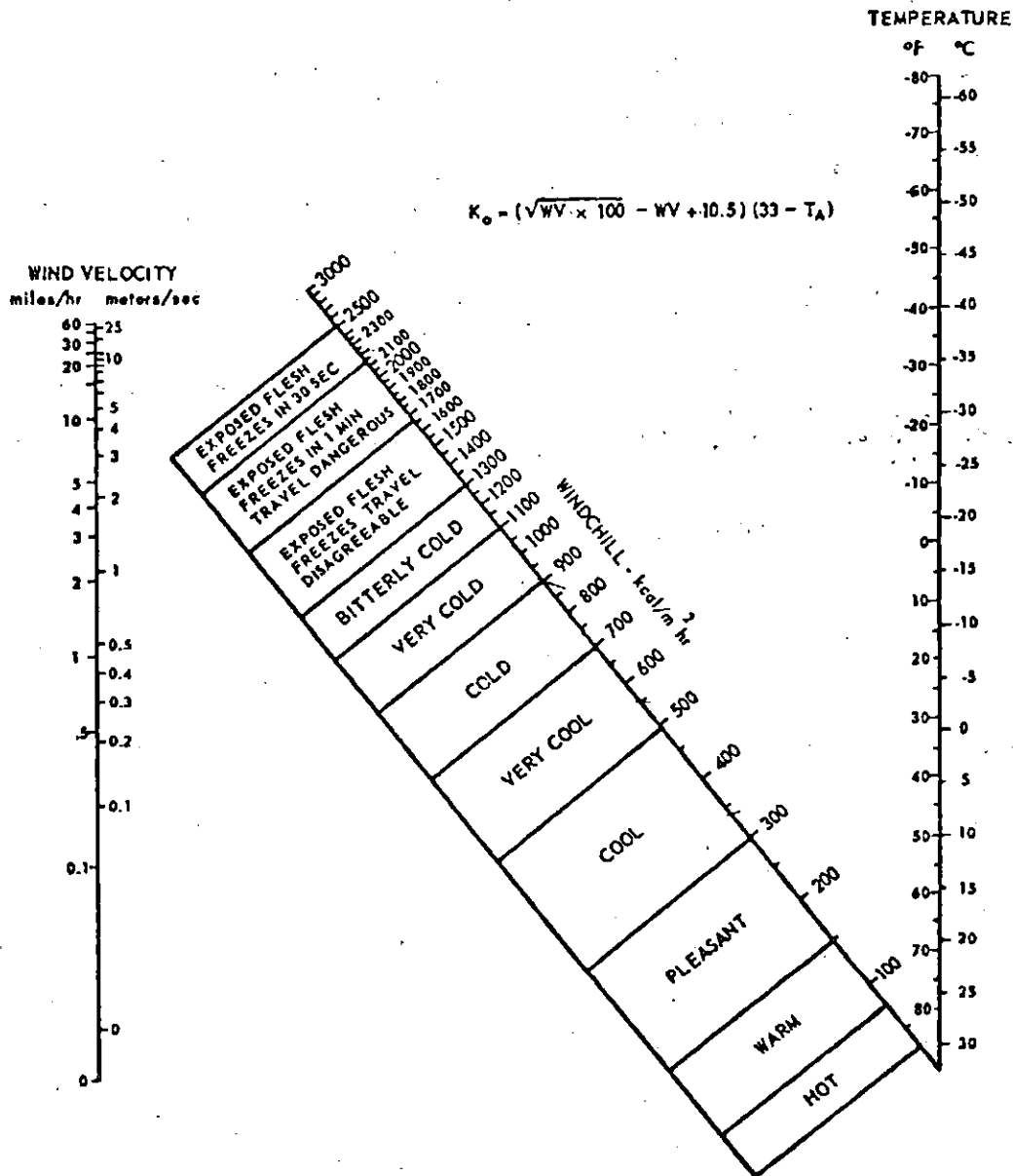
TABLE 31-2.
Equivalent Temperatures on Exposed Flesh at Varying Wind Velocities†

		Wind velocity, mph								
		0	1	2	3	5	10	15	20	25
Temperature, °F	23 30	47.5	53.5	57	60	65	67	68	69.5	
	-11 6	20	34.5	39	44.5	52	55	57	59	
	-27	0	11	18.5	28	38	42.5	45	47	
	-38	-23.5	- 9	0	11	25	30.5	34	36	
	-40*	-40*	-40	-16.5	- 5	11	18	23	25	
			-40*	-40	-19	- 2	6	11	14	
				-40*	-35	-15	- 6	0	3	
					-40	-29	-18	-12	- 8	
					-40*	-40	-30	-23	-18	
						-40*	-40	-35	-30	
						-40*	-40*	-40*		

†Adapted from Consolazio, Johnson and Pecora, *Physiologic Measurements of Metabolic Functions in Man*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1963.

*Less than value.

Wind-Chill Nomograph²³



NOTE:

The windchill index does not account for physiological adaptations or adjustments and should not be used in a rigorous manner. It is based on field measurements during World War II of the rate of cooling of a container of water.

²³J. F. Parker and V. R. West (eds.), *Bioastronautics Data Book*, 2d ed., National Aeronautics and Space Administration, 1973.

IMMERSION DANS L'EAU

Espérance de vie

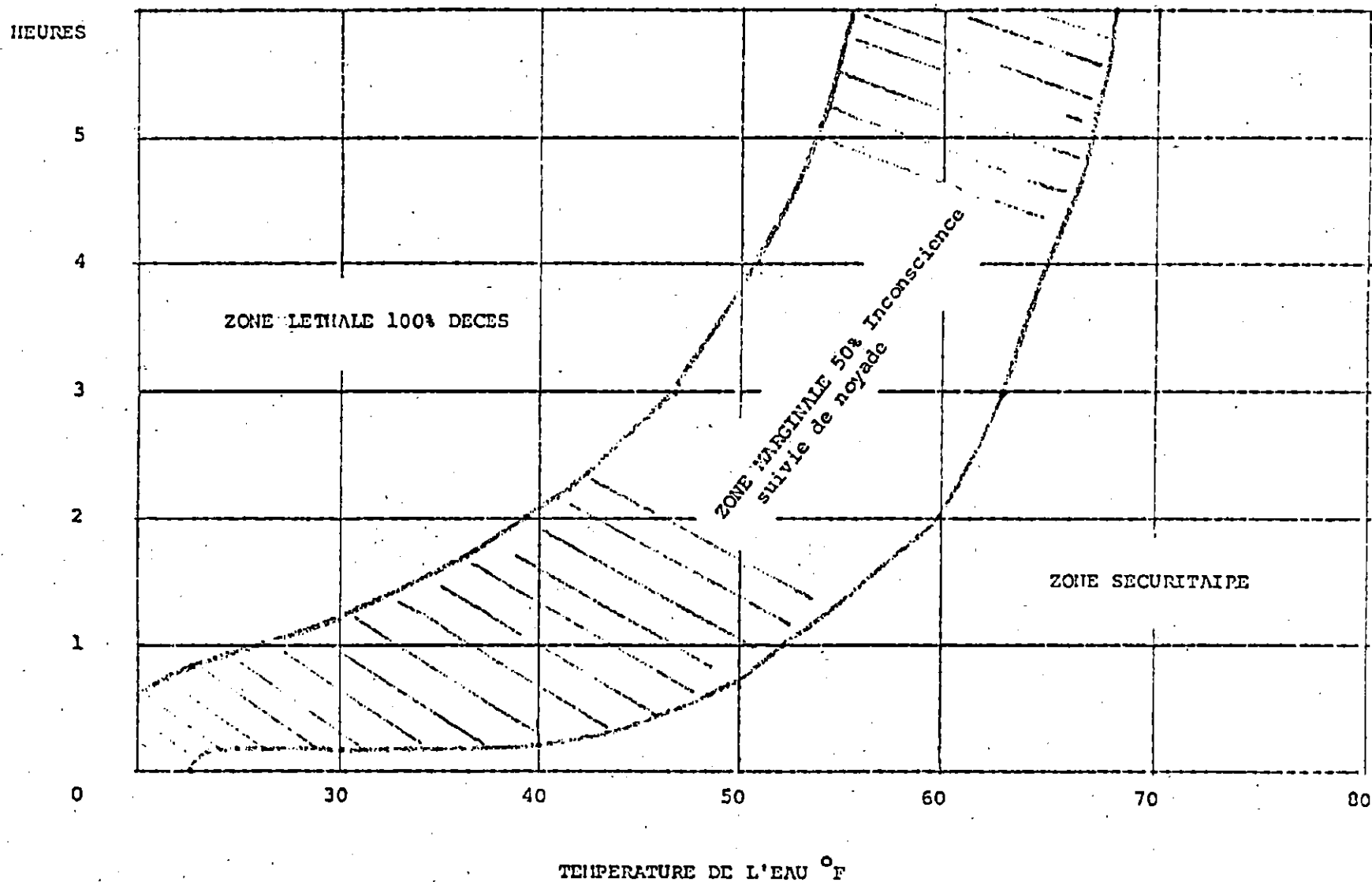


Tableau II

EXPOSITION À LA CHALEUR:

- Troubles liés à une mise en jeu excessive de la thermorégulation
 - troubles circulatoires - syncope
 - modification du milieu intérieur: déshydratation, oedème, crampes.
- Troubles liés à une insuffisance de la thermorégulation:
 - augmentation forte de la température centrale
 - coup de chaleur.

Tableau:

Classification des maladies causées par la chaleur (à l'exclusion des brûlures (940-949) de l'hyperthermie consécutive à une anesthésie (9958) et des maladies des glandes sudoripares dues à la chaleur (705)).

Code C-I-M*	Terme clinique	Étiologie
992,0	Coup de chaleur et coup de soleil insolation	Échec des mécanismes de régulation thermique
-	Hyperthermie	
992,1	syncope due à la chaleur	Hypotension orthostatique
992,2	Crampes dues à la chaleur	Déséquilibre en sel et en eau
992,3	Épuisement dû à la chaleur et à la perte hydrique	
992,4	Épuisement dû à la chaleur et à la perte saline	
992,5	Épuisement dû à la chaleur, sans précision	
992,6	Fatigue transitoire due à la chaleur	Désordre "behavioral"
992,7	Oedème dû à la chaleur	
	Fatigue chronique due à la chaleur	

C-I-M* Classification internationale des maladies. De plus amples informations sont incluses en annexe.

E) LA LÉGISLATION:

Au Québec, l'exposition au froid et à la chaleur est règlementée dans le règlement sur la qualité du milieu de travail aux articles 30, 37, 38, 39 et 40 de même que par les annexes C et D. Ces normes proviennent des TLV publiées par l'ACGIH en 1979.

La température minimale que tout établissement doit maintenir à tout poste de travail fixe situé à l'intérieur d'un bâtiment protège contre l'inconfort occasionné par le froid, sans considérer l'effet de l'humidité, ni celui du vent. Les travailleurs exposés aux conditions atmosphériques tels les travailleurs forestiers ne sont pas protégés par cet article.

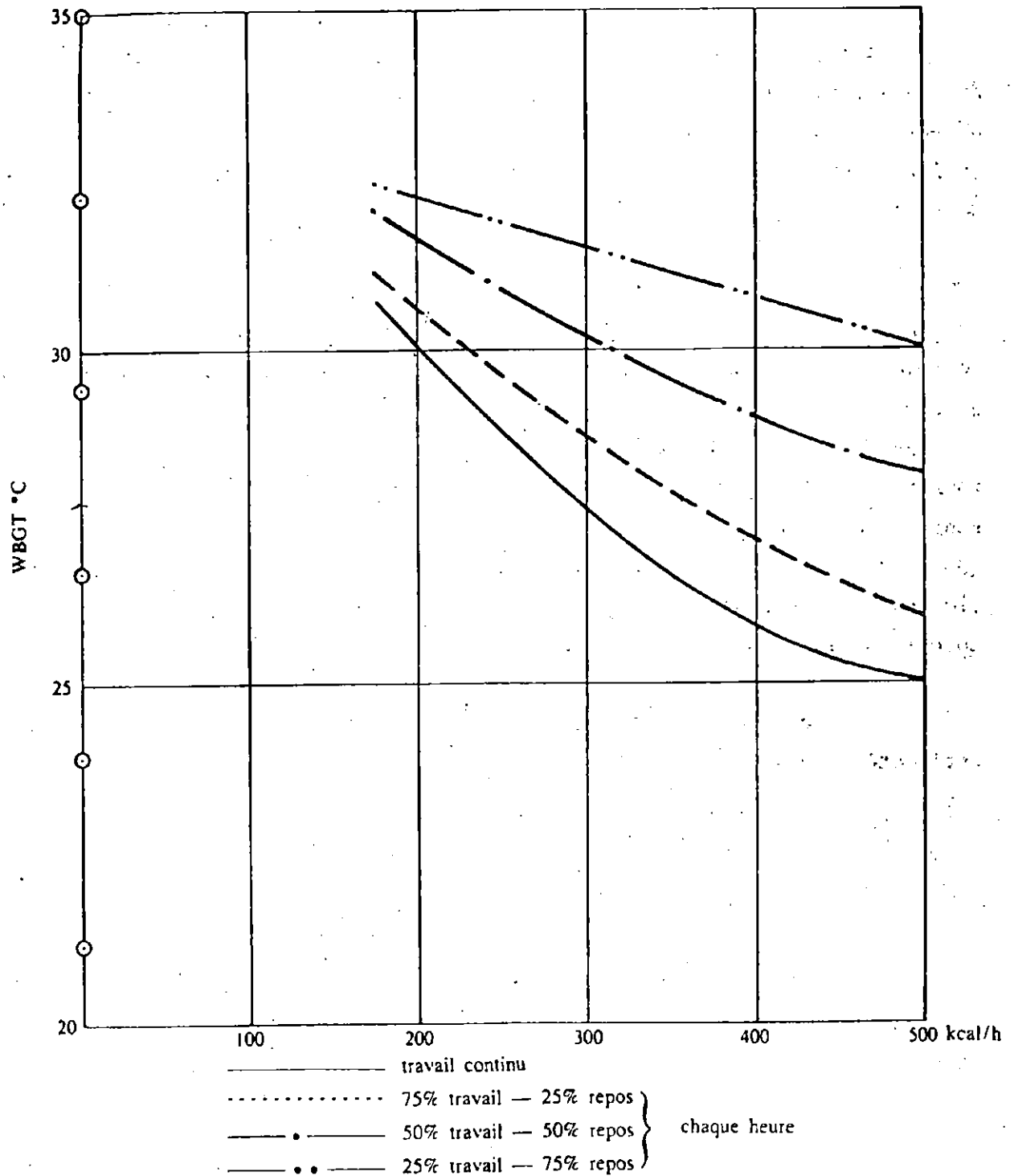
Concernant l'exposition à la chaleur, les valeurs limites que l'on retrouve aux tableaux I et à la figure I s'appliquent aux conditions de contrainte thermique dans lesquelles on pense que la quasi-totalité des travailleurs peuvent être exposés jour après jour sans subir d'effet nocif. Les valeurs limites du tableau I et figure I ont été adoptées en partant de l'hypothèse que la quasi-totalité des travailleurs acclimatés, entièrement vêtus et recevant un apport suffisant d'eau et de sel devraient pouvoir exercer efficacement leurs fonctions sans que leur température profonde dépasse 38°C. Il en est de même que pour les valeurs limites modifiées apparaissant au tableau II, si les travailleurs visés reçoivent un apport suffisant d'eau et de sel.

L'indice WBGT s'applique pour de jeunes sujets mâles, en bonne santé et acclimatés. (BIT).

Régime d'alternance travail/repos	Charge de travail		
	travail léger	travail moyen	travail lourd
Travail continu	30.0	26.7	25.0
Travail 75%, repos 25% (toutes les heures)	30.6	28.0	25.9
Travail 50%, repos 50% (toutes les heures)	31.4	29.4	27.9
Travail 25%, repos 75% (toutes les heures)	32.2	31.1	30.0

Fig. 5

VALEURS LIMITÉES D'EXPOSITION À LA
CHALEUR



Exercice pratique:

Exemples de calcul de la norme:

Données:

Industrie "X". Préposés à la coulée du métal. Travail cyclique.

10 coulées/jour	Pendant la coulée	Aire de repos
T° globe	54° C	20° C
T° humide	31° C	15° C
T° sec	40° C	20° C
Durée:	25 min.	35 min.

Charge de travail. Les préposés doivent ouvrir la poche de la coulée (en glaise) à l'aide de pics et de barres de fer. Durée de l'opération 3 à 5 minutes. Pendant la coulée, ils doivent surveiller la couleur du métal fondu pour s'assurer qu'il ne passe pas de scorie. Durée: environ 5 minutes. Ensuite, ils doivent reboucher la poche de coulée avec une boulette de glaise au bout d'une tige de 12'. Ceci dure environ 2 minutes. Ensuite, ils répètent l'opération par une autre poche de coulée (chaque cycle comprend 2 poches de coulée).

Calculez le WBGT. Y a-t-il surexposition ici ?

F) LA MESURE DE LA CONTRAINTE THERMIQUE

Les instruments de mesures

Les quatre principaux facteurs environnementaux qui conditionnent les échanges thermiques entre l'homme et le milieu sont la température de l'air, l'humidité, la vitesse de l'air et les radiations thermiques. Les instruments utilisés pour quantifier ces facteurs sont énumérés dans les lignes qui suivent. Les livres "Patty's" et "The Industrial Environment - its Evaluation & Control" de NIOSH décrivent le fonctionnement et les particularités d'utilisation de ces divers instruments. Nous vous invitons à y référer pour obtenir de plus amples informations.

1) Les thermomètres

1.1) pour mesurer la température de l'air: thermomètres:

- à solution contenu dans du verre (ex: thermomètre classique au mercure)
- bimétallique
- à thermocouples
- à "thermistors".

La chaleur radiante influence la lecture de ce type de thermomètres.

1.2) pour mesurer la chaleur radiante:

- le thermomètre à globe indique la température due à l'air sec environnant et à la radiation, c'est un thermomètre ordinaire (mercure en général) muni d'un globe noir mat absorbant le mieux possible la chaleur de radiation et la chaleur par convection.

1.3) pour mesurer le degré d'humidité:

Ces thermomètres sont basés sur les principes suivants:

- l'eau en s'évaporant requiert de l'énergie qui est prise en refroidissant la surface en contact avec cette eau. On utilise des thermomètres ordinaires recouverts d'une mèche de coton humidifié. L'eau en s'évaporant refroidie le thermomètre et donne une indication du taux d'humidité.
- le WB indique la température humide de la pièce. Il tient compte de l'humidité et de la vitesse de l'air qui vont influencer le taux de transpiration.
- le psychromètre indique le degré d'humidité dans l'air. L'air est forcé autour du thermomètre humide avec une vitesse prédéterminée. En comparant la température sèche à la température humide, on peut déduire à l'aide d'une charte le taux d'humidité présent à l'endroit où s'effectue la mesure.

On peut aussi mesurer le taux d'humidité à l'aide d'hygromètres organiques et "dew point". L'hygromètre organique est constitué d'un matériau organique qui change de dimension en fonction du degré d'humidité relative.

2) La mesure de la vitesse de l'air

Pour fins de calcul de contraintes thermiques, on utilise des appareils aptes à calculer de faibles vitesses et non directionnels. On utilise en général:

- l'anémomètre à thermocouple
- le "Hot-Wire anémomètre" ou thermomètre à résistance
- le Heated Bulb Thermometer Anemometer

On utilise aussi des appareils électroniques qui intègrent plusieurs fonctions et donnent une lecture directe comme l'indice WBGT.

Les indices de contrainte thermique

Différentes mesures ou indices sont utilisés pour décrire la contrainte thermique à un endroit donné. Les plus utilisés sont présentés dans le tableau suivant*:

Famille d'indices	Indices	Auteurs/ Contributions ultérieures Références
Indices empiriques basés sur l'équivalence de sensation de confort ou de contrainte	Température effective	Houghton, Yaglou (1923) Bedford (1946) Smith (1955)
Indices rationnels basés sur des modèles physiologiques ou psychophysiologiques de l'homme	Heat Stress Index	Belding, Hatch (1955) Belding (1960) Hatch (1962) Mc Kams, Brief (1966)
	Index de thermal Stress et Sudation requise	Givoni (1963) Metz, Vogt (1967)
	Temp. opérative humide	Nishi, Gagge (1971)
	Nouvelle température effective ET* et modèles de thermorégulation	Gagge, Stolwijk, Nishi (1971)
Indices empiriques basés sur l'équivalence de réactions physiologiques	Indices de confort P.M.V. et P.P.D.	Fanger (1972)
	Predicted Four Hour Sweat Rate (P4SR)	Mc Ardle (1947)
	Index of Physiological Effect (Ep)	Robinson (1945)

Tableau 8: Principaux indices de contrainte thermique basés sur la mesure des grandeurs fondamentales.

Indices	Auteurs(s)
Température de bulbe humide et de globe noir Wet Bulb Globe Temperature (W.B.G.T.)	Yaglou, Minard (1957) Autres références
Température de globe noir humide Wet Globe Temperature (W.G.T.) ou Botsball Temperature	Botsford (1971)
Wind Chill Index (W.C.I.)	Siple (1945)

Tableau 9: Principaux indices basés sur la mesure des grandeurs dérivées

* Tiré du texte de Aubertin.

Une étude réalisée en laboratoire* voulait démontrer la validité des différents indices dans un environnement très humide. Des corrélations entre les onze indices physiques et plusieurs indices physiologiques ont été établies. Les deux tableaux suivants reproduisent les résultats de l'étude.

Table 1
Correlation Coefficients of Heat Stress Versus Strain Indices

HEAT STRESS INDICES	HEAT STRAIN INDICES			
	Heart Rate (HR)	Incremental Rectal Temp. (ΔT_r)	Mean Skin Temp. (T_{sk})	Sweat Loss (SL)
RI	0.85	0.69	0.70	0.83
RS	0.78	0.72	0.73	0.84
P ₄ SR	0.74	0.62	0.66	0.78
HSI _{BH&BC}	0.72	0.68	0.60	0.75
HSI _{CP}	0.71	0.65	0.84	0.72
HSI _{BH}	0.69	0.65	0.54	0.72
ET	0.64	0.85	0.86	0.70
CET	0.62	0.64	0.86	0.69
WGT	0.61	0.65	0.87	0.67
WBGT	0.59	0.61	0.86	0.67
OT	0.41	0.45	0.72	0.51

RI	— Reference Index
RS	— Relative Strain Index
WBGT	— Wet Bulb Globe Temperature Index
WGT	— Wet Globe Temperature Index
ET	— Effective Temperature Index
HSI _{BH}	— Heat Stress Index of Belding & Hatch
CET	— Corrected Effective Temperature Index
HSI _{BH&BC}	— Heat Stress Index (Revised)
P ₄ SR	— Predicted Four-Hour Sweat Rate Index
HSI _{CP}	— Heat Stress Index C. Pulket
OT	— Operative Temperature Index

* Tiré du texte NIOSH Proceedings.

Table 2
Multiple Correlation Coefficient of Stress and Strain Indices

Incremental Heat Stress Indices	INCREMENTAL HEAT STRAIN INDICES						R ^a	CL ^b
	ΔHR	ΔT_r	ΔT_{sk}	ΔVO_2	ΔSL	ΔE		
RS	X			X	X		.88	.82
RI	X		X	X		X	.85	.78
HSI _{BH&BC}	X			X		X	.82	.73
HSI _{HH}	X			X		X	.81	.71
CET	X					X	.80	.69
WGT	X			X	X		.79	.68
P ₄ SR	X			X	X		.79	.69
ET	X		X				.75	.62
HSI _{CP}	X				X		.75	.60
WBGT	X		X				.73	.59
OT		X			X		.59	.39

^a R is multiple correlation coefficient calculated using independent variables indicated.

^b CL — The lower 5% confidence level.

Cette étude laisse voir que l'indice WBGT n'est pas le meilleur indice pour quantifier la contrainte thermique dans un environnement très humide et chaud.

La justification principale de l'utilisation largement répandue de l'indice WBGT est sa "simplicité" d'utilisation. C'est pourquoi l'utilisation d'indice physiologique offre une bonne complémentarité à ces indices physiques.

L'indice P₄SR peut être utilisé pour des personnes non acclimatées alors que l'indice WBGT n'est conçu que pour protéger les travailleurs acclimatés.

EXEMPLES DE MESURES (INDICES) DE STRESS THERMIQUES

1- HSI (Health stress index) de Belding et Hatch.

Date des années "50". A été révisé en 1966 par McKearn et Brief. Cet index est basé sur l'assomption que:

$$- E_{req} = M + R + C$$

où: E_{req} = évaporation de sueur requise

M, R, C = taux métabolique, chaleur radiante et convection respectivement.

L'indice consiste à calculer le ratio:

$$HSI = 100 \times \frac{E_{req}}{E_{max}}$$

où: E_{max} = la capacité d'évaporation maximale que permettent les conditions ambiantes.

Si le $HSI > 100$, la température interne augmente, sinon le corps n'a pas dépassé ses limites de thermorégulation.

Cet index a l'avantage de tenir compte directement du principal paramètre physiologique dont dépend la capacité de refroidissement du corps, à savoir la sudation.

Un autre avantage c'est qu'à partir des données requises pour le calcul de l'index, on peut beaucoup plus facilement mettre le doigt sur la cause du problème et ainsi amorcer des tentatives de solution.

2- "Effective temperature" (ET) et "corrected effective temperature" (CET)

Cet indice a été l'un des ancêtres de nos multiples indices actuels. Il est basé sur des expériences empiriques. Cet indice permet de comparer directement diverses situations où on a des différences au niveau de la température sèche, humide et de la vitesse de l'air en donnant leur équivalence au niveau d'une situation de référence à savoir 100% d'humidité relative et calme plat dans l'air. L'équivalence a été établie grâce à des expériences subjectives sur un groupe de sujets à partir desquels des nomogrammes ont pu être établis.

L'index "CET" lui a été corrigé pour la chaleur radiante.

Exemple de l'utilisation de l'indice "ET":

Si on a les deux situations suivantes:

	A	B
Température sèche:	84° F	90° F
Température humide:	70° F	68° F
Vitesse de l'air:	700 ppm	1000 ppm

et qu'on veuille les comparer l'une à l'autre, on calcule à partir des nomogrammes leur température équivalente comparée à une situation où on aurait 100% d'humidité et calme plat. Ceci donnerait:

ET

Pour A: 71° F

Pour B: 73° F

On peut donc rapidement évaluer que B est plus inconfortable que A.

L'évaluation de la charge de travail

On doit évaluer la charge de travail pour quantifier le taux métabolique (M) dans l'équation du bilan thermique. Il existe différentes façons d'évaluer la charge de travail, par exemple: on peut évaluer la fréquence cardiaque, la dépense aérobie ou procéder par l'intermédiaire de tableaux donnant des quantités préétablies de calories associées à des tâches préétablies. Les indices physiologiques répondent aussi à d'autres aspects du travail tels la chaleur et on ne peut pas en déduire directement la dépense énergétique reliée à l'activité physique seulement. C'est pourquoi on utilise couramment les tableaux de dépenses énergétiques.

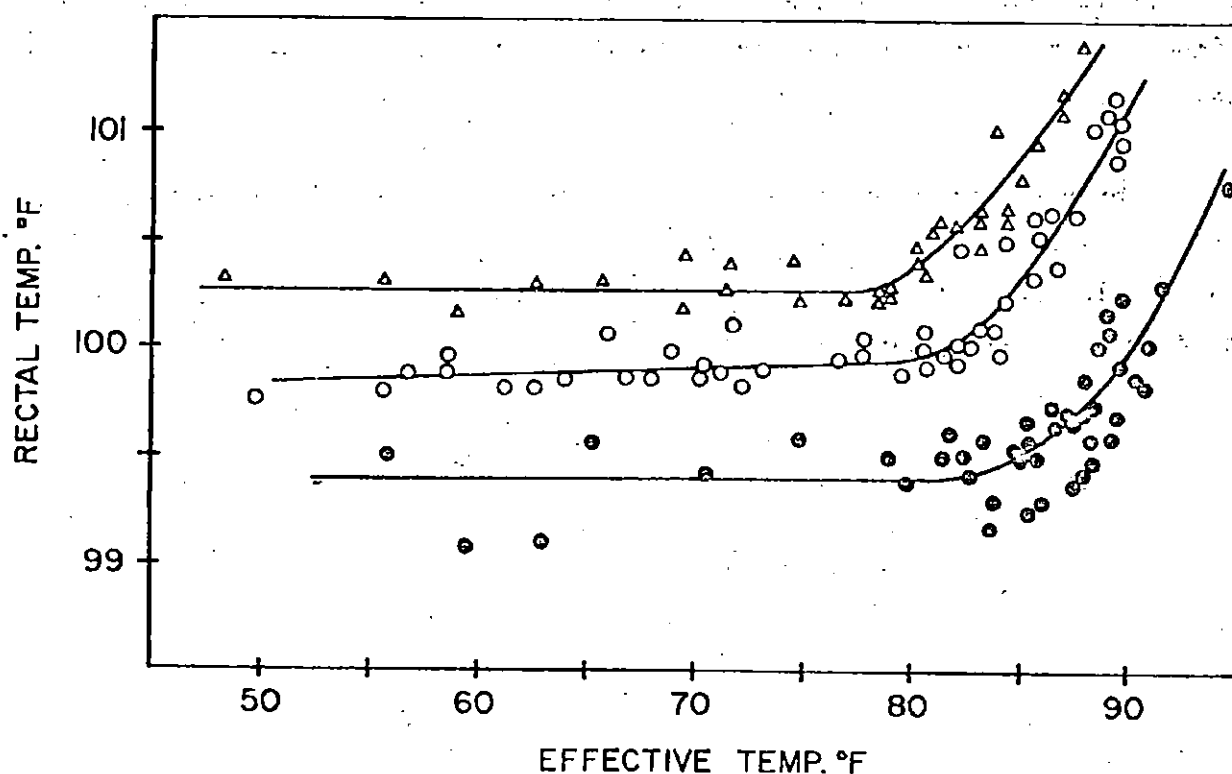
La norme contenue dans le règlement sur la qualité du milieu de travail est conçue pour protéger contre une élévation de la température interne du corps. Elle considère donc la dépense énergétique reliée au travail dynamique principalement en négligeant la contrainte additionnelle pour le système sanguin qu'apporte le travail statique. On retrouve en annexe certaines caractéristiques associées aux postures de travail.

Nous reverrons plus en détail dans une autre session l'évaluation de la charge de travail. Le règlement sur la qualité du milieu de travail fournit un tableau d'évaluation subjective de la charge de travail auquel nous vous référons d'ici à ce que nous approfondissions cet aspect.

G- SURVEILLANCE BIOLOGIQUE ET MESURES ENVIRONNEMENTALES DE STRESS THERMIQUE.

Les normes appliquées aux travailleurs en ambiance chaude ont pour but de prévenir avant tout les effets pathologiques à court terme (coup de chaleur, syncope, etc...).

Or, il existe beaucoup de différences d'un travailleur à l'autre dans sa capacité à résister au stress thermique. D'un autre côté, dès que les limites des mécanismes de thermorégulation sont atteintes, l'organisme peut passer très rapidement en état de crise, comme le démontre le graphique ci-dessous:



Lind, A. R.: Tolerable limits for prolonged and intermittent exposures to heat in Hardy, J. D. (ed): Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry. New York, Reinhold, 1963, vol. 3, p. 337.

Figure 31-11. Levels of Rectal Temperature during Continuous Work at 100 Kcal/m²/hr (●), 167 Kcal/m²/hr (○) or 233 Kcal/m²/hr (▲). At each rate of work there is a wide range of conditions in which the level of rectal temperature equilibrium is constant or nearly constant.

Dans ce graphique, on voit que la température interne ne dépassera pas 38°C (100,4°F) malgré une grande variété d'activités métaboliques et de conditions climatiques. C'est donc dire que jusque dans une certaine limite les mécanismes de thermorégulation compensent assez bien. Mais dès qu'on dépasse cette limite, la température interne augmente abruptement. C'est donc dire que la zone de démarcation entre les conditions très dangereuses et celles qui sont inoffensives est très mince et ténue.

- Quand on connaît les énormes variations dans les conditions ambiantes susceptibles de se retrouver dans le milieu industriel (qu'on pense seulement aux variations hiver-été)

- Quand on connaît la difficulté à quantifier avec précision la charge de travail

- Quand on connaît la complexité des variations dans le rythme de travail dans la plupart des tâches industrielles (lesquelles rendent le calcul des valeurs moyennes non significatives ou presque)

Quand on connaît tout cela et ^{qu'on} regarde le graphique ci-haut, il y a de quoi rendre n'importe lequel hygiéniste mal à l'aise face à ses mesures. Mal à l'aise parce qu'il sait que s'il sous-estime les indices de stress thermique de quelques degrés celcius ou de quelques dizaines de kilocalories par heure la charge de travail, certains travailleurs pourront subir des coups de chaleur. Mal à l'aise aussi parce qu'il n'a aucun moyen de vérifier qui est acclimaté et qui ne l'est pas parmi l'ensemble des travailleurs exposés.

Aucun moyen, sauf la surveillance des paramètres biologiques les plus sensibles à l'action de la chaleur comme par exemple: le rythme cardiaque ou le débit sudoral. Cette surveillance biologique pourra en même temps l'aider à valider ses mesures, notamment au niveau de l'évaluation de la charge de travail.

Donc, pour la mesure de ce contaminant, plus peut-être que pour tout autre, l'hygiéniste doit travailler en étroite collaboration avec l'équipe médicale. Ce n'est donc pas par hasard si les infirmières et les médecins ont été invités à cette session, car il est très important que tous comprennent la complémentarité de leur approche face au stress thermique.

Nous n'avons pas parlé du froid jusqu'ici. C'est que malheureusement l'étude des paramètres physiologiques sensibles au froid n'a pas été poussée jusqu'ici, exception faite de la température interne. Mais il serait très indiqué que, dans notre région particulièrement, on développe des mécanismes de surveillance biologique des travailleurs exposés au froid. Ce serait là un bon projet de recherche en collaboration avec l'Université du Québec à Rouyn.

H) LES MOYENS DE PROTECTION ET DE CONTROLE

1) La protection contre la chaleur (texte tiré de la revue Prévention de mai 1983)

a) Les écrans

Les écrans comme protection contre la chaleur sont applicables aux endroits où la radiation est importante seulement. En effet, une surface réfléchissante à la chaleur, au même titre que les vêtements aluminés, réduira la chaleur par radiation au travailleur, ceux-ci sont plus efficaces que les vêtements de protection parce que le corps peut transpirer plus facilement et qu'ils créent une zone de chaleur moins intense autour du travailleur. On peut aussi avoir des écrans absorbants où la chaleur est absorbée par l'écran d'un côté et où la chaleur n'est pas renvoyée vers le travailleur soit à l'aide d'une surface peu émissive soit en refroidissant l'écran. Les écrans peuvent être transparents à la lumière mais absorber l'infrarouge et réduire la radiation: le verre a cette propriété.

b) L'émissivité des corps chauds

Comme on l'a vu, la radiation entre un corps chaud et un corps froid dépend de la température relative de deux corps. On peut réduire la capacité d'un corps chaud d'émettre de la chaleur en traitant sa surface avec une peinture aluminée, par exemple, ou en le recouvrant d'une feuille d'aluminium. Par exemple, un grille-pain a toujours une surface chromée qui émet difficilement de la chaleur; c'est pourquoi on peut le laisser près de nous sans qu'il nous transmette trop de chaleur. On peut aussi baisser la température de cette surface en isolant le procédé avec un isolant thermique (laine minérale ou autre).

c) La ventilation

Dans les cas où la radiation est en cause, la ventilation ne réduit en rien

l'apport de chaleur au corps humain. Pour tous les autres facteurs mentionnés, elle a un effet.

— L'humidité

La ventilation facilitera l'évaporation de la sueur; même si l'air est relativement chaud, il peut être plus confortable d'être dans un courant d'air chaud si celui-ci est assez sec. On peut penser à l'utilisation d'un ventilateur portatif, dans ce cas. En effet, si l'humidité relative de l'air est trop élevée, on améliorera par la facilité avec laquelle la peau ou les vêtements peuvent se débarrasser de leur humidité. On pense à des opérations générant de la vapeur telle la cuisson d'aliments ou les buanderies ou l'utilisation de vapeur dans un procédé où il n'y a pas d'aspiration à la source. Dans ce cas, il faudra apporter de l'air plus sec de l'extérieur, par exemple.

— La convection et la conduction

Si l'air est assez frais, il y aura aussi échange par convection avec les surfaces plus chaudes de la peau. Par le même effet, on refroidira les vêtements en contact avec la peau et on améliorera les échanges par conduction. Comme nous l'avons déjà mentionné, ces deux processus d'échange sont moins importants que la température par temps très chaud.

— Comment amener de l'air frais

On peut utiliser une bouche d'air frais refroidissant directement le poste de travail ou utiliser des vitesses et des températures d'air assez fraîches, en autant que le travailleur puisse contrôler cet apport.

On peut aussi utiliser une ventilation générale où une circulation d'air frais se fait à l'intérieur du bâtiment pour renouveler l'air chaud et humide par de l'air plus frais. Dans des procédés industriels, l'air est rarement climatisé; on utilise habituellement de l'air de l'extérieur pour remplacer celui à l'intérieur du bâtiment.

On verra des systèmes à circulation naturelle où l'air chaud est évacué au toit parfois à l'aide de cheminées améliorant la tire et alimentées par des ouvertures aux murs. On verra aussi des systèmes à ventilation forcée où l'air est déplacé par des ventilateurs.

La température à laquelle l'air alimenté devrait se situer est de 21 à 24°C pour des vitesses ne dépassant pas 0.4 m/s, pour des températures aux environs de 27°C la vitesse peut dépasser 0.5 m/s. On estime qu'une température efficace de refroidissement se situe sous 27°C. À des températures plus hautes, ce qui arrive fréquemment en été, on peut augmenter la vitesse de l'air mais celle-ci atteint un seuil où même l'augmentation de la vitesse de l'air n'a plus d'importance. Il ne faut pas oublier que le corps humain étant à 37°C ne pourra être refroidi facilement par de l'air qui a, à peu près, la même température, même avec une forte transpiration.

Enfin, il existe sur le marché toute une série de moyens de protection individuelle pour se protéger de la chaleur.

TABLEAU INDIQUANT DES MESURES DE CONTRÔLE SPÉCIFIQUES AUX CONTRAINTES THERMIQUES

Composante de la contrainte thermique	Mesures de contrôle possibles
M chaleur due au métabolisme	Réduire la charge de travail par la mécanisation de la tâche ou la réduction du temps de travail.
R chaleur par radiation	Isoler le procédé; placer des écrans; fournir des vêtements réfléchissants.
C _v chaleur par convection	Si la température est au-dessus de 35°C, réduire la température de l'air; réduire la vitesse de l'air en contact avec la peau; porter des vêtements isolants.
E transpiration maximum	Baisser l'humidité de l'air; augmenter la vitesse de l'air.
RC _v et E maximum	Vêtements refroidis.
Durée et fréquence d'exposition	Réduire la période d'exposition; ou mettre des périodes de repos plus fréquentes et plus courtes.
Nouveaux travailleurs	Vérifier leur état de santé; prévoir une acclimatation convenable.

2) La protection contre le froid

Pour se protéger contre le froid, on peut appliquer entre autres une ou plusieurs des techniques suivantes:

- isoler la bâtisse ou le véhicule
- chauffer l'air ambiant
- couper le vent
- réduire le taux d'humidité
- chauffer le plancher ou installer une plaque chauffante pour les pieds
- réduire le temps d'exposition au froid par des procédures administratives
- utiliser des vêtements appropriés (voir en annexe).

Une croyance populaire propage l'idée que prendre un petit verre d'alcool aide à se réchauffer. Certaines considérations théoriques (basées sur des études effectuées en ambiance thermique neutre) contredisent cette croyance en stipulant que la consommation d'alcool crée une dilatation des vaisseaux sanguins périphériques, ce qui peut aggraver l'exposition au froid. "Anderson et al. reportent que la consommation modérée d'alcool ne détériore pas le bilan thermique durant l'exposition aux températures froides. Une étude en ambiance froide n'a pas démontrée de phénomène de vaso-dilatation suite à la consommation d'alcool probablement dû au fait que le stress thermique était beaucoup plus important que le stress dû à l'alcool. Il est à noter que les cas de mortalité par hypothermie sont fréquemment reportés chez les individus très intoxiqués à l'alcool et exposés au froid". (Patty, s, volume III).

I- AIDE MÉMOIRE ET FEUILLE DE MESURE.

TABLEAU I

Facteurs importants pour déterminer les relations exposition-effets.

Facteurs environnementaux

- température
- humidité
- vent
- radiation
- soleil
- poussière
- aérosols
- gaz
- fumées
- pression barométrique
- vêtements

Facteurs humains

- âge
- sexe
- forme physique
- état de santé
- acclimatation
- nutrition et hydratation
- motivation
- entraînement
- capacités physiques
- capacités mentales
- stabilité émotionnelle
- caractéristiques ethniques

Facteurs occupationnels

- complexité de la tâche
- durée de la tâche
- charge physique
- charge mentale
- charge sensori-motrice
- compétences requises

BIBLIOGRAPHIE

B.W. Olesen, Thermal Comfort, technical review no. 2, 1982, Bruël & Kjaer, 43 pages.

Georges D. Clayton et Florence E. Clayton, Patty's Industrial Hygiene and toxicology, 3ième édition, John Wiley & Sons, New York, 1978, chapitre 20, pages 927 à 992.

Per-Olof Astrand et Kaare Rodahl, Textbook of Work Physiology, 2ième édition, McGraw-Hill Book Company, 1977, chapitre 17, pages 523 à 576.

F.N. Dukes-Dobos et all, Proceedings of a NIOSH Workshop on Recommended Heat Stress Standards, NIOSH, Cincinnati, 1980, DHHS (NIOSH) Publication NO 81-108.

Règlement sur la qualité du milieu de travail, 21 septembre 1982.

Emes Jack J. et all, Mortality of Steelworkers employed in Hot Jobs, DHEW (NIOSH) Publication NO 77-219, 1977.

K.V. Kuhlemeier, J.M. Miller et F.N. Dukes-Dobos, Assessment of Deep Body Temperature of Workers in Hot Jobs, DHEW (NIOSH) Publication NO 77-110, 1977.

Brochures:

- Comment revêtir la sécurité en hiver
- Les contraintes thermiques, Michel Dubeau et Jean-Yves Charbonneau, séminaire organisé par l'A.H.I.Q., 1982.
- Chaleur, Université de Sherbrooke.
- Froid et Chaleur, Congrès scientifique "La santé au travail", 17 et 18 mars 1983, Fédération des Médecins Omnipraticiens du Québec.

A. Laville, Etude Ergonomique du Travail, Laboratoire de Physiologie du Travail, Paris, 1981.

Les effets biologiques du travail à la chaleur, mesures préventives et de surveillance médicale, Guy Roy, DSC Rouyn-Noranda.

The Industrial Environment - its Evaluation & Control, NIOSH, 1973, chapitres 30 et 31, pages 399 à 430.

Brouha, Lucien, Physiology in Industry, Evaluation of Industrial Stresses by the Physiological Reactions of the Worker, 2ième édition, Pergamon Press.

Aubertin, G., La contrainte thermique, Les risques et les méthodes d'évaluation, INRS, T.S.-1-2-83.

Guéland, Françoise et al., Pour une analyse des conditions du travail ouvrier dans l'entreprise, recherche du Laboratoire d'Economie et de Sociologie du Travail (LEST), Librairie Armand Colin, Paris, 1975.

Denys Dupont, Un autre sujet brûlant: la contrainte thermique, La modification du milieu de travail en vue de la protection contre la chaleur APPSST, revue: Prévention. mai 1983.

Lavenne, F., Browers, J., Heat acclimatisation, Occupational hygiene, health and safety encyclopedia, Intern. Labour Organization, Genève, 1983, volume I.

TLVS, Thershold Limit Values for Chemical Substances in Work Air adopted by ACGIH for 1982.

Wesley E. Woodson, Human Factors Design Handbook, Mc Graw-Hill Book Compagny, 1981.

Encyclopédie de médecine d'hygiène et de sécurité du travail, Bureau international du travail (BIT), 1983.

ANNEXES

LA VILLE

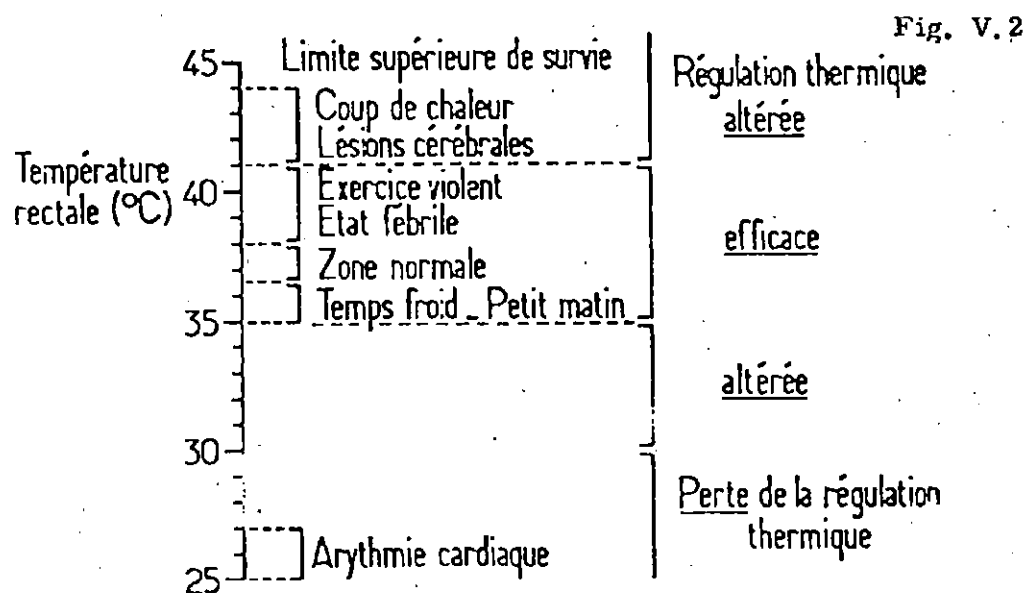
- Chez les homéothermes (l'homme en particulier) la température centrale du corps est à peu près constante :

- il existe des variations faibles de cette température centrale :
digestion - rythme nycthéméral - cycle menstruel chez la femme - activité musculaire;

- il existe des variations plus importantes (quelques degrés) :
fièvre - travail physique très intense.

- il existe des variations de plusieurs degrés de la température cutanée. (fig. V.1)

- L'homme dispose d'un système de thermorégulation qui lui permet de garder constante sa température centrale pour des productions de chaleur de son organisme et des conditions thermiques du milieu ambiant variables, entre certaines limites. (fig. V.2)



Limites de la régulation thermique d'après DU BOIS E. F.

c) par radiations :

Presque tous les corps émettent et absorbent de l'énergie sous forme de rayonnement électro-magnétique.

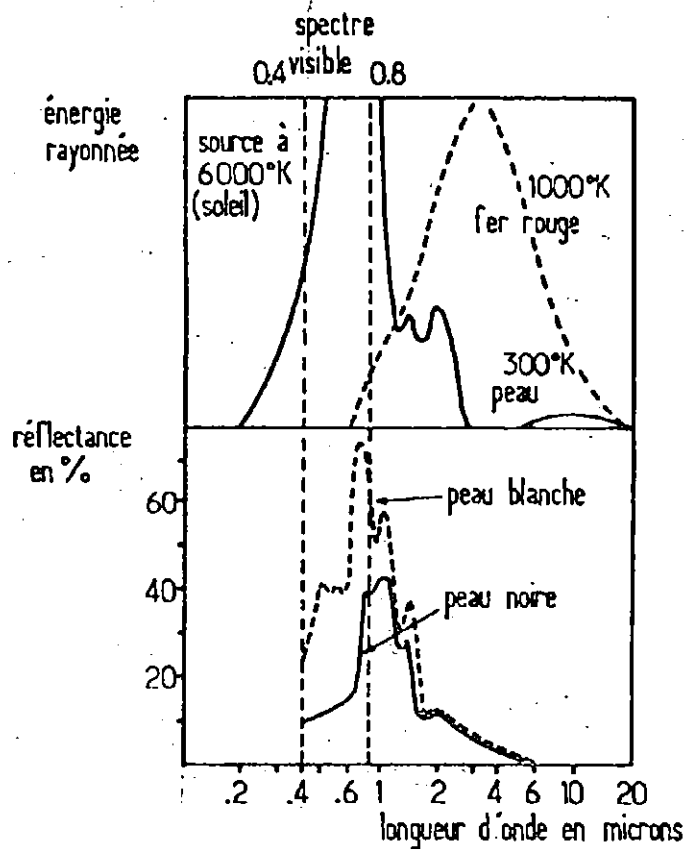
Deux corps en présence se comportent en sources et récepteurs : chacun d'eux absorbe une fraction de l'énergie par radiations émises par l'autre; cette fraction dépend de leur pouvoir respectif d'absorption, de la distance qui les sépare et des angles des surfaces des deux corps les uns par rapport aux autres.

V - 4

- corps noir : corps dont l'émissivité et l'absorption sont maximales
- corps réfléchissant : corps dont l'émissivité et l'absorption sont nulles.

La peau est proche d'un corps noir (absorbe 90 % des rayonnements émis par des sources de température inférieure à 100° C). (fig. V.3)

Fig. V.3



Courbes d'émission de sources de températures diverses et réflectance de la peau d'après ENDLER E. et coll.

- La longueur d'onde des radiations dépend de la température de la source
- Le pouvoir de pénétration dans la peau des radiations dépend de leur longueur d'onde (I.R. pénétrant; U.V. pénétrant peu).
- La quantité de rayonnement émise par un corps dépend de la puissance de sa température absolue.

Calcul des échanges par radiations pour le corps humain (formule approximative pour un Homme vêtu légèrement et pour une température de rayonnement de l'enceinte inférieure à 85° C).

V - 5

$$R = 4,4 (T_s - T_p) \text{ Kcal/h/m}^2$$

R : flux d'énergie transmis par rayonnement

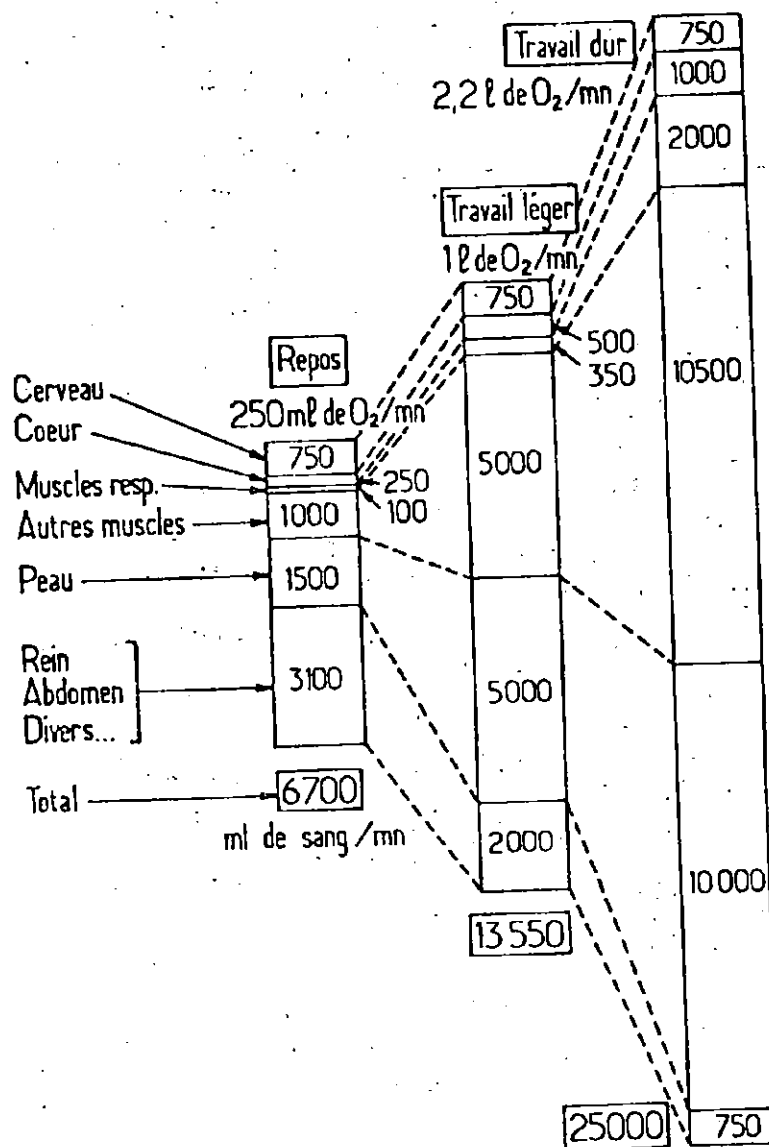
T_s : température en degré centigrade de rayonnement de l'enceinte.

T_p : température en degré centigrade de la peau.

- Les échanges par rayonnement sont souvent importants.

V - 8

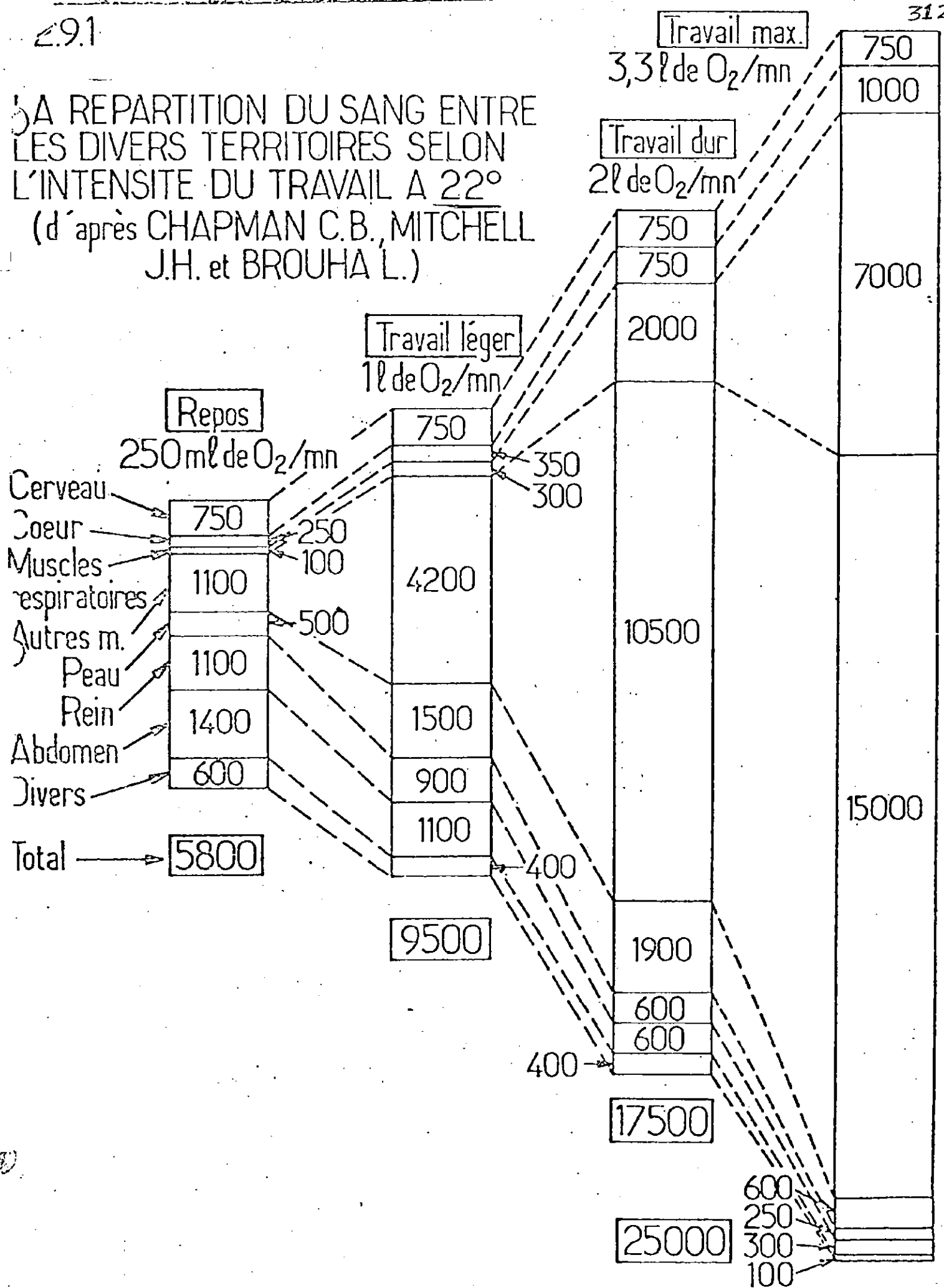
Fig. V.5



La répartition du sang entre les divers territoires selon l'intensité du travail à 38°C, d'après CHAPMAN C.B., MITCHELL J.H. et BROUHA L.)

LA REPARTITION DU SANG ENTRE LES DIVERS TERRITOIRES SELON L'INTENSITE DU TRAVAIL A 22°

(d'après CHAPMAN C.B., MITCHELL
J.H. et BROUHA L.)



LA CONTRAINTE THERMIQUE

LES RISQUES ET LES MÉTHODES D'ÉVALUATION

par G. Aubertin (I.N.R.S.)

1. LES RISQUES DUS A L'EXPOSITION A LA CHALEUR ET AU FROID

1.1. Population et secteurs concernés

Une enquête nationale sur les conditions de travail, réalisée en 1978 auprès de 20 000 salariés par le ministère du Travail et de la Participation en collaboration avec l'I.N.S.E.E., a fait apparaître les résultats suivants :

- 19,4 % de l'ensemble des salariés (29,1 % des ouvriers) font état de températures "toujours" ou "souvent" très élevées à leur poste de travail ;
- 15,4 % (23,2 % des ouvriers) font état de températures "toujours" ou "souvent" très basses ;
- 8,8 % (14,3 % des ouvriers) sont à la fois concernés par des températures souvent élevées et souvent basses ;
- 27,1 % (43,1 % des ouvriers) déclarent subir l'influence de courants d'air ;
- 13,7 % (23,7 % des ouvriers) sont concernés par des problèmes d'ambiance humide.

Ces quelques chiffres révèlent que la chaleur et le froid sont des facteurs contribuant fréquemment à la détérioration des conditions de travail. Parmi les principaux secteurs cités dans cette enquête, on peut noter : l'industrie des matériaux de construction et des minerais divers, l'industrie des minerais et métaux ferreux et la première transformation de l'acier, l'industrie du papier-carton, l'industrie alimentaire, l'industrie du bâtiment et du génie civil agricole, le commerce de gros alimentaire, l'industrie de la viande et du lait, les transports... Dans certains secteurs, jusqu'à 70 % des ouvriers déclarent être concernés par certains types de nuisances.

Les ambiances thermiques ont une influence indéniable sur l'état de santé de l'homme. Leurs effets peuvent de plus se manifester par un accroissement de la fréquence des accidents du travail et par une diminution du niveau de production.

1.2. Effets des ambiances thermiques sur la santé

Les effets pathologiques spécifiques dus à la chaleur et au froid sur la santé ont fait l'objet d'une étude syn-

thétique par Leithead et Lind (1964). Ces effets et leurs causes sont maintenant bien recensés (tableau 1).

La figure 1 met en évidence à titre d'exemple, l'augmentation du risque de coup de chaleur, en fonction de la température effective*.

* La température effective est la température d'une ambiance fictive, dans laquelle l'air serait immobile et saturé de vapeur d'eau, et qui créerait une sensation équivalente à l'ambiance où se trouve le sujet.

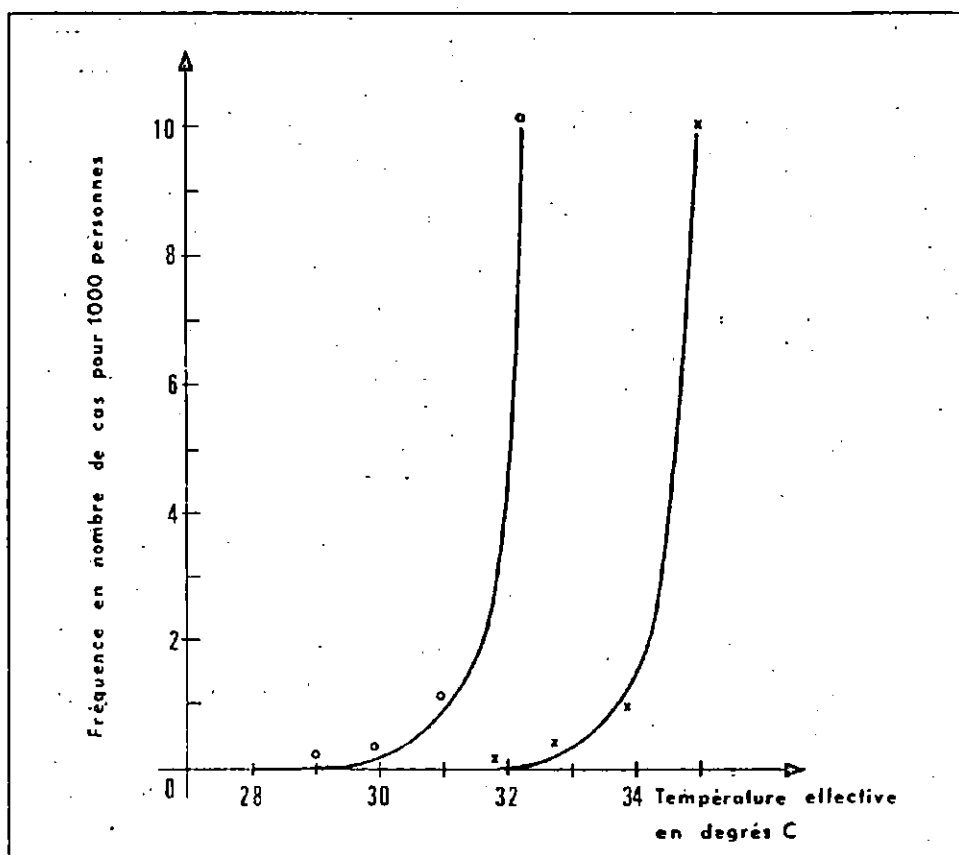


Figure 1 - Fréquence d'apparition de coups de chaleur (par 1 000 personnes) en fonction de la température effective. (o personnes non acclimatées à la chaleur, x personnes acclimatées à la chaleur). [Wyndham et Heyns 1975].

Effets pathologiques spécifiques Type d'exposition	Troubles consécutifs à la mise en jeu excessive de la thermorégulation	Accidents dus à une défaillance de la thermorégulation
Exposition à la chaleur	• Instabilité circulatoire: syncope à la chaleur. • Altération du milieu intérieur: - déshydratation, - déficit en sel: sensation de fatigue, vertiges, nausées accompagnées de crampes et parfois aussi de vomissements. • Affections cutanées.	• Hyperpyrexie: coup de chaleur.
Exposition au froid	• Engelures, erythrocyanose, pied de tranchée ou pied d'immersion, gelure de la peau ou de la cornée.	• Hypothermie généralisée.

Tableau 1. - Effets pathologiques spécifiques de la chaleur et du froid.

L'existence d'effets pathologiques non spécifiques des ambiances thermiques sur la santé est plus difficile à établir et, par conséquent, plus controversée. Le tableau 2 présente les principaux effets non spécifiques démontrés à des degrés divers, ou

seulement suspectés, survenant sur des terrains prédisposés et aggravés par la chaleur ou le froid. L'énoncé de ces effets potentiels ne doit être considéré que comme un moyen de faciliter une meilleure approche et une meilleure analyse des risques en milieu industriel.

Exposition à la chaleur	• Affections cardiovasculaires: hypertension artérielle ou infarctus du myocarde. • Affections vasculaires: hémorragie cérébrale ou du tube digestif. • Aggravation des manifestations fébriles de certaines affections, infectieuses en particulier. • Affections respiratoires. • Affections digestives.
Exposition au froid	• Affections respiratoires. • Affections digestives. • Affections ischémiques (artérite des membres, maladie de Raynaud, artériosclérose coronarienne).

Tableau 2. - Effets potentiels, non spécifiques, de la chaleur et du froid.

La pathologie industrielle en rapport avec l'environnement thermique dépend non seulement de l'existence d'effets pathologiques spécifiques ou non spécifiques mais également de l'importance de la population exposée, de son état de santé et du niveau de la contrainte thermique subie aux postes de travail. La recherche

de données épidémiologiques se révèle donc d'une grande importance pour l'évaluation globale de l'incidence de cette nuisance sur la santé des travailleurs. Malgré ce besoin, peu de données, récentes en particulier, sont disponibles par suite notamment de manque de relevés systématiques des conditions d'environnement thermique aux postes de travail (sauf dans les mines). Les études les plus anciennes (1923-1937) ont conduit à la mise en évidence d'effets pathologiques sévères à une époque où les conditions d'environnement thermique dans les entreprises étaient très contraignantes.

Parmi les études les plus récentes portant sur les effets de la chaleur, on peut citer celle de Redmond (1975) et celle de Janous (1976), toutes deux effectuées dans la sidérurgie.

La première a été réalisée sur 58 800 sidérurgistes. L'analyse des données recueillies à partir des 11 990 travailleurs, employés aux fours Martin, a fait apparaître:

- que la mortalité globale de ces travailleurs ne différait pas statistiquement de celle des autres travailleurs des mêmes entreprises;
- qu'il existerait une légère sous-mortalité par maladie cardio-vasculo-rénale (hypothèse d'auto-sélection du personnel);
- qu'il existait, par contre, une surmortalité statistiquement significative (22 %) pour les maladies du tube digestif, en général, et plus particulièrement pour celles localisées au niveau de l'estomac et du duodénum (87 %).

L'étude menée par Janous (1976) a été réalisée sur 264 personnes (période de sept ans). Cette étude a mis en évidence que 17 % de la population étudiée subissait au moins un accident dû à la chaleur (coup de chaleur, épuisement à la chaleur, crampes, malaise).

Les résultats des études épidémiologiques conduites dans l'industrie sont à rapprocher de celles effectuées par Ellis (1975) sur les effets des vagues de chaleur en été. Celle de juillet 1972 à New York a mis en évidence une mortalité après le dixième jour dépassant de 61 % la mortalité moyenne des mois de juillet (ischémie du myocarde et maladies vasculaires cérébrales).

Le lecteur trouvera en annexe les noms des auteurs des études épidémiologiques sur la base desquelles les principales données et conclusions de ce paragraphe sont fondées.

Les données disponibles, relatives à la pathologie industrielle en rapport avec l'environnement thermique, même si elles semblent montrer en

première analyse le rôle moteur ou aggravant de la chaleur et du froid sur la morbidité et la mortalité en milieu industriel, doivent cependant être interprétées avec précaution compte tenu, d'une part, de la diversité des conditions thermohygro-métriques dans l'industrie et de leur évolution dans le temps et, d'autre part, de l'influence de conditions socio-économiques mal connues susceptibles d'introduire un biais dans l'analyse de ces données.

1.3. Effets des ambiances thermiques sur la fréquence des accidents de travail

De nombreuses expériences de laboratoire visant à étudier l'influence de la chaleur sur les performances de l'homme ont été conduites. Une revue de synthèse de ces différents travaux réalisés par Grether (1973) conduit à la conclusion que la plupart des performances notamment la vigilance, le contrôle de tâches, l'acquisition de données, toutes actions susceptibles d'être liées au phénomène accident, sont détériorées au-delà de 29°C de température effective. En dessous de cette température, certaines performances peuvent être améliorées ou au contraire rester stables, selon leur nature.

Mais l'ensemble de ces données s'il permet de suspecter une incidence de la chaleur sur la fréquence des accidents du travail, est en lui-même insuffisant en l'absence de précisions sur l'importance de la population exposée et le niveau d'environnement existant réellement dans l'industrie.

Le tableau 3 présente quelques résultats d'études épidémiologiques réalisées à ce jour. La figure 2 et le tableau 4 illustrent à plus de quarante ans d'intervalle les travaux d'Osborne et Vernon, d'une part, et d'Ottaviano, d'autre part.

Bien que d'autres facteurs que la température, notamment des facteurs socio-économiques soient à considérer dans ces études statistiques, et qu'une démonstration absolue soit difficile sinon impossible, l'importance des écarts constatés suggère une influence importante de la chaleur et du froid sur le niveau de sécurité dans les entreprises.

1.4. Influence des ambiances thermiques sur le niveau de production

L'influence du niveau de la contrainte thermique subie par les

Auteurs	Domaine et nombre de personnes concernées par l'enquête	Résultats
Osborne et Vernon (1922)	3 usines de munition britanniques (plus de 39 000 personnes concernées)	"Le nombre d'accidents est influencé d'une façon importante par la température" (coupures). (Voir figure 2)
Vernon, Bedford, Warner (1928, 1931)	Mines de charbon (inconnu)	La fréquence des accidents mineurs (moins de 10 jours d'arrêt) est trois fois plus importante à 27,2°C qu'à 17,2°C. La fréquence des accidents plus importants ne paraît pas affectée par la température.
Davis (1922)	Mines (inconnu)	Réduction de 20 à 6 du nombre d'accidents en 16 mois suite à l'installation d'un système de refroidissement. Augmentation du rendement de 12%.
Ottaviano (1965)	Toutes industries de la région de Raguse (Italie) (11 572 personnes concernées)	"Des données rapportées, ressort avec évidence, comme cela a d'ailleurs déjà été signalé, l'influence de la température (froide ou chaude) sur la fréquence des accidents". "En ce qui concerne l'absentéisme, l'index de fréquence a montré une courbe à peu près semblable à celle des accidents". (Voir tableau 4).
Kinoshita et Ogawa (1970)	Industries de transformation de la région de Tokyo (26 681 personnes concernées)	Les accidents retenus sont ceux associés à des causes humaines (inattention, négligence). Mise en évidence d'une relation entre la température maximale de l'air pendant la journée et la fréquence des accidents du travail au seuil statistique significatif de 95%. (Hiver et été 1968, hiver 1967).
Harlfinger et Jendritzky (1976)	Industrie automobile Allemagne (36 547 accidents répartis sur 4 années, nombre de personnes concernées inconnu)	L'enquête a fait apparaître "une progression impressionnante du nombre des accidents dans les conditions météorologiques caractérisées par un flux d'air chaud venant du sud-ouest par un temps instable".
Janous (1976)	Sidérurgie Etude sur 7 années de 264 personnes	Mise en évidence d'une augmentation de la fréquence des accidents du travail en été et d'une diminution en hiver. Résultats cohérents par rapport à trois autres études citées sauf pour l'automne. (Etudes sur 4-20 et 1 année).

Tableau 3: Etude de l'influence de la chaleur et du froid sur les accidents du travail. Résultats de quelques recherches en milieu industriel.

Heat and hot work

In the view of the American writers, the limit values in this table are such that the rise in the central body temperature linked to the work period would be balanced during the following rest period, the duration of the total work/rest cycle being 1 h. The above values are recommended when the temperature conditions at the resting place differ little from those at the workplace. If the resting place temperature is equal to or less than 24 °C WBGT, the rest periods may be shortened by 25%.

It must not, however, be forgotten that this index has been proposed for young male subjects in good physical condition and acclimatised. Care should therefore be taken when applying it in industrial situations where both men and women of all ages and in different states of physical condition will be found. It has in fact already been established that the proposed values are too high and the thermal load too great in still air conditions with a high degree of humidity, since the WBGT index does not take sufficient account either of the ventilation effect or of the degree of humidity of the air.

LAVENNE, F.
BROUWERS, J.

"Research in the human sciences in the gold mining industry". Yant memorial lecture. Wyndham, C. H. *American Industrial Hygiene Association Journal* (Akron), Mar. 1974, 35/3 (113-136). Illus. 86 ref.

"Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress". Rowell, L. B. *Physiological Reviews* (Washington, DC), Jan. 1974, 54/1 (75-159). Illus. 422 ref.

Heat and hot work

Man must keep the temperature of his vital organs within narrow limits if he is to survive exposure to intemperate environments. As heat impinges upon man, his first response is a sensation of discomfort. This discomfort increases as thermoregulatory adjustments are made to counteract thermal stresses on the body. Inefficiency in the performance of non-physical tasks, an increased propensity to minor accidents and changes in the emotional tone of workers are found in association with these changes in sensation and body temperature.

Maximum permissible limits must be set for the thermal severity of workplaces if men performing hard physical work are to maintain their thermal balance either throughout a working day or over the duration required for completion of a specified task. If the combination of workload and environmental heat is so great that thermal balance cannot be maintained, workers will become susceptible to heat collapse. Variation between men, between workloads, and between environmental thermal characteristics must be taken into consideration when recommendations are made of the durations of exposure over which men will be protected from heat collapse. In workplaces with extremely high environmental temperatures, the exposed skin surfaces and respiratory organs of workers may be subjected to extreme discomfort, pain or tissue damage. Limits must be placed on the duration of exposure or on the environments to be entered by unprotected men.

Thermal equilibrium

The interactions of five sources of heat gains and heat losses determine whether the body can maintain thermal equilibrium or is subjected to increasing storage of heat. An equation expressing this relationship is:

Metabolic heat is created during digestive processes and during all muscular work from that needed to sit upright (about 90 J/s) to that involved in extremely hard physical activity (about 695 J/s). In hot workplaces, radiation to the man from all surfaces at temperatures higher than those on the surface of the body produces heat gains. Physical contact with hot surfaces produces heat gains by conduction. Heat may be gained also by convection when warmer air displaces that in immediate contact with the body.

Total heat gains during exposure to a hot workplace can be reduced by lowering the total amount of work done and by the provision of conditioned or unconditioned protective clothing which creates a cooler micro-environment around the man. Heat shields may be used to reduce radiant heat transfer to the man.

Changes in peripheral circulation of blood and the onset of sweating characterise physiological responses to thermal imbalance. With cooler surrounding surfaces and air, heat may be lost to the environment by radiation, conduction and convection. The evaporation of sweat from the entire body surface area is man's main source of heat loss. With maximal sweating care must be taken to ensure that it does not lead to serious water and salt deficiency. Water loss through sweat may be more than a litre an hour and up to 20 g of salt can be lost during a working day through sweat and urine.

The ease or difficulty with which heat balance is achieved in hot workplaces is related to the acclimatisation of exposees, their physical fitness and general health and the job demands made upon them. In general, men who are acclimatised to heat, physically fit, young, in good health and skilled at their jobs tolerate exposure to hot workplaces better than others. The environmental conditions which produce feelings of lassitude, irritability, reduced mental and physical efficiency or acute heat illness and collapse will vary with the individual characteristics of the exposees. However, the interaction of man and his thermal environment can be classified roughly into six categories which reflect increasing levels of thermal stress:

- (a) discomfort;
- (b) job inefficiency;
- (c) continuous work with physiological risk;
- (d) continuous work for specified duration;
- (e) heat collapse;
- (f) painful exposure.

Discomfort

The mildest forms of heat stress are those which cause exposees to feel uncomfortably warm. Several studies have attempted to establish the upper limits of warmth below which a majority of exposees will be free from the experience of discomfort. These limits vary with the population sampled, the method used to assess comfort or discomfort, activity levels during exposure, clothing worn, season of the year and proportion of exposees to be protected. A range of upper limits has been suggested. These limits have been expressed in terms of values on the scales of Corrected Effective Temperature (CET). A CET describes all those environments which produce an equivalent sensation of discomfort or warmth as an environment which has an air temperature of the same value, 100% relative humidity and still air. An upper limit of 17 °C CET for workers in light industry in winter in Britain may be contrasted with an upper limit of 24 °C CET for an inactive sedentary population in

limits are permissible for less active exposees in light summer clothing.

Failure to keep environmental temperatures below these limits results in a greater proportion of exposees who will experience and complain about discomfort. Attempts to avoid discomfort in warm workplaces have been based upon the assumption that an uncomfortably warm worker is less efficient at his job particularly when its performance involves higher mental processes.

Job inefficiency

Systematic studies of the effects of exposure to uncomfortably warm environments have suggested that inefficiency in the performance of tasks which require little physical effort is due to increased numbers of errors, slower work rates and the lack of continuity at work which results from increased minor accidents, sickness and labour turnover. Field studies in industry have produced findings which suggest that sudden exposure to environments at a level of 23-25 °C CET is associated with a pronounced increase in frequency of minor accidents and absenteeism and a loss of workshop productivity. It appears that an important factor which influences the responses of workers exposed to environments at this level is their previous thermal experience over the preceding days or weeks. The experience of environments warmer than usual may be a more important determinant of industrial inefficiency than the temperature of the environmental conditions, as such, at these levels of warmth.

Laboratory studies of volunteer subjects employed on a variety of tasks have produced findings which suggest that marked deterioration in performance is unlikely at temperatures lower than 27 °C CET. Beyond this limit decrements have been noted in tasks which require the skills of fine motor manipulations, vigilance and decision making. The performance of less-skilled operatives is more at risk than the performance of more-skilled operatives. The stress imposed by the task itself on an unskilled but highly motivated performer may serve as a primer to the adverse effects of environmental stress.

Continuous work without physiological risk

The tasks described in the preceding section require little physical effort and providing environments are kept within the limits described they induce little physiological strain in the operative. In many hot workplaces, however, the combination of environmental stress and physical work requires limits to be set according to the conditions which enable workers to maintain a deep body temperature at or below 38 °C throughout an 8-h shift. For operatives wearing light summer clothing, who are physically fit and fully acclimatised to work in heat, permissible heat exposure Threshold Limit Values (TLV) have been suggested. These are based upon the Wet-Bulb Globe Thermometer (WBGT) Index of environmental heat stress, which combines humidity, air and radiant temperature values. Operatives will rarely work continuously throughout an 8-h period, and for those who are permitted to rest for 25% of each hour, the TLV limits for the environmental stress are 30.6 °C (WBGT) for light work (up to 235 J/s), 28.0 °C (WBGT) for moderate work (235-405 J/s). At these limits, the proportion of each hour spent at rest may be reduced if the resting environment is cooler than the working environment. With longer rest periods in each hour, or with especially heat-tolerant operatives, the WBGT values for permissible heat exposure may be increased.

Higher work rates or environmental temperatures impose additional strain on man's thermoregulatory

sources of strain by the introduction of rest pauses in cooler surroundings, there will be an increasing storage of heat within the body, which will result in the eventual heat collapse of the exposee.

Continuous work for the specified duration

The limits of work rate and environmental warmth suggested in the preceding sections should permit daily exposure to hot workplaces without incurring undue physiological hazard. Other limits have been expressed which would permit men to work in a warm environment at a given work rate for a specified length of time. These limits define those working conditions in which thermal equilibrium may be lost but heat storage rates are sufficiently slow for a task to be completed in the time allowed. A physiological index of thermal strain called the Predicted 4-h Sweat Rate (P4SR) has been developed which reflects the stress of working in hot environments for specified periods of time.

For fit, young, acclimatised men a P4SR value of 4 l has been suggested as the upper limit of thermal stress which would permit operatives to complete a task lasting about 4 h without the onset of acute heat illness. For unacclimatised men, the limit of a P4SR value of 4 l should be reduced to an upper limit of 3 l. Below this value, physical work tasks can be completed by the majority of operatives. Above the two limits (for acclimatised and unacclimatised men), an increasing number of men will find the conditions intolerable and present symptoms of physiological distress.

Heat-collapse limits

When the combination of environmental and metabolic heat gains produces a thermal strain which cannot be counteracted adequately by heat losses, there is an elevation of heat storage in the body and an increase in the temperature of vital organs to a point where circulatory failure induces heat collapse in exposees. The duration of time after which this heat collapse occurs varies with the work and environmental heat load on the exposee. The duration is determined also by individual characteristics of exposees. Several studies have examined this variation between men in their "tolerance times" and have suggested limits of continuous exposure, expressed in minutes, which would protect specified proportions of exposees from heat collapse.

On average, unacclimatised men can endure climates for 60 min up to about 39.5 °C saturated if their metabolic heat production is only 90 J/s; up to about 36.5 °C saturated if their metabolic heat production is only 210 J/s; up to about 35.5 °C saturated if their metabolic heat production is 315 J/s; and up to about only 31.5 °C saturated if their metabolic heat production is 420 J/s. Fit men acclimatised to work in hot conditions can usually improve upon the endurance times of unacclimatised or less fit men working in similar conditions. In order to avoid heat collapse in half the populations exposed for the average durations suggested by research findings, recommendations have been made that exposures be limited to proportions (66-75%) of average endurance times.

In industrial practice it is probably more common to find either that conditioned garments have been provided as protective clothing, which permits continuous work of longer duration to be performed, or that work is performed in short exposures of only a few minutes alternated with periods of rest in cooler conditions. Little evidence is available from research studies about the optimal work/rest cycles for particular levels of work and environmental thermal stress.

Heat disorders

Painful exposures

At very high temperatures, workplaces can be tolerated for only a brief time, if at all, because exposure produces severe discomfort or unbearable pain in exposed skin surfaces or in respiration. When skin temperatures reach 44 or 45 °C, pain is experienced. If skin temperature is permitted to rise higher still, then skin becomes burned, blistered and finally destroyed.

Inspiration of hot air can lead to pain if the air is humid rather than dry. Air at temperatures above about 50 °C produces severe discomfort in the oral, nasal and oesophageal passages if it is close to saturation with water vapour. Air can be tolerated at temperatures considerably in excess of 50 °C provided it is very dry.

SAFETY AND HEALTH MEASURES

Industrial workers may be protected from heat stress in hot workplaces in accordance with two principles. One relates to the management of exposees and the other relates to manipulation of the environment. Because heat stress in workers results from the interactions of environmental and human factors, protective measures based upon the two principles are complementary to each other.

The first of these two principles states that heat stress will be less when exposees are specially selected and prepared for work in heat. Thus men who have been acclimatised to the particular working conditions to which they will be subjected, men who are healthy and physically fit and men who have been well trained in the job they have to do will be less at risk in heat than other exposees. Even among these workers the risk of heat stress can be further reduced by selecting those individuals who show, on exposure to the conditions, the most favourable reactions (see HEAT ACCLIMATISATION).

During and between bouts of work in hot environments the provision of cool environments in which men may rest and take cool beverages (and salt replacement for heavily sweating men) (see BEVERAGES AT WORK) may minimise or prevent the stresses of heat storage, dehydration and salt depletion if the exposed workers are encouraged to make use of these facilities.

The second of these two principles of heat protection states that heat stress will be less when exposees are provided with a cooler micro-environment within the hot workplace. Reduction of thermal severity requires minimisation of heat gains and maximisation of heat losses for the exposee.

The effects of radiant heat may be reduced by placing barriers between its source and the workers. These barriers may take the form of:

- layers of insulation over the heat source;
- reflectant shields, which, to be effective, must be highly polished and maintained in a state of cleanliness;
- absorbent shields, which can be prevented from becoming sources of heat by being specially cooled with air or water; or
- personal protective garments (heat protective clothing), which provide a layer of insulation over the wearer and, if coated with aluminium, a surface which will reflect infrared radiations.

Convective heat gains may be reduced and evaporative heat losses facilitated if an adequate system of ventilation introduces cool dehumidified air into the hot workplace. Where this is not practicable, the plugging of steam leaks, the guiding of hot air from machinery spaces into the outer air and the provision of localised air or

water cooling at the exposees' actual places of work may produce a sufficient reduction in the thermal strain placed on the workers. Conditioned protective garments which provide the wearer with a micro-environment cooled by an air or water distribution system may be necessary in some hot workplaces.

Whether protective measures such as these will be found in any particular hot workplace will depend upon a number of factors—including economic ones—which determine the nature of the situation at hand.

BELL, C. R.

"Temperature". Ch. 5 (85-104). *Men at work*. Bell, C. R. (London, Allen and Unwin, 1974). 119 p.

"Development of permissible heat exposure limits for occupational work". Dukes-Dobos, F. N.; Henschel, A. *American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers Journal* (New York), Sep. 1973, 15/9 (57-62).

"Isodecrement curves for task performance in hot environments". Ramsey, J. D.; Morrissey, S. J. *Applied Ergonomics* (Guildford, Surrey, England), 2 June 1978, 9/2 (66-72). Illus. 23 ref.

CIS 77-1301 "Principles for occupational preventive medical examinations—Heat hazards" (Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen—Gefährdung durch Hitze). Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften. *Arbeitsmedizin—Sozialmedizin—Präventivmedizin* (Stuttgart), Oct. 1976, 11/10 (258-260). 11 ref. (In German)

CIS 79-90 *Evaluation of the work load in hot environments*. Vogt, J. J.; Metz, B. (Luxembourg, Office for Publications of the European Communities, 1977). 110 p. Illus. 36 ref. (In English, French, German)

Heat disorders

A classification of disorders caused by exposures to high levels of environmental heat is as follows:

- systemic disorders—heat-stroke (hyperpyrexia), heat exhaustion (from circulatory deficiency; heat syncope), water deficiency, salt deficiency, heat cramps or sweating deficiency;
- skin disorders—prickly heat (miliaria rubra), cancer of the skin (rodent ulcer);
- psychoneurotic disorders—mild chronic (tropical) heat fatigue, acute loss of emotional control.

Only a brief account of these disorders and their treatment is given here. It cannot be overemphasised that the diagnosis and treatment of these disorders must be the responsibility of a medical team trained in special skills in dealing with heat disorders.

Systemic disorders

Heat-stroke (hyperpyrexia). Risk of heat-stroke occurs whenever the combination of workload (metabolic heat production) and thermal environmental stress is sufficient to produce a degree of thermal strain with which the body cannot cope. Heat storage increases and high levels of deep body temperature are rapidly attained. The risk is significantly greater when workers are unacclimatised, have a poor capacity for work, are obese, are unsuitably dressed adding heat gains and obstructing heat losses, are dehydrated or short of water, have consumed alcohol, or have a history of cardiovascular disease or recent prickly heat. In over two-thirds of all cases of heat-stroke, there is a rapid rise of body temperature to between 40 and 43 °C with, frequently

La performance psychologique est aussi affectée par la chaleur comme les travaux demandant de l'adresse ou de la concentration.

Il est intéressant de noter que la coordination sensori-motrice se détériore plus rapidement dans les environnements froids que chauds.

La chaleur augmente la fatigue; des conditions prolongées de chaleur (par exemple pendant les vagues de chaleur l'été) peuvent contribuer à un état de fatigue générale en empêchant un sommeil profond de l'individu.

En plus d'augmenter le risque de brûlures sur les objets chauds, la chaleur augmente en général la fréquence des autres genres d'accidents

Mécaniquement, la chaleur tend à augmenter les accidents dus à la nature glissante des mains humides ou à l'effet sur la vision des verres de sécurité embués.

En plus d'augmenter la T° corporelle et l'inconfort, la chaleur augmente aussi l'irritabilité et d'autres conditions émotives qui conduisent les travailleurs à poser des actes irréfléchis ou à détourner leur attention des tâches dangereuses.

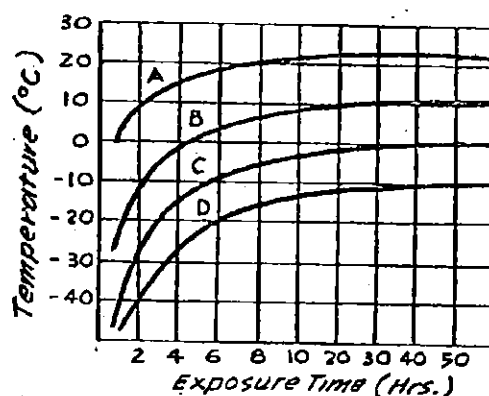
Il est très rare que la chaleur soit le seul agresseur auquel le travailleur est exposé; il y a ainsi augmentation de l'altération dans les réponses physiologiques au stress.

Ainsi, la chaleur et le CO en combinaison ont un effet nuisible à la santé plus grand que chaque agresseur seul. Les sujets exposés rapportent des céphalées, anorexie, irritabilité et malaise général et ce, de façon plus marquée dans les heures suivantes l'exposition.

TOLERANCE TO LOW TEMPERATURES

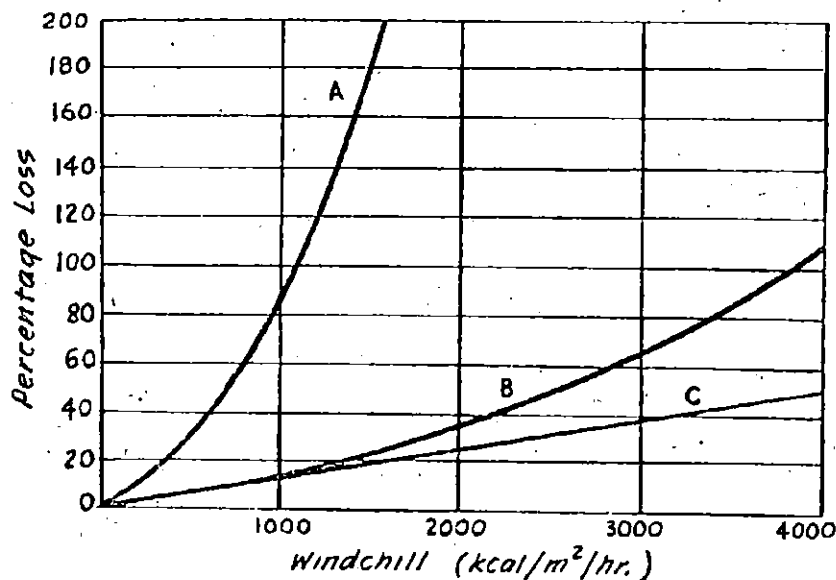
The accompanying graph shows tolerance times for endurance to cold temperatures. Subjects were wearing various types of clothing, were seated, and were performing light work (air velocity, approximately 200 ft/min, 61 m/min; barometric pressure, 1 atm). 3,3 m/h.

- A—1-clo (light coveralls)
- B—2-clo (woolen underwear, coveralls, and jacket)
- C—3-clo (intermediate-weight flight clothing)
- D—4-clo (heavy flight clothing)



Effects of Cold on Selected Task Performances

- A—tactile sensitivity, bare hand
- B—simple visual reaction time
- C—manual skill



C) Les limites physiologiques: Incidence sur le rythme cardiaque

La fréquence cardiaque maximale chez un individu n'ayant pas de pathologie cardiaque sous-jacente se calcule ainsi: $220 -$ (moins) l'âge. (par ex: un individu de 20 ans a une fréquence cardiaque maximale de 200. Pour plus de précision voir tableau en annexe). Le fait de se maintenir très près de cette valeur impose un stress au système cardiovasculaire très important et il est impossible d'y maintenir un travail sans provoquer une fatigue excessive et une nette diminution de la performance.

En plus, dans un environnement chaud, le fait d'approcher ces valeurs peut provoquer l'apparition des symptômes prémonitoires à la syncope.

A 80% de la fréquence cardiaque maximale, l'activité physique peut être maintenue longtemps sans apparition de fatigue excessive. Quelqu'un qui veut conserver une bonne condition physique devrait faire des activités entraînant une fréquence cardiaque soutenue à ce niveau. (Post Graduate Medicine Clinical guidelines for exercise training Vol. 67 no.1 January 1980 pages 120 à 134).

Dans le cas qui nous intéresse vu la période d'activité limitée, on pourrait permettre une fréquence cardiaque plus élevée durant l'activité, sans entraîner une fatigue trop intense. D'un autre côté, vu que l'activité se fait à la chaleur, on peut comprendre que la fréquence cardiaque devrait être inférieure

à la fréquence cardiaque maximale calculée en fonction de l'âge. Arbitrairement, la valeur de 80% de la fréquence cardiaque maximale nous semble acceptable. (Donc, pour un individu de 20 ans, pas plus de 160 battements par minute lors de l'activité). (Post Graduate Medicine Clinical guidelines for exercise training Vol. 67 no.1 January 1980 pages 120 à 134).

Par ailleurs, d'après un document d'ergonomie la fréquence cardiaque 5 minutes après l'arrêt du travail ne devrait pas dépasser de 40 battements le rythme cardiaque observé avant le travail. (Etude ergonomique du travail A. Laville, Ecole polytechnique de Montréal, septembre 1981)

D) Capacité de travail dans ces lieux et programme de surveillance:

D'après les éléments soulignés auparavant, on peut dégager certaines caractéristiques nécessaires à l'exécution de ce travail.

1. Il serait dangereux de soumettre à ce poste de travail tout individu présentant une pathologie cardiaque, pulmonaire ou vasculaire.

2. On devrait suivre de façon plus serrée les individus au-dessus de 40 ans, ceux qui sont très obèses ou de très petites corpulences (-50 Kg) car ces individus tolèrent moins bien la chaleur.
3. On pourrait réserver ce poste de travail aux individus les plus aptes à le remplir soit ceux avec une capacité de captation maximale d'oxygène élevée. Il existe plusieurs façon de le déterminer, une est suggérée ici:

On fait monter et descendre le travailleur sur une marche 24 fois par minute. La hauteur de cette marche est aussi déterminée selon le poid de l'individu.

52 ³ à 56 ⁷ Kg:	25.5 cm
56 ⁸ à 61 ³ Kg:	23 cm
61 ⁴ à 65 ⁸ Kg:	21,5 cm
65 ⁷ à 70 ⁴ Kg:	20,5 cm
70 ⁵ à 74 ⁹ Kg:	19 cm
75 à 79 ⁵ Kg:	18 cm

Cet exercice se poursuit 6 minutes, durant la 6^{ième} minute, on vérifie le rythme cardiaque.

Ceux dont le R.C. est de 120 et moins = les meilleurs candidats

120 à 140= Peuvent y travailler pourvu
que la charge de travail soit
au plus modérée

140 et plus= ne devraient pas travailler
à la chaleur

- E) Conseils aux travailleurs: Afin de limiter la possibilité de déficit dans le volume circulant, il devrait boire 3 grands verres d'eau dans l'heure qui précède son affectation au poste de travail:

- On lui conseille de ne pas cesser brusquement toute activité. Après avoir quitté le poste de travail, il devrait circuler un peu, dans un endroit tempéré.

- S'il ressent une fatigue intense, se sent étourdi et commence à "voir noir", que ça bourdonne dans les oreilles (symptômes prémonitoires de syncope) il doit cesser le travail et il est fortement recommandé de s'étendre, ce qui aura pour effet de renverser le mécanisme menant à la syncope.

Pour ce qui est de changement du poste de travail, se référer au rapport de Daniel Gagné.

Malgré ces quelques conseils relatifs au travail dans ce milieu, il est impossible de prouver hors de tout doute que l'endroit devient absolument sans danger et prouver une telle chose demeurera impossible et ce pour toute activité que ce soit, dans l'état actuel des connaissances. On doit donc s'attarder à réduire les risques au minimum.

Néanmoins, nous suggérons au service de santé d'appliquer ces recommandations et nous poursuivons, de notre côté, l'étude de ce problème. Nous apprécierions grandement que vous nous envoyez le rapport de vos évaluations dans le but de compilations statistiques ultérieures et d'une meilleure compréhension du problème.

Position du corps	Position assise normale	Position assise courbée	Position assise, droite, bras au-dessus de la tête
			
Critère d'appréciation			
Supplément d'énergie nécessaire par rapport à la position de repos (kcal./mn)	0,06	0,15	0,16
Augmentation de la fréquence du pouls par rapport au pouls de repos (puls./mn)	7	13	13
Résultats EMG sans charge (en points)	1	6 Surtout musculature dorsale	11 Surtout musculature dorsale et scapulaire
Critères particulièrement négatifs	Possibilité relativement faible de développer la force, dans une zone de travail restreinte. L'irrigation superficielle de la région fessière et de la face postérieure des cuisses est à la longue entravée		
		Gêne respiratoire et troubles digestifs par compression de l'abdomen	Longs temps de repos supplémentaires nécessaires
Critères particulièrement positifs	Si le siège est muni d'un dossier, permutation rapide possible entre position de travail et position de repos. Soulagement du tissu de soutien des jambes. Faible travail de stabilisation nécessaire (bon pour l'activité motrice fine). Charge circulatoire et énergétique peu élevée Position de travail la plus favorable		

Figure IV.4 a
Appréciation de diverses postures en fonction de critères physiologiques

Position du corps	Position debout normale	Position debout courbée	Position debout fortement courbée	Position debout, droite, bras au-dessus de la tête
				
Critère d'appréciation				
Supplément d'énergie nécessaire par rapport à la position de repos (kcal./mn)	0,16	0,38	0,56	0,30
Augmentation de la fréquence du pouls par rapport au pouls de repos (puls./mn)	14	18	17	18
Résultats EMG sans charge (en points)	2	6 Surtout musculature dorsale et de la cuisse	2 Surtout musculature de la cuisse	12 Surtout musculature dorsale et scapulaire
Critères particulièrement négatifs	Risque de stase sanguine dans les extrémités inférieures Un travail de raidissement est nécessaire en permanence pour stabiliser l'équilibre Ne conviennent pas à des activités motrices fines			
			Dépense d'énergie particulièrement élevée	Longs temps de repos supplémentaires nécessaires
Critères particulièrement positifs	Changement rapide possible de la zone de travail Grand rayon de préhension Possibilité de développer des forces élevées			

Figure IV.4 b

Position du corps	Position agenouillée normale	Position agenouillée courbée	Position agenouillée bras au-dessus de la tête
Critère d'appréciation			
Supplément d'énergie nécessaire par rapport à la position de repos (kcal./mn)	0,28	0,32	0,38
Augmentation de la fréquence du pouls par rapport au pouls de repos (puls./mn)	21	22	28
Résultats EMG sans charge (en points)	5	2 Surtout musculature dorsale	18 Surtout musculature dorsale et scapulaire
Critères particulièrement négatifs	Forte sollicitation des rotules et articulations des genoux Difficulté de se mouvoir Forte charge circulatoire et énergétique		Longs temps de repos supplémentaire nécessaires
Critères particulièrement positifs	Possibilité de développer des forces relativement élevées		

Figure IV.4.c

Position du corps	Position de repos	Position sur le dos, bras au-dessus de la tête	Position accroupie normale	Position accroupie, bras au-dessus de la tête
Critère d'appréciation				
Supplément d'énergie nécessaire par rapport à la position de repos (kcal./mn)	0	0,08	0,27	0,28
Augmentation de la fréquence du pouls par rapport au pouls de repos (puls./mn)	0	3	10	14
Résultats EMG sans charge (en points)	0	7	Surtout muscles des mollets et des cuisses	Surtout muscles des mollets, des cuisses et des épaules
Critères particulièrement négatifs		Liberté de mouvement très restreinte, forte sollicitation locale (nuque, cou), longs temps de repos supplémentaire nécessaires	Difficulté de se mouvoir Important travail nécessaire pour parvenir à un équilibre stable Troubles de l'irrigation dans les jambes et les cuisses par suite de la pression Longs temps de repos supplémentaire nécessaires	
Critères particulièrement positifs	Faible pression du corps sur la surface d'appui		La charge circulatoire est plus faible que dans les postures comparables	

Figure IV.4.d

(d'après SCHMIDT in ROUSTANG

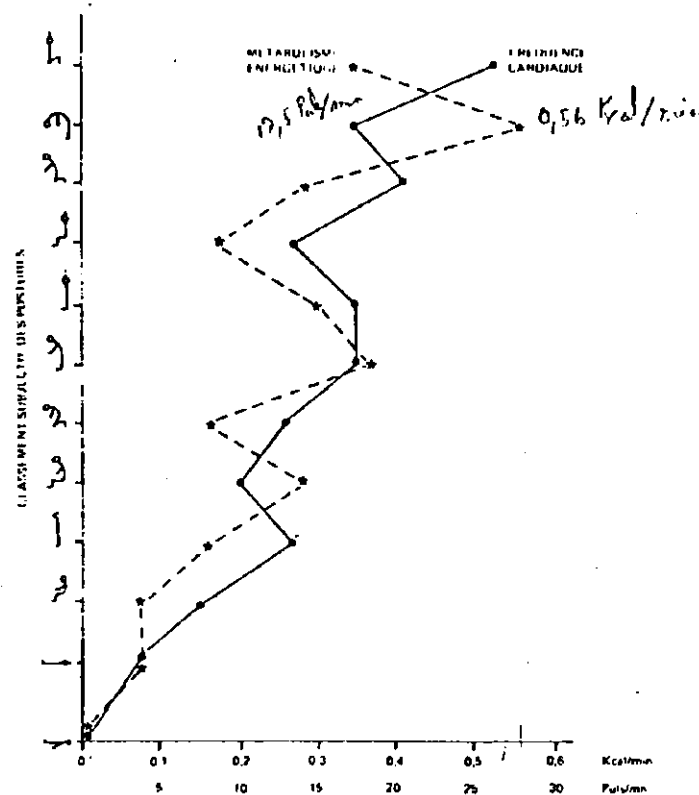


Figure IV.5

Coût énergétique et accroissement de la fréquence cardiaque de repos pour diverses postures classées subjectivement.

d) Impression subjective

- Elle est relative - elle oblige à une échelle comparative.

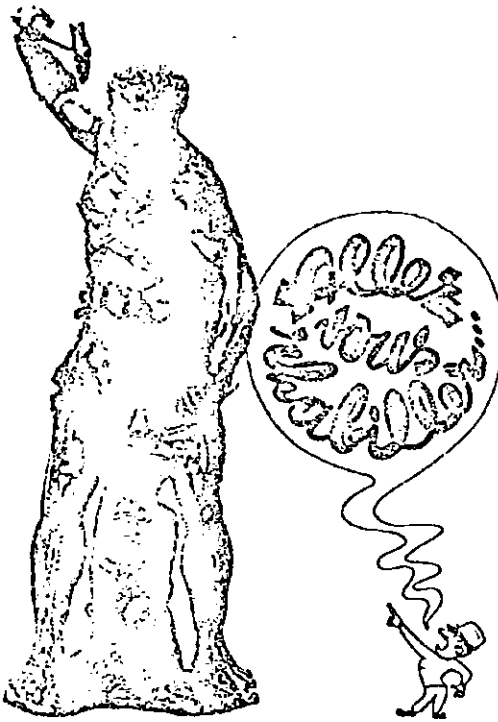
Il est nécessaire d'utiliser ces différents moyens d'évaluation en tenant compte de leur limites.

Variations importantes en fonction de l'âge, de l'état de santé.

C - Les principaux éléments du travail déterminant les postures :

- l'espace de travail en lien avec les caractéristiques des informations et des actions :
 - emplacement, caractéristiques physiques des détails à percevoir (dimensions - éclairement...)
 - intensité, direction, point d'application des forces à exercer, amplitude - direction des mouvements...

Comment revêtir la sécurité en hiver



Allez-vous rhabiller... mais surtout ne le prenez pas en grippe! Cette recommandation est des plus sérieuses. Dès que l'on parle de la protection individuelle, un problème de terminologie apparaît dans l'usage qui est fait de vêtements de travail, vêtements de sécurité et vêtements de protection.

Sans vouloir lancer une polémique sur le sujet, nous nous contenterons de définir les termes que nous employons. Tout d'abord, à quoi sert un vêtement? Les vêtements servent à couvrir, à protéger le corps humain. Une acceptation large du terme comprendra également le chapeau, les chaussures, les gants, les sous-vêtements et divers autres accessoires.

Pour travailler, est-il nécessaire de s'équiper d'un vêtement de travail, d'un

vêtement de protection, d'un vêtement de sécurité ou d'un vêtement spécial? Le vêtement de travail a toujours un rôle de protection, ne serait-ce que celui de protéger les vêtements personnels de l'usure et des saletés. Il ne peut exister qu'un type de vêtement de travail. Chaque poste de travail a ses risques particuliers. Les critères du choix d'un vêtement seront donc différents et, pour certains travaux, un vêtement très spécial sera nécessaire. Il faut adapter un vêtement au travail et à ses risques plutôt que de rajouter un équipement de sécurité à un vêtement passe-partout qui ne correspond à la protection d'aucun risque.

Une mesure complémentaire

Les hommes sont encore obligés au XXe siècle de travailler dans des conditions difficiles et dangereuses. Le port d'un vêtement de protection est le constat d'une certaine impuissance à réduire les risques au poste de travail.

La protection individuelle vient normalement compléter la sécurité générale lorsque la technique n'a pas réussi à éviter les manœuvres dangereuses où les postes comportant certains risques. En fait, elle n'est utilisée qu'en dernier recours pour préserver la vie de l'homme.

Il ne faut donc pas oublier que toute protection individuelle est un compromis, là où la technologie n'a pas réussi à éliminer à la source les dangers pour la santé, la sécurité et l'intégrité physique des travailleurs. La protection individuelle totale n'existe pas. Il n'est pas possible de faire un vêtement qui puisse protéger un homme à 100%...

Les matériaux les plus efficaces ne permettent pas, bien souvent, de faire des vêtements facilement portables: vêtements trop épais, trop lourds, trop rigides. Les vêtements de protection peuvent constituer une gêne et être

parfois en cela générateurs de risques. Un vêtement de protection, il faut le dire, suppose quelques contraintes. Il est bien évident que le confort et la sécurité ne sont pas toujours parfaitement compatibles.

Le froid et les intempéries

La protection contre le froid et les intempéries depuis longtemps réalisée pour les marins et les travailleurs de la construction, est aujourd'hui généralisée. Les principaux risques que rencontrent les opérateurs qui sont amenés à travailler au froid sont principalement les refroidissements, les gelures ou toutes autres lésions.

Certains médecins affirment même que l'exposition prolongée au froid peut entraîner une prédisposition à diverses maladies et peut être un facteur d'accident. L'hypothermie est en fait la conséquence du refroidissement général du corps et du cerveau. Elle peut intervenir rapidement dans l'eau, mais plus lentement dans l'air. Avec l'abaissement de la température du corps apparaissent tout d'abord des manifestations inhabituelles (manque de coordination, d'équilibre, lenteur des gestes, etc.), suivies de la perte de connaissance.

Ainsi, le rendement de l'homme affecté à des travaux physiques pénibles dans une ambiance froide, est relativement réduit. Les causes proviennent, entre autres, du stress hormonal et d'une fixation psychologique importante sur la température froide. En effet, au niveau physiologique, les hormones se multiplient de 3 à 7 fois plus que normalement et la production d'urine est 3 fois plus élevée que le niveau habituel. Il en résulte une déshydratation et une perte de sel. Le système nerveux est aussi ralenti. Des températures de -25°C peuvent entraîner des troubles circulatoires perturbant l'activité manuelle et entraînant un manque de

dextérité fort préjudiciable. Les transmissions provenant des pieds et des mains prennent plus de temps pour se rendre à la moelle épinière et au dos.



Les points du corps où les risques de gelures sont plus grands sont : la tête, les mains, les genoux et les pieds.

Quelquefois, les communications neurologiques sont plus ou moins complètement interrompues. Par exemple, juste au-dessus du genou, il y a le centre nerveux ; si vous vous asseyez une longue période de temps au froid et vos vêtements sont serrés à la hauteur des genoux, ceux-ci risquent d'avoir des gelures. Les impulsions nerveuses sont arrêtées. En conséquence, lorsque vous essayez de vous lever de nouveau, vos jambes ont de la difficulté à se mouvoir. Les principaux points du corps où le risque de gelures et de refroidissement est accentué, sont la tête, les mains, les genoux et les pieds. Les mains et les pieds parce qu'ils sont plus éloignés du cœur, ils deviennent froids plus rapidement. Les genoux, à cause du "centre nerveux" et la tête dû aux vaisseaux sanguins en surface qui ne se contractent pas, d'où le risque pour le cerveau de perdre de la chaleur, et de prendre froid.

Acclimatation au froid

Les travaux de plein air se pratiquent non seulement aux latitudes élevées, mais aussi dans les zones tempérées en hiver. Dans ces dernières régions, le personnel exposé au risque comprend tous les travailleurs de plein air qui travaillent sous des températures inférieures à 10°C, en particulier sous le vent, la pluie et la neige. Il s'agit donc d'une population numériquement importante.

L'exposition prolongée à une ambiance agressive comme le froid aboutit à des altérations profondes des réactions "thermorégulatrices"*, comprises sous la désignation d'acclimatation, et qui permettent à l'homme de travailler dans des conditions satisfaisantes en un milieu qui, sans l'intervention de ces mécanismes, serait intolérable.

Les travailleurs de plein air, familiers des climats froids, témoignent d'une acclimatation localisée. Toutefois, malgré des recherches très poussées, tant au laboratoire que sur le terrain, à l'occasion d'expéditions polaires, il n'a pas été possible d'établir avec certitude que l'organisme parvienne à réaliser une acclimatation "générale", telle qu'elle apparaîtrait si la prolongation de l'exposition au froid réduisait la déperdition thermique, abaissait le réglage de thermostat cérébral ou augmentait la production de chaleur du corps dans certaines conditions d'exposition ou de protection vestimentaire.

Quoi qu'il en soit, l'inconfort dû au froid diminue manifestement par suite du séjour prolongé en climat froid et, partant, les travailleurs peuvent s'acquitter de leur tâche de façon satisfaisante malgré une basse température cutanée, par exemple, avec une moindre protection vestimentaire. On considère cependant ce phénomène comme une "accoutumance" plutôt que comme une "acclimatation", c'est-à-dire comme une adaptation comportementale par laquelle l'homme apprend à ignorer des sensations que l'expérience lui a montrées inoffensives, ce qui lui permet de concentrer ailleurs son attention. Il

existe d'autres manifestations d'adaptation vis-à-vis des climats froids, notamment une connaissance plus grande de la protection vestimentaire et de l'équilibre entre périodes de travail et pauses, qui favorisent le maintien de l'équilibre thermique.

Influence sur le rendement

Idéalement, la production de chaleur pendant le travail devrait être égale à la déperdition thermique. Dans le travail léger ou modéré, la chaleur produite par l'effort peut n'être pas suffisante pour prévenir le phénomène de frisson, qui ajoute à la dépense métabolique du travail et réduit le rendement en conséquence. Le port de vêtements chauds et épais réduit le rendement du travail dans une proportion de 5% environ.

Certains travaux exigent une dextérité manuelle, qui est fonction de la sensibilité du toucher, de la mise en jeu des petits muscles de la main et de la souplesse des articulations. Le froid entrave toutes ces fonctions et accroît le risque d'erreur ou d'accident, surtout lorsque la température de la main tombe au-dessous de -15°C. Le travailleur doit s'interrompre fréquemment pour se réchauffer les mains, ce qui ralentit le travail. Les gants ou mitaines classiques retardent le refroidissement, mais nuisent eux-mêmes à la dextérité. Les gants chauffés électriquement permettront peut-être de résoudre ce problème.

*Régulation automatique de la température.



Le port de plusieurs couches de vêtements minces est préférable à un seul vêtement épais.

Comment faire face au froid?

Pour éviter la température froide, on peut concevoir trois principales stratégies:

- annuler le travail;
- réorganiser le travail et introduire de nouvelles techniques pour que les gens n'aient pas à travailler dehors à une température froide;
- équiper le personnel de vêtements de protection et de vêtements chauds.

Le froid n'est pas seulement dû à la température mais également à la vélocité du vent. À titre d'exemple, si le thermomètre marque -30°C (-22°F) et la force du vent est de 7 mètres par seconde (16 mph), l'effet réel du froid est équivalent à -58°C (-72°F). Travailler à -10°C ($+14^{\circ}\text{F}$) avec un vent puissant peut être plus contraignant et stressant qu'un travail à -25°C (-13°F) quand le vent est calme.

L'humidité est également un autre facteur d'inconfort puisqu'elle traverse les vêtements et est source de froid plus intense. Face à ces conditions, il faut donc prévoir certaines mesures.

Les vêtements de protection contre le froid

En premier lieu, quant au choix du vêtement de protection, il faut faire une étude très précise du poste et du temps de travail, des déplacements, etc... Il est nécessaire, en deuxième lieu, de considérer:

- le poids de l'équipement,
- sa souplesse,
- sa résistance mécanique.

L'impératif du confort est déterminant et nombreux sont les fabricants qui proposent des équipements en tissus souples et imperméables. Cependant, aucun vêtement ne peut offrir une protection totale et les meilleurs matériaux ne font pas forcément les vêtements les plus efficaces. En effet, un vêtement trop lourd, trop épais ou trop rigide serait inconfortable et constituerait un nouveau facteur de risque. On suggère plutôt de se couvrir de plusieurs couches de vêtements minces au lieu d'un seul vêtement épais. C'est plus facile de travailler ainsi au chaud car il y a plusieurs couches d'air qui se forment entre les vêtements.

Pour illustrer ce que les vêtements de protection devraient être, en voici des exemples:

- la protection des pieds par le port des bottes en cuir dotées d'un chausson isolant intérieur;
- la protection de la tête est assurée par le port d'un passe-montagne en laine n'apportant pas de gêne dans les mouvements de rotation de la tête et permettant la conversation orale;
- la protection du corps est garantie par le port de vêtements doublés d'isolants (duvet ou matières synthétiques).

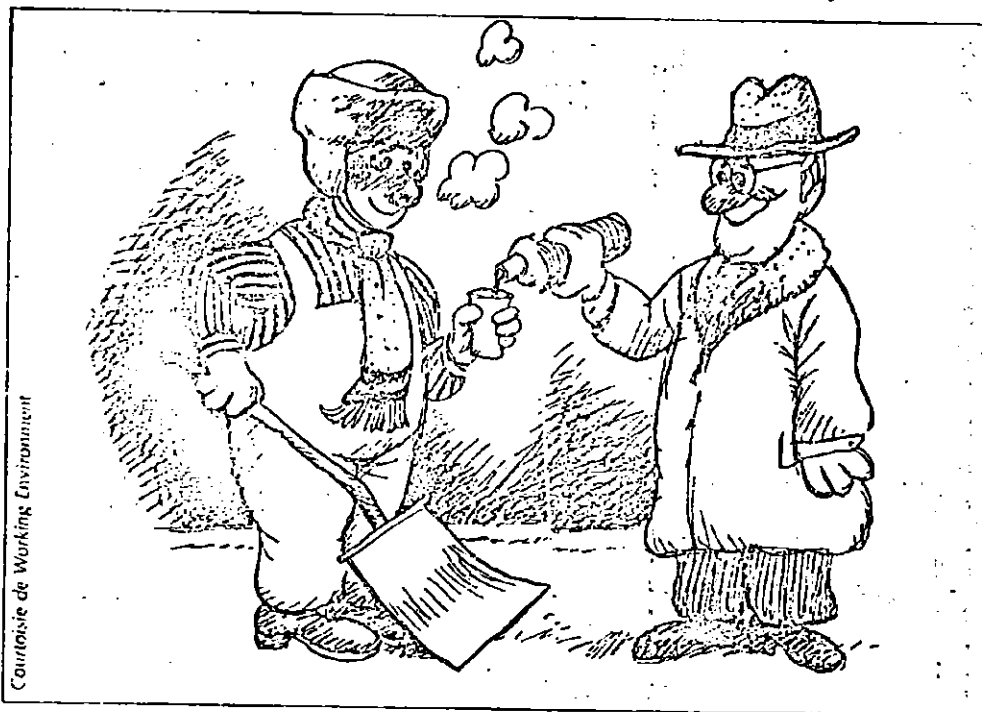
Les propriétés physiologiques d'un vêtement de protection peuvent être jugées d'après le pouvoir de rétention et de transport de la chaleur ainsi que la possibilité d'aération pour la transpiration. Ces caractéristiques

Il s'avère donc important de bien choisir le vêtement de protection en faisant des essais préalables. Ils doivent assurer le maintien de l'isothermie* et être résistants.

Autres mesures

Les travailleurs exposés au froid pendant leur travail doivent aussi bénéficier de pauses suffisantes et disposer d'une zone convenablement chauffée, où ils puissent se mettre à l'abri durant les pauses et au moment des repas. Les besoins alimentaires des travailleurs exposés au froid méritent également une attention particulière: la fourniture de moyens convenables de restauration et de boissons chaudes (café, thé, bouillon) est un élément non négligeable de prévention.

À l'instar de maints autres accidents, les atteintes par le froid sont rarement prévisibles; c'est par la formation et



Des boissons chaudes (café, thé, bouillon) devraient être fournies par l'employeur.

contribuent à la protection contre le froid en raison de son étanchéité au vent et à l'humidité.

Les modèles actuels tentent de donner un confort compatible avec les exigences du travail en général:

- ampleur des vêtements (confort — chaleur — aération),
- possibilité d'adapter des commodités pour la fermeture et pour les poches,
- facilité de nettoyage.

l'information qu'on peut les prévenir le mieux. La connaissance des premiers soins à administrer aux victimes prévient les séquelles graves. Voici quelques conseils qui vous seront utiles en cas de gelure.⁽¹⁾

*Isothermie: égalité de température d'un corps, quelles que soient les conditions extérieures.

⁽¹⁾B.I.T. Encyclopédie de médecine, d'hygiène et de sécurité du travail, Bureau international du travail, Genève, 1973.

a) maintenir la partie gelée fermement avec la main si elle est suffisamment chaude. Il faut éviter de frotter -- avec la main ou la neige -- cela peut endommager les tissus;

b) se rendre immédiatement dans un endroit chaud;

c) si possible, prendre une boisson chaude;

d) éviter de toucher aux ampoules;

e) plonger la partie gelée dans l'eau à la température du corps: 32°C à 38°C ou 90°F à 100°F. Il est recommandé de ne pas utiliser d'eau chaude;

f) dès que la partie gelée est réchauffée, demander au travailleur de faire de l'exercice avec ses doigts ou ses pieds;

g) si c'est un cas grave et que la victime doit recevoir des soins médicaux, appliquer un pansement stérilisé qui recouvrira largement la partie gelée avant de mettre des bottes, des mitaines ou d'autres vêtements.

L'examen médical d'embauche peut mettre en évidence des facteurs de risque comme les affections des vaisseaux sanguins, d'allergie au froid, les antécédents d'atteintes par le froid, l'abus du tabac et l'alcoolisme.

Le critère de la protection dans les ambiances froides est le confort. La santé et la sécurité des travailleurs sont menacées chaque fois que l'on néglige ou que l'on sous-estime le signal d'alarme de l'agression du froid, c'est-à-dire, l'inconfort. ■

Suzanne Tremblay

Rédactrice

Direction de la formation
et de l'information, APPSST du Québec

331

Références

B.I.T. Encyclopédie de médecine, d'hygiène et de sécurité du travail, Bureau international du travail, Genève, 1973.

Bruckert, A.P. La protection individuelle. Ministère de l'équipement. Centre inter-régional de formation professionnelle, 1976.

Galland, J.J., Travailler en entrepôt frigorifique, *Revue de la sécurité*, octobre 1979.

Raoult, I., Les vêtements de protection, le point sur les matériaux utilisés, *Revue de la sécurité*, avril 1981.

Siöström, S., "Unexplained accidents" may be due to cold weather, *Working Environment* 1981.

POUR RÉSERVER VOS FILMS...

Notre cinémathèque connaît présentement un essor sans précédent. Nos films font l'objet d'un nombre toujours croissant de demandes, mais les copies disponibles sont malheureusement limitées.

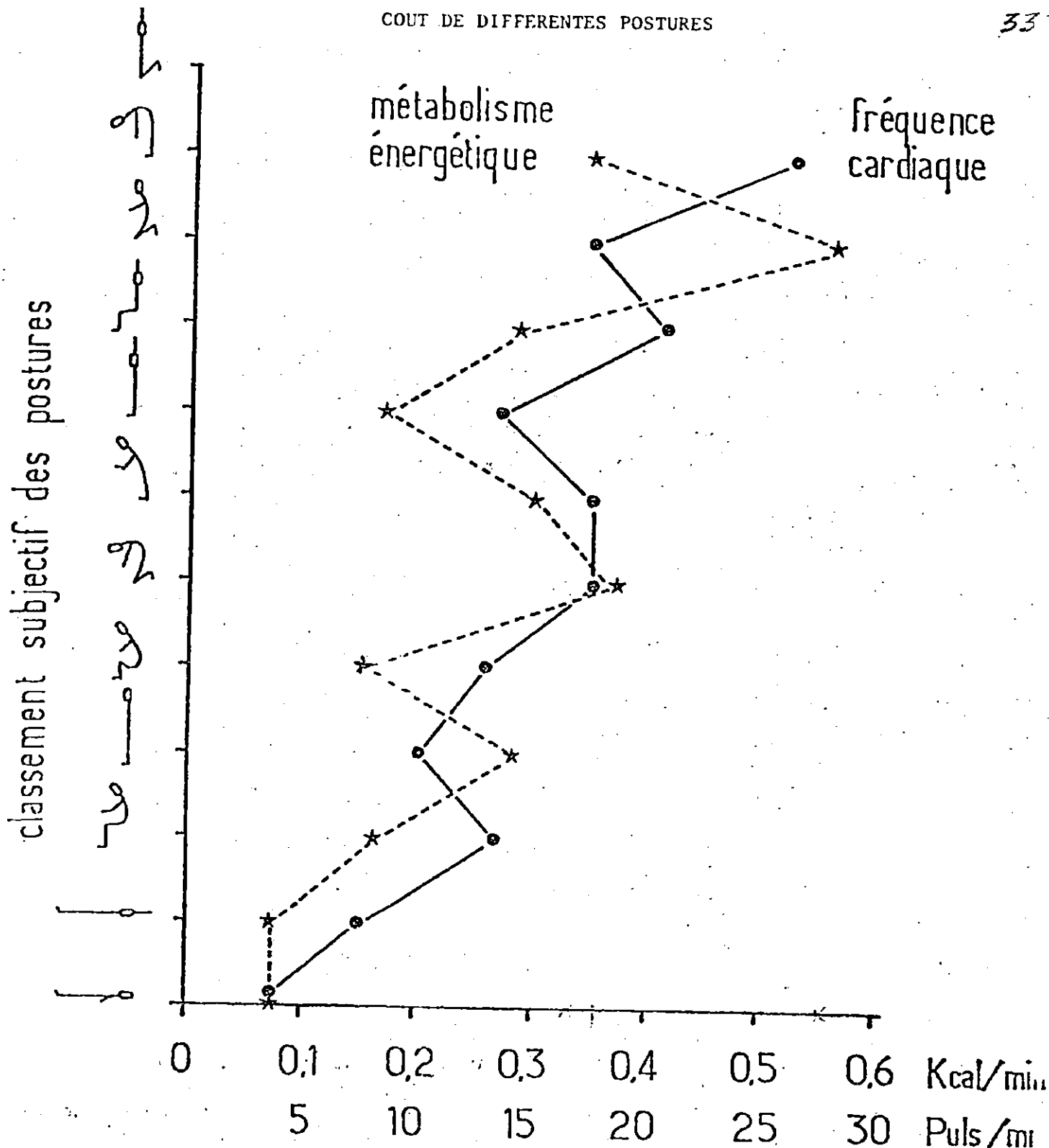
Donc, afin de pouvoir vous offrir un meilleur service, nous vous demandons de faire vos réservations **PAR ÉCRIT** au moins **UN MOIS À L'AVANCE**. Les demandes, ainsi faites auront **PRIORITÉ SUR TOUTES LES AUTRES**.

Nous vous remercions de votre collaboration.*

Prière d'envoyer vos demandes à l'adresse suivante:

Association paritaire de prévention pour la santé et la sécurité
du travail du Québec (APPSST)
50, Place Crémazie — Bureau 812
Montréal H2P 2T5
Québec
(A/S du préposé à la cinémathèque)

***VOTRE NUMÉRO DE TÉLÉPHONE EST IMPORTANT...
MARQUEZ-LE!**



COÛT ÉNERGETIQUE ET ACCROISSEMENT DE LA FRÉQUENCE CARDIAQUE DE REPOS POUR DIVERSES POSTURES CLASSEES SUBJECTIVEMENT

RADIATIONS ELECTROMAGNETIQUES
(IONISANTES, ULTRA-VIOLET, LUMIERE VISIBLE,
MICRO-ONDES ET FREQUENCES RADIO)

par: Normand Duhaime et Daniel Gagné
Hygiène industrielle
Département de santé communautaire
Centre hospitalier Rouyn-Noranda
Novembre 1983

LA VENTILATION

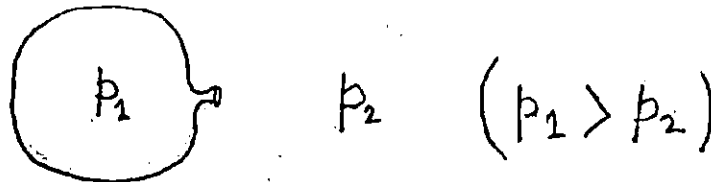
PAR:

Daniel Gagné
et
Normand Duhaime

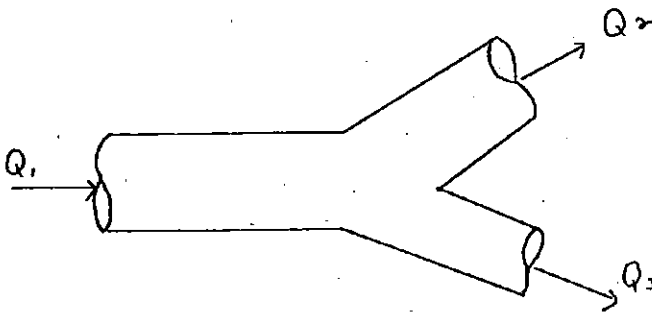
6.2 La ventilation

6.2.1 Principes physiques de la ventilation.

C'est la différence de pression entre deux endroits qui crée le mouvement de l'air de l'endroit où la pression est la plus forte vers l'endroit où la pression est moindre. Le mouvement s'effectue jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre s'établisse.



Si l'on prend une section d'un système de canalisation, le débit (ou la quantité d'air circulant par unité de temps) d'air qui entre doit être égal au débit d'air qui sort. Dans cet exemple :



$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

Si cette règle n'est pas respectée, le système de ventilation ne maintiendra pas ses performances très longtemps. Ainsi, si Q_1 était plus grand que la somme $Q_2 + Q_3$, cela voudrait dire que l'air s'accumulerait à l'intérieur du tuyau et qu'il se bâtirait une pression à l'intérieur du conduit.

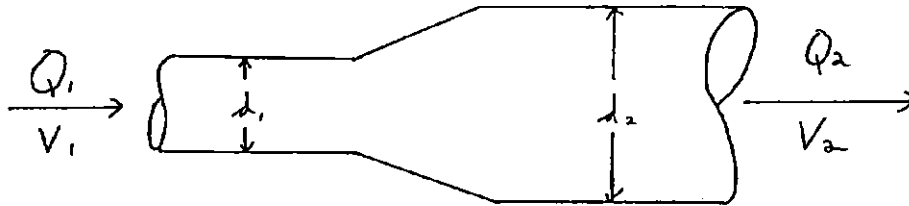
On peut calculer la quantité d'air circulant dans un conduit à l'aide de l'équation suivante:

$Q = V \times A$ où Q = débit d'air

V = vitesse d'air

A = l'air ou la surface sectionnelle de la canalisation.

Si l'air circule dans un conduit dont le diamètre varie, sa vitesse varie inversement au carré du diamètre afin d'assurer l'égalité des débits. Par exemple:



$$Q_1 = Q_2 \text{ égalité des débits}$$

$$Q_1 = V_1 \times A_1$$

$$V_2 = Q_2 / A_2 = V_1 \times \frac{A_1}{A_2}$$

$$A_1 = \pi (d_1/2)^2$$

$$A_2 = \pi (d_2/2)^2$$

$$V_2 = V_1 \times (d_1/d_2)^2 = V_1 (d_1/2d_2)^2 = V_1/4$$

Ainsi, pour un conduit dont le diamètre double la vitesse de l'air diminue d'un facteur de quatre.

Lorsque l'air rencontre un obstacle, circule sur le bord d'une surface rugueuse ou dans une canalisation qui courbe, il se crée de la turbulence. Cette turbulence crée de la résistance (et du bruit) et gêne le mouvement de l'air. Il en résulte une perte d'efficacité du système de ventilation.

6.2.2 Principes des systèmes de ventilation.

Nous parlerons ici des systèmes de ventilation conçus pour protéger la santé des travailleurs. Ces systèmes visent à éliminer, si possible, le contaminant ou d'en diminuer la concentration dans l'air ambiant ou encore à améliorer la qualité de l'air (% O₂,...).

Plusieurs palliatifs à la ventilation peuvent être envisagés:

- 1) la ségrégation ou l'isolation de la source;
- 2) la substitution de la méthode de fabrication ou des matériaux;
- 3) mouiller le matériel, l'arroser (ex; forage);
- 4) l'utilisation de filtres ou respirateurs comme mesure temporaire.

Lorsque l'on retient la ventilation comme solution à un problème de qualité de l'air, on peut recourir à deux types de techniques, à savoir la dilution générale ou la ventilation à la source.

6.2.2.1 La dilution générale.

Elle consiste à «noyer» la quantité du contaminant dans une grande quantité d'air pur. On procède en rejetant l'air vicié que l'on remplace par de l'air pur. La concentration du contaminant dans l'air ambiant n'a pas le temps de devenir critique. Cette technique est très utilisée dans les mines pour diminuer les risques d'exposition aux émanations des engins diésels (régie par les Schedule 24 et Schedule 31 du United States Bureau of Mines et le règlement sur la qualité du milieu de travail).

Des taux minimums de changement d'air frais à l'heure sont spécifiés par type d'établissement dans le règlement relatif à la qualité du milieu de travail.

Lors de la conception du système général de ventilation, plusieurs aspects sont à considérer:

- 1) la dilution doit permettre de maintenir dans l'air ambiant une concentration inférieure au TLV applicable; (voir tableau 6.2.1)
- 2) On doit faire attention à l'emplacement de l'entrée et de la sortie d'air;

En plaçant la sortie d'air près de la source de contamination, on obtient aussi une ventilation locale (à la source);

Pour que la dilution soit effective, les sorties et les entrées d'air doivent être situées de sorte que tout l'air pur circule dans la zone de contamination. Il faut éviter que l'air pur soit court-circuité, c'est à dire qu'il soit rejeté sans avoir dilué le contaminant.

INDUSTRIAL VENTILATION

Table 2-1. DILUTION AIR VOLUMES FOR VAPORS

The following values are tabulated using the TLV values shown in parentheses, parts per million. TLV values are subject to revision if further research or experience indicates the need. If the TLV value has changed, the dilution air requirements should be calculated from the following formulae.

$$\text{Cu ft air per pint evaporated} = \frac{403 \times \text{sp. gr. liquid} \times 1,000,000 \times K}{\text{molecular weight liquid} \times \text{TLV}}$$

$$\text{Cu ft air per lb evaporated} = \frac{387 \times 1,000,000 \times K}{\text{molecular weight liquid} \times \text{TLV}}$$

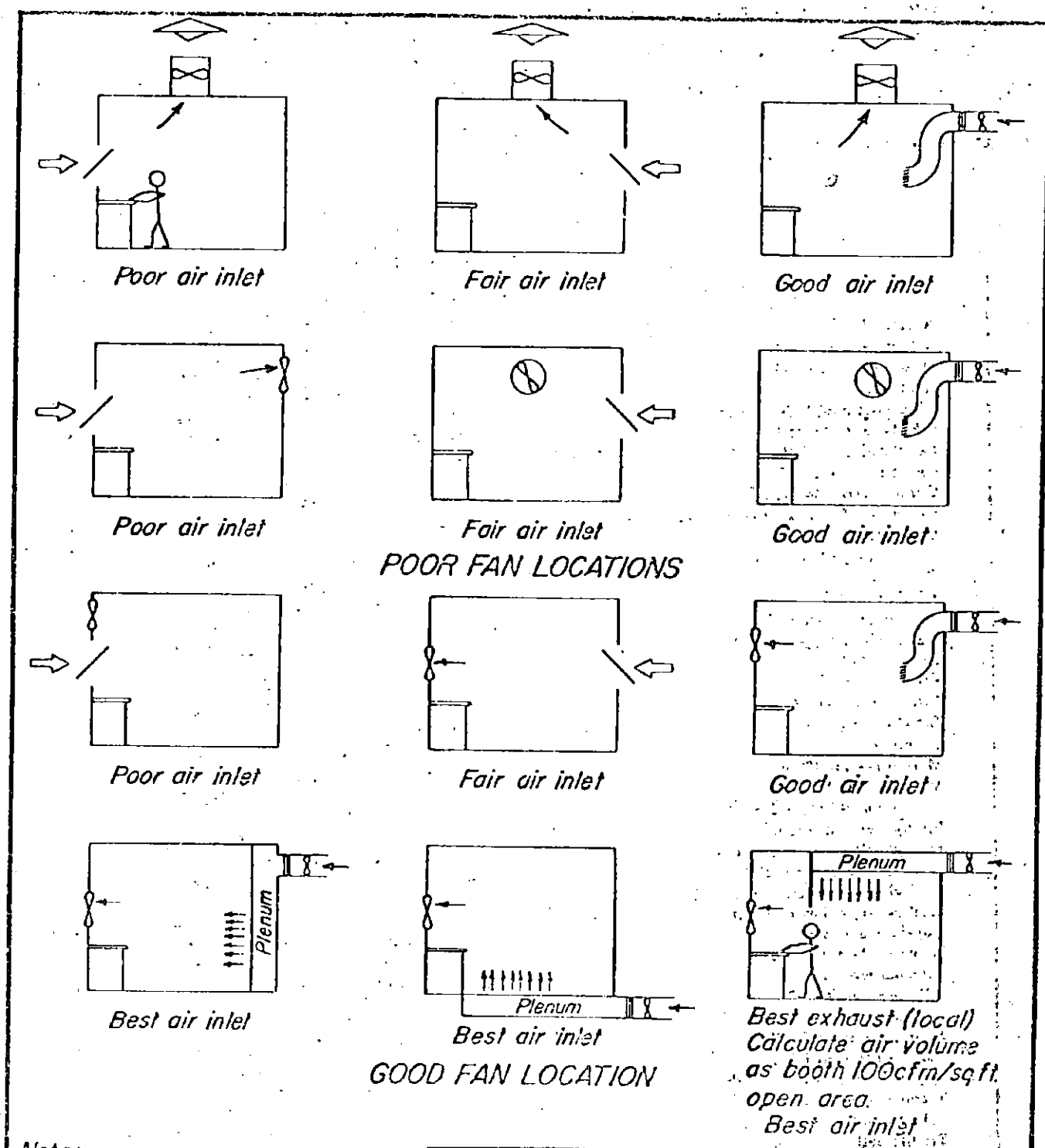
Liquid	Cu ft of air (STP) required for dilution to TLV*	
	Per Pint Evaporation	Per Pound Evaporation
Acetone (750)	7,300	8,850
n-Amyl acetate (100)	27,200	29,800
Isoamyl alcohol (100)	37,200	43,900
Benzol (10)	Not Recommended	
n-Butanol (butyl alcohol) (50)	88,000	104,400
n-Butyl acetate (150)	20,400	22,200
Butyl cellosolve (50)	61,600	65,600
Carbon disulfide (20)	Not Recommended	
Carbon tetrachloride (5)	Not Recommended	
Cellosolve (2-Ethoxyethanol) (100)**	41,600	43,000
Cellosolve acetate (2-ethoxyethyl-acetate) (100)	29,700	29,300
Chloroform	Not Recommended	
1-2 Dichloroethane (50)** (ethylene dichloride)	Not Recommended	
1-2 Dichloroethylene (200)	26,900	20,000
Dioxane (50)	94,600	97,800
Ethyl acetate (400)	10,300	11,000
Ethyl alcohol (1000)	6,900	8,400
Ethyl ether (400)	9,630	13,100
Gasoline	Requires special consideration	
Methyl acetate (200)	25,000	26,100
Methyl alcohol (200)	49,100	60,500
Methyl butyl ketone (25)	Not Recommended	
Methyl cellosolve (25)	Not Recommended	
Methyl cellosolve acetate (25)	Not Recommended	
Methyl ethyl ketone (200)	22,500	26,900
Methyl isobutyl ketone (100)	32,300	38,700
Methyl propyl ketone (200)	19,000	22,400
Naptha (coal tar)	Requires special consideration	
Naptha VM & P (300)	Requires special consideration	
Nitrobenzene (1)	Not Recommended	
n-Propyl acetate (200)	17,500	18,900
Isopropyl alcohol (400)	13,200	16,100
Isopropyl ether (250)**	11,400	15,140
Stoddard solvent (100)	30,000-35,000	40,000-50,000
1,1,2,2-Tetrachloroethane (5)	Not Recommended	
Tetrachloroethylene (100)	39,600	23,400
Toluol (Toluene) (100)	38,000	42,000
Trichloroethylene (50)	90,000	60,000
Xylol (xylene) (100)	33,000	36,400

* The tabulated dilution air quantities must be multiplied by the selected K value.

** See Threshold Limit Values for 1979 in Appendix.

See Appendix for additional TLV and for LEL values.

DILUTION VENTILATION



Note:

Inlet air requires tempering during winter months.
See Section 7

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

PRINCIPLES OF DILUTION VENTILATION

DATE 1-66

Fig. 2-1

La source de contamination doit être située entre la sortie d'air et le travailleur. Si le travailleur se situe entre la sortie d'air et la source de contamination, l'air vicié passe dans sa zone respiratoire, ce qui est à éviter;

S'il y a d'autres espaces connexes occupés, il est préférable de maintenir une pression négative à la sortie de l'air supérieure à la pression, positive de l'entrée d'air afin d'éviter que l'air vicié se propage aux autres espaces. S'il n'y a pas de telles espaces, on recommande de maintenir une pression positive à l'entrée d'air légèrement supérieure à la pression négative à la sortie;

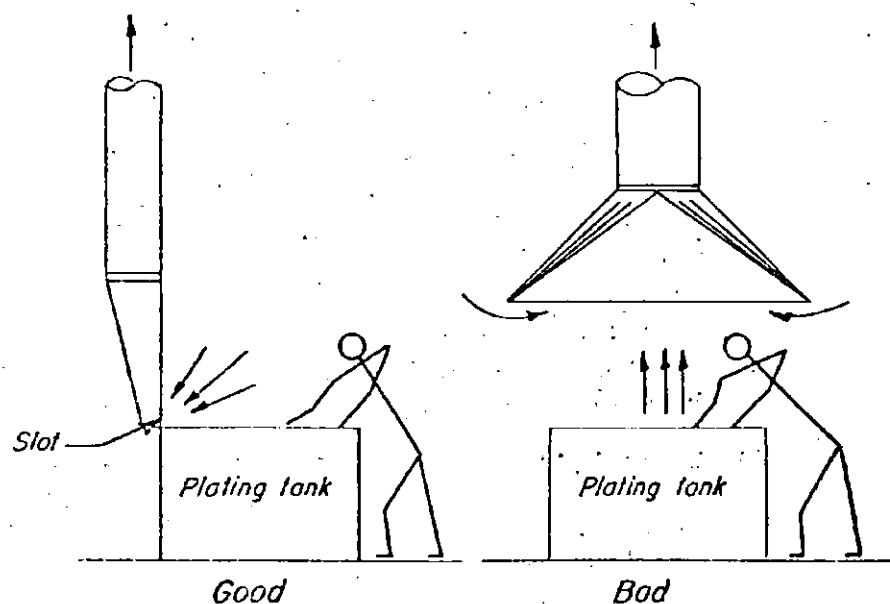
Il faut s'assurer que l'air vicié rejeté à l'extérieur ne repénètre pas à l'intérieur des bâtiments par une autre ouverture située à proximité de la sortie;

Pour chaque volume d'air évacué, il faut prévoir un volume d'air équivalent qui pénètre à l'intérieur. L'air de remplacement doit être chauffé lorsque nécessaire;

- 3) On peut recirculer l'air s'il est possible de filtrer les contaminants présents avec fiabilité. Pour certains agents agresseurs, comme le plomb, il n'est pas recommandé de recirculer l'air;
- 4) Dans les mines, la dilution de l'air constitue un cas particulier. En effet, les puits, les cheminées et les galeries constituent des canalisations de diamètre important. L'air y circule en très grande quantité, mais parfois à de faible vitesse et sur de grandes distances. Il peut devenir complexe d'évaluer la ventilation d'une mine;
- 5) Comme il a été mentionné précédemment, le mélange d'air et de gaz possède pratiquement la même densité que l'air seul lorsque le gaz est présent à de faible concentration. L'air vicié occupe donc tout le volume qui lui est accessible sans qu'il y ait de stratification.

6.2.2.2 La ventilation localisée ou ventilation à la source.

Pour ce type de ventilation, on doit aussi porter attention à l'emplacement de la hotte qui aspire l'air afin que cette dernière ne passe pas dans la zone respiratoire du travailleur.



DIRECTION OF AIR FLOW

Locate the hood so the contaminant is removed away from the breathing zone of the worker.

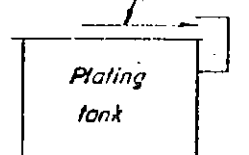
Une attention particulière doit être portée à la vitesse de capture des agents agresseurs. On peut définir la vitesse de capture comme étant la vitesse de déplacement de l'air nécessaire pour prendre un contaminant et l'amener dans la hotte. Les tableaux 6.2.3 et 6.2.4 fournissent différentes vitesses qu'il est recommandé d'obtenir pour capter différents contaminants selon leur nature, ou la nature du procédé.

50-100 fpm capture velocity (or cfm/sq. ft. tank surface).



Good basis

2000 fpm slot velocity



Poor basis

CAPTURE VELOCITY OR PROPER VOLUME

Nature of Contaminant	Examples	Design Velocity
Vapors, gases, smoke	All vapors gases and smokes	Any desired velocity (economic optimum velocity usually 1000-1200 fpm)
Fumes	Zinc and aluminum oxide fumes	1400-2000
Very fine light dust	Cotton lint, wood flour, litho powder	2000-2500
Dry Dusts and powders	Fine rubber dust, Bakelite molding powder dust, jute lint, cotton dust, shavings (light), soap dust, leather shavings	2500-3500
Average industrial dust	Sawdust (heavy and wet), grinding dust, buffing lint (dry), wool jute dust (shaker waste), coffee beans, shoe dust, granite dust, silica flour, general material handling, brick-cutting, clay dust, foundry (general), limestone dust, pack- aging and weighing asbestos dust in textile industries	3500-4000
Heavy dusts	Metal turnings, foundry tumbling barrels and shakeout, sand blast dust, wood blocks, hog waste, brass turnings, cast iron boring dust, lead dust	4000-4500
Heavy or moist dusts	Lead dust with small chips, moist cement dust, asbestos chunks from transite pipe cut- ting machines, buffing lint (sticky), quick-lime dust	4500 and up

Tableau
6.2.3

HOOD DESIGN DATA

4-5

TABLE 4-1
RANGE OF CAPTURE VELOCITIES (7,24)

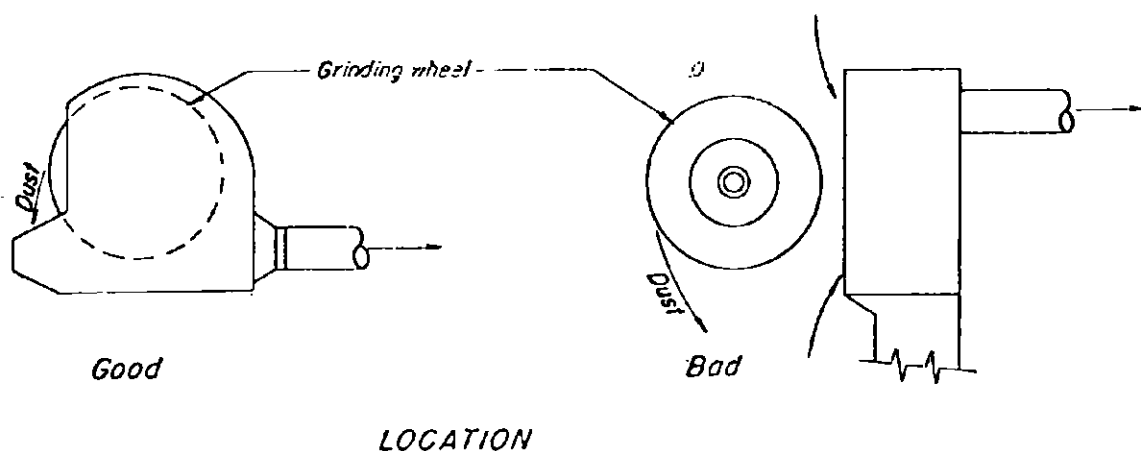
Condition of Dispersion of Contaminant	Examples	Capture Velocity, fpm
Released with practically no velocity into quiet air.	Evaporation from tanks; degreasing, etc.	50-100
Released at low velocity into moderately still air.	Spray booths; intermittent container filling; low speed conveyor transfers; welding; plating; pickling	100-200
Active generation into zone of rapid air motion	Spray painting in shallow booths; barrel filling; conveyor loading; crushers	200-500
Released at high initial velocity into zone of very rapid air motion.	Grinding; abrasive blasting, tumbling	500-2000

In each category above, a range of capture velocity is shown. The proper choice of values depends on several factors:

<u>Lower End of Range</u>	<u>Upper End of Range</u>
1. Room air currents minimal or favorable to capture.	1. Disturbing room air currents.
2. Contaminants of low toxicity or of nuisance value only.	2. Contaminants of high toxicity.
3. Intermittent, low production.	3. High production, heavy use.
4. Large hood—large air mass in motion.	4. Small hood—local control only.

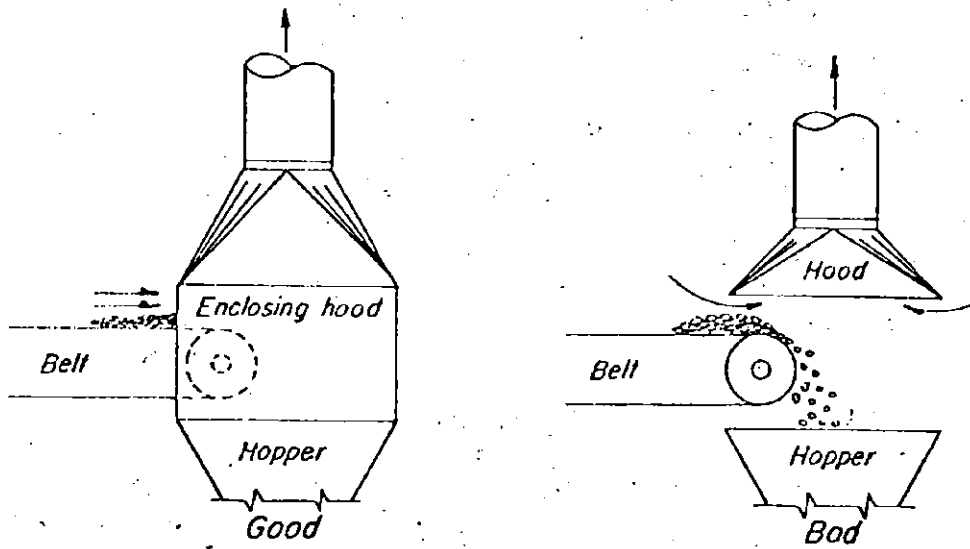
Tableau
6.2.4

Le type de hotte utilisé doit être adapté aux besoins spécifiques à chaque situation. Par exemple, la hotte utilisée pour capter les poussières émises par un procédé de meulage doit prendre en considération le fait que la poussière est projetée à une certaine vitesse. Cette poussière est donc plus difficile à capter.



Locate and shape the hood so the original velocity of the contaminant will throw it into the hood opening.

Il est recommandé d'entourer le plus possible la source de contamination afin d'augmenter l'efficacité du système d'aspiration et de réduire au minimum les quantités d'air ventilé.



ENCLOSE

Enclose the operation as much as possible. The more completely enclosed the source, the less air required for control.

Le volume d'air requis pour aspirer un contaminant est proportionnel au carré de la distance séparant le contaminant à la hotte.

On doit aussi tenir compte de la vitesse de transport lorsque le système de ventilation véhicule des poussières. La vélocité de l'air doit être suffisante pour éviter tout dépôt de poussières dans la canalisation.

6.2.3 Les composantes du système de ventilation.

On peut décomposer un système de ventilation en 5 principales composantes, qui sont:

- la hotte capture
- les canalisations transport
- les épurateurs (filtre ou dépoussiéreur) purifier l'air
- les ventilateurs (moteur et éventail) créer une variation de pression
- les appareils d'air de remplacement (facultatif) (système de chauffage, humidificateur, ventilateur,...)

Principes fondamentaux pour la conception:

- 1) de la hotte:
 - envelopper le plus possible

- placer la hotte au bon endroit
- éviter que la zone respiratoire du travailleur soit sur le chemin du contaminant
- avoir une hotte ayant le minimum d'ouverture possible.

2) les canalisations:

- minimum de changements de direction ou d'élévation
- ne pas nuire à la circulation, l'opération ou l'entretien
- accès facile pour l'entretien et l'inspection
- bouche pour le nettoyage
- prévoir de bons supports
- esthétique et minimum de protection contre le bris
- jamais de changements abruptes de grosseur de canalisation
- entrée ou ambranchement dans la canalisation à 30°
- utiliser des coudes à grand rayon $R = 2d$
 $R = 2 (\phi)$
- les joints doivent être dans la direction de l'air
- les régulateurs de débits ne doivent pas être accessibles à tous.

3) les ventilateurs

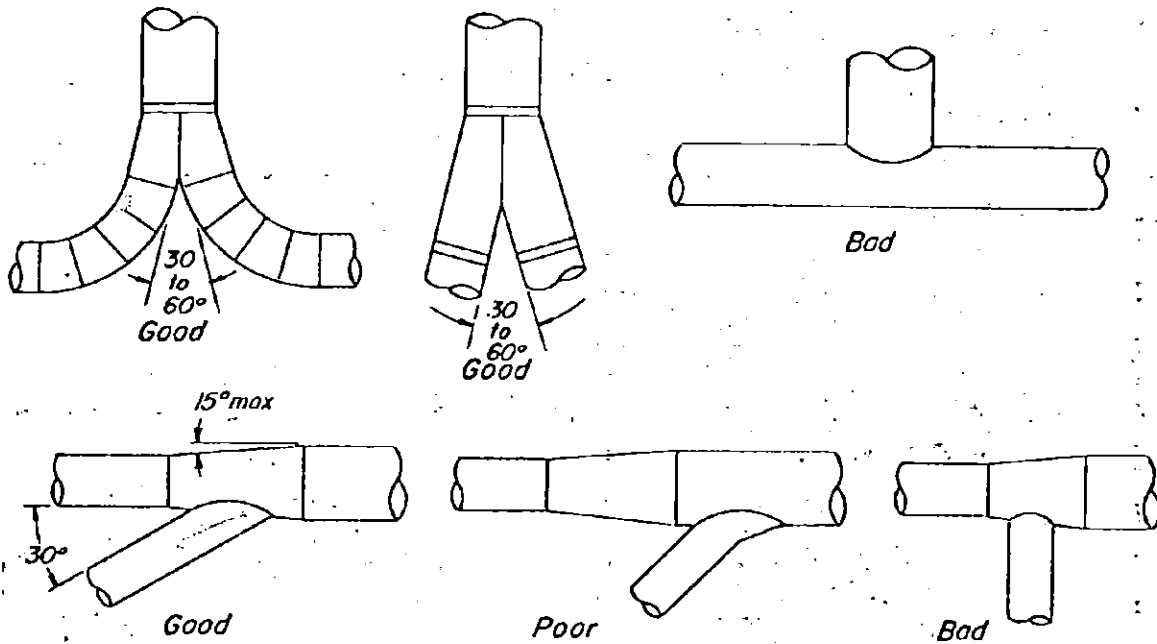
On doit considérer plusieurs facteurs avant d'arrêter le choix d'un type de ventilateurs.

air propre - air souillé
température normale - haute température
poussières érosives - non érosives
aérosols corrosifs - non corrosifs
air humide - sec

Pour obtenir une performance désirée, on peut contrôler une ou plusieurs des variables suivantes:

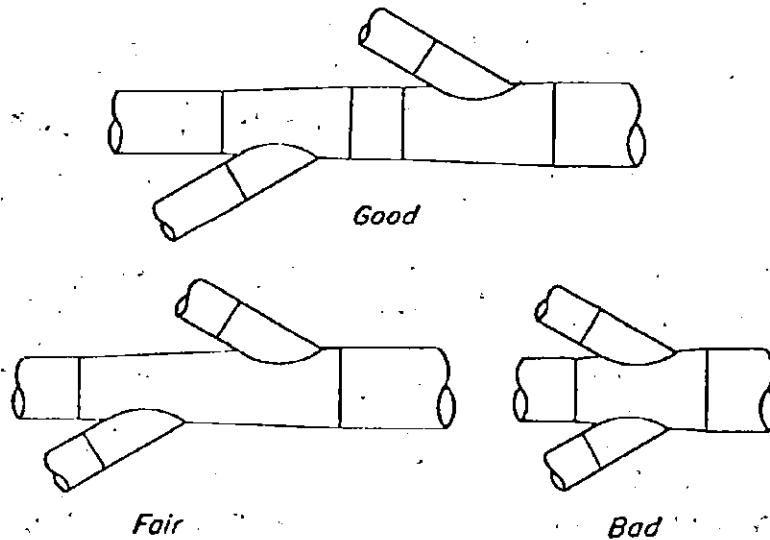
- ajuster les régulateurs de débits
- modifier le type d'éventail
- ajuster la vitesse de rotation de l'éventail
- modifier la grosseur de l'éventail
- ajouter un «INLET, VANE SPIN CONTROL» ou déflecteur d'air.

DESIGN PROCEDURE



BRANCH ENTRY

Branches should enter at gradual expansions and at an angle of 30° or less (preferred) to 45° if necessary.



BRANCH ENTRY

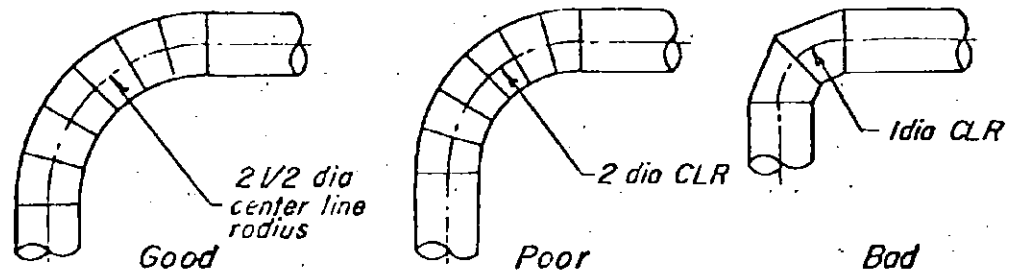
Branches should not enter directly opposite each other.

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

PRINCIPLES OF DUCT DESIGN

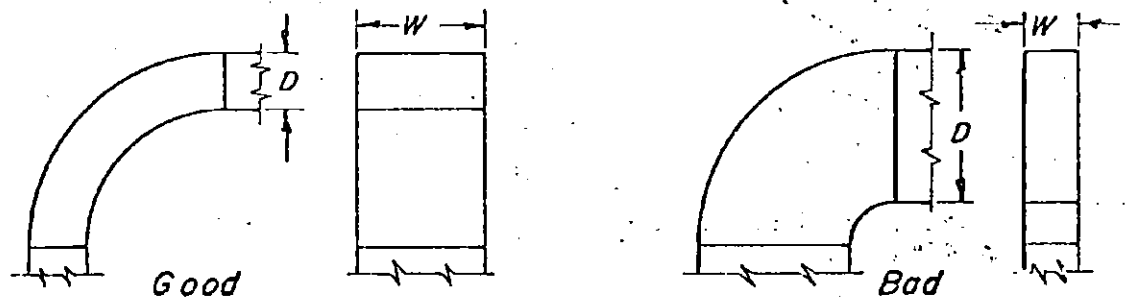
DATE 1-76

Fig. 6-20



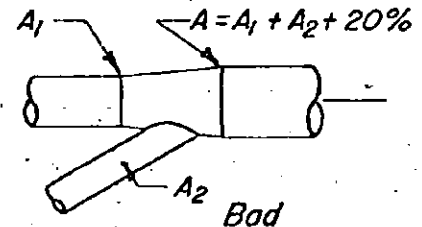
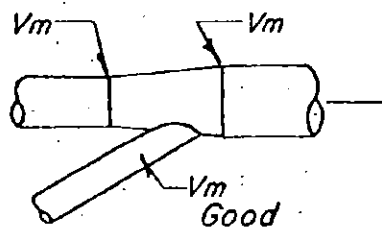
ELBOW RADIUS

Elbows should be 2 or 2 1/2 diameters centerline radius except where space does not permit.



ASPECT RATIO

Keep $AR(\frac{W}{D})$ high in using rectangular duct



V_m = Minimum transport velocity
 A = Cross section area

Size the duct to hold the selected transport velocity or higher.

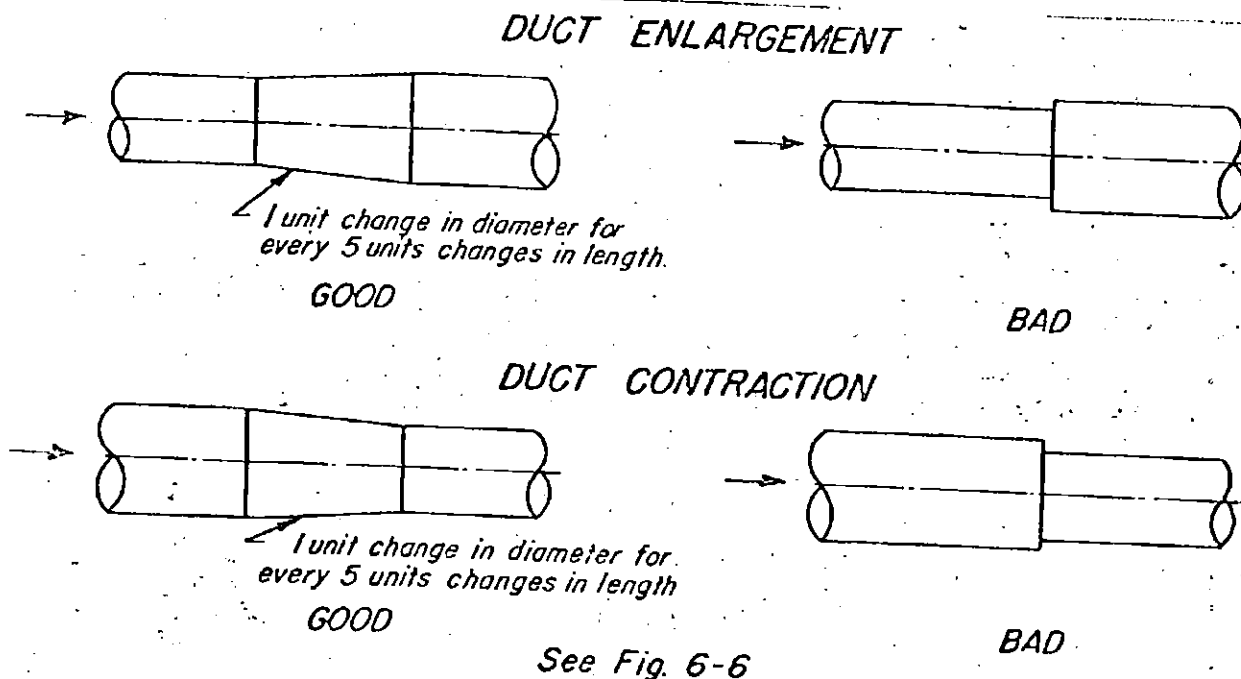
PROPER DUCT SIZE

AMERICAN CONFERENCE OF
GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS

PRINCIPLES OF DUCT DESIGN

DATE 1-78

Fig. 6-19



mal ?

En général, pourquoi un système de ventilation fonctionne t-il

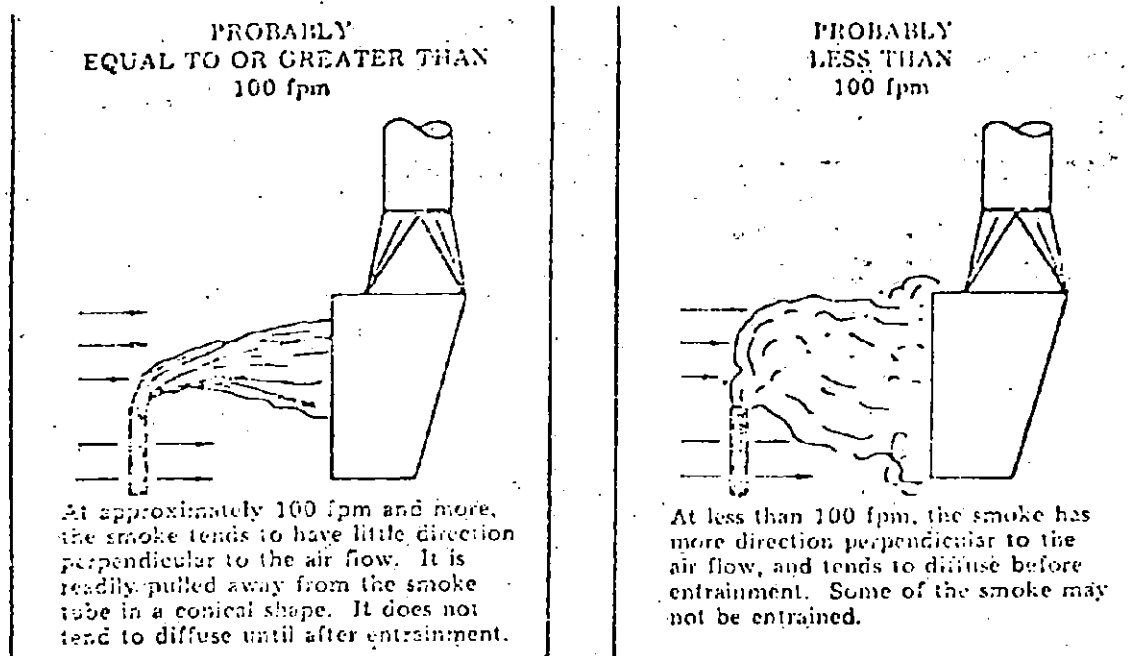
- mauvaise analyse des conditions
Quelles conditions sont à corriger ?
- sous estimation des capacités du système
donner toute l'information pertinente au vendeur
- matériel inconsistent pour le travail requis
- mauvaises installations
vérifier si l'installation est conforme au plan et devis
- manque d'inspection et de maintenance
- surcharge du système
 - par changement
 - par addition
- mauvaises spécifications lors de l'achat.

6.2.4 Comment vérifier un système de ventilation déjà installé ?

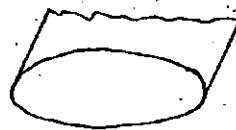
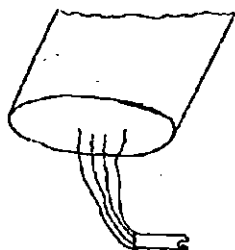
6.2.4.1 L'utilisation d'un tube fumigène.

On peut obtenir un bon aperçu des conditions de la ventilation à un endroit précis en utilisant un tube à fumée. Ce tube est un appareil qui dégage de la fumée visible à l'oeil. Le déplacement de la fumée nous permet d'estimer le déplacement de l'air.

On peut utiliser le tube fumigène pour évaluer la vitesse et l'efficacité de capture d'une hotte. On projette de la fumée à divers endroits près de la hotte et on suit la progression de la fumée. On note à quel endroit la hotte cesse d'avoir une bonne efficacité de capture. Les 2 schémas suivants illustrent comment estimer la vitesse de capture à un endroit précis.



ESTIMATING VELOCITY - HOOD



> 100 pieds/min.

≈ 100 pieds/min

< 100 pieds/min.

estimé de la vitesse de capture.

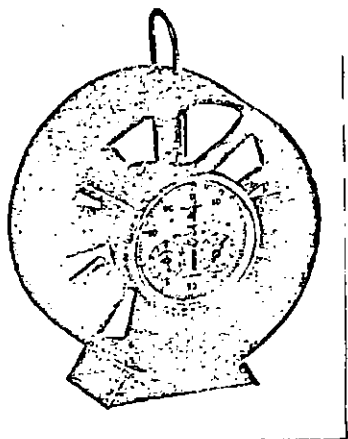
On peut aussi évaluer la direction du déplacement de l'air avec l'aide du tube fumigène. Ainsi, la fumée peut indiquer si l'air vicié se dirige vers la zone respiratoire du travailleur. La fumée peut démontrer un problème de turbulence de l'air. La pression relative est-elle négative à l'intérieur d'une pièce? Si la fumée sort de la pièce, cela indique que l'air vicié peut être répandu dans les autres pièces. La fumée peut aussi nous indiquer où échantillonner, l'absence de ventilation, ... Enfin, on se sert de la fumée pour détecter s'il y a un court-circuit dans le système de ventilation, si la ventilation est inversée, ou encore si l'air vicié rejeté à l'extérieur est recirculé à l'intérieur par une ouverture située à proximité de la sortie.

Finalement, on utilise le tube fumigène pour évaluer la vitesse de déplacement d'air et les débits d'air dans les mines souterraines. En effet, les galeries où sont utilisés des engins diésels sont assez grandes et l'air s'y déplace parfois à de petites vitesses (exemple, 40 pieds par minute). Une personne envoie de la fumée et une autre personne située plus loin dans le conduit dit à la première lorsque la concentration de fumée arrive à elle. Le temps encouru entre le lancement et la réception de la fumée permet d'estimer la vitesse de déplacement de l'air. Si l'on connaît l'air moyen de la section de la galerie, on peut calculer le débit d'air qui circule à cet endroit.

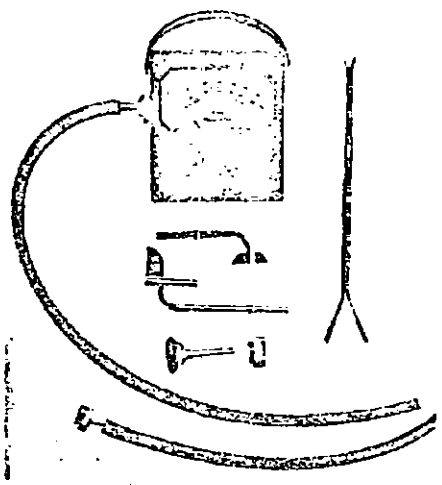
6.2.4.2 Les autres instruments:

On peut évaluer avec plus de précision la vélocité de l'air en utilisant des appareils tel le tube de pitot qui mesure la pression.

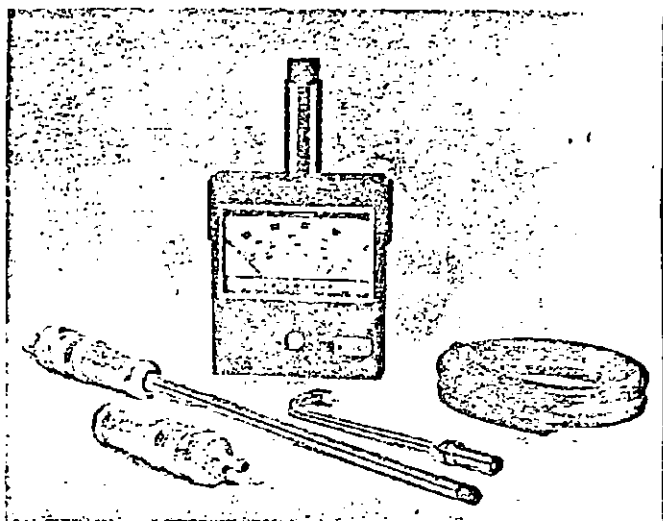
L'anémomètre à hélice, le vélocimètre et le thermo-anémomètre sont utilisés pour obtenir une mesure directe de la vitesse de déplacement de l'air.



Anémomètre à hélice



Vélocimètre



Thermo-anémomètres

Les images, tableaux et graphiques de cette section ont été tirés du livre: Industrial Ventilation de l'Américan Conférence of Governmental Industrial Hygienists, 16e édition.

L'ECLAIRAGE

VOIR LE DOCUMENT

"VISION ET TRAVAIL,
LES TACHES VISUELLES"

TOME 2 de l'IRAT

SESSION DE FORMATION SUR
LA PROTECTION PERSONNELLE

Donnée à Ville-Marie
les 8 et 9 décembre 1983

par
Daniel Gagné et
Normand Duhaime
D.S.C.

Réseau des affaires sociales

LA PROTECTION PERSONNELLE.

Introduction:

Le programme de prévention de la C.S.S.T. présente les moyens et équipements de protection individuels comme une façon d'assurer plus de protection aux travailleurs. Selon ce programme, on doit recourir à la protection personnelle, "soit parce que l'objectif d'éliminer le danger à la source n'est pas atteint compte tenu des délais requis pour l'adaptation aux normes, soit pour se conformer aux divers règlements en vigueur, soit parce que le travail constitue une situation périlleuse comme le travail en hauteur par exemple".⁽¹⁾ Les divers règlements traitant des contaminants, tel le règlement sur la qualité du milieu de travail reprennent tous le même pattern; ils exigent d'abord des correctifs à la source. Si c'est impossible, ils demandent l'adoption de mesures administratives limitant l'exposition des travailleurs. En dernier lieu, ils exigent le recourt à la protection individuelle. Ainsi, l'équipement et les vêtements spécifiques aux contraintes thermiques, l'équipement de protection des voies respiratoires et les protecteurs auditifs doivent être utilisés comme palliatif à un manque de contrôle à la source et comme mesure temporaire. La loi sur la santé et la sécurité du travail (loi 17) est très claire à ce propos:

Moyens et équipements de protection: La mise à la disposition des travailleurs de moyens et d'équipements de protection individuels ou collectifs, lorsque cela s'avère nécessaire pour répondre à leurs besoins particuliers, ne doit diminuer en rien les efforts requis pour éliminer à la source même les dangers pour leur santé, leur sécurité et leur intégrité physique. (1979, c. 63, a.3.)

(1) Guide d'élaboration du programme de prévention propre aux établissements, C.S.S.T., 1982, p.10.

Malheureusement, on trouve un écart considérable entre la "théorie" prescrite par la législation et la pratique industrielle. Pour reprendre l'expression de M. Marcel Labrecque, les moyens de protection individuels sont trop souvent utilisés en région comme moyens temporaires/permanents. Après plusieurs années d'utilisation de protecteurs, aucun projet de réduction à la source n'a vu sa mise en application dans une majorité d'établissements. La protection personnelle telle la protection auriculaire demeure la seule solution implantée par nombre de compagnies. Il nous est difficile de croire encore que la protection personnelle n'est utilisée dans ces industries que comme mesure temporaire. Nous croyons donc important de divulguer auprès des personnes concernées toute l'information concernant la protection contre les contaminants afin d'aider ou inciter le milieu de travail à mieux protéger les travailleurs.

Recourir à la protection individuelle comme unique moyen de contrôle reporte la responsabilité de la prévention sur le dos des travailleurs. Ces derniers doivent porter les appareils, bien les utiliser, les entretenir, et supposer qu'ils sont protégés efficacement en les portant. En attribuant la responsabilité du choix des équipements au comité de santé sécurité on aggrave ce phénomène: Vous avez choisi vous-même le modèle d'équipement, pourquoi ne le portez-vous pas? Vous avez fait dépenser "X" dollars à la compagnie pour acheter des masques et vous ne vous en servez pas. C'est donc une arme à double tranchant. Le travailleur est assuré d'un mot à dire concernant le choix de l'équipement individuel qu'il doit porter, mais on accroît aussi sa responsabilité. Cette arme devrait être utilisée avec son bon tranchant. Ici intervient le rôle des personnes travaillant en santé au travail. Ils doivent présenter une image objective des moyens de protection individuels et ils ne doivent pas se gêner pour présenter toutes les alternatives qui existent en terme de protection individuelle. Par exemple, avant d'exiger qu'aucun travailleur exposé au gaz ne porte la barbe, on doit s'interroger sur la possibilité d'acheter des équipements de protection respiratoire permettant le port de la barbe (comme les casques à ventilation extérieure de type Racal par exemple).

Aussi la législation oblige le travailleur à porter l'équipement mis à sa disposition. L'article 49 de la loi sur la santé et la sécurité du travail oblige le

travailleur à "prendre les mesures nécessaires pour protéger sa santé, sa sécurité ou son intégrité physique". On doit faire attention afin que cette législation ne vienne cautionner l'action des compagnies qui n'axent leurs efforts que sur la protection personnelle.

Dernièrement en région, des travailleurs informés par le personnel d'un centre hospitalier sur le niveau moyen de protection offert par les protecteurs auditifs ont fait un refus de travail. Ils étaient exposés à des bruits de 110 dB A pendant 8 heures. Les travailleurs ont dit n'être protégés en moyenne que de 10 dB A et n'être pas protégés adéquatement contre un risque d'atteinte auditive. La C.S.S.T. n'a pas accordé le refus de travail. Comme le fournisseur atteste qu'en moyenne ses protecteurs atténuent les bruits de 29 dB A (test en laboratoire), les travailleurs étaient supposés être exposés de fait à moins de 90 dB A. Cet exemple illustre le besoin que tous les intervenants divulguent la même information et que l'on s'assure de la protection effective accordée aux travailleurs.

Un dernier point à considérer c'est que dans le programme de prévention, il y a une section qui s'intitule "Normes spécifiques à l'établissement". L'intention du législateur en proposant ces normes était certes louable i.e. permettre de donner une valeur légale aux règlements internes d'une compagnie lorsque ceux-ci sont encore plus sévères que ceux prévus par la loi. Cependant, nous avons été à même de constater que l'utilisation de ce règlement par certaines compagnies était assez surprenante. Ainsi on sait que certaines normes sont controversées: le 90 dB A pour le bruit, le 0,15 mg/m³ pour le plomb, le 5 ppm pour le SO₂, etc. Beaucoup de gens croient que ces normes ne sont pas assez sévères. Beaucoup de compagnies croient ces gens. Donc, et c'est ici un "donc" un peu spécial, ils décréteront que dans leur usine, les travailleurs devront porter l'équipement de protection personnel, même si les concentrations n'atteignent que la moitié ou le quart de la norme. Et ces règlements auront force de loi s'ils sont approuvés par le C.S.S. et n'importe quel inspecteur de la C.S.S.T. pourra infliger des amendes à un travailleur qui refuse de porter ses coquilles lorsque le niveau de bruit est inférieur à la norme légale !!!

Les membres des C.S.S. doivent donc y penser deux fois avant de donner leur accord au programme de prévention présenté par l'employeur.



CHOIX, UTILISATION ET EVALUATION
DES RESPIRATEURS

Notes de cours préparées par:

Edouard Villeneuve
Mines Noranda Ltée

Cours dispensé à Québec dans le cadre
du V^e Congrès annuel

4 mai 1983

INTRODUCTION

"La prévention constitue l'objectif de la loi 17 (sur la santé et la sécurité au travail); éliminer à la source-même les dangers et les risques qui menacent la vie, la santé, la sécurité et l'intégrité physique des travailleurs.

S'attaquer aux causes de lésions professionnelles, les maladies et les accidents du travail, et non pas seulement en constater et en réparer les effets: voilà le volte face par rapport à l'ancien régime."

Telles étaient les paroles que prononçait M. Robert Sauvé, Président directeur général de la Commission de la Santé et de la Sécurité du Travail du Québec devant la réunion régionale de l'Institut Canadien des Mines et de la Métallurgie qui se tenait à Val d'Or en septembre 1981.

S'agit-il simplement d'un vœu pieux ou d'un objectif réalisable?

Pour un hygiéniste industriel, le contrôle des dangers à la source constitue la raison d'être de son travail et forme une constituante du processus d'intervention. Ce processus se compose d'une démarche en trois étapes par rapport aux risques du milieu de travail, soit l'identification, l'évaluation et le contrôle.

Ayant identifié et évalué les risques, chimiques, physiques ou autres, on doit alors décider de l'intervention requise; c'est l'étape contrôle.

Parmi tous les moyens de contrôle, il va sans dire que la correction à la source sera toujours la solution idéale. Or, la réalité veut souvent que ce soit autrement ou que ce soit difficile à réaliser dans l'immédiat. D'autres moyens de contrôle devront alors être envisagés, tel l'isolation de l'appareil ou du procédé dans l'espace ou le temps, la fabrication d'enclos pour contenir les contaminants ou les travailleurs; parfois ces contrôles ne suffiront pas ou ne seront pas non plus immédiatement applicables; alors on devra se tourner vers le dernier alternatif, c'est-à-dire la protection personnelle.

Contrairement à ce qu'on est porté à croire, le domaine de la protection respiratoire est complexe nécessitant au départ des connaissances de base en chimie, en physique, en physiologie, etc.

Afin de comprendre un peu mieux toute cette question, il est nécessaire de connaître les principes fondamentaux de la protection respiratoire.

I. HISTORIQUE

Comme tout ce qui touche les questions de santé-sécurité au travail, on peut retourner assez loin dans le passé pour se rendre compte que la protection des voies respiratoires contre les contaminants de l'air constituait une certaine préoccupation.

- Pline l'Ancien (23-79 AD) avait proposé l'utilisation d'un masque fait d'une vessie animale pour protéger les travailleurs oeuvrant dans les mines d'oxyde de plomb.
- Le Grec, Dioscorides (50 AD) a, lui aussi, décrit un masque semblable.
- Pollox (124-192 AD) a amélioré le concept des deux précédents en ajoutant à la vessie une toile de jute pour capter plus efficacement les poussières.

Il est intéressant de noter ici que tous ces cas se rapportent aux risques du milieu de travail dans les mines. Même aujourd'hui, ce secteur industriel constitue une priorité dans le but d'améliorer les méthodes et les appareils de protection disponibles.

- Léonard da Vinci (1459-1519) s'est aussi intéressé à cette question. Il a conçu un appareil dont l'élément filtrant principal était un linge humide permettant de retenir les

agents chimiques utilisés à la guerre. Il inventa aussi plusieurs types de scaphandres.

- Bernardino Ramazzin (1633-1714), considéré comme le père de la médecine au travail, a fait une critique très sévère de la protection respiratoire qui était disponible à son époque. Il fut le premier à étudier en détail les effets de divers contaminants (arsenic, silice, poussières diverses) sur la santé des travailleurs.
- Au 18e siècle, on voit apparaître une nouvelle sorte de protection respiratoire soit les appareils à approvisionnement d'air.
- Lors de la révolution industrielle du 19e siècle, les respirateurs devenaient plus raffinés et plus adaptés aux contaminants.
- En 1825, Roberts introduisait son "filtre à fumée" conçu spécialement pour les pompiers. Composé d'une cagoule de cuir et d'un boyau qui se terminait par un entonnoir renversé, ce respirateur avait comme principe de base d'utiliser l'air au niveau du sol, considéré comme le moins contaminé lors d'un incendie. L'entonnoir contenait de plus une toile de laine pour filtrer les poussières et une éponge humide servant à retenir certains gaz.

- En 1823, Deane développait la "veste à fumée" pour les pompiers comprenant un soufflet servant à fournir l'air aux pompiers par un boyau.
- En 1827, on appliqua la découverte de Brown, soit le mouvement Brownien, des particules dans l'air, au développement de nouveaux filtres. Toutefois, il y avait des limites à leur efficacité due à leur grande résistance à l'inhalation.
- Une découverte importante du 19^e siècle fut celle des propriétés du charbon activé et de son potentiel comme agent de purification d'air. Shaw appliqua aussitôt cette propriété au développement d'un masque pour les pompiers en compagnie du physicien, John Tyndall.
- Les deux grandes guerres mondiales du 20^e siècle ont largement contribué au développement de nouveaux respirateurs surtout pour la protection contre les agents chimiques utilisés sur les champs de bataille.
- Depuis ce temps, on n'a fait qu'améliorer ce qui existait déjà. Il y eut toutefois le développement du filtre imprégné vers 1930. Ce filtre est enduit d'une résine et est chargé électriquement, ce qui a pour effet d'en augmenter l'efficacité.

- Dernièrement on a pu développer des filtres à très haute efficacité fabriqués d'un mélange de papier et de fibre de verre. Utilisés pour la protection contre les particules très petites (99.97% efficace contre les particules de 0.3 μ de diamètre), leur résistance à l'inhalation est minime.

II. LES RISQUES DU MILIEU DE TRAVAIL ET LES CONTAMINANTS

Dans le but de choisir adéquatement une protection respiratoire, il est important de connaître les risques du milieu de travail.

Il est donc nécessaire de définir ces risques. Pour se faire, on peut les classer selon leurs propriétés.

Les deux grandes catégories de risques ou de contaminants sont:

- Manque d'oxygène
- Contaminants tels poussières, gaz, vapeurs, etc.

De plus, il est nécessaire de savoir ce qui constitue une atmosphère hautement dangereuse pour la vie ou la santé. Cet important aspect est parfois assez difficile à définir.

On dit qu'un environnement est hautement dangereux pour la vie ou la santé si la possibilité d'en sortir vivant et en santé est très faible ou nulle. Il est possible de rencontrer ces conditions si les situations suivantes se présentent.

- Contaminant inconnu
- Contaminant connu mais concentration inconnue
- Espaces clos
- Combat d'incendie
- Autre

Cette définition pourrait aussi inclure toute atmosphère déficiente en oxygène.

En général, l'air se compose de:

- Azote:	78.09%	- Pression partielle:	594 mm Hg
- Oxygène:	20.95%	- Pression partielle:	159 mm Hg
- Argon:	0.93%	- Pression partielle:	7 mm Hg
- Anhydride carbonique:	0.04%	- Pression partielle:	0.30 mm Hg

A. Manque d'oxygène

Au départ, il est entendu qu'en cas de manque d'oxygène, seuls les respirateurs à approvisionnement d'air peuvent être utilisés.

Au Québec, on définit une atmosphère normale comme contenant au moins 19.5% O₂ à pression atmosphérique normale.

Il est important de bien retenir qu'en réalité, c'est la pression partielle de l'oxygène qui est le facteur déterminant. C'est donc dire que la définition telle que présentée plus tôt ne s'applique qu'à pression atmosphérique normale (≈ 760 mm Hg). Si cette pression varie, la pression partielle de l'oxygène variera aussi et pourra, dans certains cas, entraîner des difficultés de respiration même si le pourcentage d'oxygène demeure le même.

(Exemple: en altitude.)

B. Contaminants

1. Absorption

Pour pouvoir exercer un effet toxique, une substance doit atteindre les tissus et les cellules sensibles. Dans la plupart des cas, le contaminant doit donc être absorbé. En industrie, les trois principales voies d'absorption sont:

- Par la peau: Absorption cutanée
- Par le système digestif: Absorption digestive
- Par le système respiratoire: Absorption respiratoire

Parmi ceux-ci, c'est le système respiratoire qui représente souvent la voie principale d'absorption en milieu de travail.

Il s'agit donc de définir la nature de ces contaminants ainsi que leurs propriétés et leurs caractéristiques.

2. Classification des contaminants

a) Particules aéroportées

(i) Classification physique

- Produit de dispersion mécanique

Toute particule, solide ou liquide, dispersée dans l'air par moyens mécaniques tel concassage, arrosage, broyage ou autre.

- Produit de dispersion par condensation

Toute particule, solide ou liquide, dispersée dans l'air par certaines réactions tel la combustion.

- Poussière

Un produit solide de dispersion mécanique dont la dimension peut varier de microscopique à visible.

- Jet pulvérisé

Un produit liquide de dispersion mécanique dont les particules sont ordinairement visibles.

- Fumée

Un produit solide de dispersion par condensation. Les particules sont généralement très petites soit $< 1 \mu$.

- Brouillard

Un produit liquide de dispersion par condensation. Les particules peuvent être de dimension microscopique ou visible.

- Brume

Un brouillard assez dense pour rendre la visibilité difficile.

- Fumée de combustion

Le produit d'une combustion incomplète de matières organiques sous forme de particules solides ou liquides en suspension dans l'air y compris un mélange de gaz.

- Bruine

Autrement appelée "smog", constituée d'un mélange de produits de dispersion solides ou liquides en suspension dans l'air mêlé à des gaz ou des vapeurs.

(ii) Classification physiologique

- Inerte ou nuisible

Si inspirées, ces poussières peuvent causer un inconfort ou une légère irritation. Toutefois, étant donné qu'aucune

poussière n'est totalement inerte, il est possible que des expositions élevées et de longue durée peuvent entraîner des effets néfastes. On peut citer en exemple le gypse, l'oxyde d'aluminium, et la poussière d'argile.

- Poussière provoquant une réaction pulmonaire

On regroupe dans cette catégorie toutes les poussières pouvant provoquer des réactions spécifiques ou non dans les tissus pulmonaires incluant des nodules, des fibroses ou même des cancers. L'amiante, la silice, l'oxyde de fer, le sulfate de barium sont tous des composés capables de provoquer différentes réactions pulmonaires.

- Irritant chimique

Cause une irritation, une inflammation ou une ulcération des voies respiratoires. Les poussières acides, alcalines (chaux) et les chromates sont classés comme des irritants.

- Poisons systémiques

Ces poussières peuvent être absorbées au niveau du poumon pour ensuite être distribuées à divers organes produisant des réactions toxiques. Citons en exemple le plomb, le cadmium ou les pesticides.

- Les allergènes

Peuvent provoquer une réaction allergique chez certains sujets. Dans ce groupe, on retrouve le pollen, certaines résines, les épices, des fibres animales ou végétales et autre.

- Poussière provoquant une réaction fébrile

Chez les sujets surexposés, ces poussières peuvent provoquer des réactions tel frissons ou fièvre intense. Citons ici la fumée de zinc ou de cuivre.

b) Contaminants gazeux

(i) Classification chimique

- Acide

Contaminants gazeux qui sont acides ou qui peuvent réagir avec l'eau pour former des acides. On peut citer en exemple l'anhydride sulfureux, le chlore, le fluor ou autre.

- Alcalins

Contaminants gazeux qui sont des bases ou qui réagissent avec l'eau pour former des bases. Citons en exemple l'ammoniaque, les amines.

- Organique

Ce sont les gaz des composés organiques. Parmi les plus connus on retrouve les hydrocarbures saturés tel le méthane, l'éthane, le propane ou les insaturés tel l'éthylène ou l'acétylène. On retrouve aussi toute une liste de composés tel les alcools, les aldéhydes, les cétones, etc.

- Organo-métallique

Les composés dont un métal est lié à un groupe organique. Certains sont volatiles tel le tétraéthyle de plomb.

- Hydrures

Composés dont l'hydrogène est lié à un métal ou à un métalloïde tel le pentaborane, le décaborane ou le diborane.

- Inertes

Substances qui ne réagissent pas avec d'autres tel l'hélium, le néon, l'argon, le krypton ou le xénon.

(ii) Classification physiologique

Pour ce qui est de gaz et des vapeurs, la classification physiologique demeure très imparfaite. En fait, un gaz peut provoquer divers effets physiologiques. Néanmoins, cette classification constitue un guide important et nécessaire.

- Irritant

Capable de causer la corrosion, ces gaz peuvent entraîner une inflammation douloureuse et une augmentation des sécrétions muqueuses allant même à l'œdème pulmonaire. Ces gaz irritants peuvent être classés comme suit:

- qui affectent les voies respiratoires supérieures:
ammoniaque, chlorure d'hydrogène, fluorure d'hydrogène, trioxyde de soufre et acide acétique.
- qui affectent les voies respiratoires supérieures et inférieures: anhydride sulfureux, l'iode, brome, chlore, fluor, ozone.
- qui affectent les voies inférieures: dioxyde d'azote, phosgène, trichlorure d'arsenic.

- Asphyxiants

Peuvent interférer avec l'approvisionnement et l'utilisation de l'oxygène. Ils n'affectent pas la respiration et sont divisés en deux groupes:

- Asphyxiants simples: surtout des gaz inertes qui ont pour effet de diminuer l'oxygène: azote, hélium, méthane.

- Asphyxiants chimiques: monoxyde de carbone, cyanure d'hydrogène.

- Anesthésiques

On dit que tous les gaz et vapeurs organiques sont des anesthésiques. Mais certains peuvent aussi être des poisons systémiques ou des narcotiques. On peut citer en exemple l'oxyde nitreux, le propane, le butane, l'acétyline et certains éthers.

- Poisons systémiques

Ces gaz une fois absorbés pourront endommager ou affecter le fonctionnement de certains organes ou des systèmes complets. Comme exemple, il y a le mercure et ses effets sur le système nerveux; le sulfure d'hydrogène (paralysie olfactive), l'arsine (destruction des globules rouges et lésions hépatiques).

Un résumé de la classification des divers contaminants est présenté dans la figure qui suit.

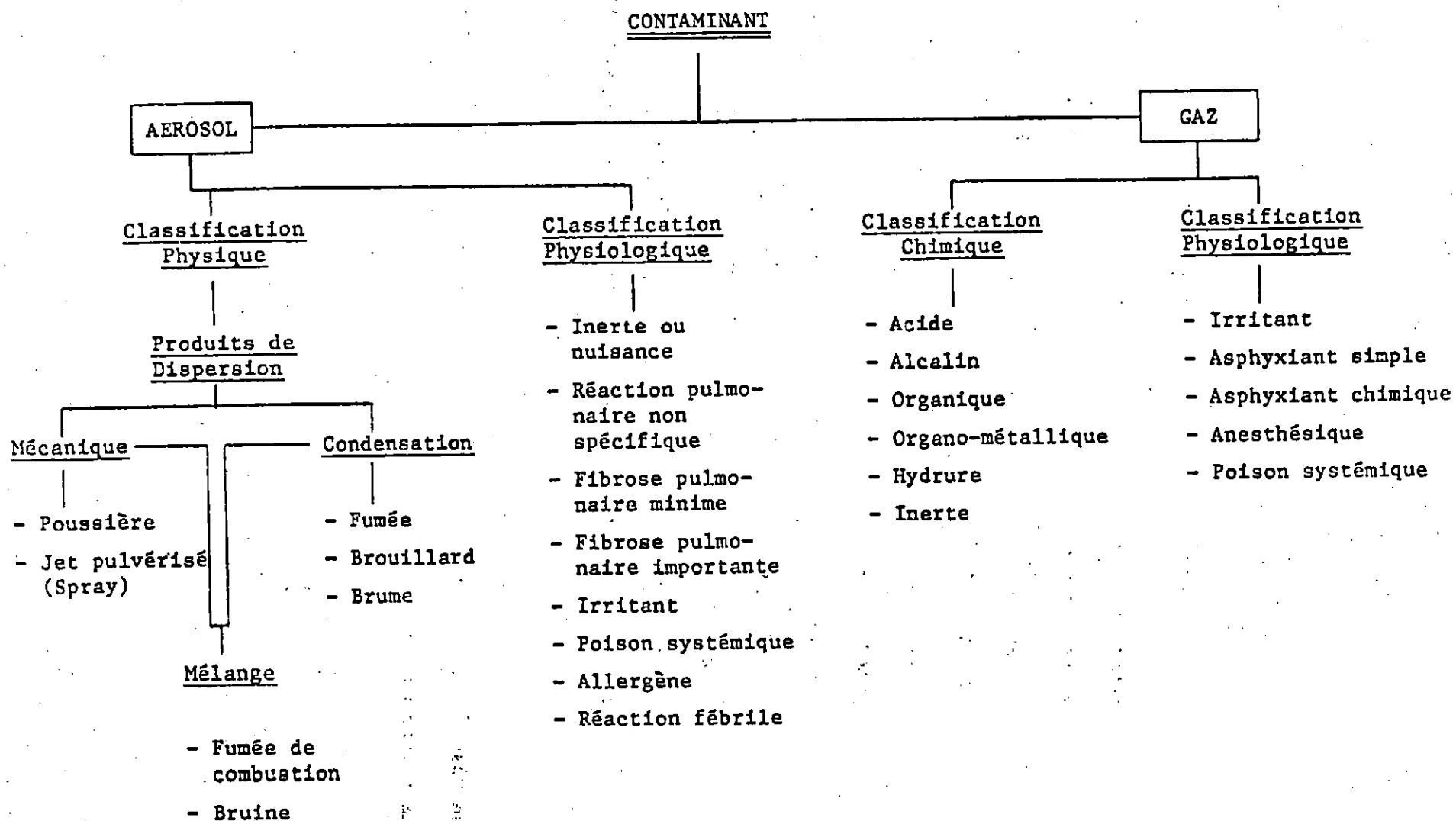


Figure 1 - Contaminants de l'air

III. TYPES DE RESPIRATEURS

A priori, choisir un respirateur peut sembler assez simple. Or, ce n'est pas toujours le cas. En plus de devoir tenir compte de plusieurs facteurs reliés directement au milieu de travail, on a à choisir parmi des centaines de respirateurs présentement disponibles sur le marché. Il est donc important d'avoir recours à un système quelconque pour aider à faire le meilleur choix possible.

A. Classification des respirateurs

Présentement, en Amérique, la classification des respirateurs est dictée par NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). Au départ, on dit qu'il existe deux grandes familles de respirateurs soit à purification d'air ou à approvisionnement d'air.

B. Enceinte respiratoire

On définit un respirateur comme étant une enceinte placée à l'entrée des voies respiratoires et couvrant le nez, la bouche, la figure ou la tête entière dans le but de protéger l'utilisateur des agents ou des contaminants en suspension dans l'air.

Il existe deux types d'enceintes:

- Ajustées
- Non-ajustées

1. Enceintes ajustées

Souvent appelées masques, elles sont fabriquées en plastique, en caoutchouc ou en silicone et sont retenues en place grâce à des bandes élastiques. Trois types sont couramment utilisés.

- Quart de masque

Couvre surtout la bouche et le nez.

- Demi-masque

Couvre le nez et la bouche mais repose sous le menton.

- Masque facial complet

Couvre la figure en procurant une protection additionnelle pour les yeux.

Parmi les enceintes ajustées, on inclura aussi les masques jetables.

Il y a aussi le respirateur de type buccal; très rarement utilisé en industrie, il est destiné surtout aux situations d'urgence.

Il y a aussi les filtres à fumées métalliques dont l'efficacité est de 90 à 99% contre les poussières de 0.6 μ de diamètre et dont la norme dépasse 0.05 mg/m³.

Enfin, il y a les filtres ordinaires offrant une protection contre les contaminants dont la norme est supérieure à 0.05 mg/m³. Leur efficacité se situe entre 80 et 90% contre les particules de 0.6 μ . Ces derniers peuvent être composés de fibres de papier ou d'une combinaison de feutre et de laine imprégnée d'une résine et chargée électrostatiquement.

2. Protection contre les gaz et vapeurs

Il s'agit de retenir les molécules grâce à une réaction physique ou chimique. Quatre mécanismes sont :

- l'adsorption
- l'absorption
- la catalyse
- la réaction chimique

Adsorption

La molécule de gaz est retenue à la surface d'une granule de sorbent par attraction physique ou chimique. Tous les sorbents ont une très grande superficie spécifique allant même jusqu'à 1500 m²/g. Le sorbent le plus utilisé est le

2. Enceintes non-ajustées

Dans ce groupe, on retrouve les cagoules, les habits complets, les casques et autre. Un exemple serait la cagoule pour le nettoyage à jet abrasif.

C. Respirateurs à purification d'air

Compris dans cette famille de respirateurs, on retrouve trois classes:

- Protection contre les poussières
- Protection contre les gaz et vapeurs
- Protection combinée, poussières, gaz et vapeurs

1. Protection contre les poussières

Ces respirateurs comportent tous un filtre dont l'efficacité variera selon le degré de protection requis. Les filtres à haute efficacité offrent une protection contre les poussières, fumées et brouillards dont la norme permise dans l'air (TLV) est inférieure à 0.05 mg/m^3 .

Ces filtres sont efficaces à 99.97% contre les poussières de 0.3μ de diamètre.

charbon activé. Le sorbent peut aussi être imprégné d'une substance afin d'en augmenter l'efficacité de rétention pour certains gaz. D'autres sorbents sont l'alumine et le gel de silice.

- Absorption

Dans ces cas, les molécules de gaz ou de vapeurs sont retenues à l'intérieur des granules et réagissent chimiquement avec ces derniers. Ce processus, plus lent que le précédent, est surtout appliqué aux gaz acides. Quelques absorbants sont l'hydroxyde de sodium ou de potassium, la chaux et les silicates caustiques.

- Catalyse

Il s'agit d'appliquer le phénomène de catalyse pour accélérer la réaction entre diverses substances afin de former un produit moins toxique. Le plus utilisé est l'hopcalite qui catalyse la réaction entre le CO et l'oxygène pour former le CO₂, un gaz beaucoup moins toxique.

- Réaction chimique

Certains contaminants réagiront chimiquement évitant ainsi qu'ils soient respirés.

Ces produits seront alors placés dans des contenants métalliques ou plastiques de dimensions variables selon le type de respirateur auquel ils seront destinés.

a) Cartouches chimiques

Destinées à être utilisées dans des concentrations de gaz ou de vapeur relativement basses (50 ppm SO_2 , 1,000 ppm vapeurs organiques).

b) Boîtier filtrant

Ces boîtiers de dimensions variables, sont toujours utilisés avec le masque facial. Ils peuvent être placés directement sur le masque ou reliés au masque par un boyau.

3. Protection combinée, poussières, gaz et vapeurs

Il existe des cartouches et des boîtiers filtrants qui protègent à la fois contre les deux groupes de contaminants. En apparence, ils sont identiques aux précédents.

Il existe un boîtier filtrant spécial appelé le Type N. Il a la propriété de pouvoir procurer une protection contre plusieurs contaminants

incluant le CO. En fait, il contient une couche de hopcalite, agent catalyseur décrit plus tôt.

4. Respirateurs à purification d'air avec ventilateur motorisé

Ce groupe d'appareils est relativement nouveau. Munis d'un ventilateur motorisé avec piles rechargeables, ces appareils aspirent l'air contaminé à travers un filtre pour ensuite distribuer cet air purifié à la zone respiratoire.

L'avantage d'un tel système est le fait qu'il procure une pression positive à l'intérieur du masque ayant ainsi pour effet d'empêcher toute infiltration de contaminants tout en réduisant l'effort à l'inhalation.

5. Avantages et désavantages des respirateurs à purification d'air

- Avantages

Assez petits et peu coûteux, ils sont faciles d'entretien et offrent une certaine liberté de mouvements. Plusieurs combinaisons de filtres, cartouches sont possibles permettant d'offrir une protection adéquate dans plusieurs situations.

- Désavantages

Ne doivent jamais être utilisés dans une atmosphère hautement dangereuse à la vie ou à la santé ou pour des contaminants qui ne peuvent être perçus par le goût ou l'odorat.

D. Respirateurs à approvisionnement d'air

Cette famille de respirateurs regroupe tous les appareils capables de fournir de l'air respirable au porteur en provenance d'une source autre que l'air ambiant.

Ces types de respirateurs sont classés selon qu'ils sont de type autonome ou non. En fait, c'est la façon dont l'air est apporté au porteur qui détermine la catégorie du respirateur.

1. Respirateurs autonomes - SCBA
(Self-contained breathing apparatus)

Le travailleur porte sur lui sa source d'air et jouit ainsi d'une certaine liberté de mouvements. L'autonomie ou la durée d'utilisation de ces appareils peut varier de quelques minutes jusqu'à un maximum de quatre heures, dépendant du type utilisé.

Deux sous-groupes de respirateurs autonomes existent:

- Circuit fermé
- Circuit ouvert

a) SCBA Circuit fermé

Il s'agit essentiellement d'un système à recirculation d'air. Le principe de fonctionnement consiste à recirculer l'air exhalé après l'avoir purifié et y avoir enlevé le CO_2 .

Ces appareils sont surtout utilisés pour le sauvetage minier. Dans ces cas, ils ne seront approuvés que si leur autonomie de fonctionnement dépasse une heure.

Il existe deux systèmes de respirateurs à circuit fermé. Ce sont le système à bonbonne d'oxygène et le système appelé "Chemox".

Le système à bonbonne d'oxygène fonctionne comme suit. Au départ, l'oxygène de la bonbonne sert à remplir un sac. Cet oxygène est ensuite respiré par le travailleur et l'air exhalé est retourné au sac en passant par un purificateur qui enlève le CO_2 .

Lorsque le sac se vide, une plaque de métal percute une tige raccordée à une valve qui permet l'arrivée d'oxygène de remplacement.

Le système Chemox pour sa part fait appel à une réaction chimique entre le CO_2 et l'air expiré et la vapeur d'eau avec le superoxyde de potassium pour former de l'oxygène selon l'équation:



L'oxygène au départ est fourni par un système spécial qui en procure assez en attendant que la réaction avec le superoxyde soit amorcée. L'oxygène formé, avant d'être consommé, est conservé dans deux sacs placés de chaque côté du boîtier.

b) SCBA Circuit ouvert

La différence de base avec le premier système est que l'air expiré n'est pas recyclé.

Ce respirateur utilise une bonbonne d'air comprimé à haute pression (2,000 lbs/po²). Cette pression est réduite en la passant par un régulateur avant de l'envoyer au masque.

L'autonomie du système est d'environ 30 minutes. Ces systèmes sont surtout utilisés par les pompiers ou en cas d'urgences dans les industries.

Il existe deux sortes de respirateurs à circuit ouvert, la différence se situant au niveau du fonctionnement du régulateur.

Dans le système à "demande", l'air est fourni au travailleur sur demande seulement. C'est-à-dire que la pression négative créée dans le masque au moment de l'inhalation provoque l'ouverture d'une valve d'admission dans le régulateur permettant ainsi l'apport de l'air nécessaire.

Le régulateur de type pression et demande est semblable au premier excepté qu'on a ajouté dans le régulateur un ressort pour que la valve d'admission d'air soit maintenue légèrement ouverte et ce en tout temps. Ceci a pour conséquence de maintenir une pression positive dans le masque empêchant ainsi toute infiltration de contaminant au moment de l'inhalation.

De plus, ces respirateurs sont munis de divers accessoires, soit:

- Un avertisseur sonore qui renseigne le porteur qu'il ne reste plus qu'environ 20% de l'air au début.
- Des accouplements spéciaux afin d'empêcher toute erreur de raccordement.
- Dans certains cas, on retrouve même un essuie-glace sur la visière du masque.

2. Respirateurs non-autonomes

Il existe deux types de respirateurs à approvisionnement d'air non-autonomes, soit les masques à boyau (avec ou sans pompe à l'air) et les masques alimentés par une ligne d'air comprimé.

Dans le cas des respirateurs à ligne d'air comprimé, on distingue trois types de régulateurs à pression:

- demande
- pression et demande
- débit continu

Ces respirateurs sont appelés Type C. La ligne d'air comprimé peut être branchée à une cagoule, un habit, un masque facial ou demi-masque.

De toute façon, ce qui les différencie des respirateurs autonomes est le fait que l'utilisateur ne porte pas l'air sur lui; il est alimenté à partir d'une source d'air comprimé extérieure.

Ces respirateurs sont munis d'un régulateur à demande ou à pression et demande dont le fonctionnement diffère de ceux sur les systèmes autonomes mais dont l'effet est le même. Les régulateurs à débit continu pour leur part procurent de l'air de façon continue indépendamment de la demande du porteur.

L'air comprimé doit être de qualité respirable tel que défini dans la norme ACNOR Z-180.1 1978. C'est en fait cette norme qui est citée dans le règlement relatif à la qualité du milieu de travail du Québec à l'article 10.

Il existe une variante de ces systèmes et qui combine le système autonome et le système à ligne d'air comprimé. De ce fait, on pourra travailler dans une atmosphère hautement dangereuse à la vie ou à la santé pour de plus longues durées car si la source d'approvisionnement d'air venait à manquer, l'air nécessaire à l'évacuation du travailleur serait fourni par une bonbonne d'air comprimé qu'il porte sur lui.

Les masques à boyau sont un groupe qu'on retrouve de moins en moins dans l'industrie.

Muni d'une pompe à l'air manuelle ou mécanique, il s'agit d'un Type A.

S'il n'y a aucune pompe, il s'agit d'un Type B.

La pompe à air doit être capable de fournir l'air au travailleur à débit d'au moins 50 lpm sur une longueur de boyau n'excédant pas 300 pieds. Si le respirateur n'a pas de souffleur, l'utilisateur doit être relativement en forme car il devra inspirer l'air à travers une longueur de boyau n'excédant toutefois pas 75 pieds.

Ces respirateurs ne sont pas approuvés pour être utilisés dans les atmosphères hautement dangereuses à la vie ou à la santé.

IV. PRINCIPE DE SELECTION

Ayant complété un tour d'horizon de divers types de respirateurs disponibles, il est important d'étudier la logique appliquée à la sélection d'un ou des respirateurs qui conviendront le mieux à la tâche en question tout en procurant une protection adéquate pour les travailleurs contre les contaminants présents.

Pour procéder à la sélection d'un respirateur pour une tâche donnée, on doit connaître les facteurs environnementaux, tels:

1. La nature physique et chimique du ou des contaminants.
2. La concentration dans l'air de ce contaminant.
3. La nature du travail.
4. Le temps d'exposition.
5. Les autres risques associés au travail en question
(endroits restreints, risque de chute, etc.).
6. Le nombre de travailleurs affectés.

et les propriétés des respirateurs. Deux tableaux importants constituent un outil indispensable à cette fin.

Ces tableaux sont:

- la stratégie de sélection
- les facteurs de protection

CONCLUSION

Loin de prétendre d'avoir couvert tous les aspects reliés à la protection respiratoire, cette revue peut tout de même servir de guide général pour aider à mieux comprendre les sortes de respirateurs disponibles et saisir les différents aspects reliés à la sélection du bon respirateur, le tout dans le but de procurer la meilleure protection qui soit aux travailleurs exposés.

PRÉCISIONS AU SUJET DE L'APPROBATION NIOSH/MSHA
POUR LES RESPIRATEURS À AIR FILTRÉ

Le texte d'Edouard Villeneuve contient une bonne description des différents types de respirateurs existants. Cependant il faut se rendre à l'évidence que les manufacturiers des différents respirateurs qu'il décrit doivent se soumettre à un certain programme de contrôle afin de mettre sur le marché des dispositifs qui répondent à des critères minima d'efficacité. Surtout que certains des contaminants contre lesquels ces respirateurs peuvent être utilisés peuvent avoir des effets assez graves sur la santé.

Au Québec (1), les respirateurs (équipement de protection des voies respiratoires) doivent être approuvés par NIOSH et/ou MSHA selon les spécifications contenues dans le "Federal Register" 37, 38 et 39 des U.S.A.

Or ces spécifications, bien qu'elles nous fournissent des garanties minimales sur l'efficacité des respirateurs fournis par un manufacturier donné, ne peuvent en aucun cas nous permettre de certifier que tout travailleur qui porte un masque approuvé par NIOSH/MSHA est protégé contre un contaminant quelconque.

La certification des équipements de protection individuels n'est pas un sceau de garantie que l'équipement en question va effectivement protéger le travailleur. Il serait en effet assez simpliste de résumer la philosophie de la protection personnelle en disant que tout travailleur qui porte un masque approuvé est protégé et que celui qui porte un masque non approuvé n'est pas protégé.

Un masque approuvé est testé en vertu de certaines performances en laboratoire face à certains contaminants et logiquement son approbation ne

(1) Règlement sur la qualité du milieu de travail, loi sur la santé et sécurité au travail, LRQ, C. S-2.1, article 8.

devrait s'appliquer qu'aux conditions dans lesquelles il a été testé. Il répond à certains critères de qualité minima en vertu de quoi on lui donne une approbation. Lorsqu'on porte un respirateur non approuvé, on n'a aucune garantie que ces exigences minimales sont respectées. Là s'arrête tout ce qu'on peut dire des respirateurs non approuvés.

En ce qui concerne les respirateurs approuvés, on comprendra aisément que la valeur d'une approbation n'est déterminée à toutes fins pratiques que par la valeur des tests de performance qu'a utilisé l'organisme approbateur.

Par exemple il serait intéressant d'examiner de près les tests que NIOSH utilise pour vérifier l'efficacité de filtration des cartouches * contre les vapeurs organiques.

Les masques approuvés sont ceux qui ont assuré une protection pendant 50 minutes contre une concentration de 1 000 ppm de C Cl_4 (tétrachlorure de carbone) dans une atmosphère à $50\% \pm 5$ d'humidité relative, à une température de 25°C et à un débit d'air constant de 64 litres par minute à travers une cartouche reçue, "telle quelle", du manufacturier.

Or une cartouche qui passe ce test est approuvée contre toute vapeur organique qui a des propriétés "d'avertissement adéquates". On entend par ceci que l'utilisateur peut facilement identifier la présence d'une vapeur organique soit par odorat, soit par irritation des voies respiratoires, etc...

L'approbation est limitée également à des concentrations maximales de 1 000 ppm ou à des concentrations inférieures à 1 000 ppm mais qui seraient immédiatement dangereuses pour la vie. Certaines autres restrictions portent sur l'inflammabilité des vapeurs, la toxicité pour les yeux, etc...

* Il est à noter que l'approbation de NIOSH est spécifique à la cartouche non au masque dans son entier.

- CRITIQUE DU TEST DE NIOSH *

Les points majeurs qui prêtent le flanc à la critique dans ce test sont les suivants:

- 1°) quelle est l'efficacité réelle d'une cartouche approuvée contre des vapeurs autres que le C Cl₄ (question non dénuée d'intérêt étant donné qu'il y a au moins 100 000 autres produits organiques que le C Cl₄ utilisés en industrie)?
- 2°) quelles sont les conséquences de se fier uniquement au porteur du masque pour déceler par olfaction une saturation de la cartouche?
- 3°) peut-il y avoir désorption des produits chimiques dont sont imprégnées les particules de charbon activé pour rendre l'adsorption plus spécifique?
- 4°) peut-il y avoir désorption des vapeurs à bas point d'ébullition adsorbées sur le filtre?
- 5°) que se passe-t-il dans les cas où on a affaire à un mélange de vapeurs organiques différentes?
- 6°) que se passe-t-il dans les cas où les conditions ambiantes ne correspondent pas à 50% d'humidité relative, 25°C et 64 litres par minute débit constant?

* Adapté de: Moyer, Ernest E., Review of Influential Factors Affecting the Performance of Organic Vapor Air-Purifying Respirator Cartridges, AIHA Journal (44): 46, 1983.

Ces interrogations sont d'autant plus pertinentes qu'une étude (2) a démontré que, pour 51 parmi 121 vapeurs organiques testées, les temps de service d'une cartouche approuvée étaient plus courts qu'avec le tétrachlorure de carbone (toutes autres choses étant égales). Serait-il possible qu'en certaines circonstances, les travailleurs portant des respirateurs ne soient protégés par rien d'autre qu'un faux sentiment de sécurité!

On peut ainsi passer en revue certains facteurs, non testés par NIOSH, et qui influencent la performance des respirateurs.

A- Le débit d'air

Il a été démontré que le temps de service (durée de vie d'une cartouche avant qu'elle ne soit saturée) d'une cartouche est inversement proportionnel au débit d'air aspiré (toutes autres choses étant égales). C'est donc dire que si un travailleur exécute un travail physique exigeant une forte consommation d'oxygène, il augmentera son débit respiratoire (de 10 litres par minute à 60 litres par minute par exemple). La durée de vie de sa cartouche sera alors considérablement raccourcie car il aura utilisé six fois plus de surface adsorbante de son charbon activé (par rapport à un débit de 10 litres par minute).

B- Humidité relative

On peut penser que la vapeur d'eau pourra elle aussi être adsorbée sur les particules de charbon activé. Ce faisant elle entrera en compétition pour les sites d'adsorption avec les vapeurs organiques présentes dans l'air. Cet effet ne se ferait sentir qu'à environ 65% d'humidité relative, selon certains auteurs.

(2) Nelson, G.O. et al., Respirator Cartridge Efficiency Studies, IV: Effects of Solvent Vapor, American Industrial Hygiene Association Journal, 35: 391 (1974).

B- Humidité relative (suite)

Cependant pour les vapeurs solubles dans l'eau, le phénomène est inverse à savoir que le pouvoir de filtration des cartouches augmente avec la quantité d'eau déjà adsorbée sur la cartouche. Cet effet est d'ailleurs utilisé par certains manufacturiers qui préconditionnent leurs cartouches dans des atmosphères très humides. Cependant ces cartouches risquent de protéger moins longtemps contre des contaminants à bas point d'ébullition.

C- Température

Très peu d'études ont évalué l'influence de ce paramètre mais certains auteurs suggèrent qu'il y aurait une diminution de moitié du temps de service pour chaque 5°C d'augmentation de la température.

D- Durée de vie avant saturation

L'expérience de Nelson (citée auparavant) a démontré les points suivants:

- Il n'y a pas d'index simple basé sur une propriété particulière des différentes vapeurs organiques qui permettraient de prédire pour chacune leur durée de vie avant saturation.
- En général le charbon activé a plus d'affinité pour les matières non volatiles (les matières volatiles arrivent plus rapidement à saturation).
- En général, plus le point d'ébullition est élevé, plus le poids de vapeurs adsorbé pourra être élevé.

D- Durée de vie avant saturation (suite)

- Pour chaque classe de solvant, le poids adsorbé sera fonction directement du point d'ébullition et inversement de la tension de vapeur.

Ce qu'il faut retenir ici, c'est que cette expérience a fait ressortir des tendances générales de comportement des vapeurs organiques. Mais il y a trop de variation d'une classe de solvants ou même d'un produit à l'autre à l'intérieur de la même classe pour nous permettre de prédire le temps de service d'une cartouche face à une vapeur donnée.

E- Concentration

Le test de NIOSH requiert une concentration de 1 000 ppm pendant près d'une heure. Cependant à des concentrations plus faibles pendant très longtemps (plusieurs jours) on ne sait pas trop ce qui se passe. Il semble cependant qu'à faible concentration le pourcentage de vapeurs adsorbées soit moindre.

F- Mélange de vapeurs organiques

On peut penser que deux types de vapeurs peuvent être en compétition pour les sites actifs d'adsorption sur le charbon ou que certaines substances toxiques déjà adsorbées peuvent être déplacées par l'adsorption subséquente de substances moins toxiques ou inertes comme la vapeur d'eau.

G- Désorption des vapeurs adsorbées ou des agents imprégnés sur le charbon par le manufacturier

Certaines vapeurs, en particulier les alcools, semblent posséder un taux de désorption plus élevé. Ainsi si une cartouche contient une vapeur adsorbée et que le travailleur réutilise son masque après un court temps d'arrêt, il est possible qu'il se mette à inhaler les vapeurs désorbées.

L'autre problème c'est que les manufacturiers utilisent toutes sortes de produits plus ou moins toxiques (iode, chlorure de nickel, oxydes de cuivre, sels de chrome, de cobalt, de manganèse, etc...) pour augmenter l'adsorption spécifique de certaines vapeurs. Or une étude a démontré que le triéthylène diamine utilisé comme agent imprégné sur le charbon activé pouvait se désorber pendant l'usage. D'autre part, une autre étude a démontré, qu'avec le temps (longs entreposages) le charbon imprégné de chrome et de cuivre perdait de ses propriétés de rétention du chlorure cyanogène ce qui fait qu'après x temps d'entreposage, ces cartouches seraient moins efficaces qu'au départ ou lors des tests faits par NIOSH.

Il peut sembler décourageant d'énumérer ainsi toute la liste des facteurs pouvant influencer l'efficacité des cartouches. Cependant ces facteurs sont presque insignifiants lorsqu'on les compare aux facteurs pouvant influencer l'étanchéité des masques.

C'est pourquoi en pratique, on vérifie souvent la protection offerte par un respirateur simplement en mesurant son étanchéité. C'est pourquoi également, le simple fait de passer d'un masque demi figure à un masque pleine figure fait grimper le facteur de protection du masque de 10 à 50 sans rien changer à

la cartouche *.

Aussi beaucoup de normes nationales, exigent que les masques soient testés pour leur étanchéité tels que portés par des sujets humains et en plus lorsque ces sujets effectuent des exercices physiques plus ou moins violents. Pour les masques à gaz aux Etats-Unis, on utilise l'acétate d'isoamyle pour vérifier leur facteur de protection pendant les exercices physiques. Pour les équipements à apport d'air extérieur autonome ou non (qui ont des facteurs de protection élevés), les activités physiques requises pendant les tests sont encore plus élaborées. Pour les masques demi figure, on les considère adéquats s'ils ont assuré un facteur de protection de 10 pendant les activités physiques. La détermination de l'étanchéité selon le Federal Register est faite qualitativement (détection de l'odeur de l'acétate d'isoamyle).

* Les cartouches en théorie offrent des facteurs de protection beaucoup plus élevés que 10 ou 50. En effet selon le test de NIOSH, une cartouche approuvée, offre un facteur de protection de 1 000 pour une heure d'exposition (pour le C Cl₄). Pour huit heures d'exposition, le facteur sera inférieur à 1 000, bien qu'on ne puisse le déterminer par une formule quelconque. Si la relation était linéaire en fonction du temps, le facteur serait de 125 pour huit heures, 62 pour 16 heures, 31 pour 32 heures, etc... Il est important ici de se rappeler que le facteur de protection n'est pas un chiffre stable: il diminue avec la durée de vie et l'usage de la cartouche.

EVALUATION SUR LE TERRAIN
DES FACTEURS DE PROTECTION
OFFERTS PAR LES RESPIRATEURS

Certaines études ont démontré que les facteurs de protection théoriques (déterminés par les tests de NIOSH) surestimaient les facteurs de protection pratiques mesurés sur les travailleurs lorsqu'ils portaient leurs masques pendant leur travail.

Par exemple l'une de ces études (1) portait sur les casques ventilés Racal avec visières. Selon la classification de NIOSH, ces masques devaient offrir un facteur de protection de 1 000. Or dans une fonderie de plomb on a mesuré les concentrations de plomb à l'extérieur et à l'intérieur du masque (schéma ci-après) et on a trouvé un facteur de protection qui serait de 1,1 à plus de 100 (la moyenne était de 12,5).

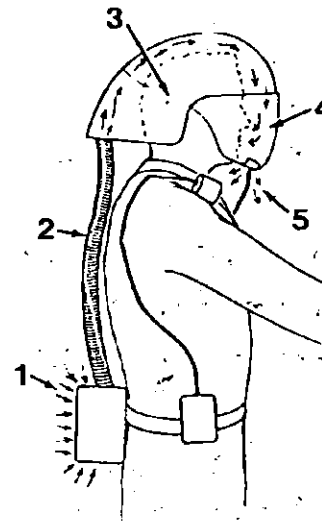
L'auteur a pu démontrer que les faibles niveaux de protection offerts n'étaient pas dus à une inefficacité du filtre sur l'appareil mais au fait que pendant un travail lourd, la vitesse de l'air inhalé par le sujet était plus grande que la vitesse de l'air poussé par le ventilateur, de sorte que le sujet inspirait une partie significative de son air à travers les fuites tout autour du masque. Egalement lors du travail, on notait que la visière ne couvrait pas toujours toute la figure du travailleur.

Cet exemple montre qu'il est important de vérifier sur le terrain l'efficacité des masques plutôt que de se fier aveuglément à un chiffre magique fourni par le manufacturier ou même NIOSH.

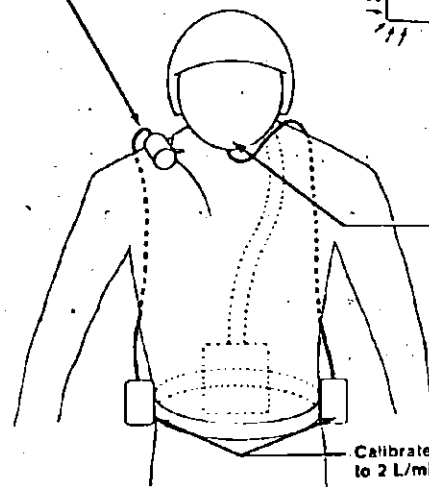
La façon la plus simple de le faire c'est avec des tests qualitatifs (décrits dans le document ci-annexé) mais ces derniers, quoique simples à uti-

-
- (1) Que Hee, Shane, et al., Inhalation Exposure of Lead in Brass Foundry Workers: The Evaluation of the Effectiveness of a Powered-Air Purifying Respirator and Engineering Controls, AIHA Journal (44): 746, Octobre 1983.

- 1—Powerful fan pulls contaminated air through filters on either side of main housing
- 2—Filtered air is brought through flexible hose
- 3—Face/head seals maintain positive air pressure inside the helmet
- 4—Filtered air is brought over the face for improved comfort. User breathes normally
- 5—Exhaled air exits through cutout in bottom of faceshield



0.8 μ m & 37 mm mixed cellulose ester filters.



Breathing Zone
13 mm diameter Millipore
sx00 1300 unit fitted with
a 0.8 μ m cellulose ester
filter.

Calibrated Bendix C112 pumps @ 1
to 2 L/min.

Figure 1 — Disposition of the personal samplers used to evaluate the positive pressure respirator.

liser, peuvent donner des résultats très variables selon le degré de coopération des travailleurs et reposent principalement sur le sens olfactif lequel peut rapidement s'adapter à d'assez fortes concentrations.

Les tests quantitatifs sur le terrain ont le désavantage d'être longs, onéreux et pas assez standardisés au point de vue technique. Très souvent, ils impliquent la destruction du masque. Cependant ils ont l'avantage d'être plus objectifs.

Il nous semble que dans certaines circonstances, il vaut mieux avoir recours à des tests quantitatifs. Par exemple lorsqu'un travailleur risque d'être fortement exposé à un contaminant et qu'on veut s'assurer par tous les moyens possibles qu'il sera protégé durant son travail (surtout pour un travail de maintenance temporaire). Ou lorsque des examens médicaux démontrent une atteinte biologique des travailleurs exposés, malgré le port de protection personnelle.

Inutile de préciser ici qu'à partir d'un seul test quantitatif sur un travailleur on ne peut déterminer le facteur de protection du masque que pour la seule journée de nos mesures. Extrapoler nos résultats à l'ensemble des autres journées où le masque a été ou sera porté serait une grave erreur.

Pour les respirateurs contre les vapeurs organiques et les gaz, nous proposons la méthode suivante:

- 1°) Percer un trou dans le caoutchouc du masque avec un outil (tel une perceuse électrique) qui ne cause pas d'échancrures dans le masque. Le trou sera d'un diamètre juste suffisant pour y glisser un tube détecteur (environ 1/8 pouce).
- 2°) Faire porter le masque au travailleur pendant ses activités normales de travail tout en échantillonnant à l'extérieur et à l'intérieur du masque. Un tube au charbon ou un tube détec-

teur longue durée avec pompe à bas débit peut être utilisé. Il ne faut pas utiliser des débits trop importants qui risqueraient de créer une pression négative artificielle à l'intérieur du masque.

- 3°) A la fin de l'échantillonnage ou à quelques reprises lors de l'échantillonnage (si celui-ci est long) prendre des lectures avec tubes détecteurs dans le masque. Ceci afin de pouvoir comparer ces mesures aux résultats d'analyses et également afin de donner un "feedback" immédiat au travailleur.

Pour vérifier les coquilles contre le bruit:

- 1°) Choisir de préférence un sujet qui porte des lunettes.
- 2°) Si le sujet porte des lunettes, insérer le micro (par exemple le micro miniature d'un sonomètre Metrosonics dB-306) à l'intérieur de la coquille en installant le mince fil de raccord le long de la branche de la lunette tout en ayant soin de ne pas augmenter la perte d'étanchéité déjà produite par la branche de la lunette.

Si le sujet ne porte pas de lunettes, il faudra l'examiner avec soin pour déterminer les endroits où il est le plus possible de retrouver une perte d'étanchéité. Un des endroits propices est illustré sur la photo ci-dessous. Une autre façon de faire c'est de promener un calibre de 1 000 Hz autour du coussinet du protecteur et de demander au travailleur de vous dire à quel endroit le son est le plus fort (ce test doit être fait en ambiance calme).



- 3°) Insérer le sonomètre intégrateur ou dosimètre dans la poche du travailleur.
- 4°) Installer un second sonomètre intégrateur ou dosimètre avec micro au collet et laisser ensuite le travailleur effectuer sa journée normale de travail.
- 5°) En comparant les deux lectures à la fin de la journée on aura une idée de la protection qui a été offerte au travailleur.

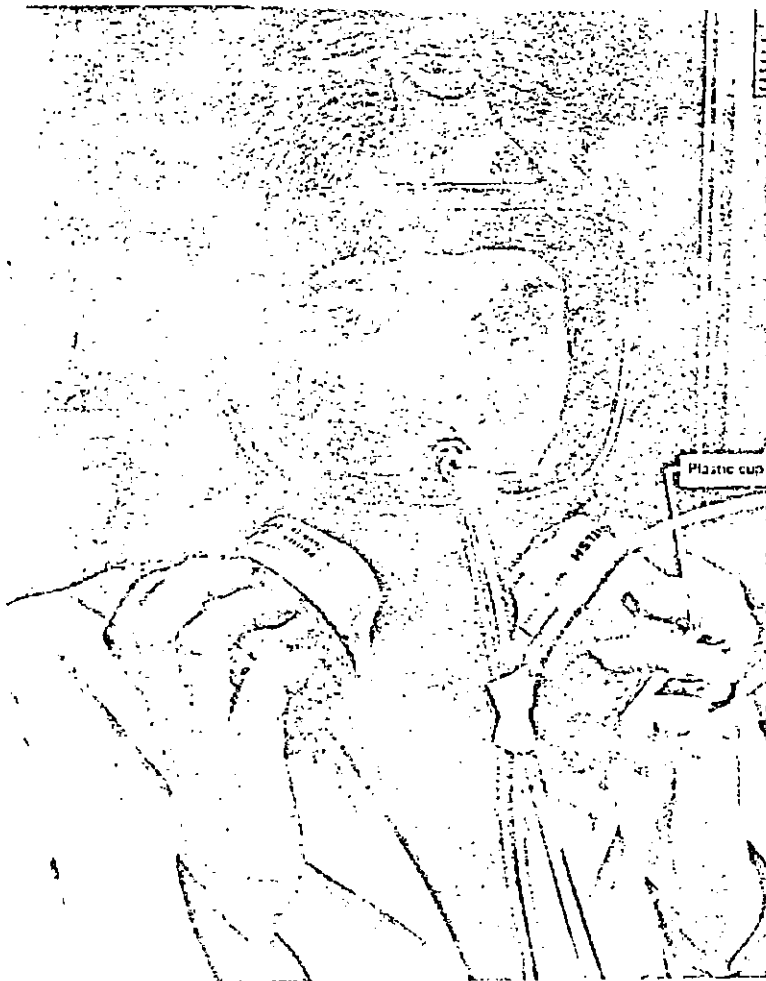
TESTS QUALITATIFS

Comment vérifier les masques filtrants.

Il existe deux types de test: qualitatif et quantitatif. En pratique, on se limite le plus souvent aux tests qualitatifs, car les tests quantitatifs exigent un appareillage trop coûteux et peu mobile. Lorsqu'on fait ces tests, il vaut mieux demander au travailleur d'accomplir certaines activités physiques après l'installation du masque afin de simuler les conditions d'utilisation lors du travail. On peut faire varier également le rythme et le volume respiratoire.

Tests qualitatifs.

- Pression négative.



Ce test consiste à bloquer (avec les mains ou autrement) l'entrée d'air d'un masque et à vérifier si après fortes inhalations cela crée une pression négative à l'intérieur suffisante pour maintenir le masque collé à la figure pendant le moins 10 secondes. Ce test est surtout valable avec les masques pleine figure où on peut constater que la vitre colle sur le nez.

- Test à l'acétate d'amyle (huile de banane).



Ce test consiste à passer un linge ou ou coton ouaté autour d'un masque à gaz et à demander si la personne peut sentir ce produit très odorant (seuil de détection olfactive de moins de 1 ppm). Ce test ne peut se faire avec un masque à poussière seulement. Pour que ce test soit valable, il faut quand même s'assurer que le seuil olfactif de détection du solvant est normal pour chaque personne testée.

- Test de fumée irritante.



C'est le plus valable des tests en ce sens que la réponse du porteur de masque est presque involontaire (cette fumée irritante porte à tousser dès qu'on la sent). Cette fumée est de l'acide chloridrique adsorbée sur de petites particules solides (tétra-chlorure de titane par exemple). Pour les masques filtrants, il faut une cartouche de filtre à poussière haute efficacité.

EXEMPLE 1

L'usinage d'une pièce faite d'un alliage de béryllium entraîne une concentration de 0.012 mg/m^3 de béryllium dans l'air au niveau de la zone respiratoire de l'opérateur. On observe cette concentration malgré l'installation du meilleur système de ventilation possible. Quel type de respirateur devrait porter l'opérateur?

De la littérature et des sources citées au paragraphe 3.1, nous tirons ces données de base:

- Contaminant présent:	Béryllium
- Concentration observée:	0.012 mg/m^3
- Le contaminant est:	Poussière
- Toxicité:	Cancérogène
- Perception sensorielle:	Ne s'applique pas, c'est une poussière
- Contaminant irritant:	Non
- Norme:	0.002 mg/m^3 (concentration moyenne admissible)
- Environnement HDVS:	Non
- Utilisation du respirateur:	Courante
- Genre de travail:	Usinage d'une pièce métallique

EXEMPLE 2

Un vendredi soir, dans un entrepôt de produit chimique, un baril d'acétate d'hexyle secondaire endommagé laisse échapper le produit. Lorsque la fuite est découverte le lundi matin, le plancher de l'entrepôt est recouvert d'acétate d'hexyle secondaire. Quel type de protection est requise pour:

- a) L'évaluation de la situation.
- b) Le nettoyage de l'entrepôt en sachant que la concentration d'acétate d'hexyle secondaire est de 2100 mg/m³ et le pourcentage d'oxygène est de 21%.

Données de base recueillies:

- Contaminant présent:	Acétate d'hexyle secondaire
- Concentration observée:	2100 mg/m ³
- Le contaminant est:	Vapeur organique
- Toxicité:	Voies respiratoires
- Perception sensorielle:	Irritation des yeux à 600 mg/m ³
- Contaminant irritant:	Oui; yeux et peau
- Norme:	300 mg/m ³ (concentration moyenne admissible)
- Environnement HDVS:	Non
- Utilisation du respirateur:	Cas spécial
- Genre de travail:	Nettoyage

EXEMPLE 3

Les parois intérieures d'une citerne doivent être recouvertes d'un produit destiné à les protéger de la corrosion. Ce produit sera appliqué au moyen d'un pistolet à air comprimé. La citerne, vidée de son contenu (huile brute), est aérée pendant 24 heures au moyen de 3 ventilateurs. Par la suite, des tests sont effectués; concentration des gaz explosifs et toxiques et détermination du taux d'oxygène dans l'air. Ces tests seront répétés à intervalles réguliers tout au long de l'opération et la ventilation sera maintenue. Outre la pigmentation et des agents liants, le produit est surtout constitué de solvants organiques: éthylbenzène, xylène, isopropylbenzène et 4,4-diisocyanate de diphényl-méthane (MDI). Ce dernier solvant constitue 35% de la composition. Une étude des fiches toxicologiques de ces solvants révèle que le MDI est le contaminant le plus dangereux. Quel type de respirateur devra porter le peintre?

Données de base recueillies:

- Contaminants présents:	Solvants organiques, on doit surtout craindre le MDI.
- Concentration observée lors d'analyses:	MDI: 5 mg/m ³ en moyenne. Elle fluctue beaucoup.
- Les contaminants sont:	Vapeurs organiques
- Toxicité:	Voies respiratoires, pénétration par la peau (xylène, isopropylbenzène)
- Perception sensorielle:	MDI: <u>inodore</u> Les autres contaminants sont perceptibles à des concentrations acceptables.
- Contaminants irritants:	Oui; yeux, peau et voies respiratoires
- Normes:	MDI: 0.2 mg/m ³ (valeur-plafond) Les autres solvants: 245 à 435 mg/m ³ (concentration moyenne admissible)
- Environnement HDVS:	Non
- Utilisation du respirateur:	Spéciale
- Genre de travail:	Peinture au pistolet à air comprimé, horaire de travail: 12 heures, repos chaque heure.

LA DIMINUTION DE LA SURDITE PROFESSIONNELLE
PAR L'UTILISATION DE PROTECTEURS D'OREILLES

CRITIQUE DE LA SITUATION

par: Daniel Gagné, M. Sc (appl.)
Audiologiste
Département de santé communautaire
Centre hospitalier Rouyn-Noranda

INTRODUCTION:

Les protecteurs d'oreilles de type coquilles ou bouchons constituent l'une des mesures les plus en vogue dans le domaine de la protection des travailleurs exposés à des doses de bruit dangereuses pour l'ouïe. On peut s'interroger sur le pourquoi de cette grande popularité.

Cela tient en réalité à deux raisons principales. Les protecteurs constituent une solution simple et peu coûteuse au problème du bruit trop élevé.

En effet, qu'on s'imagine un employeur ou un syndicat, à qui l'on vient d'apprendre, suite à des mesures de bruit, qu'il doit faire quelque chose pour éviter que les travailleurs deviennent sourds. Pour réduire le bruit sur des machines déjà en place, ça prend des études spécialisées et une équipe d'ingénieurs pour prévoir les modifications à faire. Pour un patron moyen d'une entreprise moyenne, l'acoustique c'est du chinois. Où trouver des gens compétents et comment les payer? Voilà un problème de base qui pour beaucoup apparaît insurmontable. Par ailleurs, réduire le bruit sur des installations déjà en place fait souvent appel à des procédés coûteux. De plus, des dépenses ne sont censées donner aucun revenu supplémentaire. Ce sont donc des coûts de production injustifiables du point de vue de la rentabilité.

Lorsque les gens regardent un peu l'autre alternative possible, ils sont tout de suite séduits. Les protecteurs d'oreilles offrent une solution beaucoup plus intéressante. Premièrement, ça ne prend pas un ingénieur pour choisir et pour ajuster les protecteurs d'oreilles. Donc, n'importe quelle compagnie peut régler le problème par elle-même sans faire appel à du personnel spécialisé venant de l'extérieur. Deuxièmement, c'est l'ouvrier qui devient pour ainsi dire responsable d'assurer sa propre sécurité. Le patron offre gratuitement les protecteurs. La collaboration de l'ouvrier consiste à les porter. Si l'employé refuse, il deviendra sourd par sa faute. Troisièmement, les protecteurs sont relativement bon marché, si on compare leur coût avec les milliers de dollars à investir pour réduire le bruit à la source.

C'est ce qui fait que dans beaucoup d'entreprise, la réduction du bruit à la source (où le long des voies de transmission) constitue rarement d'emblée la solution envisagée au problème de la surdité professionnelle.

Cependant, parmi ceux qui optent inconditionnellement pour les protecteurs d'oreilles, il en est beaucoup qui ignorent totalement les problèmes qui existent avec les protecteurs. Nous allons ici passer en revue quelques uns parmi les plus importants de ces problèmes.

- Mythes répandus au sujet des protecteurs d'oreilles.

1^o Pour se conformer aux exigences de la loi*(c'est-à-dire des inspecteurs du Ministère du Travail), il suffit de fournir les protecteurs auriculaires aux employés et de leur faire passer un audiogramme chaque année.

COMMENTAIRES

Pour beaucoup d'employeurs en effet, la seule interprétation qu'ils retiennent de la loi des établissements industriels et commerciaux ou plutôt des règlements à cette loi c'est qu'ils doivent fournir des protecteurs auriculaires et des tests d'audition aux employés.

Cependant, si on relit les règlements 5.3 de la section V où on retrouve les exigences du Ministère du Travail en ce qui concerne l'exposition au bruit et vibration, on s'aperçoit que la responsabilité de l'employeur ici consiste à empêcher que les travailleurs soient exposés à des doses de bruits inadmissibles. Et ceci par l'une ou une combinaison des mesures suivantes: la réduction de la durée d'exposition pour l'employé, l'isolation des voies de transmission du bruit, la réduction du bruit à la source. Ce sont là les trois seules spécifications de l'article 5.3.2. A l'article 5.3.3 cependant, on précise que, si l'employeur ou d'autres personnes font la preuve que la réduction du bruit ou de l'exposition n'est pas possible, à ce moment là, l'employeur doit au minimum fournir des protecteurs et des tests audiométriques à ses employés.

* Loi des établissements industriels et commerciaux, L.Q. 64, ch. 150, Ministère du Travail du Québec, 1972, et en particulier le règlement 11

(Note: Cette loi ne s'applique pas aux mines et carrières cependant).

L'esprit de la loi est très clair ici. L'employeur qui se trouve face à un problème de bruit ne doit pas premièrement fournir des protecteurs et ensuite prendre les dispositions pour réduire le bruit. Il doit premièrement faire des études de faisabilité d'une réduction du bruit. C'est là son premier devoir. Les protecteurs d'oreilles ne sont qu'un palliatif temporaire et ne peuvent en aucune façon justifier l'absence de mesures pour réduire le bruit ou l'exposition des travailleurs. Aussi, tant qu'un employeur n'a pas posé des gestes concrets pour réduire le bruit ou la durée d'exposition des travailleurs, ou à tout le moins démontré l'impossibilité de le faire, il se trouve, ni plus ni moins, qu'un hors-la-loi, protecteurs d'oreilles ou pas.

2° Il existe des moyens simples et précis pour évaluer l'atténuation offerte par un protecteur d'oreille.

COMMENTAIRES:

Quand on considère le problème de la mesure de la réduction du bruit produite par l'insertion d'un protecteur dans ou sur l'oreille il faut absolument tenir compte du facteur de variabilité individuelle. Il est facile de mesurer sur une oreille artificielle standard l'atténuation offerte par un protecteur. Cependant, ces chiffres ne voudraient pratiquement rien dire en réalité.

En effet, les formes de tête, d'oreilles et de conduits auditifs externes varient beaucoup d'un individu à l'autre. Ce qui fait que la façon dont un protecteur est installé dans ou sur l'oreille va varier énormément. Ainsi, le même protecteur peut être très efficace avec une personne et à peu près nul avec une autre personne. Car il suffit d'une toute petite fente, d'une toute petite diminution de pression sur l'oreille pour diminuer dramatiquement la capacité d'atténuation du protecteur.

C'est ce qui fait que, dans les standards internationaux, la seule façon admissible de mesurer l'atténuation d'un protecteur c'est de la mesurer sur un groupe de sujets humains et de calculer la marge de variabilité dans l'atténuation qu'on retrouve d'un individu à l'autre. On calcule cela en faisant une moyenne des atténuations obtenues avec le groupe de sujets, mais en précisant également l'écart-type (c'est-à-dire la variation autour de la moyenne). Cependant, le groupe de sujets spécifié dans les standards (1) utilisés par les manufacturiers est très restreint (10 personnes) compte tenu de l'ensemble des variabilités individuelles qu'on peut rencontrer dans une population.

L'existence de cet écart-type cause beaucoup d'embarras, car en pratique cela revient à dire qu'on connaît la protection offerte en moyenne aux travailleurs mais qu'on ne sait pas qui est suffisamment protégé et qui ne l'est pas.

Ainsi, prenons l'exemple d'un protecteur qui a une valeur moyenne d'atténuation de 26 décibels SPL aux fréquences de 500, 1000 et 2000Hz avec un écart-type moyen de ± 6 db à ces fréquences. Ceci veut dire que pour 66% des travailleurs, la protection offerte jouera entre 20dB et 32dB. Si maintenant on considère l'ensemble des autres travailleurs en dehors des 66% mentionnés plus haut - ce qui donne 34% des travailleurs - l'écart-type qui s'applique dans leur cas est encore plus considérable. En fait, pour 85% (29%/34%) d'entre eux l'écart-type sera de ± 12 dB. C'est-à-dire que certains de ces travailleurs ne recevront que 14dB d'atténuation alors que d'autres recevront 38dB. Le problème c'est qu'on ne peut savoir à l'avance qui n'aura que 14dB d'atténuation et qui aura 38dB (sauf en le mesurant sur chaque travailleur en chambre insonorisée). Une chose est certaine en tout cas, c'est qu'un travailleur sur deux aura moins que 26dB d'atténuation dans le cas de ce protecteur.

Maintenant, ce problème de l'écart-type n'est rien si on considère un second problème, cette fois beaucoup plus important, venant du fait de la variabilité de la façon dont les protecteurs sont ajustés et portés.

Ce problème vient du fait que les données publiées par les fabricants de protecteurs auriculaires sont exécutées en laboratoire dans les meilleures conditions d'utilisation possibles et non pas avec de vrais travailleurs sur leur lieu de travail.

Un protecteur ne protège vraiment que s'il ^{est} correctement installé. Or, en pratique, un protecteur correctement installé, ça veut dire que le travailleur n'est pas très confortable avec. En effet, une coquille ne protège bien que si elle est fermement pressée sur l'oreille et un bouchon ne protège bien que s'il est solidement enfoncé dans l'oreille. On comprendra facilement, dans les conditions où ils les portent, que beaucoup de travailleurs aient tendance à rendre leurs protecteurs plus "confortables". Et on étire un peu l'arceau de tension des coquilles et on retire un peu le bouchon du fond de l'oreille... Or ce confort se paye au prix d'une diminution très importante du pouvoir d'atténuation des protecteurs.

Certaines études (2) ont démontré de façon indubitable qu'il y avait des différences très importantes entre les données publiées par les manufacturiers et l'atténuation réelle que reçoit le travailleur sur son lieu de travail. Ces différences vont toutes dans le même sens: les données du manufacturier sur-estiment la protection réellement donnée au travailleur. Si on examine les résultats d'une étude (2), on s'aperçoit qu'en basses fréquences (250, 500 et 1000Hz) les protecteurs ne fournissent que 33% environ de l'atténuation prétendue par le manufacturier, alors qu'en hautes fréquences on

n'obtient que 50% environ de cette atténuation. C'est-à-dire que pour un protecteur donné, qui offrirait en moyenne 22dB d'atténuation en basses fréquences selon le manufacturier, on n'obtiendra dans l'oreille des travailleurs que 7dB environ. Pour les hautes fréquences, si on a 34dB d'atténuation en moyenne, on n'obtiendra effectivement que 17dB sur les lieux de travail.

Maintenant, si à ces données mesurées sur les lieux de travail et exprimées sous forme de moyennes, on ajoute le facteur des variabilités individuelles (écart-type), on comprendra facilement qu'en pratique un travailleur sur deux ne recevra à peu près aucune protection en basses fréquences et que de 10 à 15dB à peu près en hautes fréquences.

En résumé, on peut dire, sans risque de déformer beaucoup la réalité qu'au moins un travailleur sur deux n'est pas protégé suffisamment par l'emploi de coquilles ou bouchons dans des ambiances sonores de 95dB A et plus.

3° Les protecteurs individuels moulés dans l'oreille sont plus efficaces que les protecteurs de forme standard.

COMMENTAIRES:

Ceci est faux. Ainsi, le Peacekeeper selon plusieurs études (3,4) aurait un pouvoir d'atténuation assez faible comparé aux protecteurs standards, notamment ceux en mousse gonflable (foam). Une des raisons pour ce peu de succès des protecteurs moulés individuellement vient du fait que les empreintes d'oreilles sont souvent mal prises et les moules ainsi obtenus déforment le conduit auditif, ce qui laisse passer le son. De plus, le matériel utilisé pour ces bouchons est très souvent peu efficace pour atténuer le bruit.

4° Les coquilles sont plus efficaces que les bouchons.

COMMENTAIRES:

Ceci est faux. Il ne faut pas se laisser impressionner par le coût et le format plus imposant des coquilles. En fait, une bonne coquille n'est pas mieux qu'un bon bouchon, et un bon bouchon pas mieux qu'une bonne coquille. Cependant, en basses fréquences (500Hz), certaines coquilles offrent plus d'atténuation que la majorité des bouchons.

Le choix entre une coquille ou un bouchon ne se fait pas en fonction de l'importance de l'atténuation offerte mais en fonction du confort du travailleur et des conditions dans lesquelles il travaille. Ainsi, un travailleur qui a les mains continuellement salies et qui doit souvent enlever et remettre ses protecteurs (exposition intermittente au bruit) est probablement mieux avec des coquilles. Cependant, celui qui travaille dans une chaleur intense sera probablement plus confortable avec des bouchons.

5° Les protecteurs se ressemblent tous en termes de protection offerte.

COMMENTAIRES:

Ceci n'est que partiellement vrai. Il y a des protecteurs qui n'offrent carrément aucune atténuation, comme de la ouate dans les oreilles.

Si on regarde les atténuations moyennes publiées par des manufacturiers ou des études indépendantes, on remarque qu'il y a des différences allant parfois jusqu'à 10 - 12dB entre différents protecteurs. De plus, certains protecteurs seront plus efficaces en hautes fréquences que d'autres, alors qu'en basses fréquences ils seront moins

efficaces ou vice-versa. Ainsi, on peut jusqu'à un certain point, choisir un protecteur en fonction du spectre du bruit d'exposition.

Cependant, il ne faut pas oublier ici toutes les réserves qui ont été mentionnées auparavant concernant la variabilité individuelle et la façon dont les travailleurs installent leurs protecteurs. Une chose demeure certaine: le meilleur protecteur au monde ne protégera pas beaucoup s'il n'est pas porté ou s'il est mal porté.

De plus, il existe des limites à l'atténuation que peut offrir un protecteur. En fait, en basses fréquences, l'atténuation maximale que pourra offrir un protecteur sera de 30 - 35dB environ et en hautes fréquences, elle sera de 45 - 50dB environ. On peut voir sur les figures une et deux, une illustration des limites théoriques et pratiques du pouvoir d'atténuation des protecteurs.

6° De toute façon, si certains travailleurs ne sont pas protégés suffisamment par leurs protecteurs, on les détectera par l'audiométrie.

COMMENTAIRES:

Malheureusement, ceci n'est que rarement le cas. Ceci provient de la façon dont la surdité industrielle s'acquiert par rapport à la sensibilité dont est capable notre outil de dépistage à savoir, l'audiométrie.

En effet, Hétu (5) a démontré que l'acquisition de la surdité industrielle se fait selon un processus exponentiel, étant très rapide au début de l'exposition (deux ou trois premières années) puis devenant à peine perceptible dans les années subséquentes. Car, après dix ans, les détériorations dans les seuils ne seront que de quelques décibels par année, alors que, même dans les plus rigoureuses conditions d'utilisation, l'audiométrie ne peut mesurer qu'avec une précision de ± 5 dB environ. C'est donc dire que des pertes d'audition réelles seront confondues avec des variations dues à la méthode de mesure et passeront insoupçonnées. C'est seulement en comparant les tests de cinq ans en cinq ans ou même de dix ans en dix ans qu'on sera à même de mesurer un changement dans l'audition.

Ceci revient à dire qu'un employeur qui veut contrôler par l'audiométrie l'efficacité des protecteurs chez un employé ne pourrait le faire qu'au tout début de l'acquisition de la surdité industrielle chez cet employé. Plus tard, il ne fera que cautionner l'acquisition progressive d'une surdité professionnelle insidieuse chez cet employé. Autrement dit, il croira ses travailleurs protégés, alors qu'ils ne le sont pas.

7° Les protecteurs d'oreilles ne nuisent pas à comprendre une conversation dans le bruit, au contraire ils aident à comprendre.

COMMENTAIRES:

Ceci semble vrai pour les gens avec audition normale (6) mais faux avec les gens qui souffrent déjà de surdité industrielle (comme c'est le cas avec beaucoup de travailleurs).

En effet, des études (7,8) ont démontré que les protecteurs d'oreilles soit, n'aident pas à discriminer les mots, soit même, diminuent la capacité à discriminer les mots chez les gens ayant des surdités neurosensorielles avec chute dans les aigües.

8° Il y a des machines dont le bruit ne se réduit presque pas, en pratique (ex: foreuses à diamant). A ce moment là on n'a pas le choix il faut se rabattre sur les protecteurs.

COMMENTAIRES:

Il est faux de croire que la réduction à la source et l'encoffrement sont les seules façon de réduire le niveau de bruit. Il est souvent possible d'installer des écrans acoustiques entre le travailleur et la source de bruit, ou d'installer le travailleur dans un enclos acoustique avec télécommande des opérations. Bien souvent, lorsque la solution au problème de bruit n'apparaît pas claire et simple, on a tendance à considérer qu'il n'y a pas de solutions. Dans ce domaine, il faut faire affaire avec des gens possédant à la fois imagination et compétence. Beaucoup de problèmes de bruit "insolubles" proviennent d'une situation où on a, combinés ensemble, un patron qui attend de se faire "pousser dans le dos par les inspecteurs" avant de bouger et un travailleur qui accepte trop facilement le bruit comme "faisant partie de la "djobbe". "

REFERENCES

- 1- ANSI S 3.19 - 1974 (ASA STDI - 1975)
ANSI S 24.22 - 1957 (R 1971)
CSA Z 94.2 - 1974
- 2- Edwards, R.G., Hanser W.P., et al., "Effectiveness of Earplugs as Worn in the Workplace", Sound and Vibration, Janvier 1978
- 3- Tobias, Jerry, V., Ear Plugs Ranking Based on the Protector attenuation rating, (P - AR), Fed. Av. Adm., Aero Medical Institute, Report No. 75 - 11 (NTIS No. AD-A024-756), Oklahoma City, 1975.
- 4- Droës, P.R. et al., List of Personal Earing Protectors and Attenuation Data, NIOSH, (Div. of Laboratories and criteria Development), Sept. 1975 (no. public, NOSH.76-120).
- 5- Hétu, R., "Critical Analysis of the Effectiveness of Secondary Prevention of Occupational Hearing Loss", Journ. of Occup. Medicine, 21(4): 251-254.
- 6- Kryter, K.D., "Effects of Ear Protective Devices on the Intelligibility of Speech in Noise", J. Acoust. Soc. Amer., 18, 413 - 417 (octobre 1946).
- 7- Rink, T.L., "Hearing Protection and Speech Discrimination in Hearing Impaired Persons", Sound and Vibration, Janvier 1979.
- 8- Abel, Sharon, Communication personnelle, Mount Sinai Hospital, ENT Dept. Toronto, 1978.

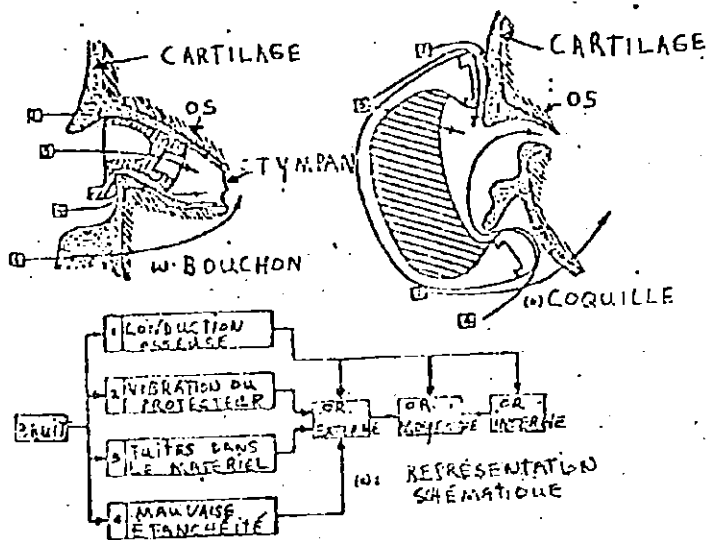


Figure 1. PRINCIPALES FAÇONS PAR OÙ LE SON PEUT ATTEINDRE LA COCHLÉE MALGRÉ LA PRÉSENCE D'UN PROTECTEUR

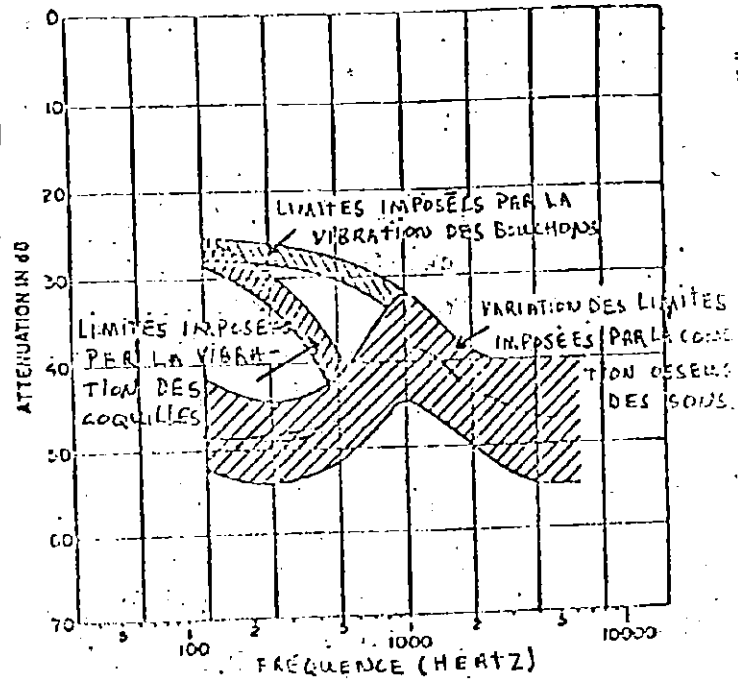


Figure 2. LIMITES PRATIQUES DE LA PROTECTION DES COQUILLES ET BOUCHONS

TIRÉ DE : INDUSTRIAL NOISE MANUAL, ACGHI, 1968.



L'ASSOCIATION DES MINES DE MÉTAUX DU QUÉBEC INC.

704 1/2 PLACE QUÉBEC

QUÉBEC, P. Q.

G1R 2B5

TÉLÉPHONE

CODE RÉGIONAL 418

525-4706

LA PROTECTION AUDITIVE

Depuis plusieurs années, on entend parler des effets du bruit offensif sur l'ouïe des travailleurs.

Dans le cadre des articles 50 et 51 du Règlement Relatif à la Qualité du Milieu de Travail, la protection auditive personnelle est utilisée fréquemment et, la question que certains travailleurs se posent est:

"EST-CE QUE MES PROTECTEURS AUDITIFS M'ASSURENT UNE PROTECTION AUDITIVE"?

En réponse à cette question, l'Association des Mines de Métaux du Québec Inc. a récemment lancé un diaporama intitulé: "ENTENDRE DEMAIN" qui a pour objectif de sensibiliser les employés et employeurs aux mesures de "*fatigabilité*" auditive. Ce diaporama permet à l'individu de constater lui-même la protection offerte par le port de ses protecteurs auditifs.

Pour ce, le travailleur n'a qu'à prendre rendez-vous avec le Service de Prévention qui lui fixera deux (2) audiogrammes, soit un le matin avant son travail lorsque son ouïe est reposée et le deuxième après sa journée de travail, en milieu bruyant.

La différence entre les deux audiogrammes, s'il y en a une, représentera sa fatigue auditive personnelle. Cette fatigue peut dépendre de plusieurs raisons:

- Les protecteurs auditifs fournis ne sont pas aussi bons que proclamés par les fournisseurs-manufacturiers. Alors, il faut les remplacer par des plus efficaces.

- Le modèle de protecteur auditif utilisé ne vous convient pas. Il faut en essayer un autre genre plus adéquat.

- Les protecteurs sont peut-être mal ajustés. Il faudra trouver les causes afin d'améliorer la situation.

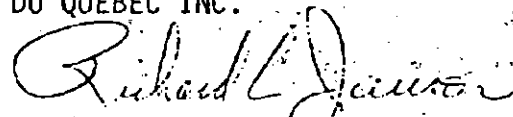
- L'omission de porter les protecteurs pendant une courte durée de la journée a pour effet de faire perdre une partie de la protection acquise pendant l'usage des protecteurs auditifs.

Si un travailleur est le seul à avoir des audiogrammes différents le matin et le soir, il vous faudra découvrir les raisons pour le protéger contre le développement d'une surdité occupationnelle.

Si au contraire, la majorité des travailleurs montrent des variations importantes auxdits tests, c'est tout le programme de protection qu'il faudra repenser.

Alors, si votre secteur industriel est bruyant, le port des bouchons et/ou coquilles est très important car la protection de l'ouïe, c'est l'affaire de tous; occupez-vous en.

L'ASSOCIATION DES MINES DE METAUX
DU QUEBEC INC.



RICHARD L. JAURON, ING., M. ENG.
SERVICE ENVIRONNEMENT MINIER

RLJ/ccg

16/09/83

LA PROTECTION CUTANÉE

La protection cutanée est assez bien décrite par l'article du dermatologue L.P. Durocher. Cet article est annexé au: Rapport sur le savon Consept "D" publié en 1979 par l'Association pour la santé et la sécurité du travail, secteur affaires sociales. Cet article fut écrit suite à des plaintes formulées par trois centres hospitaliers du Nord-Ouest du Québec, où des employés de l'entretien ménager ont souffert de problèmes d'allergie ou encore d'irritation, à la suite de l'utilisation d'un savon.

Nous pouvons rencontrer des affectations cutanées suite à divers modes d'exposition: contact direct avec un liquide tel le savon Consept "D", exposition aux vapeurs d'un produit ou procédé, contact avec une poudre qui se dissout dans la sueur, absorption accrue d'un gaz suite à la destruction du film lipidique... Certains gaz nécessitent une protection plus complète que le simple port d'un masque facial et de gants protecteurs. Les travailleurs exposés doivent alors porter une cagoule et des vêtements spéciaux. Aussi, dans certains cas comme lors de la manipulation de planches traitées aux pentachlorophénates, il faut porter des gants qui protègent également les avant-bras.

RAPPORT DU DR L.P. DUROCHER, DERMATOLOGUE

De façon générale, comme l'a souligné le docteur Albert Nantel, il importe de distinguer la toxicité d'un produit et l'intolérance personnelle à ce produit. Laissons de côté l'aspect de la toxicité qui a été évalué par le docteur Nantel et attardons-nous sur l'intolérance qu'un individu peut présenter à un produit. Cette intolérance est de deux types: soit une allergie, soit une irritation. L'allergie témoigne d'une réaction propre à l'individu alors que l'irritation est indépendante de l'individu. Ainsi, si dans un même bloc de service, plusieurs personnes présentent simultanément un problème d'inflammation cutanée, l'hypothèse explicative la plus probable sera qu'on se trouve en présence d'un irritant primaire plutôt que d'un allergène (à moins qu'il ne s'agisse d'un allergène très puissant, ce qui n'était pas le cas ici). Parmi les irritants, on distingue les irritants puissants qui induisent une réaction chez plus de 50% des sujets exposés une seule fois et les irritants faibles qui n'induisent, qu'après plusieurs jours d'exposition, une telle réaction chez 50% des sujets. Par contre l'allergène ne provoque de réaction que chez le sujet sensibilisé. La réaction ainsi provoquée peut cliniquement ressembler à celle induite par irritation et on parle alors de dermite par contact mais elle peut être d'une morphologie différente (ex.: urticaire).

Profitons-en ici pour souligner l'importance d'établir le mode d'apparition et d'évolution des symptômes: leur localisation, la période de latence, l'effet de la thérapie employée, etc. pour préciser si l'on est en présence d'une réaction d'hypersensibilité de type immédiat ou de type retardé. Il est rare qu'une même substance chimique provoque les deux types de réaction.

En ce qui concerne l'allergie qu'aurait pu provoquer le savon Consept "D", d'après la composition fournie par la compagnie Choisy, trois des ingrédients cités peuvent, en de très rares cas, être responsables de dermite par contact allergique. Ce sont: benzalkonium, éthylènediamine tétraacétate et triéthanolamine. Des épreuves épicutanées uniformisées existent pour ces trois substances et sont réalisables suivant une technique reconnue.

Il ne faut évidemment pas interpréter ici que l'allergie se résume à une question de "tests", ceux-ci doivent être pratiqués seulement si le questionnaire et l'examen clinique militent en faveur d'une dermite par contact d'origine allergique. L'épreuve épicutanée n'est qu'un examen complémentaire dont la positivité corroborée par la clinique apporte une plus grande précision aux conclusions; à l'encontre l'épreuve négative n'est pas significative.

Lorsqu'une épreuve épicutanée vient préciser l'étiologie d'une dermite par contact allergique ceci implique des restrictions de tâche pour cet individu mais cette même tâche ne présente pas de risque pour l'individu non sensibilisé. A l'opposé si la dermite par contact a été provoquée par un irritant (surtout s'il est puissant, le potentiel de risque demeure pour les autres travailleurs qui seraient affectés à la même tâche), il faut songer alors à éliminer le problème à la source, à modifier la technique d'utilisation ou à éliminer des facteurs accessoires précipitants ou prédisposants. Dans le cas d'une dermite par contact allergique, soulignons que l'allergie persiste et qu'on ne peut désensibiliser.

En somme, toute l'attention nécessaire doit être apportée pour poser un diagnostic précis face à tout cas d'intolérance cutanée au travail. Si l'origine allergique est prouvée, il est, sans doute, préférable de changer l'individu de poste si on ne peut éliminer l'allergène mais le plus souvent l'origine sera irritative, quoi faire alors?

Dans ce cas, le principe général est de diminuer l'intensité, la durée et la fréquence des contacts avec l'irritant. Comment procéder?

Là, comme dans d'autres domaines, il est souhaitable de prévenir plutôt que de guérir. Dans l'entretien ménager, les savons, les détergents, les désinfectants peuvent créer des problèmes d'inflammation cutanée qui se développent lentement à la suite d'une déshydratation de la peau.

Les agents de nettoyage peuvent enlever le film lipidique naturel de la peau et celle-ci se déshydrate secondairement. De plus, des facteurs climatiques (ex.: le vent en hiver) peuvent accentuer la déshydratation des mains nues. Il importe donc de sensibiliser les travailleurs à la nécessité d'une bonne hygiène des mains pour prévenir cette déshydratation soit un rinçage adéquat à l'eau claire après un lavage des mains, éviter de porter des bijoux qui pourraient retenir l'eau et le savon emprisonnés durant plusieurs heures entre le métal et la peau (c'est souvent le point de départ d'une exzématisation). De plus si l'on note que la peau se dessèche, il faut recourir à l'emploi d'une lotion ou crème hydratante de façon à maintenir en tout temps une barrière protectrice adéquate. Pour être efficace il n'est pas nécessaire d'appliquer une telle quantité de crème ou lotion que le travail en soit gêné. Ceci peut se faire en début et en fin de journée et si nécessaire aux périodes de repos.

Venons-en maintenant à la question du port de gants. Deux situations se présentent: la peau des mains est intacte ou elle est affectée d'eczéma. Si la peau des mains est intacte, le port de gants sera généralement bien toléré et constituera une barrière efficace pour diminuer l'irritation ou l'allergie; on pourra combattre l'excès de sudation en insérant des gants de coton à l'intérieur et on verra à ne porter les gants imperméables que durant le temps minimum requis. Des tâches spécifiques d'entretien ménager peuvent.

à l'occasion mettre les mains en contact avec des solvants qui constituent des agresseurs plus puissants que le savon; le port de gants est alors recommandé. On se souviendra cependant que tous les gants ne sont pas imperméables à tous les solvants; ainsi les gants de caoutchouc naturel résistent aux cétones mais non aux hydrocarbures aromatiques tels le toluène alors que les gants de polyvinyle protègent contre la plupart des solvants sauf les cétones. Lors du port de gants on se souviendra qu'une peau macérée par l'humidité excessive présente une résistance moindre à la pénétration d'agresseurs. De plus, un gant percé doit être changé rapidement puisque la pénétration per-cutanée de la substance emprisonnée dans le gant est accrue par l'occlusion relative ainsi créée.

Si la peau des mains présente de l'eczéma, la valeur à long terme du port de gants est plus imprévisible. En effet, même s'il prévient le contact avec des allergènes ou des irritants cutanés, le port de gants prolongé crée une ambiance de haute humidité difficilement tolérée par l'individu.

Même avec l'addition d'un gant de coton, dans le cas d'eczéma, le gant imperméabilisé ne devrait être porté que pour de courtes périodes (ex.: 10 minutes) après laquelle les mains reviennent à l'air libre. Evidemment, la tolérance du port de gants varie selon la gravité de l'eczéma: ceci fait ressortir l'importance de traiter précocement et de façon optimale les épisodes aigus d'eczéma.

Enfin dans un contexte de prévention, on peut parfois éviter le port de gants tout en créant une protection adéquate grâce à l'emploi de crème-barrière (généralement à base de silicone). Dans ce cas, le mode d'emploi doit être suivi et l'application répétée au cours de la journée.

En résumé, il importe au plan curatif de préciser le diagnostic, de traiter précocement et adéquatement, de circonscrire l'étiologie (allergie ou irritation) mais le plus important reste l'action préventive: information et attitudes préventives.

A handwritten signature in dark ink, appearing to read 'L.P. Durócher', is written over a horizontal line.

L.P. Durócher, M.D.

TESTS PRATIQUES

Il est parfois utile de contrôler l'efficacité de gants. On désire alors s'assurer de la perméabilité de ces gants. Nous vous proposons d'effectuer deux petites expériences pour tester la performance de gants de caoutchouc.

- 1) Nous pouvons, pour tester la résistance d'un gant, immerger ce gant dans le produit dont on désire se protéger. Si, après plusieurs heures d'immersion, le gant n'est pas affecté, nous pouvons conclure que la résistance du gant au produit semble adéquate.

Nous vous proposons d'immerger pendant une journée un gant pour usage domestique dans de l'acétone, de plonger un autre gant dans du toluène et un troisième gant dans un agent décapant.

La journée terminée, nous procédons à l'examen visuel des gants.

- D I S C U S S I O N -

- 2) Nous pouvons mesurer la perméabilité dans un gant (évaporation et/ou pénétration) en emplissant le gant de solvant, en le scellant, et en mesurant la variation de poids du gant avec le temps.

Nous vous proposons d'emplir un premier gant pour usage domestique avec de l'acétone, un deuxième avec du décapant et un troisième avec du toluène. Nous pesons ensuite les gants à intervalle régulier avec une balance assez précise. - D I S C U S S I O N -

LA PROTECTION OCULAIRE.

Le document "Vision et travail, tome I, la protection oculaire" de l'IRAT (1983) traite des différents types d'agression contre l'oeil, des divers règlements et normes traitant de la protection oculaire, de l'élaboration d'un programme de protection oculaire ainsi que du fonctionnement de l'oeil et de la vision. Nous vous invitons à vous procurer ce document.

Prix en 1983: 3 00 \$ sur place
4 00 \$ par commande postale

IRAT
1290 rue St-Denis
Suite 800
Montréal, Qc
H2X 3J7

LES CONTRAINTES THERMIQUES

Nous vous invitons à relire le texte "Comment revêtir la sécurité en hiver" distribué en annexe du document sur la session de formation traitant des contraintes thermiques.

Expérience:

Nous vous proposons de vérifier l'efficacité d'une grille protectrice contre l'effet des infrarouges. Ce test sera fait chez Temfor.

LE PROGRAMME DE PROTECTION INDIVIDUELLE⁽¹⁾

Lorsqu'une entreprise décide de recourir à la protection personnelle, elle doit mettre en place un programme de protection individuelle afin de s'assurer que l'implantation et l'utilisation des équipements se fassent correctement. Combien d'entreprises découvrent-elles avec stupéfaction que le ou les masques achetés sont encore dans leur emballage après une année? Combien de personnes utilisent des masques à gaz avec des cartouches sursaturées ou encore d'autres moyens de protection périmés? Un programme de protection personnelle doit limiter ce type de problèmes. Voyons quelles sont les grandes lignes d'un tel programme.

A- L'administration du programme

- . Nomination formelle du responsable du programme de protection personnelle.
- . Toutes les directions, instructions et procédures doivent être écrites et tout le personnel concerné doit en être informé.

B- Connaissance des risques du milieu

- . On doit connaître l'environnement de travail en fonction des contaminants qui s'y retrouvent afin de décider d'abord du besoin de correctifs et ensuite, si nécessaire, choisir l'équipement qui conviendra le mieux aux besoins.

C- Sélection de l'équipement

- . L'équipement doit être choisi en fonction des risques du milieu, des caractéristiques et besoins des utilisateurs éventuels et d'après les spécifications de l'équipement. Lorsque c'est possible, on doit se référer aux organismes responsables, d'évaluer et d'approuver ce type d'équipement. (Par exemple, les respirateurs sont approuvés par NIOSH).

(1) Texte modifié des notes de cours préparé par Edouard Villeneuve, Mines Noranda Ltée., cours dispensé à Québec dans le cadre du V^e Congrès annuel de l'A.H.I.Q., mai 1983.

- . C'est donc dire que le responsable de cette sélection devra avoir une bonne connaissance des équipements et des critères de sélection.
- . Les travailleurs doivent-être appelés à se prononcer.

D- La formation et l'information.

- . Tous les utilisateurs de protection individuelle doivent être formés et informés sur l'ensemble des points suivants:
 - Information sur la nature des risques du milieu de travail et sur les conséquences prévisibles si la protection n'est pas utilisée.
 - Ce qui a motivé la décision de recourir à la protection personnelle comme moyen de contrôle plutôt qu'à des correctifs techniques ou administratifs.
 - Les délais prévus pour apporter des correctifs à la source doivent être établis et divulgués.
 - Informations sur les caractéristiques, les avantages et désavantages et les limites des moyens de protection individuels envisagés ou retenus.
 - Discussion sur le choix de l'équipement.
 - Politique et formation concernant l'utilisation, l'entretien et l'inspection de l'équipement.
 - Procédure à suivre en cas d'urgence telle défaillance de système et autres, si nécessaire.

E- Entretien, entreposage et distribution

- . Idéalement, une seule unité administrative devrait se charger de l'entretien, l'entreposage et la distribution des équipements de protection individuelle

- . L'entretien comprend toutes les opérations de lavage, désinfection, inspection et réparation. Un certain entretien doit être fait quotidiennement.
- . Les appareils doivent être entreposés dans un endroit propre à l'abri de la lumière, de la chaleur, du froid, et autres.
- . Si possible, chaque travailleur devrait posséder son propre équipement.
- . La distribution et l'entretien devront être confiés à une personne qui connaisse bien cet équipement.
- . On devra tenir un registre des réparations effectuées sur les équipements ainsi que toute autre information pertinente.

F- Surveillance médicale.

- . L'état de santé des travailleurs ayant à utiliser les équipements devrait être surveillé.
- . Cette surveillance pourrait comprendre un examen pré-embauche et des examens périodiques par après.
- . Le médecin devra, au mieux de sa connaissance, établir les conditions physiques reliées à l'utilisation de certains équipements tels les respirateurs.

G- Évaluation.

- . Le programme devra être évalué régulièrement afin de juger de son efficacité et, si nécessaire, le modifier afin de l'adapter aux besoins de l'établissement.
- . Une enquête devrait être effectuée auprès des opérateurs qui utilisent ces équipements.
- . On devra régulièrement (au moins une fois l'an) revoir avec les travailleurs, les directives, les instructions et les procédures.
- . Consulter les rapports médico-environnementaux afin de s'assurer que la protection est toujours adéquate. Procéder à des tests particuliers au besoin.

Obligations de l'employeur:

Un employeur ne peut pas se contenter d'acheter et de mettre à la disposition des travailleurs certains équipements de protection individuels. Il est assujéti aux obligations stipulées par plusieurs règlements.

Ainsi, le règlement sur la qualité du milieu de travail demande à l'employeur qui ne respecte pas les normes spécifiques à un contaminant chimique particulier de mettre à la disposition des travailleurs et s'assurer qu'ils portent un équipement de protection des voies respiratoires conforme aux exigences et aux normes promulguées pour de tels équipements conjointement par la National Institute for Occupational Safety and Health du ministère de la Santé, de l'Éducation et du Bien-Être des États-Unis d'Amérique et la Mining Health and Safety Administration du ministère de l'Intérieur des États-Unis d'Amérique et publiées dans 37 Federal Register 6993, 38 Federal Register 11458 et 39 Federal Register 12864.

L'équipement de protection des voies respiratoires visé à l'article 8 doit être:

- a) conçu pour offrir une protection à l'égard du danger contre lequel on veut protéger le travailleur;
- b) tenu en état de fonctionnement;
- c) inspecté par un représentant de l'exploitant de l'établissement, au moins une fois par mois et chaque fois que le travailleur qui porte cet équipement signale qu'il est défectueux;
- d) désinfecté avant d'être utilisé par un autre travailleur, sauf en cas d'urgence; et
- e) entreposé dans un endroit propre.

L'utilisation et le fonctionnement de cet équipement doivent être expliqués aux travailleurs et l'exploitant de l'établissement doit s'assurer que ceux-ci en comprennent parfaitement l'usage.

Le règlement relatif aux travaux forestiers force le chef de l'établissement à s'assurer que le travailleur forestier:

- a) utilise un casque de sécurité homologué selon la norme Industrial Protective Headwear ACNOR Z94.1 - 1966. Ce casque doit être fourni par le chef d'établissement;
- b) porte un écran facial ou des lunettes et protection (Eye Protectors ACNOR Z94.3 - 1969) lorsqu'il est exposé à un danger pour les yeux ou la figure; et
- c) porte des protecteurs auriculaires (Hearing Protectors ACNOR Z94.2 - 1965) si le bruit dépasse au poste de travail la limite permise à l'annexe 3 du Règlement concernant les établissements industriels et commerciaux.

Enfin, le programme de prévention impose aussi à l'employeur certaines contraintes comme l'obligation de nommer un responsable du programme de protection individuelle.

LA PROTECTION PERSONNELLE ET LES FACTEURS INDIVIDUELS

Les facteurs individuels ont une grosse influence sur l'efficacité et la tolérance des équipements de protection individuelle. Par exemple, une incapacité respiratoire augmente la pénibilité découlant du port d'un respirateur. Le port de gants étanches augmente l'eczéma. Le port de lunette diminue l'efficacité de coquilles auditives...

Nous vous présentons deux textes écrits pour le colloque de l'AHIQ sur la protection personnelle (14 septembre 1983). Après lecture des textes, nous discuterons de l'attitude à prendre pour considérer l'influence des facteurs individuels sur le port de protecteur personnel.

LE PORT DE LA BARBE ET LA PROTECTION RESPIRATOIRE

Le port de la barbe et la protection respiratoire est un problème qui date déjà depuis plusieurs années ... Je n'ai donc pas la prétention de trouver une solution miracle, mais voici la position de l'Association des Mines de Métaux du Québec Inc.

QU'EST-CE QU'UN RESPIRATEUR

C'est un appareil respiratoire soit du type à pression négative ou positive qui protège les utilisateurs contre l'inhalation des substances toxiques, gaz, vapeurs et poussières.

Son choix, son utilisation et l'évaluation ayant déjà été traités lors de conférences antérieures, permettez-moi de souligner sommairement que le port de respirateur par les travailleurs implique nécessairement l'élaboration d'un programme de protection respiratoire qui doit traiter des points suivants:

- A) L'administration du programme
- B) La connaissance des risques du milieu
- C) La sélection des respirateurs
- D) La formation et l'information
- E) L'entretien, l'entreposage et la distribution
- F) La surveillance médicale
- G) L'évaluation

Aussi, à l'intérieur dudit programme, on doit trouver les types de respirateurs utilisés lors de cas spéciaux tels que ceux utilisés par les pompiers, les marins, les équipes de sauvetage minier et les opérateurs d'équipement mécanique qui doit être opéré dans certaines conditions où l'air est non respirable.

50
Je pense en particulier aux opérateurs de treuil souterrain qui, dans le cas d'un feu dans la partie profonde d'une mine ayant un puits intérieur, doivent opérer le treuil jusqu'à ce que tous les mineurs soient évacués.

RESPONSABILITES DE L'UTILISATEUR

Il faut, au départ, avant de s'arrêter au contenu de cette discussion, assumer que les respirateurs sont utilisés dans un cadre qui respecte la philosophie de l'article 3 de la loi 17.

Ainsi, dans tous les cas où un respirateur doit être porté, *l'étanchéité de ce dernier est primordiale* car l'utilisateur a la responsabilité de s'assurer qu'il prend toutes les mesures nécessaires pour protéger sa santé, sa sécurité ou son intégrité physique (article 49-2^o de la loi 17).

De plus, il doit veiller à ne pas mettre en danger la santé, la sécurité ou l'intégrité physique des autres personnes qui se trouvent sur les lieux de travail ou à proximité des lieux de travail (article 49-3^o de la loi 17).

Or, le port de la barbe est une obstruction à l'étanchéité de tout respirateur.

Plusieurs recherches ont été faites sur l'étanchéité des respirateurs en relation avec différents types de barbes, moustaches ou favoris, et ce, pour différents types de respirateurs à pression négative (références 3; 4; 5, 6) et aucun des respirateurs n'a satisfait aux normes du test d'étanchéité de OSHA/ANSI Z 88.2-1979 (Ref. 7).

A titre d'exemple, prenons le cas présenté dans la revue "American Industrial Hygiene Association Journal" de juillet 1983, où huit (8) sujets se sont soumis à des tests d'étanchéité avec un appareil à demande, modèle Biopak 60, lequel porte l'approbation TC-13F-85 de MSHA/NIOSH (Ref. 8).

Les huit (8) volontaires ont débuté les tests en étant fraîchement rasés et ont laissé pousser leur barbe sur une période de 8 semaines sans la couper de quelque façon que ce soit. De plus, les essais d'étanchéité à l'aide d'un aérosol, ont été établis sur une base bi-mensuelle de trois essais jusqu'à la fin de ladite période de contrôle.

Les résultats présentés au tableau 1 indiquent que le facteur de protection* au début était supérieur à 20,000 pour la plupart des individus.

Toutefois, à mesure que la barbe poussa, le facteur d'étanchéité diminua considérablement, passant de >20,000 à <500, voire même <50 pour 2 des 8 individus, et ce après 8 semaines sans rasage.

La conclusion à tirer a été assez simple: pour ce type de respirateur à demande SCBA, l'étanchéité du "respirateur au visage" de l'utilisateur est primordiale et ne devrait pas être utilisé par des hommes portant la barbe dans les atmosphères où leur vie pourrait être mise en danger.

Je pense en particulier aux pompiers, aux marins, aux équipes de sauvetage minier et au personnel affecté à leur travail régulier qui, par suite de catastrophe, doivent oeuvrer dans des atmosphères irrespirables. Ex: les opérateurs de treuil souterrain durant un feu.

De plus, outre la barbe, il ne faut pas oublier les moustaches et les long favoris qui, eux aussi, peuvent interférer dans la protection respiratoire (Ref. 4).

Dernièrement, suite à la revision du programme de protection respiratoire d'une compagnie de peinture, une cour d'arbitration de l'Ontario (Ref. 3) approuva la mise à pied d'un employé avec barbe qui était affecté à la fabrication de peintures, de résines, de solvants et de d'autres produits finis où

* Facteur de protection (Ref. 7) =

$$\left[\frac{100}{\frac{\text{des moyennes de concentrations pour les tests}}{\text{nombre des tests}}} \right]$$

le port d'un respirateur à pression négative était nécessaire vu la possibilité d'exposition à des produits chimiques toxiques.

En premier lieu, c'est-à-dire avant octobre 1981, dans le cadre de leur programme de protection respiratoire, tout travailleur avec barbe devait passer un "test d'étanchéité" avec le respirateur qu'il devait porter pour sa protection personnelle.

Le travailleur en question passa ledit test, mais suite à la révision du programme de protection respiratoire qui stipule: "tous les employés doivent passer un test d'étanchéité avec l'équipement respiratoire, et ils doivent être fraîchement rasés aux points de contact d'étanchéité dudit respirateur à pression négative".

L'employé en question refusa de se conformer à cette nouvelle direction du programme de protection respiratoire (normes spécifiques à l'entreprise, article 59-3^o de la loi 17) et il fut congédié. Son syndicat et lui-même déposèrent un grief qui passa les étapes requises pour en venir à la Chambre des Relations Ouvrières de l'Ontario.

L'arbitration approuva la mise à pied suite à la présentation du nouveau programme de protection respiratoire basé sur la norme ANSI-1980, et d'une étude quantitative sur l'étanchéité de respirateurs à pression négative sur 274 individus, dont 54 avec barbe.

Les résultats ont prouvés que toutes les personnes avec barbe pouvaient sentir l'aérosol utilisé et que quantitativement, 50% des travailleurs avec barbe avaient *plus de 10% de coulage* tandis que moins de 2% des gens fraîchement rasés avaient plus de 1% de coulage.

Suite à ceci, la cour d'arbitration trouva la règle de sécurité de la firme raisonnable et supporta le règlement interne basé sur l'obligation de l'employeur en vertu de l'Occupational Health and Safety Act, de protéger la santé et la sécurité de ses employés.

RESPIRATEUR A PRESSION POSITIVE

On pourrait dire: "remplaçons les respirateurs à pression négative par des appareils à pression positive".

L'usage des respirateurs à pression positive est presque exclusivement réservé aux travailleurs* oeuvrant dans des atmosphères irrespirables. Encore là, le port de la barbe affecte l'étanchéité de ce type de masque; il y a coulage et la vie d'usage du respirateur autonome est réduite.

De plus, il n'y a aucune raison de demander aux travailleurs de fonderies, de carrières de silice, de manufactures de batteries, etc., de porter des masques à pression positive reliés à un cylindre portatif, à des cylindres en cascade ou à une ligne d'amenée d'air frais pour diverses raisons telles que la chaleur, le poids, le manque de flexibilité etc., car ces appareils sont conçus pour être utilisés dans des atmosphères mettant la vie des travailleurs en danger.

CONCLUSION

Comme vous le savez tous, en attendant les progrès technologiques, dans bien des situations, et ce pour plusieurs années à venir, le port de respirateur à pression négative sera la protection respiratoire la plus utilisée, mais les employés et les employeurs devront chacun respecter la loi 17, c'est-à-dire les articles 49-2^o - 3^o, 51 et 59.

De plus, j'incite les employeurs à inscrire à la section *normes spécifiques à l'entreprise* de leur programme de prévention, que tous les travailleurs qui doivent porter un respirateur au cours de leur travail normal et/ou en situations d'accidents (feu, atmosphère non respirable), doivent être fraîchement rasés, du moins au niveau du contact du joint d'étanchéité du masque au visage.

* Un sauveteur minier doit être fraîchement rasé ou il est refusé comme membre d'équipe (Ref 6, page 10).

504

De plus, la sélection des respirateurs doit aussi se faire en fonction de la forme du visage de l'utilisateur.

RLJ/ccg

RICHARD L. JAURON, ING., M. ENG.
AMMQ INC.
SERVICE ENVIRONNEMENT MINIER

AHIQ, MTL, 14 sept. 83

TABLEAU 1

RESULTATS DES FACTEURS DE PROTECTION

<u>SUJET</u>	<u>NOMBRE DE SEMAINES</u>				
	<u>0</u>	<u>2</u>	<u>4</u>	<u>6</u>	<u>8</u>
A	>20,000	>20,000	3,133	517	661
	>20,000	12,857	10,937	180	416
	>20,000	15,167	>20,000	2,647	514
B	>20,000	6,536	186	95	72
	>20,000	13,000	308	346	70
	>20,000	8,227	150	348	117
C	>20,000	2,065	278	152	46
	>20,000	5,000	1,542	620	292
	----	4,842	455	344	330
D	>20,000	1,175	569	940	414
	>20,000	13,071	3,067	650	575
	7,038	9,050	1,264	650	723
E	18,900	5,531	377	186	65
	>20,000	17,600	450	344	218
	>20,000	12,714	775	556	135
F	>20,000	486	368	80	14
	4,889	3,480	149	59	25
	>20,000	2,557	229	33	40
G	>20,000	1,156	92	38	25
	>20,000	430	75	50	41
	>20,000	669	54	49	29
H	>20,000	6,133	617	421	525
	>20,000	>20,000	2,350	1,162	965
	>20,000	2,676	3,854	2,618	1,067

50

REFERENCES

- 1) Respiratory Protection, A Manual and Guideline
First edition, AIHA, 1980
- 2) Choix, Utilisation et Evaluation des Respirateurs
Texte présenté à Québec, lors de la réunion annuelle
de l'AHIQ.
M. Edouard O. Villeneuve, mai 1983
- 3) Shave or ship out order upheld
Canadian Occupational Health & Safety News
Vol 6, no 29, July 25, 1983
- 4) The effect of growth of facial hair on protection factors for
one model of close-circuit, pressure-demand, self-contained breathing
apparatus
American Industrial Hygiene Association Journal, June 1983
- 5) Effect of facial hair on respirator performance
A.I.H.A., April 1973
- 6) Manuel d'entraînement en sauvetage minier
Gouvernement du Québec, Ministère des Richesses Naturelles
S-205, 1977
- 7) ANSI Z88.2-1979, American National Standard Practice for
Respiratory Protection
- 8) MSHA/NIOSH Approval TC-13F-85
- 9) Fundamentals of Industrial Hygiene, National Safety Council 2nd Edition,
Respiratory protective equipment, chapter 23 (p. 709-756)
- 10) Patty's Industrial Hygiene and Toxicology, 3rd revised edition,
Respiratory protection devices, chapter 21 (p. 993-1057)

TABLE RONDE

Le port de la barbe et la protection respiratoire

Charles Beaudry
Commission de la santé et
de la sécurité du travail
Septembre 1983

1. Il existe quelques articles de périodiques traitant de l'effet de la barbe sur l'étanchéité des masques de protection respiratoire.

A compter des premiers articles, aux environs de 1973, on s'entend généralement pour affirmer que la barbe réduit l'étanchéité des masques à pression négative.

Un article récent parut en juillet dernier semble indiquer une diminution spectaculaire du facteur de protection d'un masque à pression-demande proportionnellement au développement de la barbe.

2. Le OSHA Training institute refuse depuis 1979 d'accorder des facteurs de protection individuels à des personnes portant des barbes qui s'interposent entre le masque et la peau.
3. Une cour d'arbitrage en Ontario a récemment statué sur une cause opposant Dupont Canada et le syndicat des Teamsters, suite à la mise à pied d'un employé, qui avait refusé de se raser alors que la compagnie avait décrété cette condition nécessaire au port de masque de protection.

Il s'agissait de masques à pression négative.

Un sommaire de la décision pourrait se lire comme suit:

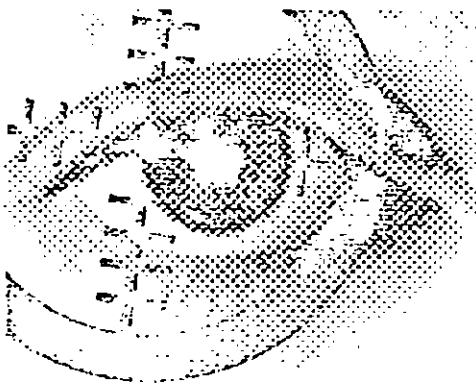
Compte tenu de l'information scientifique, on ne peut présumer de l'étanchéité du masque d'une personne portant une barbe même si elle a passé un test positif d'étanchéité en laboratoire.

Il s'en suit qu'une règle générale de se raser (au joint d'étanchéité du masque) pour les personnes devant oeuvrer avec des masques de ce type est RAISONNABLE.

SUJETS DE DISCUSSION

Nous aimerions pour terminer couvrir l'aspect théorique de la protection personnelle, revenir sur deux aspects rapidement abordés aujourd'hui. Le premier sujet de discussion que nous vous proposons est "le transfert de responsabilités" qu'amène l'adoption d'un programme de protection individuelle. Nous vous suggérons de lire un court extrait du document "Vision et travail de l'IRAT " pour amorcer la discussion.

Le deuxième thème que nous voudrions aborder pour conclure cette journée est la demande de refus de travail dans un endroit bruyant présentée dernièrement en région.



TIRÉ DE
VISION ET TRAVAIL,
LA PROTECTION
OCULAIRE, Tome 1.
P. 47.

1. Les pratiques actuelles

Récemment, aux ateliers du Canadien National, à la Pointe Saint-Charles, les employeurs ont voulu régler les problèmes de protection oculaire. Ils se sont inspirés de certaines dispositions du Règlement du Canada sur les vêtements et l'équipement protecteur pour mettre sur pied un vaste programme de port obligatoire de lunettes. En décembre 1979, le directeur des ateliers émettait le communiqué suivant:

À TOUS LES EMPLOYÉS

Le port de lunettes de sécurité est une politique qui fut adoptée dès janvier 1978. En juin 1979, les lunettes de sécurité furent distribuées aux employés de l'Atelier du matériel remorqué et en septembre 1979 à ceux de l'Atelier de la traction.

Le 16 octobre 1979, une lettre circulaire fut affichée spécifiant qu'à partir du 18 octobre 1979, le port des lunettes de sécurité devenait obligatoire dans ces deux ateliers. Depuis lors, vos représentants syndicaux ont rencontré les représentants du ministère du Travail du Canada qui approuveront la politique du CN pour la protection des yeux de ses employés.

Les employés doivent donc porter leurs lunettes de sécurité en tout temps et partout dans les Ateliers du matériel remorqué et de la traction. Des avertissements verbaux et écrits ont déjà été donnés à certains employés refusant de porter leurs lunettes de sécurité et à l'avenir, des énoncés formels seront obtenus de tous ceux qui refuseront de se soumettre à cette politique.

Les employés devraient comprendre que cette politique fut établie pour leur propre bien et dans le but de les protéger. La direction s'attend à ce que cela soit bien compris et que tous s'y conforment immédiatement.

Ce genre de programme de sécurité avec port obligatoire de lunettes et sanctions est encore pratique courante. Ces programmes reçoivent l'appui d'organismes patronaux divers. Il y a peu de temps encore, l'Association de prévention des accidents industriels* mettait à la disposition des entreprises du matériel publicitaire, films, affiches, qui ne prônaient que le port des lunettes comme moyen de protection oculaire. On pouvait lire, dans un article publié par la revue de cet organisme: «Il est facile de prévenir les blessures aux yeux: il n'y a qu'à porter les protecteurs fournis. (1) Un autre organisme, l'Institut National Canadien pour les Aveugles (l'INCA) met de l'avant un programme du «Hibou vigilant» — le «Wise Owl Club» lancé aux États-Unis par l'organisme équivalent. Les employeurs peuvent obtenir une charte du «Wise Owl Club», ce qui leur permet de faire remettre aux travailleurs dont la vue a été «sauvée» par leurs lunettes des certificats et des boutons qui témoigneront de leur sagesse et de leur vigilance. D'ailleurs un producteur d'aluminium du Québec fait ainsi inscrire à ce club jusqu'à trois ou quatre «heureux élus» par mois.

Il y a plusieurs éléments qui permettent de comprendre cette attitude. Tout d'abord, en imposant le port de lunettes de sécurité aux travailleurs, les employeurs procèdent à un véritable transfert de responsabilité. Dorénavant, si un travailleur est blessé, ce sera parce qu'il n'a pas porté son équipement de protection alors que, au dire de l'employeur, son travail présentait des dangers reconnus... et inévitables. C'est le travailleur qui sera rendu responsable de sa propre blessure! En procédant ainsi, les employeurs évitent de devoir améliorer les conditions de travail.

En second lieu, il faut souligner qu'un programme de port de lunettes est très économique pour l'employeur. Contrairement à ce qu'on serait porté à croire, les lunettes de sécurité ne coûtent presque rien. Les fabricants les plus réputés offrent des modèles courants qui se vendent trois ou quatre dollars la paire!

Acheter des lunettes en bonne quantité, poser partout des affiches qui incitent à les porter, c'est une façon très économique de lancer un programme de sécurité oculaire. Mais, comme nous l'avons vu déjà, 40% des blessures aux yeux surviennent à des travailleurs qui portent des lunettes (2). Ce type de programme très économique est aussi très inefficace. D'autant plus, d'ailleurs, qu'il déclenche souvent des réactions de mécontentement de la part d'employés qui se voient obligés de porter des lunettes alors qu'ils n'en ont pas toujours besoin. C'est ce qui s'est produit à la Pointe St-Charles. Les syndicats ont fait valoir que la direction se retranchait derrière un programme de port de lunettes et qu'on ne faisait rien pour régler les risques d'éclaboussures dans la manutention des solvants, les fuites de poussière des machines à découper et qu'on ne posait pas d'écrans autour des postes de brûlage, de meulage, de sablage, de soudage, etc. Le règlement canadien préconise pourtant l'élimination des dangers à la source.

Ces syndicats avaient raison. Il y a mieux à faire que de distribuer des lunettes. On doit mettre sur pied de véritables programmes de protection oculaire.

* Cette association d'association patronale est devenue le CIOU. Association patronale pour la prévention des accidents industriels et de la sécurité au travail.

F 4606