



OHTA

Occupational
Hygiene Training
Association

MANUEL DE L'ÉTUDIANT

W201

Principes de base en hygiène du travail

Février 2017

■ Révision janvier 2018

This course is offered by the Occupational Hygiene Training Association and available free of charge through the OHTA website Ohtatraining.org.

Copyright information

This student manual is provided under the Creative Commons Attribution
– No Derivs licence agreement.

It can only be reproduced in its entirety without change, unless with the prior written permission of OHTA.

Occupational Hygiene Training Association,

5/6 Melbourne Business Court Millennium Way, Pride Park, Derby, DE24 8LZ

Email: team@ohtatraining.org

■ La traduction française a été assurée par le Groupe Sanofi en 2012 et revue partiellement en janvier 2018.

■ Les éléments signalés ainsi ont été ajoutés à la version française

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	1
1.1	Historique	3
1.2	Importance de l'hygiène du travail	7
2	PHYSIOLOGIE HUMAINE et MALADIES PROFESSIONNELLES	9
2.1	Peau	9
2.1.1	Dermite	10
2.1.2	Lésions physiques	11
2.1.3	Agents biologiques	12
2.1.4	Cancers	12
2.1.5	Autres effets	12
2.2	Système musculo-squelettique	12
2.3	Système nerveux	14
2.4	Système endocrinien	15
2.5	Système circulatoire	16
2.5.1	Le sang	17
2.6	Appareil respiratoire	18
2.7	Tractus gastro-intestinal	21
2.8	Le foie	22
2.9	Appareil urinaire	23
2.10	L'œil	23
3	NOTIONS DE BASE EN TOXICOLOGIE	25
3.1	Introduction	25
3.2	Termes	25
3.3	Concepts de base	26
3.3.1	Forme physique	27
3.3.2	Dose	28
3.3.3	Voie de pénétration / absorption	28
3.3.4	Métabolisme	29
3.3.5	Excrétion	30
3.3.6	Réponse aux toxines	30
3.4	Stades de l'évaluation toxicologique	31
3.4.1	Quels effets indésirables une substance chimique peut-elle provoquer?	31
3.4.2	Les effets observés chez l'animal sont-ils pertinents chez l'homme?	31

3.5	Fiches de données de sécurité (FDS)	31
4	EXEMPLES DE SUBSTANCES & PROCEDES DANGEREUX	34
4.1	Silice cristalline	34
4.2	Fibres minérales artificielles (FMA)	35
4.3	Fumées de soudure	36
4.4	Isocyanates	37
4.5	Poussières de bois	37
4.6	Produits pharmaceutiques	37
4.7	Produits dérivés du pétrole	38
4.8	Exploitation minière – Extraction de minéraux et de métaux	40
4.9	Utilisation et affinage de métaux	41
4.10	Emissions diesel	42
4.11	Nanoparticules	43
5	EVALUATION DES RISQUES POUR LA SANTE	44
5.1	Introduction	44
5.2	Dangers et risques	44
5.3	Évaluation des risques pour la santé	44
5.3.1	Définition du cadre de l'évaluation	45
5.3.2	Recueil des informations	45
5.3.3	Évaluation des risques pour la santé	46
5.3.4	Mesure au poste de travail	47
5.3.5	Identification des actions nécessaires	47
5.3.6	Enregistrement de l'évaluation des risques	48
5.3.7	Réalisation des actions	48
5.3.8	Revue de l'évaluation des risques	48
5.3.9	Communication / Consultation	49
5.4	Systèmes experts et gestion graduée des risques (control banding)	49
6	MESURES DES CONTAMINANTS AEROPORTES	50
6.1	Principes généraux	50
6.1.1	Techniques d'échantillonnage	51
6.1.2	Types d'échantillonnage	51
6.2	Équipement d'échantillonnage	54
6.3	Enregistrement des mesures	55
6.4	Échantillonnages des particules aéroportées	55
6.4.1	Taille des particules	55
6.4.2	Éléments d'un système d'échantillonnage	56

6.5	Échantillonnage des gaz et des vapeurs	58
6.5.1	Équipement d'échantillonnage	58
6.5.2	Méthodes d'échantillonnage	61
6.5.3	Échantillonnage en point fixe	62
6.6	Stratégies d'échantillonnage	62
6.6.1	Identification des contaminants aéroportés	62
6.6.2	Fuites et dispersions	63
6.6.3	Évaluation de l'efficacité des moyens de maîtrise	63
6.7	Méthodes d'analyse	63
6.7.1	Vapeurs organiques	63
6.7.2	Gaz inorganiques	64
6.7.3	Matières particulaires organiques	64
6.7.4	Métaux et leurs composés	64
6.7.5	Poussières minérales	64
6.7.6	Les particules diesel (Diesel Particulate Matter DPM) mesurée en carbone élémentaire	64
6.8	Calibration et contrôle qualité	65
7	REFERENCES / NORMES D'HYGIENE & VALEUR LIMITE D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE (VLEP)	66
7.1	Introduction	66
7.2	Établissement des références d'hygiène et des valeurs limites d'exposition	66
7.3	Normes d'hygiène du travail pour les agents chimiques	68
7.3.1	Quantification des concentrations aériennes des agents chimiques	68
7.3.2	Catégories de valeurs limites d'exposition	69
7.3.3	Notation « peau »	69
7.3.4	Effets des expositions combinées	69
7.3.5	Calcul de l'exposition selon les périodes de référence spécifiées	70
7.4	Valeurs guides pour la surveillance biologique (bio-métriologie)	72
8	BIO-METROLOGIE & SURVEILLANCE BIOLOGIQUE DE LA SANTE	73
8.1	Urine	75
8.2	Sang	76
8.3	Peau	76
8.4	Souffle	77
8.5	Vision	77
8.6	Radiographie, rayons X	77
8.7	Tests neurologiques	77
8.8	Audiométrie	78

8.9	Épreuves fonctionnelles respiratoires	78
8.9.1	Volume pulmonaire et volume expiratoire maximal par seconde (VEMS)	78
8.9.2	Résistance des voies respiratoires	78
9	APPROCHES GENERALES DE LA MAITRISE DES RISQUES POUR LA SANTE.	79
9.1	Types de moyens de maîtrise	79
9.1.1	Élimination / substitution	80
9.1.2	Isolement	80
9.1.3	Ségrégation	81
9.1.4	Moyens d'ingénierie / mesures techniques	81
9.1.5	Moyens administratifs / organisationnels	82
9.1.6	Informations, instructions et formation	83
9.1.7	Équipements de protection individuelle (EPI)	84
10	VENTILATION	85
10.2	Caractéristiques générales d'un système de LEV	85
10.2.1	Considérations générales	86
10.2.2	Prises d'air / hottes	87
10.2.3	Conduits	91
10.2.4	Épurateurs d'air	92
10.2.5	Ventilateurs	93
10.2.6	Élimination dans l'atmosphère	93
10.3	Entretien, examen et tests des systèmes de ventilation	94
10.3.1	Exigences légales	94
10.3.2	Entretien régulier	95
10.3.3	Examen et tests approfondis	95
11	AMIANTE	97
11.1	Généralités	97
11.1.1	Types d'amiante	97
11.1.2	Propriétés de l'amiante	98
11.1.3	Utilisations de l'amiante	98
11.1.4	Fibres d'amiante aéroportées	99
11.1.5	Exposition aux fibres d'amiante	100
11.2	Dangers de l'amiante pour la santé	100
11.3	Registre de l'amiante	101
11.3.1	Fonction du Registre de l'amiante	101
11.4	Mesures correctives applicables aux matériaux contenant de l'amiante	101
11.4.1	Élimination de l'amiante	101

11.4.2	Réparation et encapsulation de l'amiante	102
11.5	Programme de gestion de l'amiante	102
12	RISQUES BIOLOGIQUES	104
12.1	Introduction aux risques biologiques	104
12.2	<i>Legionella</i> et fièvre des humidificateurs	106
12.2.1	<i>Legionella</i>	106
12.2.2	Fièvres des humidificateurs	108
12.3	Maladies à diffusion hématogène	109
12.3.1	Hépatite B	109
12.3.2	Hépatite C	110
12.3.3	VIH (virus de l'immunodéficience humaine)	111
12.4	Zoonoses	112
12.4.1	Charbon Anthrax (Groupe 3)	112
12.4.2	Leptospirose (groupe de risque 2)	113
12.4.3	Salmonellose	113
12.4.4	Fièvre Q	114
12.5	Moisissures	114
12.6	Pandémies	115
12.7	Modification génétique	116
13	BRUIT	118
13.1	Généralités	118
13.2	L'oreille	118
13.3	Son audible	119
13.4	Effets d'un bruit excessif sur la santé	120
13.5	Addition des niveaux sonores.	122
13.6	Analyse de fréquence	122
13.7	Pondération des décibels	123
13.8	Niveau de bruit continu équivalent (Leq)	124
13.9	Dose de bruit	125
13.9.1	Calcul du Lep,d	126
13.10	Limites de bruit	126
13.10.1	Autres limites	127
13.11	Conservation de l'audition	127
13.11.1	Évaluation du bruit sur le lieu de travail	127
13.11.2	Contrôle du bruit sur le lieu de travail	129
13.11.3	Protection du personnel à risque	129

13.11.4	Informations, instructions et formation	130
14	VIBRATIONS	131
14.1	Introduction	131
14.1.1	Fréquence	131
14.1.2	Amplitude	132
14.1.3	Accélération (mesure de l'intensité de la vibration)	132
14.2	Exposition aux vibrations	132
14.3	Effets des vibrations sur la santé	133
14.4	Mesure des vibrations	134
15	ENVIRONNEMENT THERMIQUE : PRINCIPES, EVALUATION & MAITRISE	135
15.1	Réponse de l'organisme humain à l'environnement thermique	135
15.1.1	Réponses physiologiques à la chaleur	135
15.1.2	Réponses physiologiques au froid	136
15.1.3	Réponses psychologiques à l'environnement thermique	136
15.2	Transfert de chaleur à partir de l'organisme	136
15.3	Évaluation de l'environnement thermique	137
15.3.1	Taux métabolique	137
15.3.2	Isolation personnelle	138
15.3.3	Durée d'exposition	138
15.3.4	Température au thermomètre sec	138
15.3.5	Température au thermomètre globe (mouillé)	139
15.3.6	Température radiante moyenne	139
15.3.7	Vitesse de l'air	139
15.3.8	Teneur en humidité	140
15.3.9	Surveillance personnelle	141
15.4	Indices de contrainte thermique	142
15.5	Confort thermique	143
15.6	Contrainte due au froid	144
15.7	Contrôle de l'environnement thermique	144
15.7.1	Modification des conditions de confort	144
15.7.2	Modification des environnements chauds	144
15.7.3	Modification des environnements froids	145
15.8	Problèmes environnementaux spécifiques	146
15.8.1	Composants hautement radiants	146
15.8.2	Conditions d'humidité élevée	147
15.8.3	Conditions de chaleur sèche	148

16	INTRODUCTION A L'ECLAIRAGE & AUX RADIATIONS NON IONISANTES	149
16.1	Introduction	149
16.2	Types de radiations non ionisantes	150
16.2.1	Rayons ultraviolets (UV)	150
16.2.2	Rayons infrarouges (IR)	152
16.2.3	Rayon laser	152
16.2.4	Micro-ondes	153
16.2.5	Autres effets des radiations non ionisantes	154
16.3	Évaluations des radiations non ionisantes	154
16.4	Éclairage	154
16.4.1	Reconnaissance	154
16.4.2	Évaluation de l'éclairage	155
16.4.3	Éblouissement	156
16.4.4	Éclairage convenable	156
17	RADIATIONS IONISANTES	157
17.1	Nature	157
17.2	Radionucléides.	158
17.2.1	Unités de radiations ionisantes	158
17.3	Radiations externes et internes	159
17.4	Niveaux de radiations	160
17.5	Effets biologiques des radiations ionisantes	161
17.6	Utilisations des radiations	162
17.7	Mesure des radiations	162
17.8	Protection radiologique	163
17.9	Surveillance de la santé	164
18	INTRODUCTION A L'ERGONOMIE	165
18.1	Introduction	165
18.2	Évaluation des risques sur le lieu de travail	166
18.3	Manipulations manuelles	167
18.3.1	Le dos	167
18.3.2	Réaliser une évaluation des manipulations manuelles	169
18.3.3	Méthodes de réduction des risques	171
18.3.4	Informations, instructions et formation	172
18.4	Tâches répétitives	172
18.5	Équipement à écran de visualisation	174
18.5.1	Effets possibles de l'utilisation des équipements à écran de visualisation	174

18.6	Effectuer une évaluation	176
18.7	Exigences minimales pour les postes de travail	176
18.8	Contrôles administratifs	178
19	COMPORTEMENT & CULTURE	179
19.1	Impact du comportement sur l'hygiène du travail	179
19.2	Motivation et modification du comportement	180
19.3	Culture de la santé et de la sécurité	182
20	STRESS LIE AU TRAVAIL	186
20.1	Symptômes du stress	186
20.2	Évaluation du stress	187
20.3	Gestion du stress	188
21	CARRIERES EN HYGIENE DU TRAVAIL	191
21.1	Pratique de l'hygiène du travail	191
21.1.1	Services internes	191
21.1.2	Consultants	194
21.1.3	Agences nationales	195
21.1.4	Recherche et enseignement	196
21.2	Conséquences pour les hygiénistes	196
21.3	L'hygiéniste en tant que dirigeant	196
21.4	Développement personnel	198
21.4.1	Rejoindre une société	199
21.4.2	S'impliquer	200
21.4.3	Tisser son réseau	200
21.5	Considérations éthiques	200
ABREVIATIONS		203
REFERENCES		205

REMERCIEMENTS

Ce manuel a été initialement développé par Hirst Consulting Limited, Royaume-Uni et GlaxoSmithKline. L'Association de formation professionnelle en hygiène du travail (OHTA) tient à souligner la contribution de ces organisations dans le financement et le développement du matériel et est reconnaissante de leur permission de l'utiliser et de la modifier.

L'OHTA aimerait également remercier les personnes suivantes pour leur soutien ou leur contribution.

- Steve Bailey
- Roger Alesbury
- Phil Johns
- Brian Davies
- BP International Limited
- GSK

Ce manuel a été mis à jour en juillet 2016 et la contribution des personnes suivantes est grandement appréciée.

- Kerrie Burton
- Brian Davies
- John Dobbie
- Jen Hines
- Terry McDonald

Version	Date de publication	Commentaires
1.0	Octobre 2010	Version initiale
2.0	Mai 2016 et février 2017	Mise à jour d'informations techniques et changements éditoriaux mineurs

Supported by



This work is licensed
under a Creative Commons
Attribution-No Derivative
Works Licence

1 INTRODUCTION

L'Association internationale de l'hygiène du travail (*International Occupational Hygiene Association*, IOHA) a défini l'hygiène du travail (ou hygiène industrielle) de la façon suivante:

« L'hygiène du travail est la discipline de **l'anticipation, l'identification, l'évaluation** et la **maîtrise** des risques pour la santé dans le milieu du travail avec pour objectifs de protéger la santé et le bien-être des travailleurs et de la communauté environnante. ».

ANTICIPATION – Cela comprend l'identification des dangers potentiels sur le lieu de travail avant qu'ils ne se concrétisent.

IDENTIFICATION – Cela comprend l'identification du danger potentiel qu'un agent chimique, physique ou biologique – ou qu'une situation ergonomique nocive – peut poser pour la santé.

Agents chimiques	Gaz, vapeurs, solides, fibres, liquides, poussières, brouillards, fumées, etc.
Agents physiques	Bruit et vibrations. Chaleur et froid. Champs électromagnétiques, éclairage, etc.
Agents biologiques	Bactéries, champignons, etc.
Facteurs ergonomiques	Port de charge, étirements et mouvements répétitifs.
Facteurs Psychosociaux	Stress, charge de travail et organisation du travail.

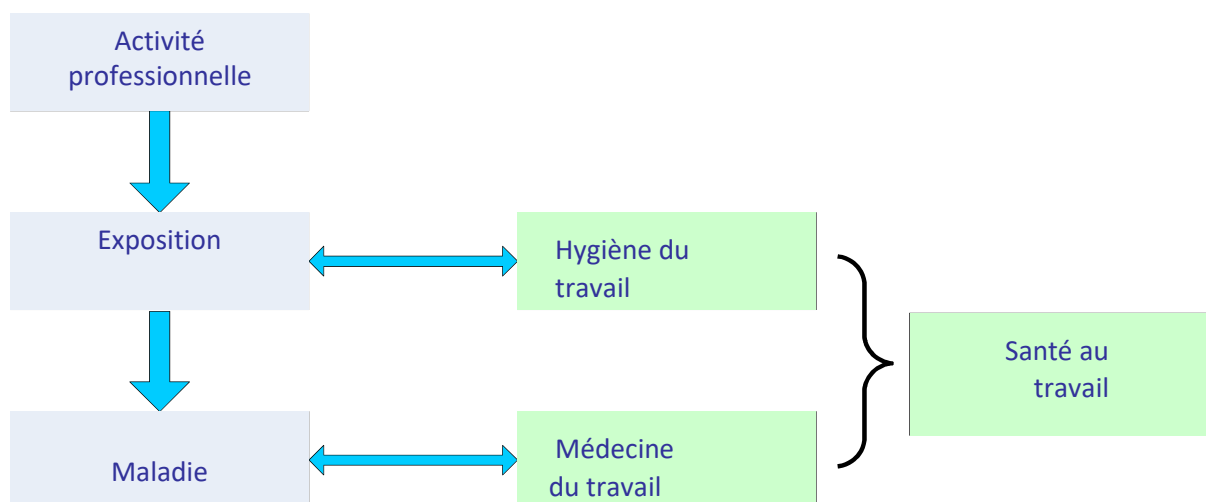
ÉVALUATION du niveau d'exposition aux agents chimiques, physiques ou biologiques (ou à une situation ergonomique critique) au poste de travail. Cela implique souvent la mesure de l'exposition individuelle d'un travailleur à un danger ou un agent sur le lieu de travail, en particulier au niveau de l'interface entre l'environnement et l'organisme, par exemple la zone de la respiration ou la zone de l'audition, et la comparaison de ces données aux valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) recommandées, si celles-ci existent.

MAÎTRISE du risque chimique, physique ou biologique – ou de la situation ergonomique nocive, par des moyens, notamment organisationnels et d'ingénierie, lorsque l'évaluation indique que cela est nécessaire.

L'hygiène du travail se préoccupe par conséquent essentiellement d'une approche préventive par la minimisation de l'exposition aux agents chimiques, physiques et biologiques dans l'environnement de travail et par l'adoption de bonnes pratiques ergonomiques.

Dans le domaine de la santé au travail, d'autres disciplines jouent un rôle important dans le but de protéger la santé des employés, les clients, les prestataires sous contrat et le public pouvant être affectés par leurs activités professionnelles.

- Médecine du travail – Cette spécialité couvre la pratique clinique (médecins) ainsi que les soins infirmiers, et concerne l'effet du **travail sur la santé** et de **la santé sur le travail**. Ce domaine comprend la prévention des problèmes de santé, la promotion d'une vie et de conditions de travail saines, ainsi que le diagnostic et le traitement des pathologies liées au travail.



- Épidémiologie – Cette science concerne l'étude statistique des schémas pathologiques dans des groupes d'individus.
- Toxicologie – Cette discipline concerne la prédiction et l'évaluation des effets des substances chimiques sur les organismes vivants, en particulier chez l'homme.

Les principaux domaines d'activité d'un spécialiste de l'hygiène du travail sont les suivants :

- Anticipation des dangers pour la santé dans des situations professionnelles nouvelles et à venir.
- Identification des dangers pour la santé dans des lieux de travail existants.
- Évaluation des risques pour la santé sur le lieu de travail ; par l'intermédiaire d'évaluations qualitatives et de mesures quantitatives de l'exposition.

- Choix de mesures appropriées pour la maîtrise des risques sur la santé ; cela nécessite une connaissance professionnelle approfondie des moyens de maîtrise tels que l'élimination, la substitution, et la ventilation locale par aspiration (LEV) des locaux.
- Développement de moyens de maîtrise de risque sur mesure conçus pour répondre à une activité professionnelle donnée; de nombreux lieux de travail nécessitent la modification et la mise en place de moyens de maîtrise particuliers lorsque les moyens standards ne sont pas efficaces.
- Investigation des causes des pathologies liées au travail.
- Assistance pour les activités liées à la santé au travail, par exemple surveillance de la santé et contrôle biologique
- Formation et enseignement ; Information des travailleurs sur les dangers associés à leur activité et formation à l'utilisation correcte des moyens de maîtrise.
- Activités de recherche sur l'amélioration des méthodes d'identification, d'évaluation et de maîtrise de l'exposition.

L'hygiéniste du travail est amené à travailler régulièrement en étroite collaboration avec des environnementalistes, des personnels de sécurité, des médecins praticiens, des directeurs de projet, des ingénieurs de toutes disciplines, des hygiénistes de l'alimentation, des représentants locaux du gouvernement, etc. pour contribuer à réduire et à maîtriser l'exposition aux dangers pour la santé sur le lieu de travail.

1.1 Historique

Les maladies professionnelles sont connues depuis Hippocrate (Grèce antique, vers 400 avant Jésus-Christ), et certaines preuves indiquent même que les maladies professionnelles étaient reconnues dans l'Égypte antique. Avec le temps, la reconnaissance des liens entre activités professionnelles et pathologies s'est accrue et ces associations ont été confirmées. Parallèlement à ces observations, des techniques ont été développées pour évaluer et maîtriser les risques. Le tableau ci-dessous représente une sélection de certains événements intéressants et notables ayant jalonné le développement de l'hygiène du travail.

Vers 400 avant J.-C.	Hippocrate, au temps de la Grèce antique, a observé pour la première fois des pathologies chez les travailleurs manipulant le sulfure de zinc.
Vers 100 après J.-C.	Le Romain Plutarque a observé que : « <i>Il n'est pas juste d'exposer des personnes non criminelles aux poisons des mines</i> ». Il a également documenté l'utilisation de peaux de vessies comme forme d'équipement de protection respiratoire pour contrôler l'exposition aux poussières dans les mines.
Vers 1540	Paracelse a décrit en Autriche les maladies pulmonaires des mineurs.
1556	Agricola (vers 1556) en Bohême a écrit « De Re Metallica » qui décrit les pathologies associées aux mineurs ainsi que l'utilisation de la ventilation et des équipements de protection respiratoire pour maîtriser les expositions aux gaz et aux poussières.
1700	Ramazzini, le père de la médecine industrielle et professeur de médecine à Padoue, a écrit « De Morbis Artificum Diatriba », la première étude formelle sur les maladies professionnelles. C'est lui qui a ajouté une question à la liste d'Hippocrate destinée à déterminer les antécédents du patient, c'est-à-dire : « Quelle est votre activité professionnelle ? ».
À partir de 1750	La révolution industrielle, de la fin des années 1700 jusqu'à la fin des années 1800, a entraîné une augmentation de l'urbanisation et de l'industrialisation. Ce phénomène s'est accompagné d'une augmentation du nombre de travailleurs exposés à une aggravation des risques pour la santé.
1815	Sir Humphrey Davy développe la lampe Davy, une lampe de sécurité utilisée dans les mines. La lampe est également employée pour détecter la présence de gaz combustibles dans les mines. Il est intéressant de noter que la lampe a ensuite été incriminée dans l'augmentation du nombre d'accidents, car elle permettait aux mineurs de travailler plus longtemps dans des atmosphères dangereuses.
1833	Les (quatre) premiers inspecteurs d'usine sont nommés au Royaume-Uni.
Années 1840	Les romans de Charles Dickens et les politiciens en campagne, notamment Lord Shatesbury, attirent l'attention du public sur les conditions de travail déplorables.
1855	Au Royaume-Uni, des chirurgiens certifiés (qui certifiaient auparavant l'âge) ont été formés pour « certifier que les jeunes personnes ne présentaient pas d'incapacité au travail due à une maladie ou une infirmité corporelle, et mener des investigations sur les accidents industriels ». (Schillings).
1858	John Stenhouse présente un masque imprégné de charbon pour maîtriser l'exposition aux gaz et aux vapeurs.
1889	Des limites d'exposition sont fixées pour l'humidité et le dioxyde de carbone dans les filatures de coton au Royaume-Uni. Cela a conduit au développement de la ventilation locale par aspiration plutôt qu'une

	ventilation générale. Elles ont également conduit au développement de dispositifs de surveillance sous forme de Tubes indicateurs pour le dioxyde de carbone.
1898	Thomas Legge est nommé premier Inspecteur médical des usines. Il a effectué le premier travail dans l'industrie sur l'empoisonnement au plomb, qui a été décrété maladie à déclaration obligatoire en 1899.
Années 1890	Haldane entreprend des travaux sur la toxicité du monoxyde de carbone en exposant des rats, des souris et même lui-même à différentes concentrations dans une « chambre d'exposition ». Il utilise ces résultats pour développer des courbes « dose par rapport au temps » de la sévérité et de la gêne des effets sur la santé. Il est le premier à utiliser des petits animaux et en particulier les canaris, comme le premier moyen de surveillance donnant une indication sur les niveaux de gaz toxiques.
1910	Alice Hamilton est la première toxicologiste industrielle travaillant aux États-Unis, et sera ainsi une pionnière dans le domaine de la toxicologie et de l'hygiène du travail.
1917	Au cours de la Première Guerre mondiale, l'urgence du travail dans les usines de munitions a entraîné de mauvaises conditions de travail. Il est admis que ces mauvaises conditions de travail ont eu un effet significatif sur la productivité ainsi que sur la santé. Le travail du « Comité sur la santé des travailleurs des usines de munitions » a posé les bases de nombreuses pratiques ultérieures en ergonomie, en psychologie, dans le domaine du bien-être et du travail par équipes.
Années 1920/30	L'hygiène industrielle se développe et acquiert de l'importance aux États-Unis à la fois dans le Service de santé publique (<i>Public Health Service</i> , PHS) et dans d'importantes sociétés privées. Ces développements sont à l'origine de la création de deux organisations professionnelles.
1938/1939	Création de la Conférence américaine des hygiénistes industriels gouvernementaux (<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienists</i> , ACGIH) et de l'Association américaine d'hygiène industrielle (<i>American Industrial Hygiene Association</i> , AIHA). Il s'agit des premières organisations professionnelles indépendantes regroupant des hygiénistes industriels/du travail. Le nombre d'hygiénistes industriels croît rapidement aux États-Unis au cours de la Deuxième Guerre mondiale afin de contribuer à l'effort de guerre.
1953	Fondation de la Société britannique d'hygiène professionnelle (<i>British Occupational Hygiene Society</i> , BOHS). La société commence à publier les Annales d'hygiène professionnelle en 1958.
1960	Sherwood et Greenhalgh documentent le développement de la première pompe personnelle d'échantillonnage et de première tête d'échantillonnage ; il s'agit de la première comparaison entre un échantillonnage personnel et un échantillonnage statique, et la première observation de l'effet éventuel de l'échantillonnage personnel sur l'individu faisant l'objet du prélèvement.

Années 1970	Promulgation de la Loi sur la sécurité et la santé au travail (<i>Occupational Safety and Health Act</i>) aux États-Unis et de la Loi sur la santé et la sécurité au travail (<i>Health and Safety at Work Act</i>) au Royaume-Uni, qui tracent le chemin vers une législation basée sur l'évaluation des risques et les performances.
Années 1980/90	La pratique de l'hygiène du travail se développe largement aux États-Unis, au Royaume-Uni, aux Pays-Bas et en Australie avec des législations nationales spécialement destinées à couvrir les risques chimiques et physiques.
1991	Création de la Sofhyt (Société française des Hygiénistes du Travail). Les membres fondateurs sont des représentants d'universités, d'instituts et de grandes entreprises.
Années 2000	Les sociétés de 25 pays différents sont membres de l'Association internationale d'hygiène professionnelle (<i>International Occupational Hygiene Association</i> , IOHA). L'industrialisation des pays comme la Chine et l'Inde augmente les besoins en hygiène du travail. Développement de techniques de modélisation pour l'évaluation de l'exposition.

1.2 Importance de l'hygiène du travail

Si ce bref aperçu de l'histoire et des tendances de l'hygiène du travail montre l'amélioration globale de notre compréhension et du contrôle des risques pour la santé, un grand nombre de problèmes reste encore à aborder. L'augmentation de l'activité industrielle dans les pays en voie de développement entraîne un accroissement des personnes exposées à travers le monde. Les avancées technologiques ont également pour conséquence l'apparition de nouveaux risques sur le lieu de travail. L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) a publié les estimations mondiales suivantes :

- **2,3 millions de décès liés au travail par an** : 2,0 millions des suites de maladies et 0,3 millions liés à des accidents du travail (Takala, Hämäläinen, Saarela, Yun, Manickam, Jin, Heng, Tjong, Kheng et Lim 2014)
- **386 000 décès chaque année dus à l'exposition à des particules en suspension dans l'air**. (asthme: 38 000, BPCO *: 318 000, pneumoconiose: 30 000). Cela représente près de 6,6 millions d'AVCI *** (asthme: 1 621 000, BPCO: 3 733 000, pneumoconiose: 1 288 000) dues à l'exposition aux particules aéroportées professionnelles (Prüss-Üstün & Corvalán 2006)
- **107 000 à 194 000 décès par an sont attribuables à l'exposition professionnelle à l'amiante** (Forouzanfar, Alexander, Anderson, Bachman, Biryukov, Brauer, Burnett, Casey, Coates et Cohen 2015)
- **152 000 décès par an causés par des cancérogènes sur le lieu de travail** (cancer du poumon: 102 000; leucémie: 7 000; mésothéliome malin: 43 000) et près de 1,6 million DALY** (cancer du poumon: 969 000; leucémie: 101 000; mésothéliome malin: 564 000) en raison de l'exposition aux carcinogènes professionnels (Prüss-Üstün & Corvalán 2006)
- **37% des douleurs lombaires sont attribuables l'activité professionnelle** avec une variation double entre les régions. Selon les estimations, les lombalgies liées au travail causent 818 000 DALY perdues chaque année (Punnett, Prüss-Ütün, Nelson, Fingerhut, Leigh, Tak et Phillips 2005).

** DALY = *Disability Adjusted Life Years* (Années de vie corrigées du facteur invalidité) – Somme des années de vie potentielles perdues à cause d'une mortalité prématurée et des années de vie productive perdues à cause de l'invalidité.

L'importance relative de l'hygiène du travail peut être illustrée en comparant les statistiques sur l'incidence des accidents avec celles de la maladie. Au Royaume-Uni, le nombre de décès annuels dus aux activités professionnelles est d'approximativement 250. Cela peut être comparé au nombre de décès dus aux accidents de la voie publique qui atteint environ 2 500. Cependant, le nombre de décès dus chaque année aux cancers et aux maladies respiratoires liés au travail est estimé à 12 000. Cela donne un rapport de 1:10:48.

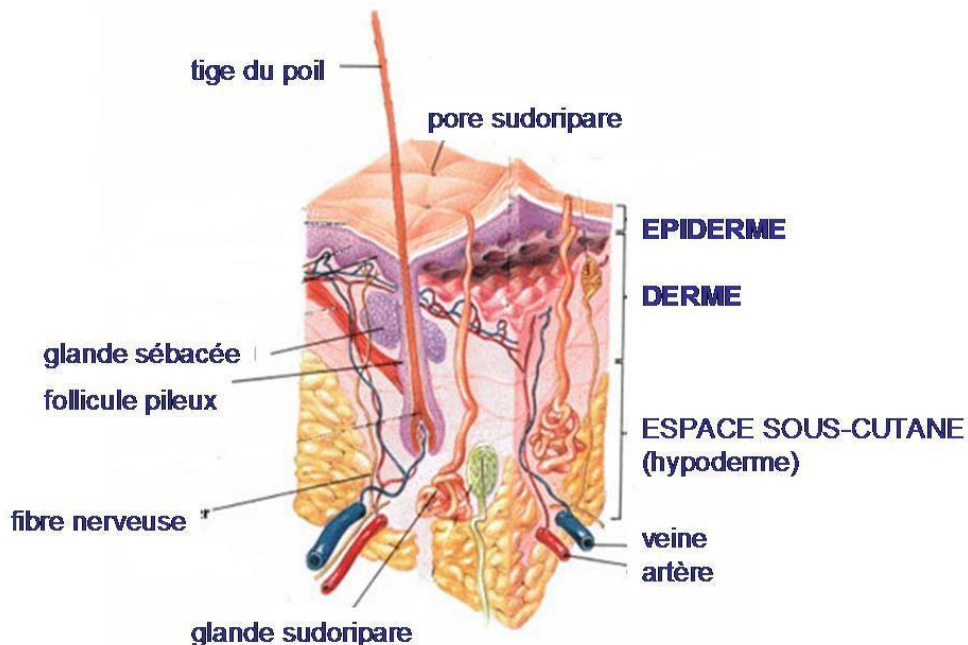
2 PHYSIOLOGIE HUMAINE ET MALADIES PROFESSIONNELLES

Le corps humain est un organisme complexe qui peut être fortement affecté par l'exposition aux agents chimiques et physiques. L'organisme dispose également de nombreux moyens d'autorégulation lorsqu'il est exposé à ces agents. Afin de maîtriser les risques pour l'organisme, il est nécessaire de comprendre comment il fonctionne, et quels types de lésions peuvent survenir à la suite d'une exposition.

2.1 Peau

La peau est le revêtement externe de l'organisme, également dénommé « épiderme ». Il s'agit de l'organe le plus volumineux de l'organisme, qui est constitué de multiples couches de tissus épithéliaux, et dont la fonction est de protéger les muscles, les os et les organes internes sous-jacents.

Dans la mesure où la peau est l'interface entre l'environnement et l'organisme, elle joue un rôle important dans la protection de celui-ci contre les agents pathogènes.



Source : Gouvernement fédéral américain par Wikimedia Commons

Figure 2.1 – Diagramme de la peau

La peau assure de multiples fonctions :

- **Protection** : elle constitue une barrière anatomique contre les germes pathogènes et les agressions entre l'environnement interne et externe dans le cadre de la défense de l'organisme.
- **Sensibilité** : elle possède un grand nombre de terminaisons nerveuses qui réagissent à la chaleur, au froid, au toucher, à la pression, aux vibrations et aux lésions tissulaires.
- **Régulation thermique** : la peau contient une irrigation sanguine très supérieure à ses besoins, ce qui lui permet de contrôler précisément les pertes énergétiques par rayonnement, convection et conduction. Les vaisseaux sanguins dilatés augmentent la perfusion et les pertes thermiques, tandis que les vaisseaux contractés réduisent fortement le débit sanguin cutané et conservent la chaleur.
- **Contrôle de l'évaporation** : la peau constitue une barrière relativement sèche et imperméable aux pertes liquidiennes. La perte de cette fonction contribue à des pertes hydriques massives en cas de brûlures.
- **Stockage et synthèse** : elle agit comme un centre de stockage pour les lipides et l'eau, et comme un moyen de synthèse de la vitamine D.
- **Excrétion** : la sueur contient de l'urée, cependant sa concentration est de 1/130^e par rapport à celle de l'urine, c'est la raison pour laquelle l'excrétion par la transpiration est au mieux une fonction secondaire de la régulation thermique.
- **Absorption** : Alors que la peau agit comme une barrière, certaines substances chimiques sont facilement absorbées.
- **Étanchéité à l'eau** : La peau agit comme une barrière étanche, ce qui permet aux nutriments essentiels de ne pas être éliminés de l'organisme par lavage.

La peau peut être affectée par des agents chimiques, physiques et biologiques causant des troubles cutanés qui constituent une partie non négligeable des maladies professionnelles. Les différents effets peuvent être classés en : dermite (ou dermatite), lésions physiques, cancers, effets biologiques et autres.

2.1.1 Dermite

Le trouble le plus fréquent est la dermite de contact dont 70 % des cas sont dus à une irritation primaire, c'est-à-dire une action directe sur la peau, le plus souvent au niveau des

mains et des avant-bras. Un irritant est un agent qui endommage directement les cellules s'il entre en contact avec la peau à une concentration donnée et pendant une durée suffisante (c'est-à-dire que tous les effets sont liés à la dose). Il provoque une dermatite de contact irritante. Les substances alcalines dissolvent la kératine et certains solvants éliminent le sébum. Tous les effets cutanés directs peuvent rendre la surface plus vulnérable à d'autres agents et ainsi appauvrir les défenses cutanées contre la pénétration d'agents.

L'autre forme de dermatite de contact est la dermatite de contact allergique, déclenchée par une sensibilisation de la peau par un contact initial avec une substance, puis un nouveau contact ultérieur. Un produit sensibilisant (allergène) est une substance qui peut induire une sensibilité immunologique spécifique à son égard. La dose initiale peut devoir être assez élevée. Elle conduit à une hypersensibilité de type retardée, assurée par la médiation des lymphocytes et impliquant la production d'anticorps. La première dose ne produit aucun effet visible, mais les expositions ultérieures, même minimales, peuvent provoquer une dermatite.

Les irritants les plus fréquemment rencontrés sont les détergents, les savons, les solvants organiques, les acides et les substances alcalines. Les sensibilisants fréquents sont les plantes (jardinage), les antibiotiques (industrie pharmaceutique), les colorants (industrie des peintures et des cosmétiques), les métaux (nickel [généralement non industriel] et chromates [industrie du ciment]), les caoutchoucs et les résines.

Les personnes travaillant avec les huiles de coupe (ou de décolletage) peuvent présenter des dermatites de contact irritante et allergique, l'irritation étant produite par l'huile elle-même et la réaction allergique par les biocides qu'elle contient.

2.1.2 Lésions physiques

Les agents physiques pouvant léser la peau englobent les conditions climatiques, la friction et les blessures. Le froid, le vent et la pluie peuvent provoquer des gerçures en asséchant la peau, et la lumière du soleil peut brûler la peau ou provoquer des tumeurs cutanées. Les personnes ainsi exposées à ces éléments en raison de leur profession (pêche, élevage) courent des risques de lésions physiques. Les blessures par friction sont fréquentes dans les travaux manuels pénibles (construction et exploitation minière), et les équipements coupants utilisés dans de nombreuses professions peuvent provoquer des abrasions et des lacérations.

2.1.3 Agents biologiques

La peau peut être sujette aux effets des agents biologiques, notamment aux infections virales suite à la morsure/piqûre d'un animal, aux infections transmises par des levures et les champignons en cas de contact prolongé avec l'eau, et aux infections charbonneuses en cas de manipulation de produits animaux.

2.1.4 Cancers

Le développement de tumeurs cutanées bénignes et malignes peut être provoqué par un contact avec la créosote, les huiles minérales et les rayons ultraviolets. Par ailleurs, les radiations ionisantes (travail avec des radio-isotopes dans les cabinets de radiologie) peuvent induire des cancers cutanés. L'exposition aux rayons ultraviolets auxquels sont soumises les personnes travaillant à l'extérieur constitue également une cause fréquente de cancers cutanés.

2.1.5 Autres effets

Les travaux salissants utilisant des huiles minérales peuvent provoquer l'acné des huiles et des hydrocarbures (également dénommée élaïkoniose), en particulier au niveau des avant-bras et des cuisses. Les pores bouchés s'infectent et produisent des comédons et des pustules. La chloracné, caractérisée par des comédons et des kystes sur le visage et le cou, provient des effets de certains hydrocarbures aromatiques polychlorés sur les glandes sébacées.

Un contact avec certains produits chimiques peut entraîner des altérations de la pigmentation cutanée.

Des substances alcalines et acides puissantes peuvent provoquer des brûlures.

2.2 Système musculo-squelettique

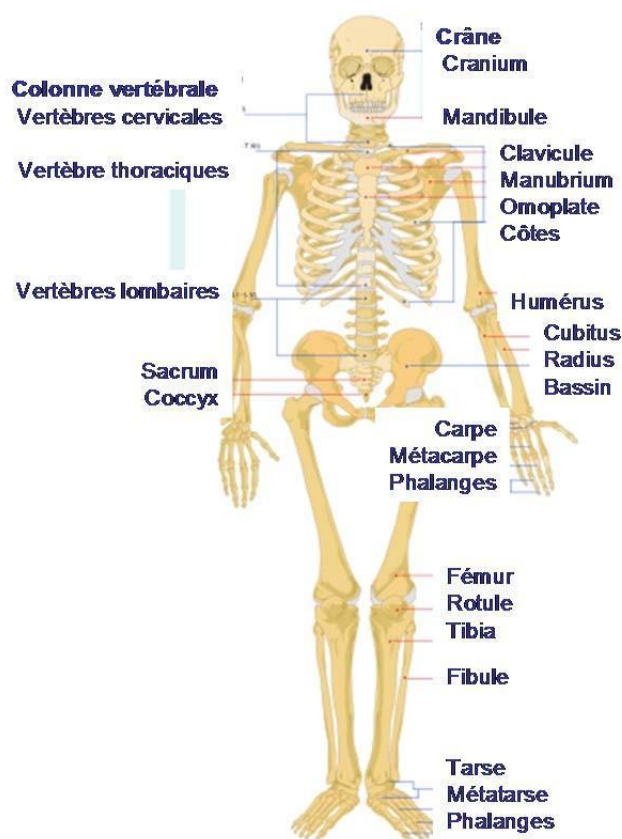
Le système musculo-squelettique confère sa forme, sa stabilité et sa capacité de mouvement au corps humain. Il est constitué des os, du squelette, des muscles, du cartilage, des tendons, des ligaments et des articulations. Les principales fonctions du système musculo-squelettique comprennent le soutien de l'organisme, sa capacité de mouvement et la protection des organes vitaux. Le squelette constitue le principal lieu de stockage du calcium et du phosphore, et contient des éléments essentiels participant à la production du sang.

Cependant, un certain nombre de maladies et de troubles peuvent nuire au système musculo-squelettique et à son fonctionnement. Ces maladies peuvent être difficiles à diagnostiquer à

cause de l'étroite relation entre le système musculo-squelettique et d'autres systèmes internes.

Le système squelettique assure de nombreuses fonctions importantes : il détermine la silhouette et la forme de notre organisme. Il permet également de soutenir, de protéger, de permettre les mouvements de l'organisme, la production de sang et le stockage des minéraux.

Une autre fonction des os est le stockage de certains minéraux. Le calcium et le phosphore comptent parmi les principaux minéraux stockés. Ce stockage contribue à réguler l'équilibre minéral dans la circulation sanguine. Cette capacité de stockage peut se révéler importante en cas d'exposition à des substances dangereuses. Pour exemple, le plomb est stocké dans le sang pendant des périodes prolongées après une exposition. Il peut être libéré sélectivement ultérieurement puis provoquer un empoisonnement au plomb (saturnisme) de l'organisme, par exemple au cours de la grossesse.



Source : Wikimedia Commons

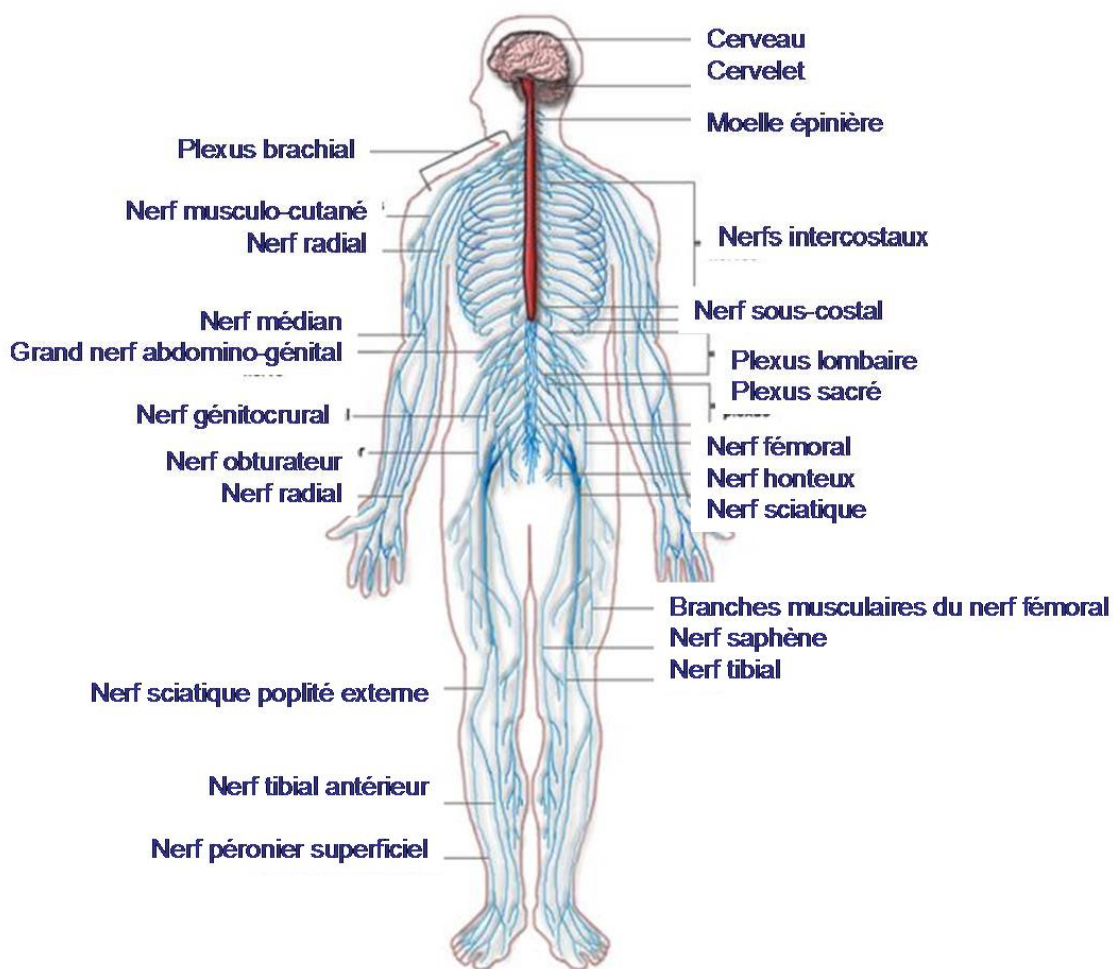
Figure 2.2 – Système squelettique

2.3 Système nerveux

Le système nerveux est un réseau de cellules spécialisées qui communiquent des informations sur l'environnement de l'organisme et sur nous-mêmes. Il traite ces informations et entraîne des réactions des autres parties de l'organisme. Le système nerveux est divisé d'une façon générale en deux catégories : le système nerveux central et le système nerveux périphérique.

Le **système nerveux central** (SNC) est la partie la plus volumineuse du système nerveux, qui comprend le cerveau et la moelle épinière.

Le **système nerveux périphérique** (SNP) est un terme désignant l'ensemble des structures nerveuses qui ne se trouvent pas dans le SNC.



Source : Wikimedia Commons

Figure 2.3 – Système nerveux

Les toxines industrielles peuvent affecter le système nerveux central (cerveau et moelle épinière) ou le système nerveux périphérique (nerfs moteurs et sensitifs) ou les deux. Les affections qui en résultent dépendent du site de l'agression. Le système nerveux est comparable au foie dans la mesure où il est beaucoup plus probable que les agents liposolubles y provoquent des lésions. Ils peuvent également traverser la barrière hémato-méningée.

Les lésions du SNC peuvent entraîner une narcose, une psychose organique toxique, une épilepsie, un parkinsonisme et des changements comportementaux.

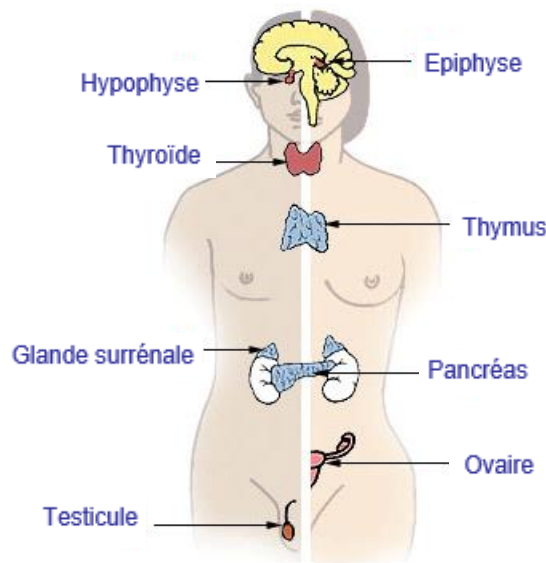
L'effet peut-être le plus facilement reconnaissable sur le système nerveux est la perte de conscience aiguë produite par des agents narcotiques, comme le chloroforme, le tétrachlorure de carbone et le trichloréthylène (tous des hydrocarbures halogénés liposolubles) et des solvants comme l'acétone, le toluène et le disulfure de carbone.

Des changements comportementaux, mis en évidence par des tests d'intelligence, de dextérité et de vigilance, ont été observés en présence de trichloréthylène, White Spirit, monoxyde de carbone et chlorure de méthylène à des concentrations très inférieures à celles qui sont normalement considérées comme sûres.

2.4 Système endocrinien

Le **système endocrinien** est une dénomination collective désignant un système composé de petits organes libérant des molécules de signalisation extracellulaires dénommées hormones. Le système endocrinien a pour fonction de réguler le métabolisme, la croissance, le développement, la puberté et le fonctionnement tissulaire. Il joue également un rôle dans la détermination de l'humeur.

Le système endocrinien est un système de signalisation délivrant des informations, de façon semblable au système nerveux. Cependant, tandis que le système nerveux utilise les nerfs pour transmettre l'information, le système endocrinien repose principalement sur les vaisseaux sanguins comme canaux d'information à travers lesquels il diffuse les hormones.



Source : Gouvernement fédéral américain par Wikimedia Commons

Figure 2.4 – Principales glandes endocrines (homme à gauche, femme à droite)

Les employés de l'industrie pharmaceutique manipulant des médicaments à action endocrinienne, comme les œstrogènes (contenus dans la pilule contraceptive) ou la thyroxine (utilisée dans le traitement des pathologies de la thyroïde) sont exposés à un risque de dérèglement de leur propre équilibre endocrinien. Par ailleurs, le diéthylstilbestrol (DES) a entraîné le développement de tumeurs chez les enfants de travailleurs des deux sexes.

L'exposition aux gaz anesthésiques (femmes anesthésistes) et au chlorure de vinyle chez la femme enceinte a été associée à une mortalité et à des anomalies congénitales. Les radiations ionisantes peuvent endommager les gonades, réduisant la fertilité et augmentant les risques de malformations congénitales et de cancer chez la descendance.

2.5 Système circulatoire

Le système circulatoire assure le transport des nutriments, des gaz et des déchets à destination ou en provenance des cellules afin de contribuer à la lutte contre les pathologies et à la stabilisation de la température corporelle et du pH. Ce système peut être défini au sens strict comme le réseau de distribution du sang. Il est également possible de le considérer comme composé du **système cardio-vasculaire**, qui distribue le sang, et du **système lymphatique**, qui distribue la lymphe.

Les principaux composants du système circulatoire chez l'homme sont le cœur, le sang et les vaisseaux sanguins. Le système circulatoire comprend :

- La circulation pulmonaire : grâce à laquelle le sang est dirigé vers les poumons où il est oxygéné.
- La circulation systémique : dans laquelle le sang oxygéné est distribué au reste de l'organisme.

Un adulte de taille moyenne présente un volume de 4,7 à 5,7 litres de sang. Il est composé de plasma, de globules rouges, de globules blancs et de plaquettes. De même, le système digestif agit de concert avec le système circulatoire pour apporter les nutriments dont le système a besoin pour que le cœur continue à battre.

Le système lymphatique assume la responsabilité d'éliminer le liquide interstitiel des tissus, mais également d'absorber et de transporter les lipides et les acides gras. Le système lymphatique transporte également les cellules présentant l'antigène (CPA).

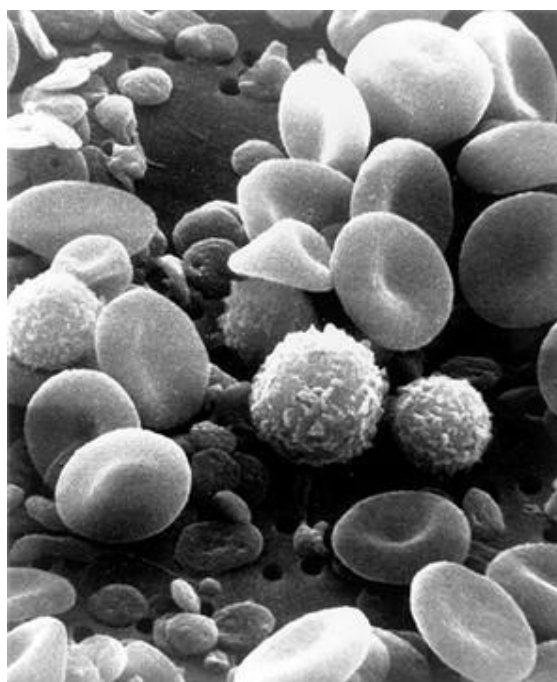
Le système cardio-vasculaire est exposé à toutes les substances transportées dans le sang. Le monoxyde de carbone et de nombreux métaux (notamment le chrome, le manganèse et le plomb) semblent provoquer des lésions du muscle cardiaque, mais le seul lien établi concerne le cobalt. Les hydrocarbures chlorés, par exemple les CFC, le trichloroéthylène et le 111-trichloroéthane, peuvent induire des arythmies (anomalies du rythme cardiaque dues à une défaillance de la conduction électrique du cœur). Le trichloroéthylène a entraîné des morts subites de cette manière. Le disulfure de carbone (industrie de la rayonne viscosse) accélère l'athérosclérose (durcissement des artères).

Le travail à des températures élevées ou basses affecte la circulation périphérique et peut exercer un stress sur le cœur.

2.5.1 Le sang

Source : Gouvernement fédéral américain par Wikimedia Commons

Figure 2.5 – Photographie en microscopie électronique de cellules sanguines sur laquelle apparaissent des globules blancs, des globules rouges et des plaquettes.



La production d'hémoglobine, pigment rouge transportant l'oxygène contenu dans les globules rouges, est inhibée par le plomb inorganique qui interfère avec les systèmes enzymatiques. Il en résulte une anémie caractérisée par une peau et des muqueuses pâles, une fatigue et parfois un essoufflement à l'effort. L'arsine et la stibine entraînent une rupture des globules rouges (hémolyse), à nouveau responsable d'une anémie. L'irradiation par les rayons X (accident nucléaire) et le benzène entraîne une leucémie (prolifération des cellules sanguines), par une action probable sur la synthèse de l'ADN.

Le transport d'oxygène peut être affecté de deux manières, toutes deux étant des formes d'asphyxie. Dans des atmosphères où l'air normal est déplacé par des gaz inertes comme l'azote, le méthane, l'hélium et le dioxyde de carbone, la teneur en oxygène (normalement de 21 %) est diluée et il peut en résulter une hypoxie (diminution de la pression d'oxygène dans le sang). Cela conduit tout d'abord à une augmentation compensatrice de la fréquence du pouls et de la fréquence respiratoire. Si l'hypoxie se poursuit, le jugement peut être altéré et la personne peut perdre connaissance et finalement décéder.

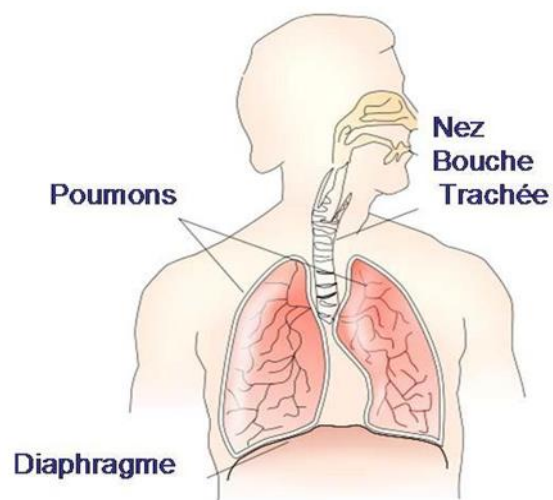
La respiration d'une atmosphère composée à 100 % de gaz inertes (placer la tête dans une chambre remplie de gaz) provoque une perte de conscience instantanée.

L'autre forme industrielle d'asphyxie est l'asphyxie chimique. L'aniline et le nitrobenzène, qui sont absorbés par la peau intacte lorsqu'ils sont sous forme liquide, et le monoxyde de carbone inhalé, interfèrent avec la capacité du sang à transporter l'oxygène lié à l'hémoglobine, sous forme d'oxyhémoglobine. L'aniline et le nitrobenzène se lient à l'hémoglobine pour former de la méthémoglobine, ce qui provoque une cyanose (teinte bleue des muqueuses, en particulier des lèvres). Le monoxyde de carbone se combine à l'hémoglobine, entrant ainsi en compétition avec l'oxygène, pour former la carboxyhémoglobine, un pigment de couleur brun rouge, qui confère à la personne une couleur rouge cerise.

2.6 Appareil respiratoire

La fonction principale de l'appareil respiratoire est l'échange de gaz entre l'environnement extérieur et le système circulatoire. Au cours de ce phénomène, l'oxygène est prélevé de l'air et passe dans le sang, tandis que le dioxyde de carbone est libéré (avec d'autres déchets gazeux) du sang dans l'air.

Lors de l'inhalation, les échanges gazeux se produisent dans les alvéoles, les composants fonctionnels de base des poumons ayant une forme de petits sacs. Les parois alvéolaires sont extrêmement fines (environ 0,2 μm). Ces parois sont composées d'une couche unique de cellules épithéliales très proches des capillaires sanguins. Eux-mêmes ne sont composés que d'une seule couche de cellules endothéliales. La proximité étroite de ces deux types de cellules permet une perméabilité aux gaz et, par conséquent, les échanges gazeux. L'oxygène est prélevé dans le sang tandis que le dioxyde de carbone en excès est libéré.



Source : Wikimedia Commons

Figure 2.6 – Appareil respiratoire

Comme la peau et les yeux, les poumons sont affectés par les irritants et les allergènes. Ils répondent également en développant une pneumoconiose fibrogène et des pathologies malignes à différents types d'agents industriels.

Les particules supérieures à 10 μm de diamètre sont filtrées par le nez. La structure ramifiée des voies aériennes favorise le dépôt des particules dont la taille est comprise entre 2 et 10 μm , et qui peuvent ensuite être éliminées par l'escalator muco-ciliaire. Dans les alvéoles, les particules restantes soit remontent librement l'arbre bronchique soit sont phagocytées par les macrophages alvéolaires puis éliminées par l'escalator muco-ciliaire ou dans le système lymphatique environnant. Malgré leur efficacité, ces mécanismes de défense peuvent être submergés par d'importants volumes de particules.

L'**irritation** provoquée par les gaz et les fumées entraîne une inflammation du tractus respiratoire. Les symptômes ont tendance à être aigus ou retardés en fonction de la solubilité de l'agent toxique. Des effets chroniques peuvent également être observés. Lorsque ceux-

ci proviennent d'une exposition prolongée, ils peuvent entraîner une bronchite chronique et/ou des lésions pulmonaires permanentes.

Les réactions allergiques à des substances peuvent provoquer un asthme professionnel. Les symptômes comprennent de graves difficultés respiratoires, une respiration sifflante, une toux et une oppression thoracique. Certaines substances, notamment les isocyanates (utilisés dans les peintures), la poussière de farine et différents types de fumées peuvent déclencher un asthme. Ces substances sont dénommées « sensibilisants respiratoires » ou asthmogènes. Elles peuvent conduire à un changement des voies aériennes, désigné par le terme « hypersensibilité ».

Toutes les personnes sensibilisées ne développent pas un asthme. Toutefois, lorsque les poumons deviennent hypersensibles, une exposition supplémentaire à la substance, même à de faibles concentrations, peut déclencher une crise.

La **pneumoconiose** est une maladie caractérisée par l'altération de la structure pulmonaire due à la présence de poussières minérales inhalées telles que la poussière de charbon, la silice, l'amiante. Toutes ces substances provoquent une réaction cicatricielle des poumons dénommée fibrose collagénique. La pneumoconiose peut ne déclencher aucun symptôme pendant plusieurs années. Cependant, la fonction des poumons diminue fortement au fur et à mesure qu'ils deviennent moins flexibles et poreux. Les symptômes comprennent des difficultés respiratoires, une toux et un malaise général. Dans les stades précoces, les difficultés respiratoires sont généralement limitées aux efforts importants. Lorsque la maladie progresse, ces difficultés respiratoires se manifestent en permanence. La toux ne s'accompagne pas au départ d'expectorations, mais peut finir par être associée à une émission de sang. En raison de la mauvaise oxygénation du sang par les poumons lésés, les ongles et les lèvres peuvent apparaître pâles ou bleuâtres.

Les **bronchopneumopathies chroniques obstructives** (BPCO) font référence à la bronchite chronique et à l'emphysème. Il s'agit de deux pathologies pulmonaires qui se manifestent souvent ensemble et qui provoquent un rétrécissement des voies aériennes. Ce phénomène conduit à une limitation du débit d'air vers ou en provenance des poumons, déclenchant des difficultés respiratoires. Contrairement à l'asthme professionnel, le rétrécissement des voies aériennes est difficile à inverser, et s'aggrave généralement avec le temps. Les BPCO peuvent être déclenchées par un grand nombre de particules et de gaz conduisant l'organisme à déclencher une inflammation anormale des tissus.

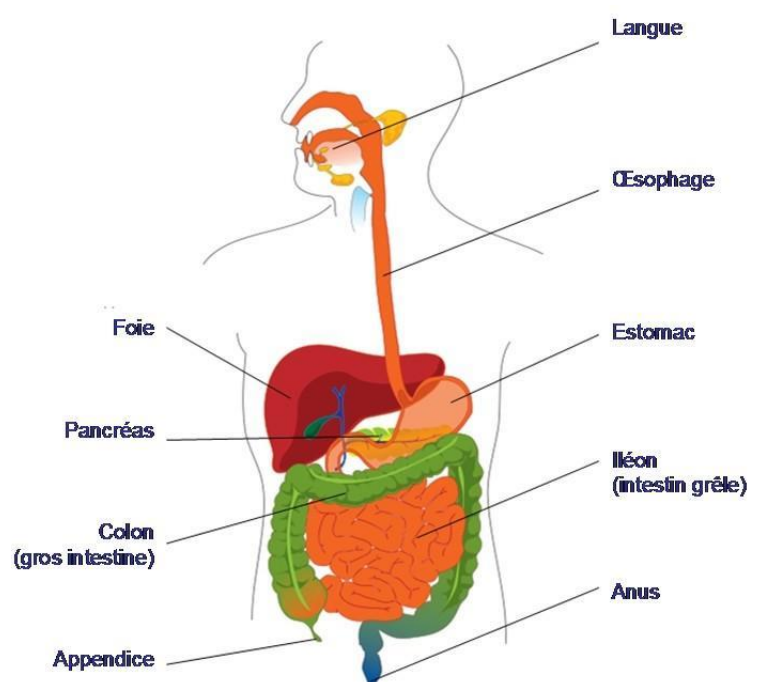
Les **tumeurs malignes** d'origine professionnelle peuvent affecter les poumons et les tissus environnants. Des cancers du poumon (ou cancer bronchique) ont été découverts chez les personnes travaillant avec l'amiante (mineurs, calorifugeurs) Ce risque est potentialisé par la fumée de cigarette, l'arsenic (pesticides), le chrome (fabricants de pigment), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (fabrication de gaz de houille, goudronneurs) et les radiations ionisantes (exploitation des mines d'uranium). Les poussières de bois (meubles en bois de feuillus), la poussière de cuir et la poussière de nickel ont provoqué des cancers des sinus nasaux.

2.7 Tractus gastro-intestinal

Le tractus gastro-intestinal est le système utilisé par l'organisme pour avaler, dégrader et absorber les nutriments, mais également pour excréter les déchets. Dans l'industrie, l'ingestion en tant que voie d'entrée d'une substance toxique est peu probable, mais elle peut néanmoins survenir chez les personnes autorisées à manger ou à fumer à leur poste de travail. Ils risquent ainsi une contamination à partir de leurs mains ou de surfaces contaminées. Les vomissements et la diarrhée sont deux phénomènes constituant les mécanismes de défense naturels contre les toxines ingérées. Les acides gastriques neutralisent dans une certaine mesure les substances nocives alcalines, et détruisent les bactéries. L'absorption de toxines est relativement moins efficace que leur inhalation, car elle limite l'entrée dans l'organisme. Néanmoins, tout agent irritant ou corrosif susceptible d'affecter les muqueuses de l'appareil respiratoire peut également provoquer un gonflement des lèvres, de la bouche et de l'épiglotte (provoquant un étouffement) et l'ulcération de l'œsophage et de l'estomac.

Source : Wikimedia Commons

Figure 2.7 – Tractus gastro-intestinal



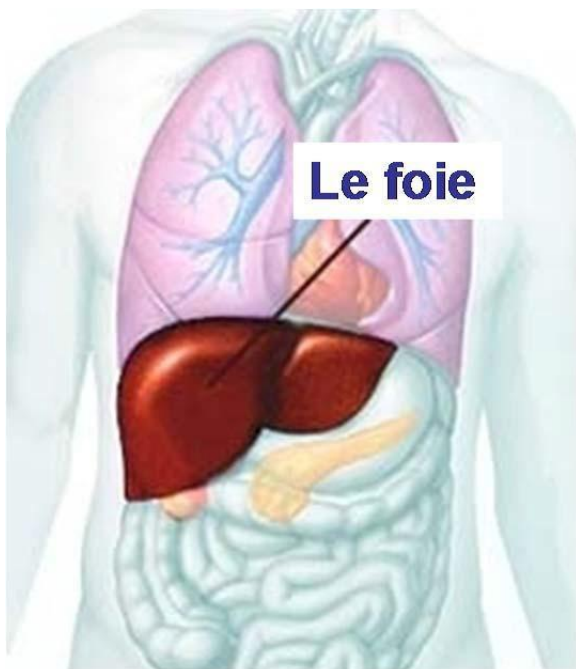
2.8 Le foie

Le foie est un organe majeur qui métabolise les nutriments qui ont été absorbés dans le sang (via le tractus gastro-intestinal ou par l'intermédiaire d'autres voies comme l'inhalation). Le fait qu'il soit utilisé pour dégrader les substances signifie que le foie est particulièrement sensible à toutes les toxines présentes dans l'organisme. Les cellules hépatiques peuvent se régénérer après des lésions toxiques, dont l'alcool est la cause la plus fréquente. Cependant, une absorption continue d'une toxine peut excéder les capacités du processus de régénération et entraîner des lésions hépatiques permanentes. Une pathologie hépatique préexistante augmente le risque de lésions permanentes.

Sur le plan industriel, les alcools liposolubles et les hydrocarbures halogénés sont des responsables particulièrement bien identifiés de lésions des cellules hépatiques. Le signe le plus évident des lésions hépatiques est la jaunisse (ictère).

Les lésions hépatiques, en particulier la cirrhose, constituent un précurseur important des hépatomes (tumeurs hépatiques). C'est pourquoi des lésions hépatiques à long terme provoquées par une activité professionnelle prédisposent les employés à des tumeurs hépatiques.

Le foie est un organe qui s'autoprotège dans la mesure où il possède des processus de détoxification qui transforment d'éventuelles toxines en substances inoffensives (et parfois inversement).

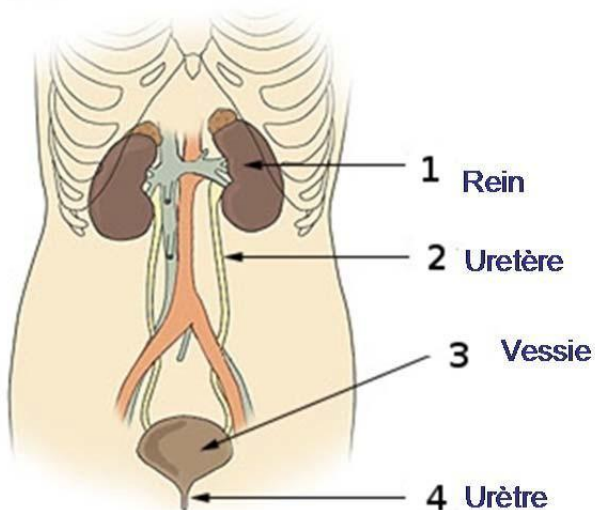


Source : Wikimedia Commons

Figure 2.8 – Le foie

2.9 Appareil urinaire

Les reins jouent un rôle important dans le maintien de l'équilibre des liquides et des électrolytes par filtration et réabsorption sélective d'une partie d'entre eux dans le sang. Ils excrètent (par l'intermédiaire de l'urine) les déchets indésirables (y compris des toxines), rendus hydrosolubles par la métabolisation ayant lieu dans le foie.



Source : Gouvernement fédéral américain par
Wikimedia Commons

Figure 2.9 – Appareil urinaire

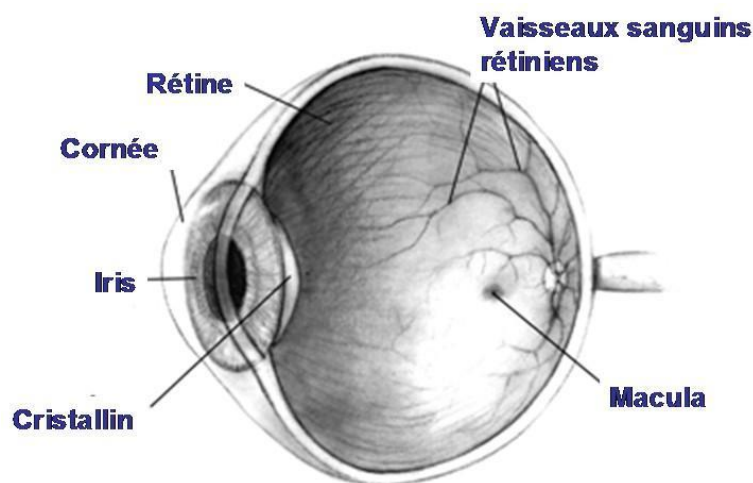
Les toxines peuvent léser le rein, ce qui peut avoir pour conséquence des perturbations du métabolisme calcique, de l'équilibre acidobasique et de la réabsorption de l'eau. Dans l'insuffisance rénale aiguë, le débit urinaire peut être totalement interrompu. Les radiations ionisantes peuvent entraîner des lésions et une fibrose des cellules rénales. Dans la mesure où l'urine est concentrée et stockée dans la vessie, l'exposition de cet organe est beaucoup plus longue que celle du reste du tractus urinaire. Elle est par conséquent beaucoup plus sensible aux cancers d'origine professionnelle.

2.10 L'œil

Il est inutile d'expliquer la fonction des yeux. Il apparaît également clairement qu'ils sont relativement fragiles. Les yeux sont en partie protégés par les os frontaux situés au-dessus d'eux et par les paupières, grâce au réflexe de clignement. Les cils permettent d'éloigner les particules de poussière, et les larmes exercent une fonction de dilution pour les produits chimiques présents dans l'œil et de stérilisation contre les agents infectieux.

La construction fragile des yeux les rend particulièrement sensibles aux blessures. Les plaies pénétrantes peuvent provoquer des lésions de la cornée, une cataracte et un décollement de la rétine, autant de causes de cécité. Les lésions de l'iris peuvent déclencher une réaction de lutte de l'autre œil et provoquer une cécité totale. Les acides et les substances alcalines entraîneront des brûlures de la cornée. Les substances alcalines sont particulièrement dangereuses, car la sensation de brûlure qu'elles provoquent est moins marquée, et le temps que la victime le réalise et les élimine par lavage, la partie avant de l'œil peut déjà avoir été dégradée.

Tous les gaz irritants, comme le dioxyde de soufre ou l'ammoniac, peuvent provoquer une conjonctivite (caractérisée par une rougeur et une gêne des yeux et un larmoiement). Les allergènes, comme les plantes et les colorants, produisent parfois une réaction similaire. Une conjonctivite extrêmement douloureuse, se manifestant également par une photophobie (refus de regarder la lumière), peut survenir quelques heures après l'exposition aux rayons ultraviolets utilisés dans les travaux de soudure. Cette affection est connue sous le terme de kérato-conjonctivite photoélectrique, qui touche la cornée, mais également la conjonctive. La cataracte (opacité du cristallin) peut provenir d'un traumatisme (une plaie pénétrante ou un choc sévère), de la chaleur (cataracte du verrier) et d'une irradiation (laser et micro-ondes). Les brûlures rétinienne peuvent être provoquées par les rayons infrarouges et les lasers. Le cristallin atteint de cataracte peut être retiré et remplacé par des cristallins artificiels ou des lentilles de contact. Les brûlures et les déchirures de la rétine provoquent des lésions définitives de la zone de vision touchée (taches aveugles).



Source : Wikimedia Commons

Figure 2.10 – L'œil

3 NOTIONS DE BASE EN TOXICOLOGIE

3.1 Introduction

La toxicologie est l'étude des effets indésirables des substances sur les organismes vivants. La toxicologie industrielle traite des effets indésirables qu'infligent certaines substances aux travailleurs les manipulant sur le lieu de travail. Toutefois, ce domaine est généralement étendu aux effets indésirables des produits sur les consommateurs, le public en général et l'environnement.

Sur le plan historique, la toxicologie était l'art et la science de l'empoisonnement ou de l'intoxication. Aujourd'hui, il s'agit d'une discipline qui regroupe des informations développées dans un grand nombre de sciences chimiques, physiques, biologiques et médicales. La toxicologie prévoit les effets indésirables probables sur l'homme d'une variété toujours croissante de substances auxquelles il est exposé.

3.2 Termes

La **toxicité** est la capacité intrinsèque d'une substance à léser les organismes vivants.

L'**évaluation des dangers** est la prédiction des effets toxiques qui seront mis en évidence sous des conditions d'exposition définies.

L'**évaluation des risques** est la prédiction de la probabilité que certains effets toxiques surviennent sous des conditions d'exposition définies chez une personne unique ou une population définie.

Le terme de **substance** désigne une large variété de matériaux, notamment des composés chimiques isolés ou des mélanges de composés, des substances simples ou complexes naturelles ou synthétiques et des micro-organismes. Les substances peuvent être chimiquement pures ou contenir des additifs ou des impuretés. Elles se présentent sous diverses formes, à savoir : solides, liquides, gaz, poussières, fibres, fumées ou aérosols. Certaines d'entre elles (par exemple, fumées, poussières et aérosols) peuvent être difficiles à identifier. Les substances auxquelles les travailleurs peuvent être exposés sur le lieu de travail comprennent les matériaux utilisés, conditionnés, collectés, stockés, manipulés, éliminés ou avec lesquels ils entrent en contact d'une manière quelconque. Il peut s'agir de produits finis, de formulations, de produits intermédiaires, de matières premières, de produits « hors spécifications », de produits dérivés, de déchets et de résidus.

Ils peuvent également être des matériaux utilisés ou qui apparaissent au cours de l'entretien ou de la réparation des usines ou des bâtiments, ou qui peuvent être formés ou utilisés au cours de la recherche, du développement ou de tests.

Remarque : les termes ci-dessus sont utilisés de façon approximative par de nombreuses personnes. Par exemple, le terme de toxicité est souvent utilisé à la place de danger toxique, et le terme de risque toxique à la place de danger toxique. Cela est particulièrement vrai concernant l'acception qu'ont de nombreuses personnes de l'« évaluation des risques».

3.3 Concepts de base

« Tout est poison, rien n'est poison, c'est la dose qui fait le poison » – Paracelse (1525).

Toutes les substances sont toxiques, c'est-à-dire capables de produire des effets indésirables dans certaines conditions d'exposition. Il est possible de tuer quelqu'un en administrant des volumes importants d'eau (en particulier si la personne souffre de certaines maladies) et d'entraîner une cécité chez des nourrissons prématurés et des lésions pulmonaires chez l'adulte en les exposant à des concentrations élevées d'oxygène dans l'air.

La survenue des effets toxiques dépend de la dose. D'une manière générale, des doses ou des expositions élevées administrées pendant des périodes prolongées produisent des effets toxiques d'une variété plus large et d'une intensité plus marquée que des doses ou des expositions faibles administrées pendant des périodes courtes.

Il existe généralement un niveau d'exposition au-dessous duquel les effets toxiques ne se manifestent pas. Une dose de 10 g de caféine provoque des convulsions et des vomissements. La consommation moyenne de caféine au Royaume-Uni (y compris dans le thé) est de 315 mg, et de nombreuses personnes en consomment davantage tous les jours sans qu'elles manifestent d'effets indésirables. La dose létale de sel est probablement située vers 250 g, mais des doses très inférieures provoquent des vomissements ; la consommation quotidienne moyenne de sel au Royaume-Uni est comprise entre 8 et 11 g par jour. L'Agence des normes alimentaires du Royaume-Uni (*Food Standards Agency*) recommande une consommation maximale de 6 g par jour, mais précise qu'un apport minimal de 0,5 g par jour est essentiel à la vie.

Différentes formes d'exposition à une substance n'ont pas nécessairement les mêmes effets. L'exposition à des concentrations atmosphériques élevées de vapeurs de chlorure de méthylène entraîne une dépression du système nerveux (narcose), des arythmies cardiaques et des lésions hépatiques et rénales. Une exposition plus prolongée provoque l'accumulation d'un de ses métabolites, le monoxyde de carbone, dans le sang, réduisant la capacité du sang à transporter de dioxygène. Chez la souris, une exposition prolongée provoque des cancers du foie et du poumon (mais non chez le rat ou le hamster, et probablement pas chez l'homme).

Différentes espèces peuvent réagir différemment aux substances. Les dioxines provoquent des lésions hépatiques sévères et le décès chez le cobaye, mais une pathologie cutanée (chloracné) chez le singe et chez l'homme. L'arsenic déclenche des cancers chez l'homme, mais non chez les animaux d'expérimentation. De petites doses d'atropine peuvent entraîner le décès chez l'homme, mais non chez le lapin.

Les individus réagissent différemment à des substances identiques : certains fumeurs développent des cancers du poumon ; d'autres non. La pénicilline est inoffensive chez la plupart des gens, mais déclenche des réactions allergiques sévères chez certains.

Les effets toxiques d'une substance dépendent des éléments suivants :

- Sa forme physique.
- La dose.
- La voie de pénétration.
- Son absorption, sa distribution, son métabolisme et son excrétion.

3.3.1 Forme physique

Solides	Lorsqu'ils sont moulus ou écrasés, les poussières formées peuvent être inhalées, ingérées ou contaminer la peau.
Liquides	Ils peuvent être avalés ou contaminer la peau.
Gaz	Ils peuvent être inhalés ou contaminer la peau.
Vapeurs	
Fumées	
Brouillards	
Aérosols	

3.3.2 Dose

La dose est le produit de la concentration de la substance par la durée de l'exposition. En termes plus simples, elle est obtenue par l'équation suivante :

$$\text{Dose} = \text{Exposition} \times \text{Temps}$$

Cependant, dans des circonstances professionnelles, l'exposition et le temps peuvent fortement varier. Par exemple, une concentration très élevée pendant une durée brève peut être létale (exemple, alcool), tandis qu'une exposition prolongée à de petites quantités n'entraînera que peu d'effets nocifs. La dose peut être la même dans les deux cas.

3.3.3 Voie de pénétration / absorption

Les trois voies de pénétration des toxines dans l'organisme sont :

- La voie respiratoire (par inhalation)
- La voie cutanée (par pénétration)
- La voie digestive (par ingestion)

Ingestion : L'ingestion est la voie la moins significative de pénétration dans le milieu professionnel, mais son importance est essentielle dans la toxicologie environnementale. Au cours de l'évolution, des mécanismes ont été développés dans l'intestin pour réguler la capture des éléments essentiels. Les éléments toxiques peuvent entrer en compétition, de façon que seule une fraction de la dose ingérée soit absorbée dans l'organisme (en général $\leq 10 \%$).

Les causes possibles d'ingestion dans l'industrie sont le pipetage par la bouche dans les laboratoires, la déglutition de poussières inhalées et éliminées par le tapis roulant muco-ciliaire, le fait de fumer ou de manger sur le lieu de travail ou simplement d'avoir les mains sales et de les porter ensuite à la bouche.

Inhalation : Dans le poumon, il n'existe aucun mécanisme similaire de capture sélective. Les particules inférieures à 10 microns de diamètre peuvent atteindre les alvéoles. Si elles sont solubles, environ 40 % sont alors absorbés. Les produits chimiques insolubles (par exemple le sulfure de plomb) sont donc relativement plus sûrs, tandis que le carbonate de plomb étant hautement soluble peut provoquer rapidement un empoisonnement. Les particules inhalées de diamètre plus important constituent un risque moins important pour la santé dans la mesure où l'absorption effectuée plus haut dans les voies respiratoires est moins efficace.

Il est important de se rappeler que le poumon est responsable de la capture des substances dans l'organisme, mais qu'il est aussi un organe cible. Les matériaux qui non absorbés dans l'organisme peuvent persister dans les poumons, et provoquer des lésions physiques et/ou chimiques du tissu pulmonaire.

L'inhalation représente près de 90 % des intoxications professionnelles.

La peau : Dans la peau, on n'observe à nouveau aucune capture sélective. Les composés liposolubles sont facilement absorbés, à titre d'exemple les solvants organiques. Une absorption percutanée à travers une peau saine intacte peut se produire pour le nitrobenzène, le phénol, le mercure et l'aniline. L'absorption du phénol à travers quelques cm² de peau intacte peut être létale. Le port de vêtements protecteurs imperméables, comme les gants, peut augmenter le taux d'absorption si une contamination accidentelle se produit à l'intérieur. Les lésions cutanées facilitent également l'absorption des toxines.

Distribution : Lorsque les substances ont pénétré dans l'organisme, elles peuvent être distribuées par la circulation sanguine de façon systémique par l'intermédiaire d'une liaison aux protéines plasmatiques et aux globules rouges. Elles peuvent se concentrer de façon variable dans les différents organes. D'autres matériaux toxiques peuvent être en solution ou liés aux lipides. Seules les substances liposolubles peuvent traverser la barrière hémato-méningée.

3.3.4 Métabolisme

La plupart des substances diffusées dans l'organisme sont métabolisées. Le foie est le principal organe de la métabolisation, bien que les reins, les poumons et la peau puissent métaboliser certaines substances chimiques. Le métabolisme peut convertir une substance toxique en un produit non toxique. Inversement, par exemple le n- hexane est métabolisé dans le foie en un autre composé qui provoque des lésions du système nerveux. Dans la majorité des cas, la détoxification est bénéfique. Un processus typique de métabolisation comprend une étape d'oxygénation suivie par une étape de conjugaison par l'acide glucuronique. Le taux métabolique dépend du taux d'absorption (les composés hydrosolubles sont moins bien absorbés que les substances liposolubles) et de l'ampleur de la liaison aux protéines (qui réduit la concentration au niveau des sites du métabolisme). Les systèmes enzymatiques sont insuffisamment développés chez les très jeunes enfants qui métabolisent par conséquent plus lentement. Le foie transforme les substances hydrophobes (c'est-à-dire non solubles dans l'eau) en formes hydrophiles (hydrosolubles),

de telle sorte qu'elles puissent être excrétées par le rein ou dans la bile.

3.3.5 Excrétion

Elle se produit principalement dans les reins par l'urine, mais également par la bile (composés de haut poids moléculaire), les poumons (hydrocarbures volatils excrétés sous forme inchangée), les sucs gastriques (nicotine), le lait maternel (pesticides) et la peau (fer). Plus l'excrétion est rapide, moins la toxine risque de provoquer des effets nocifs sur l'organisme. Les produits d'excrétion sont souvent utilisés pour surveiller l'exposition au travail.

3.3.6 Réponse aux toxines

La réponse de l'organisme aux toxines dépend de différentes variables :

Âge	Les personnes âgées et les enfants très jeunes ont moins de résistance, car les voies métaboliques sont moins efficaces.
Sexe	Les femmes sont plus vulnérables aux toxines liposolubles à cause du pourcentage plus important de graisses par rapport à la masse corporelle maigre.
Pathologie sous-jacente	Certaines affections, telles une diarrhée ou une diminution de la fonction pulmonaire, limiteront les effets toxiques en réduisant l'absorption. D'autres en revanche, comme l'anémie, compromettront encore davantage la réponse de l'organisme au plomb ou au monoxyde de carbone.
Médicaments	Les médicaments peuvent affecter les systèmes enzymatiques, augmentant ou diminuant les effets des substances toxiques.
Alcool	Il peut compromettre la fonction hépatique et ainsi les processus de détoxification.
Tabagisme	Le tabagisme potentialise l'action de certaines substances, par exemple l'amiante.
Caractéristiques individuelles	La réponse individuelle varie de façon considérable aux agents externes, du bruit à la poussière de charbon, et des allergènes aux produits chimiques. Cela est probablement lié à un effet génétique.

Type de réponse

- Effets locaux aux points d'entrée, par exemple irritation, brûlures.
- Réactions allergiques, par exemple dermite, asthme.
- Effets sur les organes cibles.
- Cancer.
- Effets sur la reproduction, par exemple, stérilité, avortement.

- Tératogenèse – anomalies congénitales.
- Tumeurs infantiles chez la descendance des personnes exposées.

3.4 Stades de l'évaluation toxicologique

Lors de l'évaluation des risques pour la santé survenant suite à l'exposition à des substances, on cherche à répondre aux questions suivantes :

3.4.1 Quels effets indésirables une substance chimique peut-elle provoquer?

Quelle est la toxicité et quels sont les dangers toxiques dans différentes conditions d'exposition ? Ceci peut être déterminé par :

- Des études théoriques basées sur les propriétés physico-chimiques déjà connues d'une substance.
- Des expérimentations in-vivo chez l'animal (utilisé comme modèle pour l'homme) ou in-vitro (bactéries, organes, tissus, culture de cellules).

3.4.2 Les effets observés chez l'animal sont-ils pertinents chez l'homme ?

Pour répondre à cette question, il est nécessaire de savoir comment la substance chimique est absorbée, distribuée dans l'organisme et excrétée (propriétés pharmacocinétiques), et comment elle est dégradée dans l'organisme en d'autres substances (métabolisation). Une indication du mécanisme de l'action toxique peut être primordiale – et peut nécessiter des investigations particulières, notamment des études chez l'homme. Des études épidémiologiques sur les groupes exposés peuvent être indispensables pour en démontrer la pertinence.

3.5 Fiches de données de sécurité (FDS)

L'interprétation des comptes rendus toxicologiques doit être confiée à des personnes formées et expérimentées sur le sujet. Une partie de l'évaluation des risques peut être effectuée en consultant les Fiches de données de sécurité, parfois également dénommées Fiches techniques de santé et de sécurité. Dans les FDS sont consignées les informations pertinentes à nécessaire à l'évaluation des risques. Ainsi une section est dédiée à la toxicologie.

Dans de nombreux pays, il est obligatoire d'un point de vue juridique ou il est de coutume qu'une entreprise fournisse une FDS pour chacun des produits qu'elle commercialise. Ces fiches peuvent apparaître complexes et difficiles à comprendre. Toutefois, elles constituent

une source d'informations nécessaire à la manipulation des produits chimiques en toute sécurité. Elles fournissent généralement des données sur les propriétés physico-chimiques du produit concerné, mais également des informations toxicologiques importantes. Le contenu d'une FDS peut varier en fonction des exigences législatives locales, mais elle fournit généralement les informations suivantes :

1. **Identification de la substance** : Cette section comprend le nom commercial et donne des détails sur le fabricant et le fournisseur. Elle indique aussi les informations d'urgence, dont les noms et les numéros de téléphone des personnes à contacter.
2. **Identification des dangers** : Le matériau sera classé dans un certain nombre de catégories et décrit avec des pictogrammes.
3. **Composition / informations sur les composants** : Cette section fournit des détails sur les différentes substances chimiques contenues dans le produit. Elle indiquera souvent le numéro CAS (*Chemical Abstracts Service*) pour chaque substance contenue dans le produit. Le numéro CAS est un numéro unique qui est assigné à la plupart des substances chimiques utilisés dans l'industrie.
4. **Premiers secours** : Conseils sur la manière de prendre en charge les travailleurs qui ont été exposés au produit en fonction des conditions d'expositions. Sous différentes circonstances.
5. **Mesures de lutte contre l'incendie** : Mesures à prendre et à ne pas prendre pour éteindre un incendie impliquant le produit, par exemple le type d'extincteur à utiliser.
6. **Mesures à prendre en cas de rejet accidentel** : Procédures à suivre en cas de libération accidentelle de la substance chimique dans l'environnement, notamment les mesures à appliquer pour nettoyer les déversements.
7. **Manipulation et stockage** : Informations sur les précautions à prendre, notamment équipements inflammables et limitations de température.
8. **Contrôle de l'exposition et protection individuelle** : Indique les exigences relatives aux équipements de protection individuelle et à la ventilation.
9. **Propriétés physiques et chimiques** : Par exemple état physique (solide, liquide ou gaz), couleur, odeur, points de fusion et d'ébullition.
10. **Stabilité, réactivité** : Propriétés comme décomposition thermique et conditions à éviter.

11. **Informations toxicologiques** : Détails sur les effets aigus et chroniques sur l'homme et les animaux.
12. **Informations écologiques** : Comment le matériel peut-il affecter l'environnement s'il est libéré du lieu de travail.
13. **Considérations relatives à l'élimination** : Toute exigence particulière concernant l'élimination du produit.
14. **Informations relatives aux transports** : D'une manière générale, sous forme de liste de codes indiquant les dangers associés aux produits chimiques.
15. **Informations réglementaires** : Législation applicable par le pays dans lequel le produit est utilisé.
16. **Autres données** : Toute information significative.

4 EXEMPLES DE SUBSTANCES & PROCEDES DANGEREUX

4.1 Silice cristalline

La silice cristalline ou quartz (SiO_2) est le minéral le plus répandu, on le trouve dans la plupart des roches. La forme la plus fréquente de la silice est le sable, que l'on trouve sur toutes les plages du monde. Sous forme sèche, la silice cristalline fine constitue un danger toxique, dans la mesure où l'inhalation de poussières aéroportées peut provoquer une silicose. La silicose est une fibrose pulmonaire considérée comme la plus fréquente et la plus sévère de toutes les pneumoconioses. Le risque de développer la maladie dépend de trois facteurs : la concentration des poussières dans l'atmosphère ; le pourcentage de silice libre dans les poussières et la durée d'exposition. La silice est rencontrée dans de nombreux processus utilisant des minéraux, par exemple : exploitation des carrières et des mines, fabrication de briques, de tuiles et de matériaux réfractaires, poterie et céramique, sablage, fabrication de verre.

Au début du siècle, les cas fatals de silicose à évolution rapide (entre 1 et 3 ans) n'étaient pas rares chez les travailleurs qui inhalaient des quantités considérables de poussières contenant une forte teneur en quartz. Dans de nombreux cas, le décès était dû à l'apparition concomitante d'une tuberculose. Avec l'amélioration des conditions de travail et les méthodes modernes de surveillance des poussières, cette forme d'évolution rapide de silicose a pratiquement disparu, mais a été remplacée par une forme à développement très lent (15 à 30 ans) de la maladie.

Les étapes initiales de la silicose sont asymptomatiques, et la maladie ne peut être révélée que par un examen radiologique périodique des travailleurs exposés à la silice libre. Les premiers symptômes de la silicose se traduisent par un « essoufflement » à l'effort. Dans les cas graves, les symptômes se produisent même pour un effort très léger ou lorsque le patient est au repos. D'une manière générale, il n'existe pas d'autres symptômes subjectifs. Par conséquent, le diagnostic de silicose est largement basé sur l'examen clinique et la radiologie.

La capacité d'altération des poumons dépend dans une certaine mesure de la forme cristalline de la silice, et cela se reflète dans des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP). Les limites d'expositions actuelles du Royaume-Uni actuelles, ainsi que par la taille des particules, est un exemple. Entre parenthèses se trouvent les valeurs françaises.

Silice amorphe	
Poussières inhalables totales	VLEP8h 6 mg/m ³ (France : 10 mg/m ³)
Poussières respirables	VLEP8h 2,4 mg/m ³ (France : 5 mg/m ³)
Verre de silice	
Poussières respirables	VLEP8h 0,08 mg/m ³
Silice cristalline (cristobalite, tridymite)	
Poussières respirables	VLEP8h 0,1 mg/m ³

4.2 Fibres minérales artificielles (FMA)

Les fibres minérales artificielles (FMA) comprennent les fibres céramiques, les fibres de verre à usage spécial et les filaments continus. Elles sont généralement fabriquées à partir de la fusion de verre, de roche et de laitier. Ce matériau représente une bonne résistance à la chaleur et aux produits chimiques, et peut être tissé. Les FMA sont par conséquent largement utilisées pour l'isolation thermique et acoustique des bâtiments, et comme matériaux ignifuges. Les FMA se retrouvent sous forme de rouleaux, de dalles, de remplissage de murs creux par flocage, de plaques de plâtre et d'isolation pour les tuyauteries. L'utilisation des FMA s'est accélérée lorsque les matériaux à base d'amiante ont été progressivement supprimés.

Depuis leur apparition à la fin des années 1800, il est établi que les laines minérales provoquent des irritations de la peau et des yeux et que, dans des conditions particulièrement poussiéreuses, elles peuvent être à l'origine d'irritation des voies respiratoires supérieures. Les fibres grossières causent l'irritation de la peau et des yeux.

Si, dans la plupart des cas, la peau devient résistante après une période transitoire, certaines personnes doivent prendre des précautions pour protéger leur peau, et un faible pourcentage est contraint à changer d'activité professionnelle.

Des études au cours desquelles des fibres minérales autres que l'amiante ont été implantées dans les thorax d'animaux de laboratoire ont montré l'apparition de tumeurs de type mésothéliome. Par contre, d'autres expérimentations au cours desquelles les animaux ont inhalé de fortes concentrations de fibres de laine minérale n'ont pas indiqué d'association avec une fréquence excessive de tumeurs pulmonaires.

Des études d'inhalation chez l'animal n'ont pas conduit à l'observation d'une fibrose cliniquement significative. Une importante étude de mortalité dans l'industrie menée aux États-Unis n'a montré aucun cas de mésothéliome. Dans cette étude, il a été observé un

nombre excessif de cas de cancer du poumon dans de petits groupes de travailleurs exposés depuis plus de 30 ans aux laines minérales. Pourtant aucune corrélation n'a été mise en évidence entre l'intensité ou la durée de l'exposition et le surnombre de cas de cancer du poumon. En fait, des études sur la radiologie et la fonction pulmonaire menées sur les travailleurs actuels n'ont pas indiqué que l'exposition à des laines minérales était associée à des anomalies pulmonaires.

4.3 Fumées de soudure

Les fumées de soudure sont composées d'un mélange de gaz et de fines particules aéroportés qui, après inhalation ou déglutition, peuvent entraîner des risques pour la santé. Le degré de risque dépendra de la composition de la fumée, de la quantité de fumée dans l'air respiré et de la durée de l'exposition.

Les principaux effets sur la santé sont les suivants :

- **Irritation des voies respiratoires** : Les gaz ou les fines particules de fumées peuvent provoquer une sécheresse de la gorge, des picotements, une toux, une oppression thoracique et des difficultés respiratoires.
- **Fièvre des métaux** : L'inhalation de quantités importantes d'oxydes métalliques fraîchement formés (par exemple de zinc, de cadmium, de cuivre, etc.) peut entraîner une affection pseudo-grippale aiguë dénommée fièvre des métaux. À l'exception de l'exposition aux fumées de cadmium, les complications graves sont rares. La cause la plus fréquente de fièvre des métaux se produit avec la soudure de l'acier galvanisé.
- **Pneumonie**: Les soudeurs sont sujets à une infection pulmonaire pouvant entraîner une pneumonie grave et parfois mortelle.
- **Intoxication systémique** : Elle peut provenir de l'inhalation ou de la déglutition de substances contenues dans les fumées de soudure ; il s'agit notamment des fluorures, du manganèse, du plomb, du baryum et du cadmium. La présence de ces substances dans les fumées dépend du processus de soudure utilisé et du matériau soudé.
- **Effets chroniques ou à long terme** : L'inhalation de fumées de soudure peut conduire au développement d'altérations radiologies bénignes, dénommées sidérose. L'une des questions préoccupantes qui se posent actuellement est de déterminer si les soudeurs sont exposés à un risque aggravé de développement de cancers, dans la mesure où

certaines constituants de fumées de soudure, notamment le chrome hexavalent et le nickel, peuvent être cancérigènes.

4.4 Isocyanates

Les isocyanates peuvent être liquides ou solides à température ambiante. Ils sont principalement utilisés dans la production des polyuréthanes, des mousses, des adhésifs, des vernis et des peintures.

Ces substances sont irritantes pour la peau et les muqueuses. Cependant, les problèmes les plus graves associés à l'exposition aux isocyanates sont ceux qui affectent l'appareil respiratoire. Les isocyanates sont largement considérés comme l'une des causes les plus fréquentes d'asthme professionnel. Après différentes expositions aux isocyanates, les travailleurs peuvent répondre à des concentrations extrêmement faibles, un phénomène dénommé sensibilisation respiratoire.

4.5 Poussières de bois

Les poussières de bois sont produites par la transformation ou la découpe du bois. Les dangers associés aux poussières de bois sont principalement dus à leur inhalation et à leur contact avec la peau. Les effets biologiques des poussières de bois conduisent à différents types de symptômes, dont la nature dépend de la quantité et de la composition du bois.

Par conséquent, les symptômes d'exposition vont de la dermatite et de l'irritation conjonctivale à l'irritation des voies respiratoires supérieures. On s'inquiète de la progression de l'irritation nasale dans le cancer du nez. Cependant, cette question est compliquée par la longue période de début du cancer étant généralement de 40 ans. Le CIRC a classé la poussière de bois parmi les cancérigènes du groupe 1. De plus, certains bois tendres peuvent agir comme sensibilisants respiratoires.

4.6 Produits pharmaceutiques

Le travail dans l'industrie pharmaceutique peut présenter des dangers spécifiques à cause des composés particulièrement puissants qui peuvent être manipulés. Les différents médicaments qui sont fabriqués exposent à des effets variables sur la santé. Par exemple :

- **Réactions allergiques** : Certains médicaments provoquent des réactions allergiques, notamment démangeaisons, rougeur des yeux, écoulement nasal, éruptions cutanées, asthme et occasionnellement choc à la suite d'une réaction allergique (anaphylaxie).

- **Carences vitaminiques** : Les travailleurs soumis à une exposition répétée à des antibiotiques présentent un changement du nombre et du type de bactéries normalement présentes dans les intestins et responsables de la dégradation et de l'absorption des vitamines dans l'intestin.
- **Infections fongiques** : Une exposition quotidienne à de la poussière d'antibiotiques peut conduire à des affections fongiques de la peau et des ongles. En outre, les travailleuses peuvent développer des mycoses après exposition à des antibiotiques.
- **Nitroglycérine** : Fréquemment utilisé dans la dynamite, ce composé est également à la base de plusieurs médicaments destinés aux patients cardiaques. Les nitrates agissent sur les vaisseaux sanguins de l'organisme et leurs effets s'exercent de plusieurs manières. Pratiquement toutes les personnes exposées à des poussières de nitroglycérine présentent des céphalées pulsatiles provoquées par la relaxation des vaisseaux sanguins dans le crâne. Les nitrates dilatent les vaisseaux sanguins et font chuter la pression artérielle, ce qui peut provoquer des vertiges et même des pertes de connaissance.
- **Tranquillisants** : Cela peut entraîner une habitude et une addiction. En association avec l'alcool, les tranquillisants peuvent provoquer une perte de conscience et, à haute dose, peuvent conduire au coma et au décès. Les travailleurs produisant des tranquillisants sont exposés à un risque de survenue de ces effets indésirables, et il est arrivé qu'ils perdent connaissance en buvant une bière après le travail. Il existe un réel risque d'accident, à la fois dans l'usine, mais également sur le chemin du retour à leur domicile, lorsque les travailleurs présentent une somnolence à cause de l'exposition aux tranquillisants et aux barbituriques.

4.7 Produits dérivés du pétrole

L'industrie du pétrole expose à un certain nombre de dangers spécifiques aussi bien avec l'extraction et la production qu'avec les produits finis.

- **Huiles lubrifiantes** : Certaines huiles (en particulier les huiles fortement aromatiques) sont irritantes lorsqu'elles sont appliquées sur la peau pendant plusieurs heures. En cas de contacts répétés, un grand nombre d'entre elles élimineront les graisses naturelles de la peau, et la rendront sèche et sensible aux craquelures, aux dermatites et aux infections. Un contact accidentel avec les yeux peut provoquer une irritation transitoire, mais sans effet durable. Les effets sont plus prononcés avec les huiles de basse viscosité.

- L'inhalation de brouillards et de vapeurs d'huiles peut déclencher des irritations des yeux, du nez et de la gorge. L'inhalation de quantités importantes d'huiles peut conduire au développement d'une pneumonie.
- La plupart des formulations contiennent des additifs chimiques de composition variable. Les propriétés toxiques de ces formulations dépendent de la toxicité des huiles de base et des additifs. Pour la plupart des additifs, les données concernant la toxicité aiguë et chronique, le pouvoir cancérigène et les effets sur la reproduction ou le système immunitaire sont insuffisantes.
- **Essence** : L'essence est un irritant cutané et une exposition prolongée peut entraîner la formation de phlyctènes (vésicules). Des expositions répétées éliminent les graisses de la peau, et provoquent une dermatite. Un contact accidentel avec les yeux déclenche une irritation sévère, mais généralement de courte durée. L'inhalation des vapeurs peut conduire à une perte de connaissance ; une inhalation prolongée de fortes concentrations peut provoquer le décès par dépression du système nerveux central. Les essences contiennent des additifs (notamment le plomb tétraéthyle qui est neurotoxique, et des composés bromés possédant un pouvoir mutagène) ; ils ont été remplacés par des alcools (par exemple, méthanol) et des éthers (par exemple, méthyl t-butyl éther – MTBE) dans l'essence sans plomb. Une exposition excessive au méthanol entraîne une cécité ; des preuves récentes sur le MTBE suggèrent qu'à fortes concentrations dans l'atmosphère, le produit peut être tératogène.
- **Gazoles et mazouts** : Il s'agit pour ces deux types de composés de distillats moyens ou d'huiles lubrifiantes lourdes, mais qui contiennent des matériaux traités par craquage catalytique ou d'autres matériaux présentant une tendance à la cancérogénicité lorsqu'ils sont appliqués régulièrement sur la peau de souris, c'est-à-dire qu'ils peuvent exposer à un risque cancérigène.
- **Extraits aromatiques** : Ils contiennent de fortes concentrations d'hydrocarbures aromatiques polycycliques cancérigènes et un grand nombre d'entre eux se sont avérés cancérigènes par contact cutané. Leur toxicité est similaire à celle des huiles lubrifiantes.
- **Benzène** : Un contact direct produit une élimination des graisses cutanées et une dermatite en cas d'expositions répétées. Une exposition provoque une dépression du système nerveux central – céphalées, nausées et puis, perte de conscience. Des expositions répétées de doses de 50 ppm ou au-delà entraînent des lésions hématologiques

et du système hématopoïétique, produisant chez certaines personnes une défaillance complète de la formation de l'ensemble des cellules sanguines (une affection fatale). Une exposition prolongée à de fortes concentrations déclenche un certain type de leucémie (cancer du sang) et des lésions des chromosomes (les organites qui contiennent le matériel génétique dans les cellules en division).

4.8 Exploitation minière – Extraction de minéraux et de métaux

L'exploitation du charbon, des minerais de métaux et d'autres minéraux est effectuée de façon intensive à travers le monde. Historiquement, le taux d'incidence des maladies qui ont touchées les mineurs a été plus fort que celui observé chez les travailleurs d'autres secteurs de l'industrie lourde. L'extraction de charbon a longtemps été associée à une pneumopathie induite par la poussière (pneumoconiose) et à d'autres pathologies, notamment l'emphysème professionnel. Les activités d'exploitation minière peuvent exposer à des dangers particuliers pour la santé dus à différentes substances. Celles-ci peuvent provenir du minéral extrait ou peuvent être présentes comme sous-produits ou contaminants indésirables. Le principal danger pour la santé est l'exposition à différentes formes de poussières.

- **L'amiante** est encore extrait des mines dans un certain nombre de pays du monde, elle se trouve également sous forme de traces dans des dépôts d'autres minéraux, comme le talc. Les dangers de l'amiante sont présentés dans une section séparée de ce manuel.
- **L'arsenic** est présent dans les dépôts métalliques, notamment l'étain et le cuivre. Il peut se rencontrer comme composant indésirable au cours de l'exploitation minière et des processus de transformation, mais il est également produit commercialement comme sous-produit de raffinage. L'arsenic est toxique et peut entraîner le décès si des quantités importantes sont consommées ou inhalées.
- La **silice** est présente dans de nombreux minéraux, en particulier pour l'extraction de roches.

L'exploitation minière peut également exposer à un certain nombre de dangers physiques, tels que le bruit, les vibrations, les radiations, le stress dû à la chaleur, l'humidité et les changements de pression atmosphérique.

4.9 Utilisation et affinage de métaux

De nombreux métaux durs sont présents en faible quantité dans notre organisme sous forme d'oligo-éléments et constituent des facteurs importants de notre fonctionnement. Cependant, l'exposition à de grandes quantités peut provoquer des effets négatifs significatifs sur la santé.

- L'utilisation du **cadmium** a été limitée à cause de sa toxicité. Toutefois, il est toujours utilisé dans l'aviation comme revêtement anticorrosif, et dans les batteries nickel cadmium. Les effets physiologiques d'une exposition excessive au cadmium peuvent être classés en deux catégories distinctes : les effets aigus, qui comprennent nausées, vomissements et troubles gastro-intestinaux sévères et les effets chroniques, pouvant varier d'une fatigue et d'un emphysème à des lésions hépatiques et rénales. Dans les cas sévères d'intoxication aiguë, par exemple lors du découpage au chalumeau de boulons cadmiés, le décès peut rapidement suivre une pneumonie chimique.
- Le **chrome** est un métal dur de couleur gris acier à l'aspect brillant très éclatant. Son point de fusion élevé, 1 900 °C, et sa nature inerte en font un métal utile pour la confection d'alliages et pour l'électro-galvanisation. Il possède un certain nombre d'isotopes radioactifs, qui ont été utilisés en médecine et sont capables de présenter plusieurs degrés de valence qui se reflètent par ses différents sels, c'est-à-dire chromeux, chromique et chromyle (CrO_2). Certains ont des propriétés irritantes similaires au trioxyde de chrome (acide chromique) et provoquent une irritation cutanée, une ulcération et une dermatite allergique. L'inhalation entraînera également une irritation primaire, une perforation des cloisons nasales, une irritation pulmonaire tandis que des cas de carcinome ont été associés à l'exposition de sels de type chromate.
- Le **plomb** est un métal souple et malléable présentant de bonnes propriétés anticorrosives. Il a été largement utilisé dans la construction et dans la production de batteries, de munitions et de poids. Il a également été mélangé à d'autres métaux afin de constituer des alliages utiles, tels que les soudures étain/plomb. Ces différents composés sont toxiques et peuvent être inhalés, ingérés ou absorbés à travers la peau. Les effets aigus sont rares, car le plomb est principalement un poison chronique cumulatif, mais certains composés organo-plombés [notamment ceux utilisés dans l'essence avec plomb] peuvent être rapidement absorbés par la peau et atteindre le cerveau, puis provoquer le décès dans certains cas. Les effets chroniques sont observés avec la lente

accumulation de plomb inorganique dans l'organisme, souvent déposé dans les os et libéré ultérieurement si un traumatisme se produit. Les effets chroniques varient des douleurs d'estomac et une léthargie à une anémie, aboutissant au décès. Le plomb peut provoquer des lésions cérébrales, en particulier chez les jeunes enfants et les fœtus.

4.10 Emissions diesel

Les gaz d'échappement diesel proviennent de la combustion du carburant dans les moteurs diesel. Les moteurs diesel ont été inventés dans les années 1890 par Rudolf Diesel. Bien que l'utilisation du carburant diesel présente de nombreux avantages, le contrecoup est l'exposition de nombreux travailleurs à un mélange complexe de gaz toxiques, de composés organiques adsorbés et de composants particuliers.

La phase gazeuse des gaz d'échappement des moteurs diesel est essentiellement composée des mêmes gaz que l'air, tels que l'azote, l'oxygène, le dioxyde de carbone et la vapeur d'eau. Cependant, de faibles concentrations de gaz toxiques tels que le monoxyde de carbone et les oxydes d'azote sont présentes.

La fraction particulaire de l'aérosol d'échappement diesel est constituée d'une phase de carbone solide et de gouttelettes ultra-fines d'un mélange complexe de composés organiques semi-volatils. La fraction particulaire solide consiste principalement en de très petites particules (typiquement de 15 à 30 nm de diamètre) qui s'agglomèrent rapidement pour former des "chaînes" ou des amas de particules, qui ont elles-mêmes typiquement une taille aérodynamique $<1 \mu\text{m}$. La microscopie électronique à haute résolution a démontré que la particule diesel de base consiste en une structure graphitique empilée irrégulière appelée carbone élémentaire.

La nature graphitique et la grande surface de ces particules de carbone très fines leur permettent d'absorber des quantités importantes d'hydrocarbures (les gouttelettes et vapeurs de carbone organique semi-volatile) provenant du combustible non brûlé, des huiles lubrifiantes et des composés formés dans le complexe de la réaction chimique pendant le cycle de combustion.

En termes de résultat sur la santé, la très petite taille des particules diesel est importante car cela signifie qu'il peut atteindre les parties profondes des poumons.

- Les émissions diesel peuvent avoir des effets malins et non malins sur la santé. Ces émissions sont inconfortables de par leurs odeurs désagréables et peuvent être la cause de réduction de visibilité lorsque les particules sont en suspension dans l'air. .

Les effets malins sont généralement le cancer du poumon et, dans une moindre mesure, le cancer de la vessie. Les effets non malins comprennent

- Irritation des yeux et des voies respiratoires
- Toux
- Étourdissements
- Essoufflement
- Maladie cardiaque et pulmonaire
- Asthme

4.11 Nanoparticules

La nanotechnologie implique l'ingénierie de précision des matériaux à l'échelle nanométrique (10^{-9} - 10^{-7} mètres), au point que des propriétés uniques et améliorées peuvent être utilisées. Ces propriétés ont mené au développement de nouveaux produits, procédures et processus ainsi qu'à divers problèmes de santé (AIOH 2013). Les nanomatériaux sont généralement plus toxiques que la substance correspondante de plus grande taille (Toxikos 2009). L'OSHA fournit une liste détaillée des effets sur la santé et des références d'évaluation et de contrôle sur la nanotechnologie (OSHA 2015).

5 EVALUATION DES RISQUES POUR LA SANTÉ

5.1 Introduction

La principale raison justifiant la réalisation d'une évaluation sur le lieu de travail est l'estimation des risques pour la santé des employés. Dans une situation peu favorable, l'évaluation comprendra une exigence supplémentaire :

- Spécifier les étapes permettant d'atteindre une maîtrise adéquate.
- Identifier toute autre action qui se révèle nécessaire.

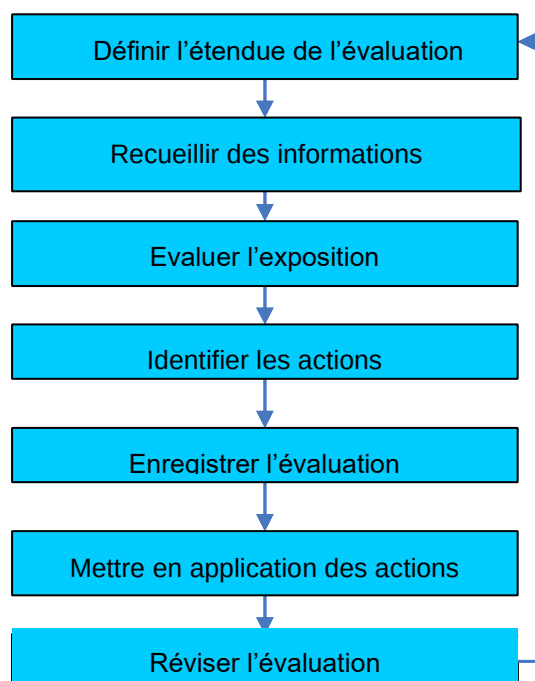
5.2 Dangers et risques

En effectuant une évaluation des risques, il est important de bien comprendre les différences entre dangers et risques.

- Un danger est quelque chose qui peut provoquer un effet nocif s'il n'est pas maîtrisé.
- Le résultat est l'effet nocif qui provient d'un danger non contrôlé.
- Un risque est l'association de la probabilité qu'un résultat particulier se produise et la sévérité de l'effet nocif concerné.

5.3 Évaluation des risques pour la santé

Le processus d'évaluation des risques pour la santé peut être schématisé par le diagramme ci-dessous.



La communication et la consultation sont importantes à toutes ces étapes.

5.3.1 Définition du cadre de l'évaluation

Tout d'abord, il est primordial de définir le processus ou l'activité qui doit être évalué. L'évaluation peut porter sur plusieurs activités, ainsi que sur un ou plusieurs travailleurs en même temps. Il peut également être nécessaire d'évaluer les différents dangers comme faisant partie de différentes évaluations, par exemple les évaluations du bruit sont généralement réalisées séparément des évaluations des risques chimiques, car elles impliquent des approches très différentes. Néanmoins, pour l'évaluation des dangers des produits chimiques, les solvants par exemple, il est souvent possible de regrouper tous les produits chimiques dans une seule évaluation, car ils possèdent des propriétés similaires et nécessitent des maîtrises comparables.

5.3.2 Recueil des informations

L'évaluation des risques pour la santé sur le lieu de travail requiert l'appréciation d'un certain nombre de facteurs dans le processus de prise de décision. Il s'agit notamment de certains ou la totalité des éléments suivants – la première étape consistant à recueillir des informations concernant ces facteurs afin de déterminer si une évaluation approfondie doit être entreprise :

- Nature du processus ou de l'opération, c'est-à-dire en continu ou par lots, à l'intérieur ou à l'extérieur.
- Agents chimiques utilisés et produits (chimiques, biologiques) plus autres agents (bruit, radiations) et facteurs (ergonomiques) présents. Pour les agents chimiques, certains peuvent être exprimés par leur dénomination commerciale, mais leur composition chimique devra être explicitée.
- Il est également important de se rappeler que la plupart des expositions professionnelles à des produits chimiques (inhalation, contact cutané) sont provoquées par des mélanges, et non par des substances isolées. Dans ce cas, les informations au sujet de la composition des mélanges devront être connues.
- Forme des substances (gaz, vapeurs, etc.) et des autres agents ainsi que la détermination de leur localisation sur le lieu de travail ou au cours de la tâche faisant l'objet d'une évaluation.
- Compréhension du ou des effets des agents/facteurs significatifs (chimiques,

physiques, biologiques, ergonomiques) sur l'organisme.

- Connaissance des catégories d'activités professionnelles (par exemple, opérateur, entretien, superviseur, laboratoire) et des caractéristiques de ces emplois pour lesquels des expositions supérieures aux agents chimiques, physiques ou biologiques ou une situation ergonomique nocive peuvent survenir.
- Estimation des expositions et de leur amplitude en comparaison à toute valeur limite d'exposition professionnelle, éventuellement en vigueur.
- Types et amplitudes des expositions professionnelles.
- Organisation du travail/des postes.
- Pratiques opératoires et mesures de précaution recommandées (y compris sécurité intégrée).
- Expériences de santé chez les travailleurs ; il s'agit par exemple de vérifier s'il existe ou s'il est survenu des cas de maladies professionnelles, des incidents, s'il y a eu des plaintes ou des demandes d'indemnisations.
- Toute autre information pertinente. Il est nécessaire par exemple de mettre les observations, les données, etc. en perspective et d'établir leur spécificité par rapport aux pratiques ou aux procédures « normales ».

L'existence d'inventaires et de registres de substances, d'agents non chimiques (par exemple, sources de bruit et de radiations) et des types d'emplois effectués peut être extrêmement utile pour la progression d'une évaluation.

La disponibilité de sources d'informations pertinentes peut également être un avantage considérable, par exemple :

- Fiches de données de sécurité.
- Étiquetage des fabricants.
- Documentation sur les valeurs seuils de l'ACGIH.
- Autres sources publiées (par exemple, nationales, de l'entreprise, associations commerciales, techniques) et non publiées.

5.3.3 Évaluation des risques pour la santé

Après avoir recueilli toutes les informations pertinentes, l'évaluation réelle peut désormais être effectuée. Elle comprend une enquête et une observation approfondies, par exemple

des conditions de travail, des moyens de protection spécifiques et, le cas échéant, des évaluations environnementales (par exemple, surveillance de l'exposition personnelle).

Il faut vérifier l'existence et la mise en œuvre d'un système d'autorisation de travail ainsi que vérifier son cadre d'application et son efficacité du point de vue de la protection de la santé.

Une évaluation doit être « adaptée et suffisante », à savoir qu'elle doit être menée par une « personne compétente », les qualifications de cette personne étant variables d'un lieu de travail à l'autre. Dans certains cas, l'assistance d'un hygiéniste du travail qualifié sera nécessaire du fait de la nature plus complexe du / des risque(s) examiné(s).

L'un des points essentiels à souligner est que le terme « évaluation » n'est pas synonyme de « mesure » ou de « surveillance » des expositions professionnelles, mais comprend des considérations plus larges. Cela couvre notamment les facteurs auxquels il a déjà été fait référence, ainsi qu'une enquête et une observation minutieuses des postes ou des tâches faisant l'objet de l'évaluation.

Par ailleurs, les résultats des mesures d'expositions professionnelles à des agents chimiques, physiques ou biologiques sur le lieu de travail peuvent constituer un élément important de l'évaluation globale. Dans d'autres cas, une telle surveillance n'est pas nécessaire ni adaptée.

5.3.4 Mesure au poste de travail

Dans le cadre de l'évaluation globale des risques pour la santé, Il peut être utile d'obtenir des informations supplémentaires, en particulier en ce qui concerne les niveaux d'exposition. Lorsque la mesure au poste de travail est nécessaire, l'objectif étant de contribuer à assurer la protection de la santé des employés, la stratégie d'échantillonnage adoptée doit être appropriée à la raison ayant initialement motivée la prise d'échantillons. Celle-ci peut prendre la forme d'une mesure initiale d'une ou d'une mesure périodique afin de vérifier à intervalles réguliers que des conditions acceptables y sont maintenues. Une enquête peut également être nécessaire pour évaluer la conformité des expositions par rapports aux normes d'exposition professionnelle.

5.3.5 Identification des actions nécessaires

Lorsque l'évaluation indique un risque pour la santé, il est nécessaire de spécifier les recommandations ou les étapes qui devront être suivies pour atteindre une maîtrise efficace. Il s'agit d'un élément important faisant partie intégrante de l'évaluation, qui NE SERA PAS

considérée comme achevée si cet aspect n'a pas été abordé.

5.3.6 Enregistrement de l'évaluation des risques

Les évaluations sont importantes dans l'approche préventive de la protection de la santé, mais elles ont une valeur limitée à moins qu'elles ne soient consignées par écrit, datées et signées par l'évaluateur. La qualité d'une évaluation est également susceptible d'être améliorée lorsque la vérification des informations verbales relatives aux aspects fondamentaux de l'évaluation peut être obtenue, sous une forme ou une autre, et documentée. Ce rapport peut inclure un rapport d'hygiène du travail. Des exemples sont consultables sur les sites Web BOHS et AIOH.

5.3.7 Réalisation des actions

Il est important de s'assurer que les recommandations émises à la suite d'une évaluation soient correctement retranscrites. De nombreux plans d'actions ne débouchent pas vers une réduction des expositions, car les actions préconisées ne sont pas mises en application.

5.3.8 Revue de l'évaluation des risques

Des réévaluations périodiques doivent être effectuées régulièrement et lorsque que l'on soupçonne que l'évaluation n'est plus valide. Voici les types de facteurs qui devraient déclencher une évaluation plus poussée:

Changements importants de:

- substances / agents impliqués et / ou de sources d'émission.
- équipements par ex. contrôle d'ingénierie modifié.
- processus ou de méthodes de travail.
- volume ou de taux de production.

Résultats négatifs de:

- Mesure de l'exposition personnelle.
- Surveillance médicale (par exemple, audiométrie, surveillance biologique).
- Mesure du contrôle du processus (par exemple, les émissions fugitives).
- Cas de maladie professionnelle.

Nouvelles informations sur le (s) risque (s) pour la santé des agents chimiques, physiques ou biologiques.

En l'absence de changements connus / de résultats défavorables / de cas / de nouvelles informations, la période entre les réévaluations devrait dépendre de la nature du (des) risque (s). Le travail et un jugement sur la probabilité de changements. Quoi qu'il en soit, il est suggéré que toutes les évaluations soient revues au moins tous les deux ans.

5.3.9 Communication / Consultation

À plusieurs étapes du processus d'évaluation des risques, il sera nécessaire de communiquer et / ou de consulter les parties prenantes telles que les travailleurs susceptibles d'être exposés, les superviseurs, les ingénieurs et les autres personnels de santé et de sécurité.

5.4 Systèmes experts et gestion graduée des risques (control banding)

Il existe un certain nombre de systèmes experts développés pour aider les employeurs à entreprendre les évaluations des risques pour la santé. Ces systèmes font tous appel à une approche dite « gestion graduée des risques ». La gestion graduée des risques comporte les étapes suivantes.

Classification des dangers – Les caractéristiques des dangers, notamment phrases de risque, limites d'exposition professionnelle (OEL/VLEP) et description des dangers, sont utilisées pour classer les matériaux en groupes ou niveaux de risque.

Évaluation du potentiel d'exposition – Des modèles simplifiés sont utilisés pour évaluer le niveau d'exposition correspondant à une tâche, sans effectuer de mesure d'exposition.

Sélection de l'approche des moyens de maîtrise – Ils sont automatiquement sélectionnés en utilisant des règles et des directives prédéterminées. En fonction de l'approche par niveau adopté, des règles et des directives auront été émises et vérifiées par un certain nombre d'hygiénistes du travail qualifiés. L'approche du moyen de maîtrise est décrite en sélectionnant un document dans une bibliothèque préétablie de fiches de directives.

L'outil ILO est un exemple de ce type d'approche par control banding. Cet outil est un programme disponible sur internet. Il a été initialement développé par COSHH Essentials au Royaume-Uni.

6 MESURES DES CONTAMINANTS AEROPORTES

6.1 Principes généraux

États physiques – La matière peut prendre trois états physiques :

- gazeux ;
- liquide ;
- solide.

Tous les matériaux peuvent exister dans ces trois états ou sous forme de mélange de ces états. Ainsi, une boisson froide peut contenir de l'eau sous forme liquide, mais également de la glace (la forme solide de l'eau), et l'air situé au-dessus de la boisson est un gaz qui contient une certaine proportion d'eau (sous forme de vapeur). En fonction de la substance considérée et du type d'activité réalisée, le matériau en question sera présent sous une forme différente.

Vapeur – État gazeux d'une substance qui est liquide à 25 °C et 760 mm Hg (température et pression standard).

Brouillard – Particules liquides, de grande taille, généralement produites par bouillonnement, éclaboussement ou ébullition d'un liquide.

Fumée – Particules solides produites par condensation d'un liquide ou d'une réaction entre deux gaz. La taille des particules d'une fumée est inférieure à un micron de diamètre, toute particule de taille supérieure est considérée comme une particule de poussière.

Poussière – Particules de matériau solide de taille importante comprise entre un micron et 1 mm de diamètre. Toute particule de taille supérieure est considérée comme un grain et sera trop lourde pour rester en suspension dans l'air.

Aérosol – Terme générique désignant la dispersion de particules solides ou liquides de taille microscopique dans un milieu gazeux, par exemple fog, fumée, etc. bien que ce terme soit fréquemment utilisé pour désigner une pulvérisation liquide fine (par exemple, « bombes aérosols »).

Fibre – Particule solide fine et allongée c'est-à-dire présentant un rapport longueur/largeur élevé.

REMARQUE : le micron (μm) est une unité de longueur correspondant à un millionième de mètre ou 1/1 000 de millimètre.

Il n'est pas surprenant que différentes techniques d'échantillonnage soient nécessaires pour chacun des états de la matière décrits ci-dessus.

6.1.1 Techniques d'échantillonnage

Fondamentalement, toute technique de mesure doit être appropriée à l'objet de la mesure. Cela signifie qu'elle doit pouvoir fournir les informations nécessaires pour que des décisions soient prises sur la base des données recueillies.

« Mesure » ou « échantillonnage » sont des termes signifiant l'utilisation de techniques d'hygiène du travail valides et adaptées pour obtenir une estimation quantitative de l'exposition des employés à des substances dangereuses pour la santé. Seules des méthodes validées doivent être utilisées ; celles-ci sont publiées par des organisations telles que le HSE au Royaume-Uni et le NIOSH aux États-Unis. Les autres pays possèdent également des méthodes et dans certains cas elles sont spécifiées comme devant être obligatoirement appliquées dans la législation locale. Dans le cas de contaminants aéroportés, la surveillance comprend des échantillonnages périodiques ou permanents de l'atmosphère sur le lieu de travail et nécessitera généralement des échantillonnages dans la zone de respiration de l'opérateur par l'intermédiaire d'un équipement d'échantillonnage individuel.

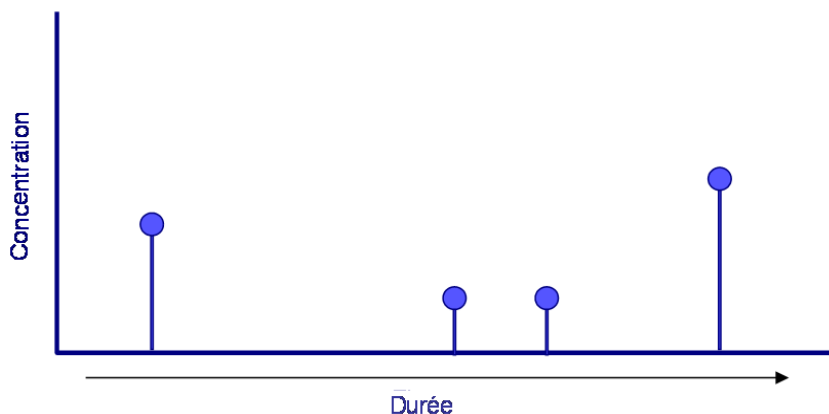
Outre la mesure personnelle, une mesure fixe ou statique peut fournir des informations, certes limitées, sur l'exposition individuelle. Cependant, cette procédure fournira une orientation sur les sources des contaminants, l'efficacité des mesures de contrôle et les concentrations atmosphériques générales dans le lieu de travail.

6.1.2 Types d'échantillonnage

Il existe cinq types principaux d'échantillonnage :

Échantillonnage instantané

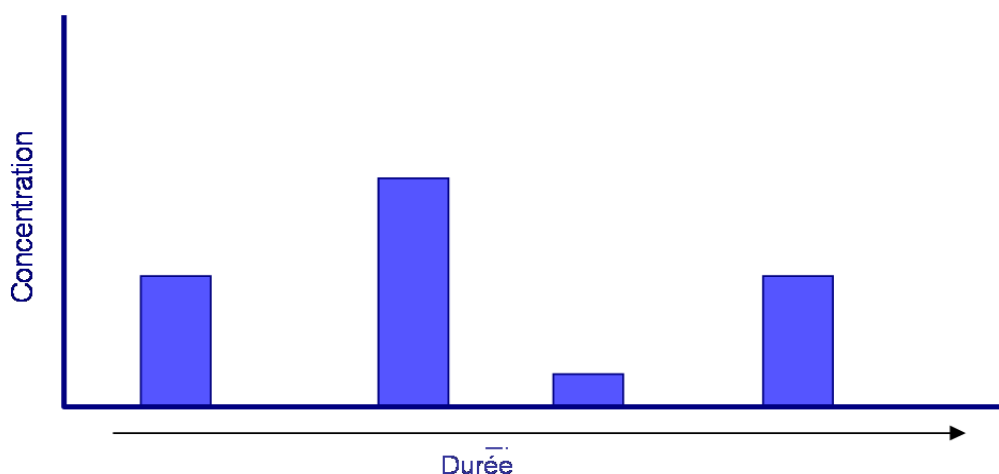
L'échantillonnage instantané ou ponctuel peut être utilisé comme technique de dépistage ; il fournira la concentration d'un contaminant à un moment donné et dans un lieu spécifique, et contribuera à confirmer la présence et/ou identifier un contaminant suspecté.



Source : Adrian Hirst

Mesure court terme

La mesure court terme déterminera les concentrations sur une période de temps brève, généralement jusqu'à 10 - 15 minutes. Les résultats sont normalement calculés par moyenne pondérée dans le temps et peuvent être comparés avec les valeurs limites d'exposition à court terme recommandées qui sont pertinentes (en particulier les valeurs limites d'exposition professionnelle, VLEPct) et pour quantifier des expositions à des dangers aigus, par exemple le cadmium.

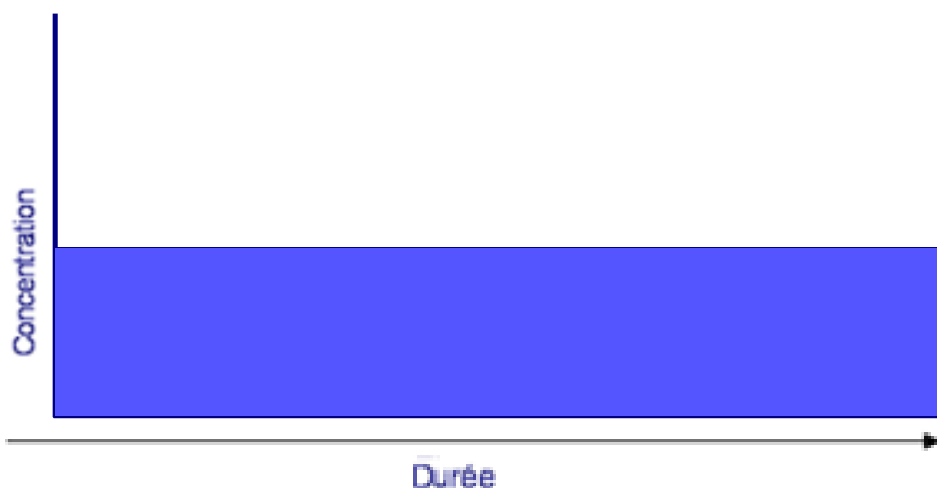


Source : Adrian Hirst

Mesure long terme

La mesure long terme est déterminée de façon identique sur la base de la moyenne pondérée dans le temps et comparée aux valeurs limites recommandées à long terme (sur 8 heures VLEP8h). La mesure porte sur des demi-journées (4 h), le temps nécessaire pour effectuer une opération spécifique ou le poste complet (période nominale de 8 heures) et

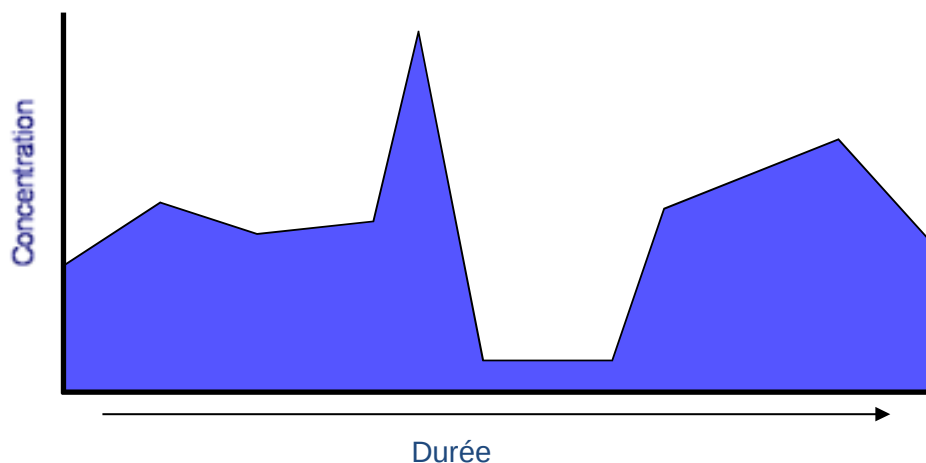
normalement les périodes de temps observées.



Source : Adrian Hirst

Mesure continue

La mesure indiquera les variations des concentrations et sera similaire à l'échantillonnage instantané dans la mesure où elle permettra d'identifier les niveaux maximums ainsi que les concentrations et les expositions moyennes.



Source : Adrian Hirst

Echantillonnage global

Dans certaines circonstances, un échantillonnage global des substances manipulées sera également effectué et analysé à des fins d'identification. Par contre, il n'est pas possible de lier les résultats des échantillonnages globaux aux échantillons de particules aéroportées collectés. Néanmoins, avec certains contaminants, par exemple l'amiante, l'échantillonnage global est une partie essentielle du processus d'identification.

Les types d'échantillonnage décrits ci-dessus et les valeurs limites d'exposition indiquées dans la directive EH40 du Royaume-Uni (ou d'autres législations) sont basés sur la supposition que l'inhalation est la voie principale de pénétration dans l'organisme. Cependant, l'absorption cutanée et l'ingestion peuvent également se produire, et la seule méthode sûre permettant de mesurer l'exposition à ces substances pénétrant dans l'organisme par ces voies est d'appliquer la surveillance biologique. Généralement, ces méthodes mesurent la quantité d'une substance ou de l'un ou plusieurs de ses métabolites dans l'un ou l'autre des deux liquides corporels accessibles – le sang ou l'urine. Les détails de telles techniques d'échantillonnage seront abordés dans la Section 8 de ce manuel.

Les mesures des substances particulières à un moment déterminé ne donnent des indications que sur une partie de la situation, et il doit être rappelé que la concentration peut varier au fur et à mesure des changements du processus. Des stratégies d'échantillonnage convenables doivent être adoptées pour décider quels groupes de travailleurs, quelle localisation dans l'usine et quels postes doivent être surveillés.

L'une des premières questions que vous devez vous poser au sujet de la technique d'échantillonnage concerne les résultats que vous en retirerez. Quelles sont les normes par rapport auxquelles ces résultats seront comparés ?

6.2 Équipement d'échantillonnage

Le choix de l'équipement ou des dispositifs d'échantillonnage dépend de plusieurs facteurs. Cela inclut notamment la capacité d'être transporté, la facilité d'utilisation, l'efficacité du dispositif, la fiabilité, le type d'analyse ou d'information recherché, l'adaptation à une fonction spécifique et l'acceptabilité de l'utilisateur lorsqu'une surveillance personnelle doit être effectuée. L'échantillonneur ne doit affecter les performances des travailleurs en aucune manière ; il doit être confortable à porter et ne pas gêner les mouvements effectués ni modifier ses habitudes de travail. Il ne doit pas non plus être un danger pour le travailleur ou pour la zone, c'est-à-dire que l'équipement doit être intrinsèquement sûr.

Aucun équipement ne pourra être adaptée à tous les types d'échantillonnage. La tendance est de produire des moniteurs spécifiques à des contaminants ou à des groupes de contaminants particuliers.

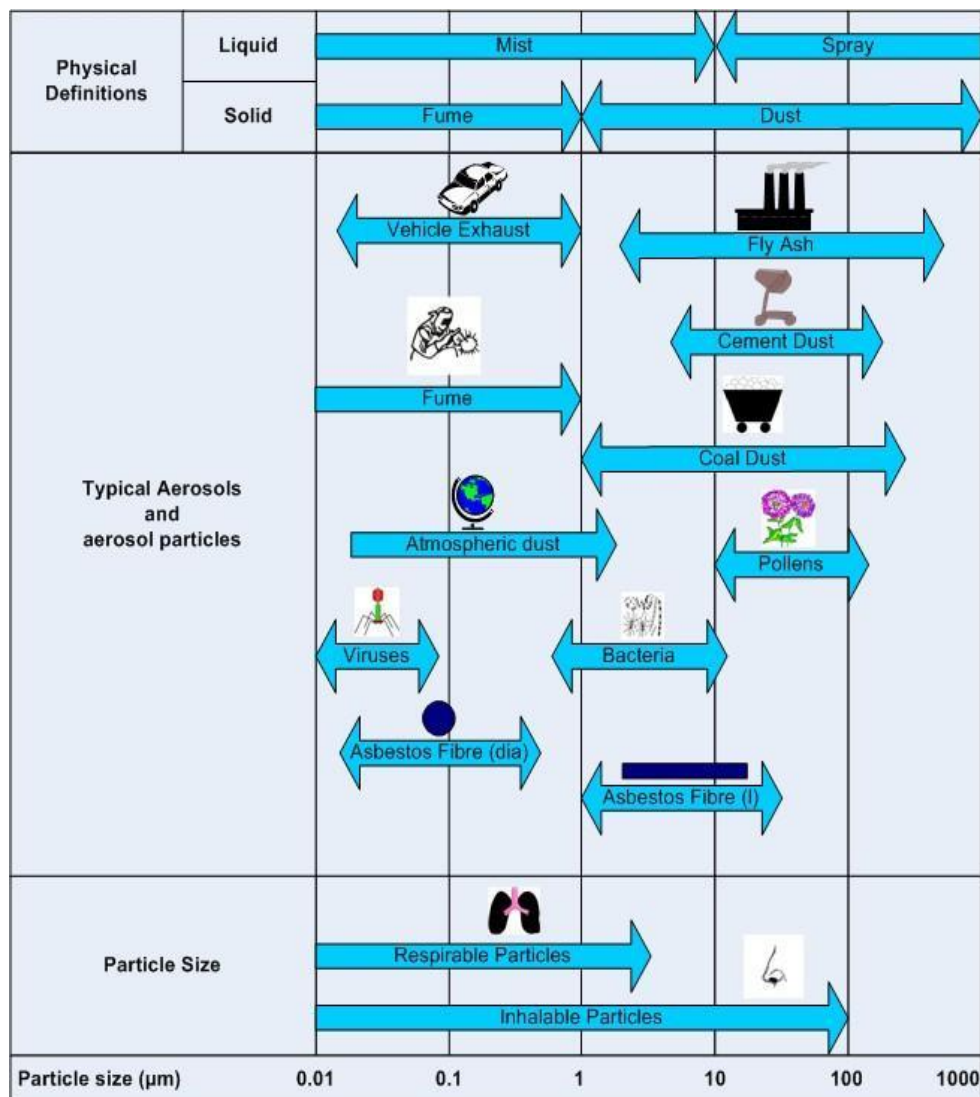
6.3 Enregistrement des mesures

Toutes les informations relatives à l'échantillonnage réalisé doivent être enregistrées et conservées. L'enregistrement doit indiquer quand la mesure a été réalisée, les personnes et le lieu ayant fait l'objet de la surveillance, les détails de l'équipement utilisé, les opérations en cours au moment de la surveillance et les résultats obtenus. Dans la plupart des pays, les enregistrements de la surveillance doivent être mis à disposition des employés ou de leurs représentants.

6.4 Échantillonnages des particules aéroportées

6.4.1 Taille des particules

La plupart des aérosols industriels contiennent des particules de taille variable.



Source : Adrian Hirst

Figure 6.1 – Taille des particules

Le comportement, le dépôt et le devenir des particules après leur entrée dans l'appareil respiratoire, ainsi que la réponse de l'organisme, dépendent de leur nature, c'est-à-dire de leur solubilité et de la taille des particules. D'une manière générale, il existe deux fractions de taille présentant un intérêt particulier pour les hygiénistes du travail : les particules *inhalables totales* et les particules *respirables*.

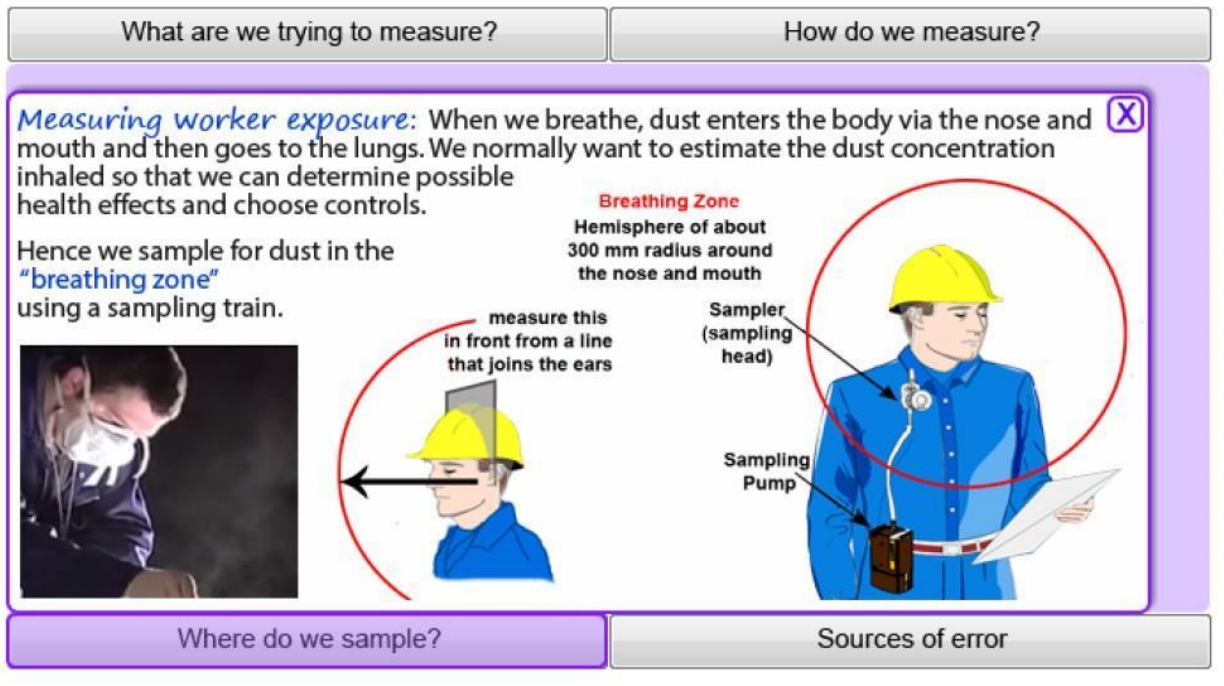
La poussière totale inhalable est la fraction de matière en suspension dans l'air qui pénètre dans le nez et la bouche pendant la respiration. Elle est donc susceptible de se déposer n'importe où dans les voies respiratoires. La taille des particules de poussières inhalables totales est de 50% à 100 microns (ISO 1995). Cela signifie que 50% des particules de 100µm sont collectées lors de l'échantillonnage. Plus les particules grossissent, moins de pourcentage est recueilli. Une taille maximale n'est pas définie.

La poussière respirable est cette fraction qui pénètre dans le poumon profond où l'échange de gaz a lieu. La taille des particules de poussière respirable a une coupe de 50% d'environ 4 µm jusqu'à un maximum de 16 µm (ISO 1995) (ISO 7708).

Il importe de comprendre que le comportement des particules dépend d'un certain nombre de facteurs dont la taille et la densité des particules, la vitesse et la direction du vent, la vitesse de la respiration et si celle-ci s'effectue par le nez ou par la bouche. En pratique, le nombre (et la masse) des particules > 50 microns dans un nuage de poussières aéroportées typique est faible.

6.4.2 Éléments d'un système d'échantillonnage

Lors de la surveillance individuelle des particules aéroportées, on utilise un système d'échantillonnage, lequel se compose de trois éléments principaux. Il s'agit de la pompe, du filtre et de la tête d'échantillonnage. La pompe est utilisée pour aspirer l'air dans la tête d'échantillonnage et collecter toutes les particules sur un filtre.



Source : SKC Limited as amended by Michelle Wakelam

Figure 6.2 – Éléments d'un système d'échantillonnage

La pompe est un dispositif alimenté par batteries et porté par le travailleur. La pompe doit fonctionner à débit constant (généralement entre 1 et 2,5 l par minute) pendant des périodes prolongées (jusqu'à 12 heures). L'étalonnage de la pompe ainsi que la mesure de la durée d'échantillonnage nous permettent de calculer le volume d'air prélevé.

Les filtres doivent être en mesure de collecter tous les matériaux particuliers avec lesquels ils entrent en contact et, parallèlement, doivent être compatibles avec toutes les techniques d'analyse ultérieures. Généralement, il s'agit de filtres en fibres de verre et de filtres à membrane. Lorsque l'analyse concerne la poussière, un filtre de fibres de verre est utilisé. Les filtres sont pesés avant et après utilisation, afin de déterminer le changement de poids. Ce changement de poids peut être utilisé avec le débit et la durée d'échantillonnage pour calculer l'exposition, à l'aide de l'équation ci-dessous.

$$\text{Concentration (mg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Augmentation du poids (mg)} \times 1\,000}{\text{Débit (litre/minute)} \times \text{Temps (minutes)}}$$

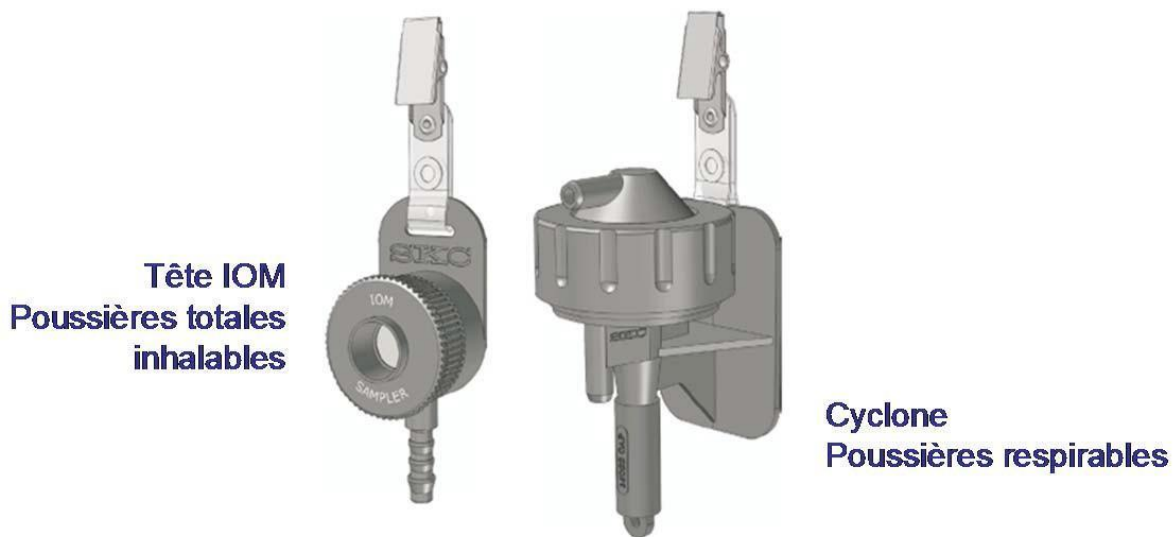
Note explicative – le chiffre 1 000 au numérateur de cette formule est nécessaire pour convertir le volume de l'échantillon de litres en m³.

La formule ci-dessus peut également être exprimée de la façon suivante :

$$\text{Concentration (mg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Augmentation du poids (}\mu\text{g)}}{\text{Débit (litre/minute)} \times \text{Temps (minutes)}}$$

où le gain de poids est exprimé en microgrammes (μg).

La tête d'échantillonnage permet au filtre d'être maintenu en position correcte, mais peut également agir comme séparateur de tailles. Les poussières inhalables totales sont généralement mesurées en utilisant la tête d'échantillonnage IOM, bien que d'autres dispositifs soient également disponibles. Les poussières respirables sont mesurées à l'aide d'un cyclone qui présélectionne et élimine les particules les plus importantes avant qu'elles n'atteignent le filtre.



Source : SKC Limited

Figure 6.3 – Tête d'échantillonnage de poussières inhalables IOM (à gauche) et tête d'échantillonnage de poussières respirables cycloniques (à droite)

6.5 Échantillonnage des gaz et des vapeurs

6.5.1 Équipement d'échantillonnage

La majorité des échantillonnages atmosphériques des gaz et des vapeurs sont effectués en utilisant des méthodes actives, c'est-à-dire avec des dispositifs comprenant une pompe d'échantillonnage mécanique. L'atmosphère à surveiller est aspirée par la pompe à travers

un support de filtration ou adsorbant pendant une période déterminée, à un débit fixe.

Pour les gaz et les vapeurs, un autre type d'échantillonneur a été développé, décrit comme « passif ». En fait, les échantillonneurs passifs agissent par diffusion de l'air à travers une membrane perméable sur un matériau adsorbant solide pour des analyses ultérieures.

Les principaux types d'équipements pouvant être utilisés pour les quatre grandes techniques d'échantillonnage sont récapitulés dans les tableaux ci-dessous. Ils proposent un bref aperçu de leur mode de fonctionnement et de leurs principaux avantages et inconvénients. Cependant, les listes ne sont pas exhaustives, car il en existe de nombreux types différents, adaptés aux différentes tâches à réaliser.

Pour l'échantillonnage d'une vapeur, nous devons nous rappeler que la quantité de vapeur produite par un liquide est principalement fonction du point d'ébullition des liquides. Si une substance s'évapore facilement, elle sera généralement qualifiée de « volatile ».

Plus le point d'ébullition d'une substance est bas, plus la quantité de vapeur produite sera importante. Cependant, le poids moléculaire et la structure de la substance sont également des facteurs décisifs. D'autres paramètres peuvent également affecter la production et la quantité de vapeur :

1. Surface.
2. Mouvements de l'air, agitation et éclaboussures.
3. Température.

Équipements utilisés pour un échantillonnage instantané

Type d'équipement	Mode de fonctionnement	Avantages	Inconvénients
Tubes détecteurs	Une réaction chimique produit un changement de couleur.	Résultats instantanés, facile à utiliser.	Peu précis, les tubes sont souvent non spécifiques.
Sacs, seringues et récipients d'échantillonnage de gaz	Les pompes sont utilisées pour remplir un sac ou un récipient à envoyer pour analyse.	Simple, facile, peu coûteux.	Aucun effet de concentration, des pertes peuvent survenir. Non instantanés.

Bandes de papier / filtres imprégnés	L'air est aspiré à travers un papier imprégné de réactif chimique produisant un changement de couleur.	Lecture directe, peuvent être utilisés pour d'autres techniques d'échantillonnage.	Les couleurs peuvent passer. Les échantillonneurs personnels sont volumineux. Non spécifiques.
Détecteurs électrochimiques	Une substance interagit avec une cellule de détection électrochimique.	Lecture directe, facile, léger. Également utilisés pour d'autres techniques d'échantillonnage.	Coûteux, étalonnage nécessaire, non spécifiques.
Analyseur de vapeur de mercure par film d'or	Les vapeurs de mercure augmentent la résistance d'un capteur constitué d'un film d'or.	Simple, léger, spécifique.	Coûteux, nécessite un nettoyage et un étalonnage réguliers.

Équipements utilisés pour un échantillonnage à court terme et à long terme

Type d'équipement	Mode de fonctionnement	Avantages	Inconvénients
Échantillonneurs à pompe avec piège constitué d'absorbants solides, par exemple charbon ou Tenax	L'air est aspiré à travers un tube sur lequel les substances recherchées sont collectées.	Précis, fiables, utilisés dans de nombreuses méthodes officielles.	Nécessitent des systèmes d'analyse complexes, résultats non instantanés.
Échantillonneurs diffusifs	Les contaminants diffusent à travers une membrane sur le lit sorbant du matériel filtrant.	Petits, robustes, peu onéreux, acceptables pour les opérateurs.	Peuvent nécessiter une validation dans les conditions de terrain. Nécessitent des systèmes d'analyse complexes. Résultats non instantanés.
Dispositifs de barbotage / impacteurs	L'air barbote à travers un solvant ou une solution réactive.	La solution obtenue peut être analysée directement.	Le porteur est muni d'un flacon de verre. Les dispositifs sont encombrants, des pertes peuvent survenir.

Équipements utilisés pour un échantillonnage continu

Type d'équipement	Mode de fonctionnement	Avantages	Inconvénients
Ionisation de flamme, par exemple analyseur de vapeurs organiques ou analyseur de vapeurs totales	La combustion des substances organiques dans une flamme d'air ou d'hydrogène produit des ions – détectés par des électrodes et convertis en un voltage.	Portable, généralement intrinsèquement sûr.	Limitation pour la variété et la spécificité des contaminants.
Infrarouge, par exemple analyseur Miran	L'absorption des rayons infrarouges est utilisée pour mesurer la concentration de la substance.	Semi-portable, limitation pour les composants qu'il peut détecter.	Encombrant, non intrinsèquement sûr.
Ultraviolet	Absorption des rayons ultraviolets.	Portable.	Interférences, étalonnage, non intrinsèquement sûr.

6.5.2 Méthodes d'échantillonnage

Pour décider du type d'échantillonnage, de nombreux facteurs doivent être pris en compte. Un certain nombre, notamment le lieu et la durée de l'échantillonnage, a brièvement été mentionné. Cependant, une connaissance approfondie des processus impliqués et des contaminants susceptibles d'être analysés prédomine sur toute autre considération. La réalisation d'un travail minutieux permet dans ce cas de minimiser la quantité d'échantillons prélevés par la suite, et d'optimiser la validité/qualité des résultats. Le type de méthode analytique à utiliser et les critères de comparaison avec les évaluations sont également des facteurs importants.

Des méthodes validées d'échantillonnage et d'analyse, comme celles publiées par le HSE dans leurs séries MDHS *Methods for the Determination of Hazardous Substances*, et par le NIOSH *National Institute of Occupational Safety and Health*, doivent être utilisées lorsque cela est possible.

Toutes les instructions incluses dans ces méthodes, notamment le débit des pompes d'échantillonnage, le calendrier d'étalonnage et les moyens appropriés pour le recueil des échantillons (par exemple, support adsorbant, papier filtre), etc. doivent être strictement respectées pour que les méthodes d'échantillonnage soient valides.

En outre, les points suivants doivent être résolus avant le début de l'échantillonnage :

Quantité de produit nécessaire

- L'analyste doit recevoir suffisamment de produits pour garantir un résultat exact et représentatif.
- L'analyste doit toujours être consulté avant d'échantillonner pour discuter de la quantité nécessaire, du conditionnement, du transport, du stockage, etc.

Manipulation des échantillons

Une manipulation et un transport inappropriés des échantillons peuvent entraîner des pertes ou une contamination. Les facteurs à prendre en compte comprennent le type de récipient utilisé ainsi que toutes les conditions relatives à la conservation à des températures basses ou à l'abri de la lumière du soleil. Des conseils peuvent généralement être obtenus auprès du laboratoire effectuant l'analyse.

6.5.3 Échantillonnage en point fixe

Cette méthode peut être employée pour fournir des informations sur la contamination par des sources fixes et l'efficacité des moyens de maîtrise, par exemple une ventilation locale par aspiration. Il est possible d'avoir recours à un appareil similaire à celui utilisé ci-dessus pour l'échantillonnage en position fixe ainsi que des pompes d'échantillonnage plus volumineuses permettant des débits pouvant aller jusqu'à 100 litres par minute. Des précautions doivent être prises pour l'interprétation des résultats, dans la mesure où la taille des particules collectées peut être différente à des débits supérieurs. En outre, les échantillons prélevés en position fixe ne peuvent pas être utilisés pour établir des expositions du personnel ou être comparés à des normes d'hygiène (limites).

6.6 Stratégies d'échantillonnage

D'abord, nous devons comprendre les raisons de la mesure; celles-ci sont indiquées ci-dessous. La mesure de l'exposition individuelle est la plus importante pour l'hygiéniste du travail. D'autres raisons seront toutefois abordées brièvement.

6.6.1 Identification des contaminants aéroportés

L'identification des contaminants aéroportés requiert une technique d'échantillonnage qui recueille un échantillon représentatif. La technique elle-même reste similaire à celles qui ont déjà été décrites, bien que certaines modifications puissent être nécessaires pour s'assurer

qu'une quantité suffisante d'échantillon soit recueillie pour la technique d'analyses ultérieure.

6.6.2 Fuites et dispersions

Les fuites et les dispersions exigent un instrument à lecture continue qui délivre une réponse rapide. Ce type d'équipement est normalement employé pour les gaz inflammables. Il est en usage éventuellement, pour les atmosphères présentant un déficit en oxygène, bien que les gaz exposant à des risques aigus pour la santé, par exemple le sulfure d'hydrogène, le chlore, etc., puissent nécessiter une surveillance de ce type. L'équipement utilisé peut être portable ou fixe.

6.6.3 Évaluation de l'efficacité des moyens de maîtrise

Cette phase devrait normalement être effectuée en utilisant des dispositifs d'échantillonnage en position fixe fournissant des concentrations moyennes pondérées dans le temps. L'échantillonnage peut être répété périodiquement et les résultats comparés. Des précautions doivent être prises pour s'assurer que les conditions de travail sont les mêmes au cours de chaque mesure. Un équipement de mesure continue peut être employé pour évaluer tout changement survenant sur de courtes périodes.

6.7 Méthodes d'analyse

Il existe de nombreuses techniques d'analyses disponibles pour évaluer les contaminants aéroportés. Un grand nombre d'entre elles constituent des disciplines scientifiques spécifiques et nécessitent des analystes ou des techniciens formés et expérimentés. Toutes les techniques ne peuvent pas être appliquées pour tous les contaminants, mais la plupart des groupes chimiques peuvent être analysés par des méthodes similaires. Les principales méthodes sont présentées ci-dessous:

6.7.1 Vapeurs organiques

Les vapeurs organiques représentent les contaminants les plus fréquents dans un grand nombre de secteurs de l'industrie, par exemple peintures, revêtements et nettoyants. Elles sont normalement prélevées à l'aide d'un tube absorbant, qui est ensuite soumis à une désorption soit par chaleur soit par purge directe dans un appareil de chromatographie gazeuse (GC) disposant d'une détection par ionisation de flamme (FID), ou par désorption dans un solvant puis injection ultérieure de parties aliquotes dans la couche liquide d'un appareil de chromatographie gazeuse (GC). Les deux techniques sont bien installées. Elles peuvent utiliser des procédures d'échantillonnage automatique et des systèmes de contrôle

de données informatisés, de telle sorte que de multiples échantillons puissent être analysés, et que la procédure d'analyse puisse être effectuée 24 heures sur 24.

6.7.2 Gaz inorganiques

Des techniques spécifiques sont exigées pour chaque gaz individuel ; en effet, certains peuvent être analysés par GC/conductivité thermique, les sulfures gazeux nécessitent des méthodes photométriques et microcoulométriques, le monoxyde et le dioxyde de carbone peuvent être détectés par les infrarouges et les oxydes d'azote et d'ozone par chimioluminescence. En pratique, il est souvent plus facile de mesurer les gaz inorganiques à l'aide de dispositifs à lecture directe ne nécessitant pas d'analyse.

6.7.3 Matières particulaires organiques

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH) particuliers sont collectés sur un papier-filtre, puis le solvant est extrait et analysé par chromatographie liquide à haute performance (HPLC). Les brouillards huileux sont collectés de façon identique et peuvent être analysés par gravimétrie ou qualitativement par infrarouges (IR) ou ultraviolets (UV).

6.7.4 Métaux et leurs composés

Les fumées métalliques sont collectées sur un papier-filtre puis analysées par absorption atomique (AA) ou par spectroscopie à plasma d'arc à couplage inductif (*Inductively Coupled Plasma Arc Spectroscopy*, ICP).

6.7.5 Poussières minérales

La détermination de l'amiante dans l'air fait appel à une technique spécialisée comportant le recueil d'un échantillon sur un filtre à membrane d'ester de cellulose. L'analyse est conduite par comptage du nombre de fibres d'amiante présentes sur le filtre, effectué en microscopie par contraste de phase. La silice cristalline est collectée de façon similaire, puis le filtre est analysé quantitativement soit par diffraction des rayons X (XRD) soit par infrarouges.

6.7.6 Les particules diesel (Diesel Particulate Matter DPM) mesurée en carbone élémentaire

Les particules de diesel sont recueillies sur un filtre en fibre de quartz de 37 mm. Pour la mesure des particules de diesel dans les mines de charbon, un cyclone et un impacteur avec un point de coupure submicrométrique sont nécessaires pour minimiser la collecte de poussière de charbon. Un cyclone et / ou un impacteur peut être nécessaire dans d'autres lieux de travail si des poussières contenant du carbone élémentaire sont présentes.

L'échantillon est analysé par analyse thermo-optique avec un détecteur à ionisation de flamme (FID). Le carbone total est déterminé à l'aide du carbone élémentaire déclaré comme substitut le plus approprié pour les particules de diesel.

6.8 Calibration et contrôle qualité

Afin d'obtenir des résultats fiables, l'analyse des échantillons recueillis ne doit être effectuée que par des organisations disposant de systèmes de contrôle qualité internes adaptés. En outre, celles-ci doivent participer à des programmes externes d'évaluation des performances adaptés, notamment WASP ou RICE (Royaume-Uni) ou PAT (États-Unis). Dans de nombreux pays, les performances des laboratoires peuvent être évaluées de manière indépendante par un organisme d'accréditation indépendant, par exemple UKAS (Royaume-Uni) ou NATA (Australie).

De plus en plus, l'accent doit être mis sur la « chaîne de traçabilité » (CoC) des échantillons, de telle sorte qu'un lien puisse être mis en évidence entre les dispositifs placés sur les opérateurs et les échantillons réellement analysés.

7 REFERENCES / NORMES D'HYGIÈNE & VALEUR LIMITE D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE (VLEP)

7.1 Introduction

Nous avons vu que la plupart des agents chimiques et physiques rencontrés dans l'industrie aujourd'hui étaient potentiellement nocifs s'ils n'étaient pas manipulés de manière appropriée ou s'ils étaient présents en quantité excessive dans l'environnement de travail. L'objectif de l'hygiène est de prévenir ou de réduire l'exposition à ces agents.

Les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP / OEL Occupational Exposure Limit) sont des valeurs de référence auxquelles les expositions aux agents chimiques et physiques dans l'environnement du lieu de travail peuvent être comparées. Un certain nombre de points essentiels doivent cependant être rappelés au sujet des normes d'hygiène du travail :

- Elles ne constituent pas un index de toxicité.
- Elles ne démarquent pas finement la bonne pratique et la mauvaise pratique.
- Elles sont fondées sur les meilleures informations disponibles à ce jour et sont susceptibles de changer.
- Si une référence en hygiène n'est pas fixée pour une substance chimique, cela ne signifie pas que la substance est non dangereuse.
- Les bonnes pratiques d'hygiène du travail consistent à maintenir les contaminants aéroportés à un niveau aussi faible que possible, et non pas juste au-dessous de la norme correspondante.
- Elles s'appliquent à l'exposition professionnelle des adultes. Elles ne sont pas applicables pour l'exposition environnementale de groupes plus sensibles, par exemple, les femmes enceintes, les enfants, les infirmes.
- Pour les substances chimiques, elles sont généralement liées aux concentrations dans l'air; elles ne prennent en compte que l'inhalation comme voie de pénétration.
- Elles font généralement référence à des substances isolées, bien que certaines directives puissent être données sur des expositions combinées.

7.2 Établissement des références d'hygiène et des valeurs limites d'exposition

Il existe trois types principaux de normes en hygiène du travail, celles relatives aux agents chimiques, notamment les gaz, les vapeurs, les fumées, les brouillards, les poussières et les

aérosols ; celles qui portent sur les agents physiques, comme le bruit, les vibrations, la chaleur, le froid et les radiations (ionisantes et non ionisantes) et enfin les indices d'exposition biologique.

Pour fixer les normes d'hygiène concernant des agents dangereux, les effets que ces agents peuvent avoir sur l'organisme doivent être pris en considération :

- Contact.
- Effets toxiques locaux au niveau du site de contact (peau, œil, voies respiratoires...).
- Absorption.
- Transport, métabolisme, stockage.
- Effets toxiques systémiques, à distance du point de contact (tous les systèmes organiques, notamment le sang, les os, le système nerveux, les reins, etc.).
- Excrétion.
- Toxicité aiguë, c'est-à-dire les effets indésirables survenant à la suite d'une durée d'exposition brève à une dose unique, ou à des doses multiples pendant 24 heures ou moins, par exemple irritation, asphyxie, narcose.
- Toxicité chronique, c'est-à-dire les effets indésirables survenant à la suite d'une exposition quotidienne répétée sur une période prolongée (semaines, années), notamment intoxication systémique, fibrose pulmonaire, cancers, perte de l'audition liée à l'exposition au bruit.

Les données pour l'établissement des normes hygiéniques reposent sur l'utilisation des outils suivants :

- Études chez l'animal.
- Recherche et expérience chez l'homme
- Épidémiologie (étude statistique de données pathologiques par groupes d'individus).
- Analogie à des types ou groupes de substances similaires

Il existe également une variabilité biologique ; les personnes (ou les animaux) réagissent différemment à la même dose d'un agent chimique ou physique (hypersensibilité, résistance moyenne). Par conséquent, la relation dose-réponse doit être prise en considération.

7.3 Normes d'hygiène du travail pour les agents chimiques

Seuls quelques pays disposent d'organisations dotées des moyens appropriés pour déterminer et examiner en permanence les valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques. La plupart des pays ont fondé leurs recommandations sur l'un des ensembles suivants de valeurs limites d'exposition professionnelle :

Valeur limite	Pays / Union
TLV – Threshold Limit Value (valeur seuil)	États-Unis
MAK - Maximale Arbeitsplatz-Konzentration (concentration maximale sur le lieu de travail)	Allemagne
MAC	Russie
WEL – Workplace Exposure Limit (valeur limite d'exposition professionnelle)	Royaume-Uni
IOELVs (Indicative Occupational Exposure Limit Value) (valeur limite d'exposition professionnelle indicative)	Europe
OES – Occupational Exposure Standards (normes d'exposition professionnelle)	Australie
WES – Workplace Exposure Standards (normes d'exposition professionnelle)	Nouvelle-Zélande
VLEP 8h – VLEP court terme – VLEP Plafond	France

7.3.1 Quantification des concentrations aériennes des agents chimiques

Les contaminants aéroportés peuvent être quantifiés de plusieurs manières, en fonction des normes d'hygiène correspondantes :

- Par volume – concentration atmosphérique en parties par million (ppm) ;
- Par poids – milligramme de substance par mètre cube d'air (mg/m^3).

Il existe une corrélation entre les ppm et les $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$:

Concentration par poids (mg/m^3) = Concentration par volume (ppm) × Poids moléculaire

24,06

à 20 °C et 760 mm Hg (une pression atmosphérique)

Remarque: Dans l'équation ci-dessus, le volume molaire (24,06) variera avec la température et la pression, par exemple à 25 ° C et 1 atmosphère à 24,45. Différentes organisations utilisent des températures et des pressions différentes afin que les élèves

soient au courant de la pratique utilisée dans leur pays.

- Numérique – pour les fibres, fibres par millilitre d'air (fibres/ml).

7.3.2 Catégories de valeurs limites d'exposition

Les valeurs limites d'exposition à long terme sont exprimées en moyenne pondérée dans le temps (VLEP8h /TLV TWA) généralement sur une période de huit heures. Cela permet une variation des expositions au cours de la journée de travail pendant une durée au cours de laquelle l'exposition moyenne ne dépasse pas la valeur limite.

La valeur limite d'exposition à court terme (VLEP15mn/TLV-STEL), généralement pendant une période de 15 minutes, est utilisée lorsque l'exposition survient pendant des périodes brèves.

Des valeurs maximales (valeurs plafonds VLEPp/TLV-C) sont parfois utilisées et correspondent aux concentrations qui ne doivent pas être dépassées à un moment quelconque de l'exposition pendant l'activité professionnelle.

7.3.3 Notation « peau »

Les substances avec une notation « peau » peuvent montrer un effet supplémentaire par exposition cutanée (y compris les muqueuses et les yeux) soit par voie aéroportée, ou plus particulièrement par contact direct de la substance avec la peau. Les valeurs limites d'exposition pour ce type de substances ne concernent que l'exposition par inhalation ; elles ne prennent pas en compte l'absorption par contact cutané.

7.3.4 Effets des expositions combinées

Lorsque des expositions combinées se produisent, la première étape est d'assurer un contrôle adéquat de l'exposition pour chaque substance individuelle. Les VLEP pour des mélanges fixes doivent être utilisées uniquement lorsqu'elles sont disponibles, et en complément de ces mêmes paramètres pour chaque substance prise individuellement. Elles ne doivent pas être appliquées à des situations inappropriées. Il est alors primordial d'évaluer si une action de maîtrise supplémentaire est nécessaire pour contrecarrer une aggravation des risques provoqués par les substances agissant simultanément. Des évaluations d'experts pour certaines expositions à des mélanges particuliers peuvent être disponibles, et utilisées comme directives dans des cas similaires. Dans les autres cas, un examen attentif des données toxicologiques sera exigé pour déterminer lequel des types principaux d'interactions (s'il en est) est susceptible d'intervenir pour l'association particulière des

substances concernées ; les différents types doivent être pris en considération dans l'ordre suivant.

Substances synergiques : des cas connus de synergie sont extrêmement moins fréquents que les autres types de comportement pour les expositions combinés. Cependant, elles exercent des effets les plus graves et requièrent le plus strict des contrôles. Elles sont également les plus difficiles à évaluer, et lorsque la présence d'une telle interaction est suspectée, des conseils spécialisés doivent être recherchés.

Substances additives : lorsqu'il existe des raisons de penser que les effets des constituants sont additifs et que les VLEP sont basées sur les mêmes effets sur la santé, l'exposition mixte doit être évaluée à l'aide de la formule suivante :

$$\frac{C_1}{L_1} + \frac{C_2}{L_2} + \frac{C_3}{L_3} + \dots < 1$$

où C₁, C₂, etc. sont les concentrations moyennes d'exposition (CME) des constituants dans l'air et L₁, L₂, etc. sont les VLEP correspondantes.

Lorsque la somme des fractions C/L est inférieure à 1, l'exposition est considérée comme ne dépassant pas la valeur limite d'exposition nationale. Le recours à cette formule n'est applicable que lorsque L₁, L₂, etc. se rapportent à la même période de référence que celle indiquée dans la liste des VLEP approuvées. Cette formule n'est pas applicable lorsque le principal effet sur la santé est le cancer ou une sensibilisation respiratoire. Pour les mélanges contenant ces substances, la tâche essentielle vise à diminuer l'exposition dans les limites pratiques raisonnables.

Substances indépendantes : Lorsqu'il n'existe aucun effet synergique ou additif connu ou probable, les constituants doivent être considérés comme agissant de manière indépendante. Dans ce cas, les mesures nécessaires pour atteindre un contrôle adéquat doivent être évaluées séparément pour chaque substance. Les contrôles requis pour ce type de mélange seront ceux s'appliquant aux composants nécessitant le contrôle plus strict.

7.3.5 Calcul de l'exposition selon les périodes de référence spécifiées

Période de référence de 8 heures

Le terme « période de référence de 8 heures » s'apparente à la procédure au cours de laquelle les expositions professionnelles pour toute période de 24 heures sont traitées de

façon équivalente à une exposition uniforme unique de 8 heures (Concentration moyenne d'exposition CME pendant 8 heures).

L'exposition CME pendant 8 heures peut être exprimée par la formule mathématique suivante :

$$\frac{C_1 \times T_1 + C_2 \times T_2 + \dots C_n \times T_n}{8}$$

où C₁ est l'exposition professionnelle et T₁ la durée d'exposition associée en heures pendant une période quelconque de 24 heures.

Exemple 1

L'opérateur travaille pendant 7 heures 20 minutes sur un processus au cours duquel il est exposé à une substance dangereuse pour la santé. L'exposition moyenne au cours de cette période est mesurée comme étant égale à 0,12 mg.m⁻³.

L'exposition CME pendant 8 heures est par conséquent de

7 h 20 mn (7,33 h) à 0,12 mg.m⁻³

40 mn (0,67 h) à 0 mg.m⁻³

Soit
$$\frac{(0,12 \times 7,33) + (0 \times 0,67)}{8}$$

= 0,11 mg.m⁻³

Période de référence à court terme

L'exposition doit être enregistrée sous forme de moyenne sur la période de référence à court terme spécifiée (généralement 15 minutes) et doit normalement être déterminée par un échantillonnage pendant cette période.

Si la période d'exposition est inférieure à 15 minutes, le résultat de l'échantillonnage doit être rapporté à la durée de 15 minutes. Par exemple, si un échantillon de 5 minutes correspond à un niveau de 150 ppm et qu'il est immédiatement suivi par une période d'exposition nulle, alors l'exposition moyenne sur 15 minutes sera de 50 ppm.

à savoir :

$$\frac{5 \times 150}{\text{-----}} = 50$$

ppm 15

Période d'exposition supérieure ou égale à 15 minutes

Les mesures doivent être effectuées sur une durée de 15 minutes et le résultat sera exprimé par l'exposition moyenne sur 15 minutes.

7.4 Valeurs guides pour la surveillance biologique (bio-métrie)

La surveillance biologique (bio-métrie) peut être une technique complémentaire très utile à la surveillance de l'air, lorsque les techniques d'échantillonnage de l'air seules ne permettent pas de donner une indication fiable de l'exposition.

La bio-métrie consiste à mesurer et à évaluer des substances dangereuses et leurs métabolites dans les tissus, les excréta ou l'air expiré chez des travailleurs exposés. Les mesures reflètent l'absorption d'une substance par toutes les voies de pénétration. La surveillance biologique peut être particulièrement avantageuse dans les circonstances où il est vraisemblable qu'interviennent une absorption cutanée et/ou une capture par le tractus gastro-intestinal significatives suite à une ingestion ; lorsque la maîtrise de l'exposition dépend de l'équipement de protection respiratoire ; lorsqu'il existe une relation plutôt bien définie entre la surveillance biologique et l'effet ; ou lorsqu'elle fournit des informations sur la dose accumulée et la charge sur l'organe cible en lien avec la toxicité.

Dans la plupart des cas, les limites biologiques ne sont pas définies par la loi et toute surveillance biologique doit être effectuée sur la base du volontariat (c'est-à-dire avec un consentement éclairé de toutes les personnes concernées). Les valeurs de référence pour la surveillance biologique sont destinées à être utilisées comme des outils permettant à l'employeur de répondre à son premier devoir qui est d'assurer une maîtrise appropriée de l'exposition. Lorsqu'une valeur de référence pour la surveillance biologique est dépassée, cela ne signifie pas nécessairement qu'une limite correspondant à des contaminants aéroportés a été enfreinte ou qu'une pathologie peut se déclarer. Elle vise, en cas de dépassement, à indiquer la nécessité d'effectuer une investigation sur les mesures de contrôle et les pratiques de travail en vigueur. Il doit également être souligné que les valeurs d'orientation pour la surveillance biologique ne constituent pas une alternative ni un outil de remplacement pour les valeurs limites d'exposition professionnelle des contaminants aéroportés.

8 BIO-METROLOGIE & SURVEILLANCE BIOLOGIQUE DE LA SANTE

Il s'agit d'un sujet complexe et où des malentendus apparaissent généralement entre les différentes disciplines médicales, sanitaires et d'hygiène du travail. La surveillance de la santé est souvent utilisée comme un terme générique qui comprend toute enquête de santé entreprise pour évaluer, examiner ou surveiller la santé d'un individu afin d'identifier ou de détecter des changements par rapport à son état de santé normal. En réalité, il devrait y avoir une démarcation claire entre les termes surveillance médicale, surveillance de la santé et surveillance biologique. En termes généraux, il y a trois raisons principales pour les enquêtes de santé au travail:

- Identifier les effets néfastes du travail sur la santé à un stade précoce. Parfois, il s'agit d'une exigence réglementaire.
- Vérifier l'aptitude médicale d'un individu pour des tâches ou des tâches spécifiques, telles que la conduite de véhicules, la lutte contre l'incendie, la plongée, etc.
- Promouvoir la santé générale et le bien-être.

Du point de vue de l'hygiène du travail, seule la première raison ci-dessus est appelée surveillance médicale.

La décision d'entreprendre une surveillance médicale n'est pas simple et devrait dépendre des résultats d'une évaluation des risques pour la santé. Cela ne devrait avoir lieu que lorsque les expositions sont jugées suffisantes pour provoquer un effet néfaste sur la santé ou une maladie.

Il doit en outre exister des techniques valables pour détecter l'effet ou la maladie, de préférence lorsqu'elles sont encore réversibles ou lorsqu'une détection et un contrôle précoces peuvent arrêter la progression de l'effet ou de la maladie.

Les techniques doivent être sûres, de préférence non invasives et acceptables pour l'individu concerné.

Les techniques ne doivent pas nécessairement être des tests cliniques effectués par un professionnel de la santé - dans certains cas, des procédures telles que l'inspection de la peau pour une dermatite, etc. peuvent être effectuées par autosurveillance.

Les objectifs de la surveillance de la santé peuvent donc être résumés comme suit:

- Maintenir une bonne santé par la détection précoce des changements défavorables attribués à l'exposition
- Aider à l'évaluation de l'efficacité continue des moyens de contrôle
- Collecter des données pertinentes pour la détection et l'évaluation des risques pour la santé, à la fois maintenant et à l'avenir, (épidémiologie).

Les résultats de la surveillance de la santé devraient mener à certaines mesures qui profitent à la santé de l'individu et les méthodes d'enregistrement, d'analyse des résultats et des critères et les options d'action devraient être établies avant de commencer tout exercice de surveillance de la santé.

La surveillance biologique peut faire partie intégrante de la surveillance médicale. Elle recouvre la mesure des tissus, des fluides ou du comportement humain par rapport à ce qui est considéré comme une gamme normale de valeurs. Les mesures sur les individus doivent être traitées comme des mesures effectuées dans la pratique clinique et le secret médical s'applique. La surveillance biologique est également utilisée dans d'autres enquêtes de santé mentionnées précédemment, telles que l'aptitude à la tâche ou les examens de santé et de bien-être, mais pour les besoins de ce cours, ils ne seront pas couverts.

Contrairement à la surveillance environnementale, la surveillance biologique peut établir, non seulement l'exposition à un danger particulier, mais aussi son effet sur un individu ou un groupe de personnes. Par exemple, la surveillance de l'exposition personnelle peut donner une bonne indication des concentrations de poussières ou de vapeurs toxiques auxquelles un individu peut être exposé. Mais elle ne peut démontrer son effet sur l'individu, étant donné son taux de travail, son efficacité pulmonaire et circulatoire, sa variabilité génétique, se pourcentage de graisse, se sexe, sa consommation de médicaments et l'alcool. Tous ces paramètres ont une influence sur la quantité effectivement absorbée et sur la façon dont elle est métabolisée par la suite.

Les risques encourus par un travailleur à l'égard d'un produit toxique sont donc plus directement liés à son absorption de ce matériau qu'à sa concentration dans l'environnement de travail. Il peut y avoir de grandes différences dans l'absorption d'une personne à l'autre, dans les mêmes conditions. Cela peut justifier une surveillance biologique, bien que les mêmes critères pour l'acceptabilité globale de la surveillance médicale soient appliqués, comme être sûrs ou de préférence non invasifs, etc. La surveillance dépendra de l'absorption, du métabolisme et taux d'excrétion et la demi-vie connue de la substance en

question. Les résultats moyens des mesures pour un certain nombre d'individus dans un groupe fournissent un meilleur indice d'absorption ou de dose que les mesures isolées.

En utilisant des techniques d'échantillonnage, d'analyse et de contrôle qualité scrupuleuses, la bio-métrie permet de déceler les individus sensibles, les valeurs d'absorption incluses ou non dans les intervalles acceptables. Elle décèle aussi les groupes de personnes soumises à une exposition élevée qui pourraient ne pas avoir été détectés par la surveillance environnementale. Dans l'idéal, les deux formes de surveillance doivent être menées simultanément.

Les mesures biologiques peuvent déterminer :

- La concentration d'un matériau toxique ou de son métabolite dans le sang, l'urine et l'air respiré (et dans le cas de l'arsenic, des fragments de cheveux et d'ongles coupés).
- Ses effets sur les systèmes enzymatiques ou les voies métaboliques, par exemple la synthèse de l'hémoglobine est perturbée par l'exposition au plomb et évaluée par la concentration urinaire d'acide amino-lévulinique (ALA).
- Des altérations tissulaires précoces réversibles, par exemple γ GT (gammaglutamyl transférase).
- Des changements physiologiques (par exemple, épreuves fonctionnelles respiratoires).
- Des changements immunologiques (par exemple, tests cutanés [*prick test*]).

L'urine et le sang sont les milieux les plus fréquemment testés. Les concentrations d'une substance toxique ou de son métabolite dans l'urine ou dans le sang sont mesurées afin d'obtenir une évaluation de l'absorption par l'organisme d'une substance particulière ; par exemple, trouver du cadmium dans l'urine indique l'absorption de cadmium par l'organisme, mais la présence de protéines dans l'urine (qui ne sont pas un constituant normal) peut indiquer des lésions rénales.

8.1 Urine

L'urine peut être analysée pour différentes raisons :

- Cellules (cytologie et des cellules exfoliées) – cancer de la vessie.
- Concentration d'une toxine, par exemple mercure.

- Concentration d'un métabolite, par exemple acide tricarboxylique.
- Protéines (en particulier lésions rénales).
- Bile (jaunisse).
- Glucose (diabète) – important pour le travail par postes, la conduite de véhicules de service public.

8.2 Sang

Comme l'urine, le sang peut être analysé pour la recherche de différentes substances, qui indiquent un état pathologique ou la concentration d'une substance ou d'un métabolite particulier.

- Hémogramme complet et hémoglobine – plomb, benzène, alcool, travail sous les tropiques.
- Sérum (congelé) – concentration initiale d'anticorps dans le cas d'une exposition à des germes pathogènes.
- Tests de la fonction hépatique – alcool, produits chimiques hépatotoxiques.
- Tests de la fonction rénale – toxines rénales.
- Concentrations de toxines – par exemple, plomb.
- Concentrations de métabolites – par exemple, ALA.

8.3 Peau

Aspect visuel– Simultanément aux connaissances sur une substance et aux antécédents d'une personne, en particulier dans le cas d'irritants.

Prick test - Une solution standardisée d'une substance est introduite juste sous la surface de la peau sur une pointe d'aiguille. Un résultat positif est une papule de 1 mm ou plus (marque gonflée rouge) souvent avec des démangeaisons et des éruptions dans les cinq minutes suivant le test. Ceci est utilisé pour surveiller les réactions immunologiques à certains allergènes respiratoires comme les enzymes utilisées dans les détergents biologiques, ou les squames animales pour ceux qui travaillent dans les laboratoires d'expérimentation animale. Les tests sont également utilisés pour diagnostiquer l'urticaire de contact. Remarque; Il s'agit d'une forme de tests spécialisés et couramment utilisés pour le diagnostic plutôt que pour la surveillance de la santé.

8.4 Souffle

L'air expiré est capté et testé - par exemple, l'exposition au dichlorométhane et au monoxyde de carbone. Cette technique n'est pas simple car c'est la concentration à la fin du volume courant (dernière partie de la respiration) qui est la plus représentative mais la mesure précise est un défi.

8.5 Vision

Des tests d'acuité visuelle (tests de Snellen et de Keystone) peuvent être utilisés dans l'industrie du transport, par exemple pour les conducteurs de poids lourds, les pilotes, etc.

Il est possible d'avoir recours à des tests visant à déceler des anomalies de la vision des couleurs (test d'Ishihara) pour les métiers où une bonne vision des couleurs est primordiale : transport, forces armées, marine marchande, aviation civile, transport ferroviaire, microscopie (analyse des fibres d'amiante).

8.6 Radiographie, rayons X

Il est possible de recourir à la radiographie pulmonaire pour déceler des infections, telles que la tuberculose, le poumon du fermier et la pneumoconiose. Elle est utilisée en routine tous les deux ans chez les personnes travaillant en contact avec l'amiante.

Les radiographies thoraciques pour le dépistage des pneumoconioses sont catégorisées selon le système de classification internationale de l'OIT et comparées avec un ensemble de films radiographiques standard. La radiographie permet par ailleurs de diagnostiquer l'acro-ostéolyse (chlorure de vinyle monomère).

8.7 Tests neurologiques

Fonctionnement mental – Quotient intellectuel, dextérité, vigilance.

Transmission nerveuse – Électromyographie (transmission neuromusculaire) et vitesse de conduction nerveuse (des tests réguliers permettent de prévenir les neuropathies périphériques en les détectant à des stades très précoces).

Test d'écriture manuelle (détecte les tremblements précoces) – travailleurs en contact avec le mercure.

8.8 Audiométrie

L'intensité minimale à laquelle un son pur donné peut être entendu est enregistrée. Les valeurs sont exprimées par rapport à un ensemble standard de valeurs seuils pour des personnes jeunes normales à des fréquences spécifiques (ces normes sont fixées à 0 dB).

8.9 Épreuves fonctionnelles respiratoires

8.9.1 Volume pulmonaire et volume expiratoire maximal par seconde (VEMS)

La capacité vitale forcée (CVF) et le volume expiratoire maximal par seconde (VEMS) sont mesurés à l'aide d'un spiromètre (par exemple, Vitalograph) puis comparés avec des valeurs théoriques. Les valeurs théoriques dépendent de la taille, du poids, du sexe, du tabagisme, de l'âge et du groupe ethnique. Le sujet souffle dans le dispositif à cinq reprises, et la moyenne des trois derniers résultats ou des deux résultats maximaux est acceptée comme valeur correcte.

8.9.2 Résistance des voies respiratoires

Débit expiratoire de pointe – Il est mesuré avec un débitmètre de pointe. Il est utilisé pour surveiller les changements éventuels dus à des allergènes respiratoires et pour le diagnostic de l'asthme et sa réponse au traitement. Les séries de résultats sont parfois relevées toutes les deux heures.

9 APPROCHES GENERALES DE LA MAITRISE DES RISQUES POUR LA SANTE

Les différentes étapes suivies pour prévenir ou maîtriser la libération de contaminants aéroportés ou la propagation de certains agents physiques dans l'environnement de travail seront présentées et agrémentées de plusieurs exemples. Ces étapes sont fréquemment désignées par le terme de moyens de maîtrise. Elles se composent d'une association de techniques d'ingénierie mécanique et de systèmes opérationnels et procéduraux visant à prévenir ou minimiser les expositions.

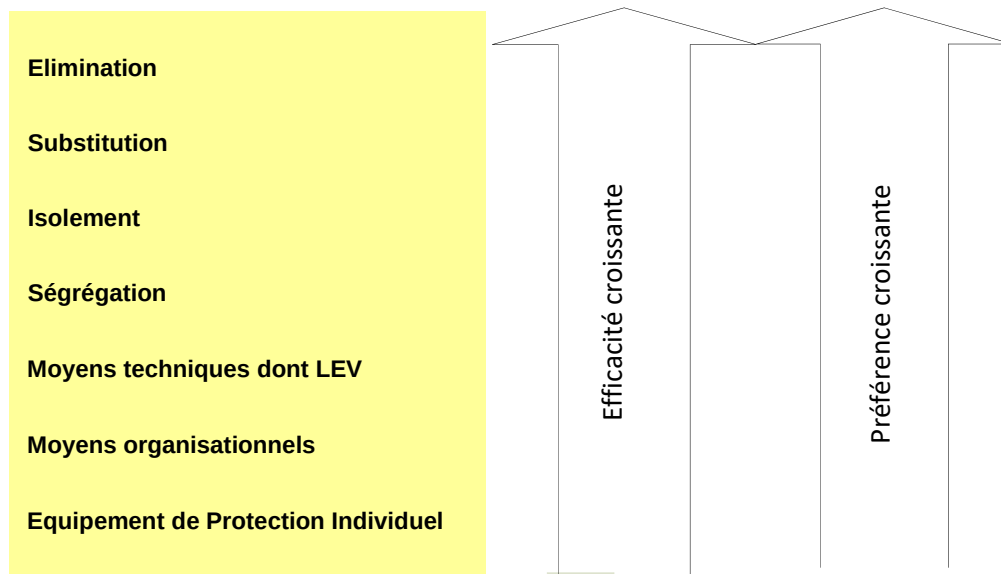
Une maîtrise efficace est probablement le sujet le plus important affectant la santé au travail. C'est aussi la base de la plupart des efforts législatifs visant à améliorer la protection de la santé au travail.

Si une évaluation d'hygiène du travail met en évidence un risque pour la santé, alors des mesures de gestion supplémentaires ou améliorées devront être prises en considération et mises en œuvre.

9.1 Types de moyens de maîtrise

La prévention de l'exposition est l'objectif principal de toute stratégie de contrôle, en particulier en ce qui concerne la manipulation d'agents dangereux susceptibles d'entraîner des effets graves et irréversibles sur la santé (agents cancérigènes, radiations ionisantes...). Dans d'autres cas, l'effet des dangers, la possibilité d'exécution, les coûts de mise en place, etc. peuvent ne pas nécessiter que toutes les expositions soient empêchées – une minimisation de l'exposition peut être considérée comme suffisante.

Une approche hiérarchique associant différents moyens de maîtrise par ingénierie et par des dispositions opérationnelles et procédurales est universellement acceptée. Elle est présentée ci-dessous par ordre décroissant de préférence. Dans la plupart des cas, des stratégies efficaces utiliseront l'association de plusieurs, si ce n'est toutes les mesures figurant dans la liste.



Source : Adrian Hirst & John Dobbie

9.1.1 Élimination / substitution

La forme la plus efficace de maîtrise pour la prévention consiste simplement à éliminer l'utilisation de l'agent dangereux ou le processus au cours duquel il est utilisé. Cette mesure n'est pas souvent applicable, mais des agents dangereux ou des processus dangereux relativement fréquents peuvent être substitués par d'autres présentant une relative innocuité, par exemple :

- Remplacement du benzène par le toluène.
- Remplacement du tétrachlorure de carbone par le méthyl-chloroforme.
- Remplacement du talc par la craie.
- Remplacement du décapage au jet de sable par le tirage à grenaille d'acier.
- Remplacement des techniques de manipulation sèche par des techniques de manipulation humide, c'est-à-dire suppression de l'émission de poussières (notamment élimination du calorifugeage à l'amiante).

9.1.2 Isolement

L'isolement est à envisager lorsqu'il est possible d'isoler entièrement des processus ou des opérations comportant certains risques pour la santé, le ou les opérateurs se trouvant en dehors de l'enceinte.

9.1.3 Ségrégation

Lorsque cela est possible, les processus ou les opérations, qui créent un ou des risques potentiels pour la santé, devraient être complètement enfermés, l'opérateur étant toujours situé à l'extérieur de l'enceinte. En pratique, cependant, certaines activités telles que l'échantillonnage, l'entretien et le nettoyage empêchent une ségrégation totale de l'agent.

9.1.4 Moyens d'ingénierie / mesures techniques

Il s'agit idéalement d'une partie intrinsèque d'un équipement visant à prévenir ou à minimiser l'exposition aux dangers liés à l'utilisation de l'équipement. Ce sont typiquement des exemples de maîtrise d'un danger à sa source. Par exemple, une pompe utilisée pour déplacer des produits dangereux à travers une tuyauterie peut avoir une variété de joints différents pour empêcher les matériaux à l'intérieur de la pompe d'entrer en contact avec l'environnement extérieur. De même, par une conception appropriée, les niveaux de bruit émanant d'un équipement peuvent être considérablement réduits. Pour exemple, les ventilateurs de refroidissement de moteur de pompe conçus pour tourner dans une seule direction peuvent être rendus beaucoup plus silencieux qu'un ventilateur asymétrique conçu pour assurer un refroidissement suffisant quel que soit le sens de rotation.

Ventilation

Les procédés capables de produire des expositions à des substances dangereuses sont généralement contrôlés par des moyens mécaniques de traitement de l'air, soit de l'un des deux types ci-dessous, soit d'une combinaison des deux. Reportez-vous au chapitre 10 pour plus de détails.

Ventilation locale par aspiration (LEV)

Ventilation locale par aspiration (Local Exhaust Ventilation LEV) – Application de techniques mécaniques de traitement de l'air dans lesquelles les éventuels contaminants aéroportés sont capturés à proximité de la source d'émission, extraits et éliminés soit en lieu sûr soit soumis à une technique quelconque d'« épuration de l'air ». Cette forme de ventilation est particulièrement intéressante pour les situations comportant un point unique de libération de contaminants toxiques.

Ventilation générale / ventilation par dilution

Ventilation par dilution – Cette technique est largement utilisée dans l'industrie pour la ventilation des salles de contrôle, des laboratoires photographiques, des espaces de

bureaux, des réfectoires et des pièces d'impression. Elle n'est normalement pas adaptée au contrôle des poussières, des brouillards ou des fumées ou pour des substances de toxicité modérée à élevée, ou pour les situations dans lesquelles le taux de formation de la contamination n'est pas uniforme ou est élevé.

Il est par ailleurs possible de recourir à des systèmes HVAC (Heating, Ventilation and Air-Conditioning - chauffage, ventilation et climatisation) de différentes manières pour contrôler les dangers associés à l'environnement thermique.

9.1.5 Moyens administratifs / organisationnels

Les moyens administratifs concernent la manière dont les interactions entre le personnel et le processus ou l'opération sont organisées. Il est nécessaire d'assurer que les procédures, lorsqu'elles ont été adoptées, soient appliquées; en particulier sur le long terme, dans la mesure où des raccourcis et une non-observance peuvent devenir les « us et coutumes » avec le temps, et sont difficiles à faire disparaître lorsqu'ils sont entrés dans les mœurs.

Parfois l'opération dangereuse peut être effectuée par l'équipe du soir ou de la nuit, lorsque moins de travailleurs risquent d'être exposés. La rotation des postes est une autre méthode de « protection » du personnel, en contrôlant l'organisation du travail.

Le travailleur peut souvent influencer l'ampleur de son exposition à des contaminants aéroportés, par exemple pour la soudure, par la position qu'il adopte et/ou en travaillant contre le vent.

Rangement et entretien

Un rangement efficace est particulièrement important dans les processus et dans les laboratoires où des produits dangereux sont manipulés. Un étiquetage clair, comprenant des conseils pertinents pour la santé et la sécurité, une conservation soigneuse appropriée et de bonnes techniques de travail sont autant d'éléments nécessaires à considérer.

La manipulation des poudres est une opération potentiellement dangereuse. Un bon entretien peut aider à minimiser la contamination aéroportée des matériaux déversés, des déchets (chutes), etc ; Ils sont communément appelées expositions secondaires et peuvent dans de nombreux cas être plus élevées que les expositions primaires, comme ils ne sont pas contrôlés efficacement par le processus principal.

Un lieu de travail encombré ou en désordre pourra gêner ou empêcher l'accès à des dispositifs de contrôle essentiels, par exemple les interrupteurs de la LEV, ce qui pourra

décourager à les utiliser convenablement. Il peut également être difficile pour les travailleurs de se placer correctement pour la tâche à effectuer, cela peut entraîner une exposition éventuellement supérieure, pouvant même conduire à des problèmes associés à une ergonomie défaillante.

Des calendriers d'entretien préventif, des inspections périodiques et une détection régulière des fuites pouvant intervenir au cours des processus dans l'usine ; ainsi que l'entretien, l'examen et des tests fréquents des moyens techniques d'ingénierie, par exemple les installations LEV, associés à des actions correctrices rapides le cas échéant, sont essentiels pour qu'un contrôle efficace soit obtenu et pérennisé.

Les facteurs individuels sont des éléments essentiels de toutes les stratégies de maîtrise. Ils sont associés à différents aspects du « management » autant pour la manière dont l'employeur gère ses employés ou celle dont les employés se gèrent eux-mêmes.

9.1.6 Informations, instructions et formation

Il est primordial que les employés soient informés des dangers pour la santé sur le lieu de travail et de l'importance d'appliquer correctement toutes les mesures de maîtrise fournies afin d'adopter les procédures opérationnelles recommandées (comme le port des équipements de protection individuelle), dans le but de minimiser les risques pour la santé. Des informations, des communications régulières, des comités chargés de la santé et de la sécurité et une équipe de direction opérationnelle jouent un rôle indéniable dans la sensibilisation des travailleurs à ces dangers.

La formation des employés aux moyens de maîtrise, aux pratiques opérationnelles appropriées, etc., et les facteurs participant à la sélection correcte, l'utilisation et l'entretien des EPI est également importante.

Il est également nécessaire d'insister sur le signalement des anomalies en encourageant une communication rapide, par les canaux appropriés, de tous les problèmes rencontrés avec les processus, les équipements, les contrôles et les EPI.

Bonnes pratiques d'hygiène – Elles concernent les étapes que doivent suivre les travailleurs pour protéger leur propre santé. Il s'agit notamment de respecter les procédures de décontamination établies, lorsqu'elles existent, de nettoyer fréquemment leurs vêtements, de recourir aux méthodes et aux installations validées ; avoir une bonne hygiène personnelle – se laver et se doucher fréquemment en particulier avant les pauses repas ; et ne jamais manger, boire ou fumer dans les zones délimitées pour les processus.

9.1.7 Équipements de protection individuelle (EPI)

L'EPI est normalement considéré comme le dernier recours et n'est applicable que lorsque des mesures de contrôle plus efficaces sont insuffisantes ou ne sont pas raisonnablement praticables pour parvenir à une situation de travail satisfaisante. Parfois, l'EPI doit être mis en œuvre initialement tandis qu'à plus long terme, des moyens de maîtrise plus appropriés sont recherchés, conçus et mis en œuvre. Il est préférable que les EPI ne restent pas une solution à long terme.

Une attention particulière doit être accordée au choix du dispositif EPI. Il est important que la protection soit efficace et confortable. La plupart des équipements de protection individuelle ne sont pas confortables pour une utilisation prolongée. Pour de nombreux types d'EPI, un entretien régulier est essentiel pour obtenir une protection efficace. Les programmes de gestion des EPI doivent être mis en place chaque fois que l'utilisation d'EPI est jugée nécessaire. Cela nécessite un soutien continu très proactif du programme sera nécessaire. Il convient également de noter que les attentes concernant l'efficacité de l'EPI sont trop souvent supérieures à la réalité, de sorte que les facteurs de protection du «monde réel» devraient être examinés plutôt que les allégations des fabricants.

10 VENTILATION

Les caractéristiques importantes des systèmes de ventilation seront présentées, ainsi que les principes généraux de leur conception.

10.1 Types de maîtrise

Il y a deux types principaux de ventilation utilisés pour enlever et réduire la contamination des lieux de travail.

- **Ventilation par dilution.** La ventilation réduit la concentration de contamination ambiante par l'ajout d'air frais et non contaminé. Cependant, il y a peu ou pas d'élimination ou de réduction du contaminant à la source. La ventilation par dilution est appropriée s'il y a de petites quantités de contaminant dispersé à faible toxicité. Elle peut également convenir aux contaminants mobiles de faible toxicité. Les coûts initiaux sont généralement inférieurs à la LEV et nécessitent moins d'entretien. Mais il est important de se rappeler que le contaminant n'est pas retiré de sa source, mais qu'il est dilué. Ouvrir une porte roulante, souffler de l'air dans une pièce avec un grand ventilateur sont des exemples de ventilation par dilution.
- La **ventilation par aspiration locale (LEV)** est l'un des moyens les plus efficaces pour empêcher la diffusion de matières dangereuses dans l'environnement de travail. Il détourne les polluants d'un processus ou d'une opération susceptible de libérer une substance dangereuse sur le lieu de travail. Cependant, il existe de nombreux cas où les LEV ne sont pas efficaces. Cela peut être dû à une mauvaise conception ou à une mauvaise utilisation. La LEV enlève le contaminant à sa source d'émission.

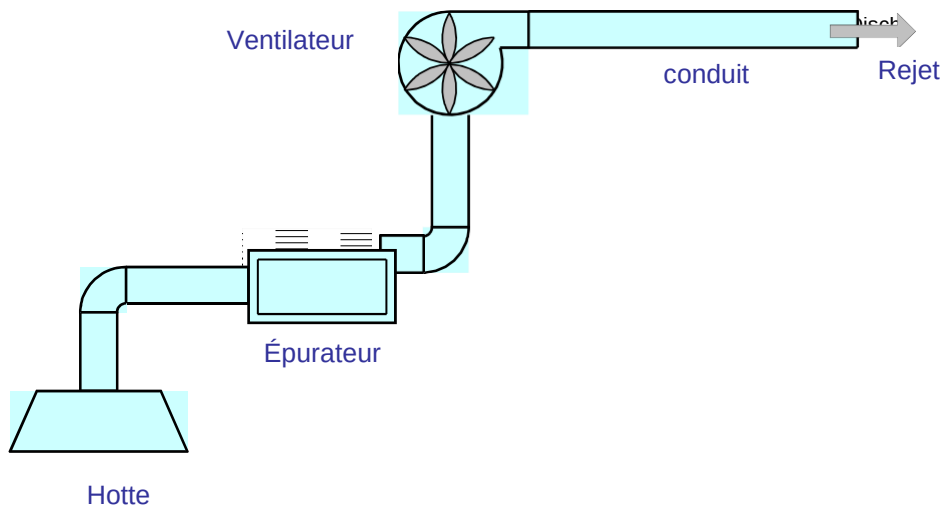
10.2 Caractéristiques générales d'un système de LEV

Les composants principaux qui sont communs à tous les systèmes de LEV sont les suivants :

- Prise d'air, notamment cabinet, hotte, fente ou enceinte.
- Conduits : ils peuvent contenir des coudes, des raccords, des changements de section et des amortisseurs. Ils peuvent être de section circulaire ou rectangulaire et être rigides ou flexibles.
- Un dispositif d'épuration d'air: filtre à poussières, épurateur humide ou dispositif de récupération par solvant.

- Un ventilateur ou tout dispositif de déplacement de l'air.
- Des conduits d'élimination: l'élimination peut se faire dans l'atmosphère ou dans une pièce par l'intermédiaire d'un tuyau de cheminée, un diffuseur, d'une grille ou simplement d'un conduit ouvert.

Un schéma des composants d'un système de LEV est présenté ci-dessous.



Source : Adrian Hirst

Figure 10.1 – Caractéristiques générales d'un système de LEV

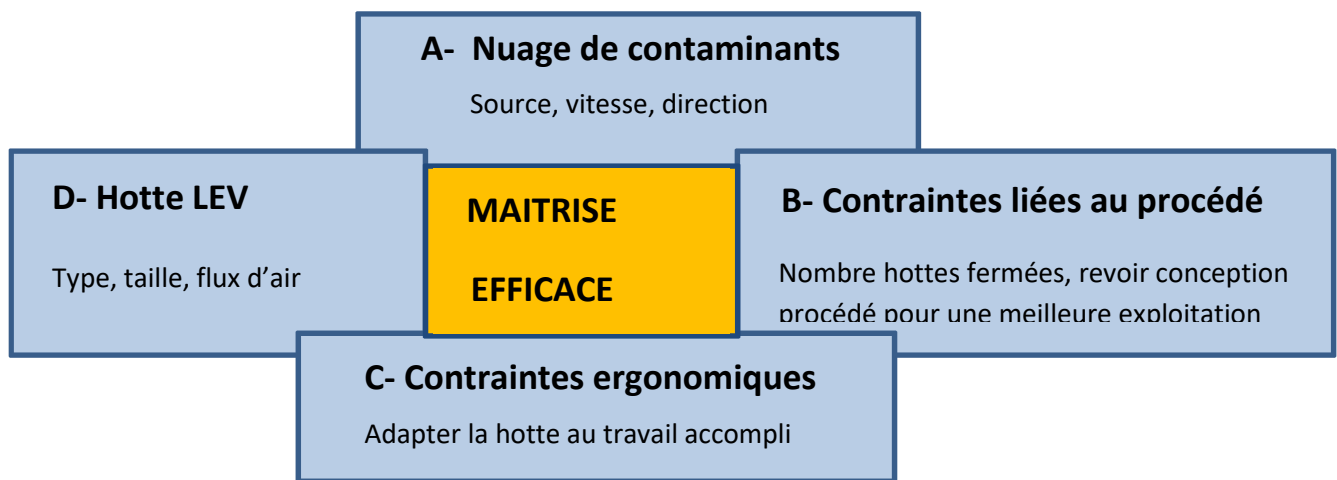
10.2.1 Considérations générales

Les systèmes de LEV peuvent être simples, et n'être utilisés que pour une seule machine, ou bien complexes et alimenter une usine entière. Pour qu'un système de LEV soit efficace, tous les composants doivent fonctionner correctement ; une hotte de récupération bien conçue et correctement placée sera sans utilité si le ventilateur ne crée pas un débit d'air correct. Un système de LEV élimine l'air du lieu de travail et, par conséquent, il doit être compensé par un apport suffisant pour remplacer l'air éliminé. Dans les systèmes de LEV importants, cela peut se traduire par la présence de grilles ou d'orifices d'entrée d'air intégrés dans les portes ou dans les murs, et un ventilateur d'approvisionnement peut devoir être installé. Il doit être souligné que le coût de chauffage de l'air peut être substantiel, ce qui peut générer des coûts énergétiques inutiles en cas de mauvaise conception, et conduire à la nécessité d'installation d'un système de récupération de chaleur.

Il est essentiel que tout système de LEV soit spécifiquement conçu pour le processus auquel il est destiné. Le diagramme ci-dessous montre les facteurs interdépendants qui permettent d'aboutir à un contrôle efficace. Il est important de connaître parfaitement nature du

contaminant à contrôler. Les gaz libérés sous des conditions ordinaires ont un comportement très différent des particules de poussières libérées à grande vitesse. Cela affecte la conception du système de capture ainsi que de tout système d'épuration de l'air qui est incorporé.

Il est primordial de considérer les exigences du processus de travail, mais également celles de l'opérateur. Cela engendre inévitablement des compromis à la fois pour l'opérateur et le processus. Toutefois, si ce compromis est trop important, le système de LEV ne sera vraisemblablement pas utilisé après son installation.

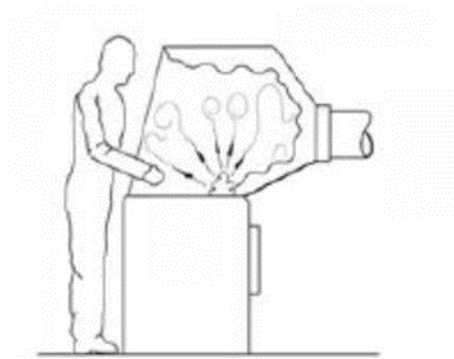


Source : Adrian Hirst d'après HSE Publication - HSG 258

10.2.2 Prises d'air / hottes

La conception de la prise d'air de la LEV est l'un des facteurs les plus importants permettant d'atteindre un contrôle efficace. Les hottes peuvent être classées en trois grandes catégories :

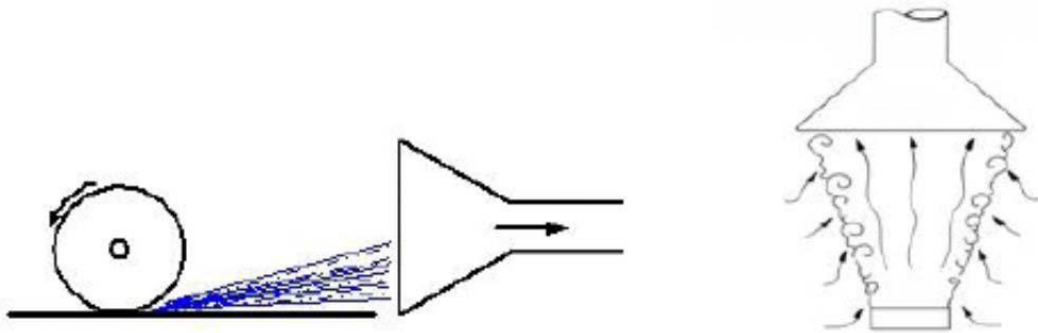
Une **hotte fermée** est généralement le moyen le plus efficace pour capturer un contaminant, car elle confine et sépare le contaminant du travailleur. Il s'agit du type que vous pourrez trouver dans une hotte de laboratoire (fermeture partielle) ou une unité de grenailage (fermeture complète).



Source : HSE

Figure 10.2 – Hotte fermée

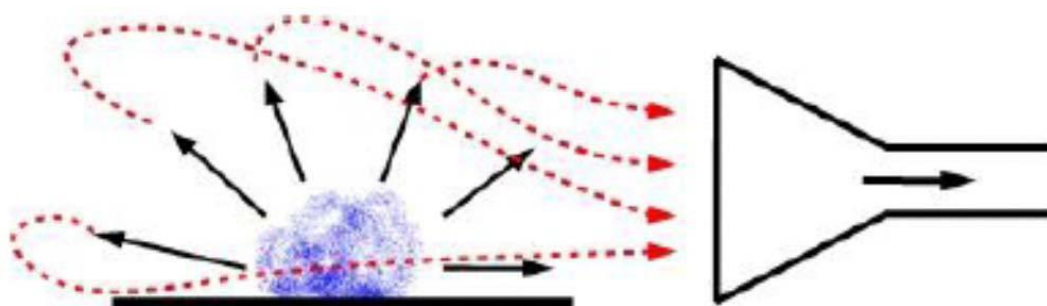
Une **hotte réceptrice** profite de toute flottabilité naturelle ou de toute vitesse poussant les contaminants à se déplacer vers la hotte. Si ce type de hotte n'entraîne que peu d'interférences entre l'opérateur et le processus, elle peut modifier les autres débits d'air présents dans la zone.



Source : HSE

Figure 10.3 – Hotte réceptrice

La **hotte aspirante** est le type le plus fréquent, dans lequel le contaminant est généré à l'extérieur de la hotte. Donc, la hotte doit générer un débit suffisant pour « aspirer et capturer » le polluant. Cela signifie que la vitesse de l'air et la proximité de la hotte par rapport à la source d'émission du contaminant sont cruciales, par exemple pour l'extraction d'une soudure.



Source : HSE

Figure 10.4 – Hotte aspirante

La conception précise de chacun de ces systèmes doit être spécifique du processus qui doit être contrôlé. Le tableau ci-dessous présente quelques exemples de processus industriels fréquents et les types de LEV qui peuvent être installés pour contrôler les expositions, en prenant en compte le type de substance dangereuse et la manière dont elle est libérée.

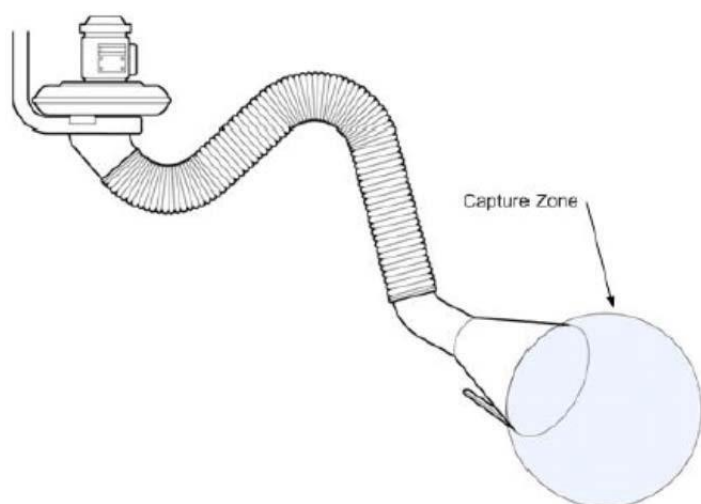
Types de LEV (installation de ventilation locale) utilisés dans différents processus

Processus industriel	Nature de la substance dangereuse	Type de LEV
Soudure	Fumée de soudure : fines particules présentant une certaine flottabilité naturelle	Hotte aspirante positionnée à proximité de l'activité de soudure ; ou dispositif d'extraction ajusté à l'extrémité du pistolet à souder
Pulvérisation de peinture	Brouillards et vapeurs de solvants libérés avec vitesse dans une direction contrôlée	Marche dans la cabine de pulvérisation de la peinture Cabine à débit descendant
Polissage	Poussières de métal et de polissage libérées dans une direction contrôlée à grande vitesse	Hotte réceptrice et enceinte autour du disque à polir

Grenailage	Grenaille d'acier et poussières de métaux provenant des composants libérés à grande vitesse dans des directions variables	Cabine entièrement fermée de type boîte de protection à gants avec débit d'air contrôlé pour compenser l'entrée d'air comprimé et système de recyclage de la grenaille
Ponceuse orbitale manuelle	Poussières de bois libérées dans des directions variables	Extraction intégrée dans le disque de la ponceuse
Cuiseur pour peinture	Air chaud et vapeur de ponçage avec une forte flottabilité thermique	Extraction/aération au niveau de l'extrémité supérieure du cuiseur associé à une hotte réceptrice au niveau de la porte
Analyses en laboratoire	Vapeurs d'acides et de solvants libérées à faible vitesse et dans peu de direction	Fermeture partielle et extraction dans une hotte de laboratoire

Source : HSE

Les prises d'air pour les systèmes de LEV ne peuvent exercer un contrôle efficace qu'à proximité de l'entrée elle-même. Par exemple, une hotte avec une ouverture circulaire d'un diamètre de 0,3 m, et une vitesse frontale de 5 m/s, ne capture que des contaminants libérés à 0,3 m de l'ouverture. La vitesse à la distance d'un diamètre (c'est-à-dire, 0,3 m) de l'ouverture diminue d'environ 10 % par rapport à la vitesse à l'ouverture (0,5 m/s). À l'extérieur de cette zone de capture, les influences externes, notamment le déplacement des machines ou du personnel, peuvent s'imposer sur l'effet de capture dans la prise d'air. Ce phénomène est illustré ci-après.



Source : HSE

Figure 10.5 – Zone ou bulle de capture sur une hotte pour soudure

La vitesse de capture est la vitesse de l'air requise à la source de l'émission de manière à amener le contaminant à se déplacer vers le dispositif de capture et à être ainsi retiré. Les vitesses de capture typiques sont fournies dans le tableau ci-dessous, mais cela ne reflète pas entièrement l'énergie ou l'emplacement de la source et est donc seulement un guide.

Conditions de dispersion du contaminant	Exemples	Vitesse de capture (m/s)
Rejet en air immobile avec aucune vitesse	Evaporation de solvants de cuves de dégraissage, peinture par trempage ou séchage...	0,3 à 0,5
Rejet à petite vitesse dans un air modérément immobile	Soudure, transfert de liquide	0,5 à 1.0
Rejet à vitesse modérée dans un air mobile	Pulvérisation, écrasement	1.0 à 2,5
Rejet à haute vitesse dans un courant d'air très turbulent	Coupe, dynamitage abrasif, broyage	2,5 à 10

Source HSE – reproduit avec permission

Les considérations importantes sur la source de contamination pouvant être prises en compte pour la conception et la construction des prises d'air sont les suivantes :

- Taille, forme et position de la source.
- Nature physique du contaminant.
- Vitesse et direction de la source.
- Taux de formation du contaminant.
- Nature de l'opération.
- Positions et mouvements de l'usine et du personnel.
- Tout mouvement d'air local.

10.2.3 Conduits

Les conduits transportent l'air extrait et le contaminant de la prise d'air jusqu'au dispositif d'épuration d'air. Pour les matières particulaires, la vitesse de l'air dans les conduits doit être suffisamment élevée pour s'assurer que les particules restent en suspension dans le courant d'air. Les vitesses de transport recommandées (conduits) sont indiquées ci-

dessous pour différents contaminants.

Type de contaminant	Vitesse dans le conduit (m/s)
Gaz (sans condensation)	Aucune limite minimale
Vapeurs, fumées, exhalaisons	10
Poussières de densité légère / moyenne (par exemple, sciure, poussières de plastique)	15
Poussières industrielles moyennes (par exemple, poussières de ponçage, rabotures, amiante, silice)	20
Poussières lourdes (par exemple, plomb, copeaux de métal et poussières humides ou ayant tendance à s'agglomérer)	25

Les conduits doivent être suffisamment résistants, bien supportés et capables de résister à une usure normale. Le nombre de changements de direction doit être le plus faible possible et, lorsqu'ils sont nécessaires, doivent être effectués doucement. L'accès au conduit peut être nécessaire pour faciliter le nettoyage, l'inspection et l'entretien.

10.2.4 Épurateurs d'air

Il existe trois types principaux de dispositifs d'épuration de l'air.

Filtres à air

Ils visent principalement à épurer l'air dans les systèmes de ventilation et d'air conditionné, et sont conçus pour supporter de larges volumes d'air avec une faible résistance au débit. Les filtres à haute efficacité HEPA (*high efficiency particle arrester*) sont utilisés pour les applications ultra-propres et où des poussières particulièrement dangereuses peuvent être rencontrées (par exemple, amiante).

Collecteurs de poussières particulières et de fumées

Ils sont conçus pour extraire de grandes quantités de particules d'une circulation d'air à des concentrations d'entrée très supérieures à celles pouvant être supportées par les filtres à air. Ces collecteurs comprennent les cyclones, les filtres de tissus, les collecteurs humides et les dépoussiéreurs électrostatiques. Il s'agit des dispositifs d'épuration de l'air les plus fréquemment associés aux systèmes de LEV.

Dispositifs d'élimination des brouillards, des gaz et des vapeurs

Les brouillards, les gaz et les vapeurs peuvent être éliminés de l'air par différents moyens, notamment l'absorption chimique, la combustion et la condensation.

Les autres points à prendre en considération sont les suivants :

- Les matériaux gras ou cireux peuvent obstruer les filtres.
- Abrasivité des particules.
- Possibilité d'inflammation et d'explosion.
- Capacité de corrosion et d'oxydation.
- Les gaz et les vapeurs ne seront pas éliminés par les filtres à particules.
- Matériaux à haute température.

10.2.5 Ventilateurs

Il existe des ventilateurs de différents types et de différentes tailles, qui peuvent généralement être regroupés en deux principales catégories – centrifuge et axial.

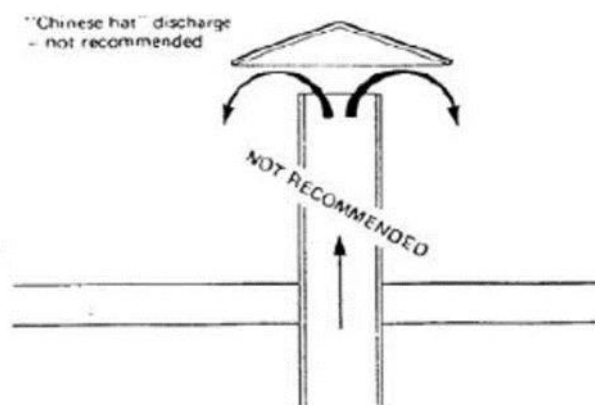
Avec un ventilateur centrifuge, l'air est aspiré au centre de l'impulseur, attiré par les pales rotatives et projeté à haute vitesse dans l'enveloppe des ventilateurs. L'enveloppe est conçue pour recueillir l'air et le guider vers une ouverture de sortie tangentielle. Ils peuvent délivrer les débits nécessaires contre une résistance considérable. Ils sont utilisés dans tous les systèmes de LEV les plus simples.

Les ventilateurs axiaux ont une enveloppe cylindrique, et sont installés en série avec le système de conduits. L'air passe dans les conduits puis il est accéléré par les pales rotatives. Les ventilateurs axiaux ne peuvent surmonter que de faible résistance au débit.

10.2.6 Élimination dans l'atmosphère

Il peut être nécessaire d'installer des conduits supplémentaires en aval des ventilateurs pour s'assurer que l'air éliminé ne pénètre pas à nouveau dans le bâtiment. Les conduits d'élimination peuvent devoir être étendus au-delà du niveau du toit et une attention particulière doit être portée à la conception de ces voies d'élimination terminales. Une sortie de type « chapeau chinois » ne doit jamais être utilisée, car elle renvoie l'air éliminé vers le bas avec une rentrée possible dans le bâtiment, et elle possède une très haute résistance au débit.

Sortie de type « chapeau chinois » non recommandée.



Source: BP International

Figure 10.6 – Sortie dans l'atmosphère

10.3 Entretien, examen et tests des systèmes de ventilation

La ventilation locale par aspiration (LEV) est l'un des moyens les plus efficaces actuellement disponibles pour empêcher l'entrée des matériaux dangereux dans l'atmosphère du lieu de travail. Cependant, afin de garantir un fonctionnement correct, ces systèmes doivent être en bon état de fonctionnement. Les caractéristiques générales associées à l'entretien, à l'examen et aux tests des systèmes de LEV sont définies.

10.3.1 Exigences légales

Dans certains pays, des exigences légales imposent que les mesures de contrôle soient maintenues dans un état d'efficacité, de fonctionnement et de réparation convenable. Par exemple, au Royaume-Uni, les Réglementations du COSHH exigent que le système de LEV soit examiné et testé au moins une fois tous les 14 mois, et que des enregistrements corrects soient conservés pendant au moins cinq ans. Une disposition exige également d'effectuer des examens visuels une fois par semaine.

■ En France, les contrôles périodiques des installations de ventilation peuvent être effectuées par l'employeur lui-même ou par une personne ou un organisme agréé de son choix. Les contrôles varient selon le type de local. Les résultats de ces contrôles périodiques et des différentes opérations d'entretien et de nettoyage doivent être consignés dans le dossier de maintenance.

10.3.2 Entretien régulier

L'entretien doit comprendre les procédures suivantes :

- Inspection régulière de l'usine, notamment vérification hebdomadaire des signes de dommages, d'usure ou de dysfonctionnement potentiels.
- Surveillance des indicateurs de performance, par exemple vitesse de l'air, pression statique, consommation électrique.
- Remplacement en routine des composants dont la durée de vie est limitée.
- Réparation ou remplacement rapide des composants se trouvant usés ou endommagés.

La forme de l'inspection dépendra du type et de la complexité de l'usine. Une vérification visuelle, au moins chaque semaine, est essentielle pour identifier tous les dysfonctionnements évidents. Cette vérification comprendra :

- Position incorrecte des hottes.
- Usure ou signes de dysfonctionnement ou dommages au niveau des hottes, des conduits ou des collecteurs de poussières.
- Autres signes extérieurs de dysfonctionnement ou de dommages.

La vérification doit également inclure la surveillance de tous les dispositifs de contrôle fonctionnant en permanence. Un simple enregistrement doit être conservé pour les inspections hebdomadaires, accompagné d'une note écrite indiquant les anomalies identifiées et les actions entreprises pour les corriger.

10.3.3 Examen et tests approfondis

Il s'agit d'un audit périodique du système de LEV et de ses performances, qui devra normalement comprendre :

- Examen externe, et le cas échéant interne, approfondi de tous les éléments du système.
- Évaluation de contrôle, par exemple par l'utilisation de lampes à poussières, d'un dispositif fixe de surveillance de l'air et/ou d'un dispositif de détection de fumées.
- Mesure des performances de l'usine, par exemple par mesure de la pression statique derrière chaque hotte ou enceinte, de la vitesse de l'air en face de l'enceinte ou du point d'émission, diminution de la pression à travers les filtres, mesure de la vitesse de l'air

dans les conduits et/ou consommation de puissance.

- Lorsque l'air est en circulation, évaluation des performances et de l'intégrité de l'épurateur ou du filtre à air.

Certains systèmes de LEV retournent l'air filtré dans le lieu de travail. Par conséquent, ces systèmes doivent faire l'objet de normes d'entretien particulièrement élevées.

11 AMIANTE

11.1 Généralités

L'amiante est peut-être la substance dangereuse ayant fait l'objet des discussions les plus approfondies. En 1898, les inspecteurs d'usines principaux ont fait état au Royaume-Uni des « effets diaboliques de la poussière d'amiante » et ont détaillé un examen microscopique de l'amiante révélant la « nature piquante, irrégulière semblable au verre des particules » et que les « effets s'étaient avérés délétères ».

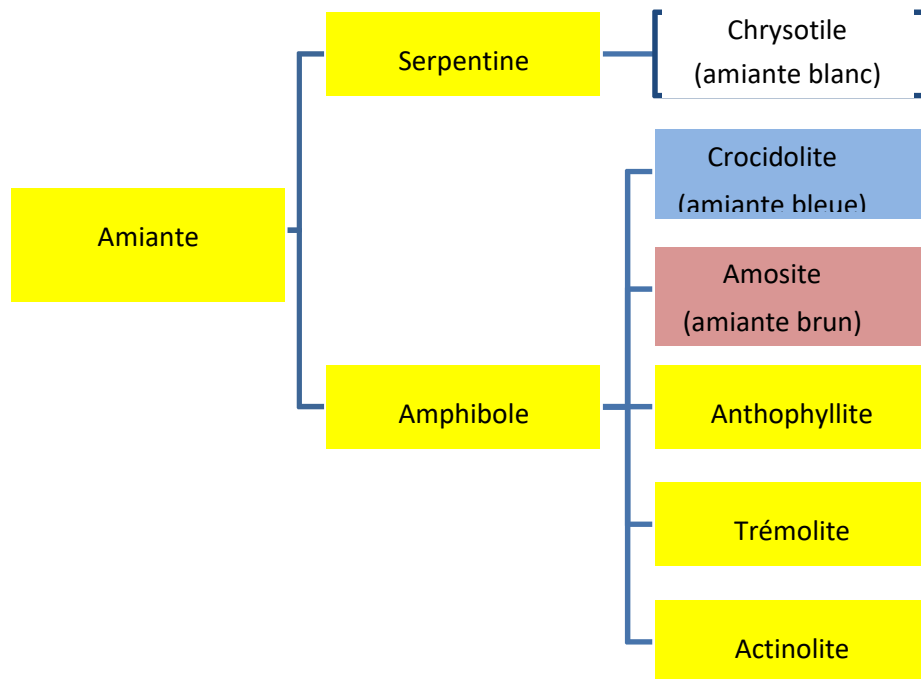


Source : Wikimedia Commons – United States Geological Survey (*Institut d'études géologiques des États-Unis*)

Figure 11.1 – Photographie en microscopie électronique de fibres d'amiante (antophyllite)

11.1.1 Types d'amiante

La dénomination d'amiante fait référence à un groupe de silicates cristallins, fibreux, naturels extraits de mines principalement de Russie, de Chine, du Canada et d'Afrique du Sud. Tous les types d'amiante se présentent sous forme de cristaux fibreux longs, qui se clivent longitudinalement (c'est-à-dire dans la longueur de la fibre pour former des fibres de plus en plus fines). Les principaux types d'amiante sont présentés ci-dessous :



Source : Adrian Hirst

Les deux groupes de fibres d'amiante présentent des structures cristallines différentes et, par conséquent, des formes et des propriétés distinctes. Au microscope, les fibres de chrysotile (amiante blanc) semblent légèrement incurvées, tandis que les fibres de crocidolite (amiante bleu) sont rectilignes et plus courtes. Les fibres d'amosite (amiante brun) sont similaires à celles de la crocidolite, mais plus friables. Il doit être souligné que la couleur n'est pas un moyen fiable d'identifier les différents types d'amiante, en particulier lorsqu'il est incorporé dans un produit.

11.1.2 Propriétés de l'amiante

Les principales propriétés, qui ont conduit à une utilisation importante de l'amiante, comprennent son incombustibilité, sa résistance mécanique, sa résistance chimique, sa capacité d'isolation thermique et son faible coût. Les différents types d'amiante peuvent présenter ces propriétés dans différentes mesures, ce qui modifiera leur utilisation.

11.1.3 Utilisations de l'amiante

Les applications les plus courantes de l'amiante susceptibles de se trouver dans les locaux industriels sont indiquées ci-dessous, ainsi que le type et la teneur approximative en amiante. Les utilisations et le pourcentage des produits énumérés ci-dessous sont fournis à titre indicatif seulement. Lorsque l'amiante est suspecté d'être présent, une enquête doit être entreprise par des personnes compétentes et agréées.

Applications fréquentes de l'amiante dans un cadre industriel

Produit	Type d'amiante	Teneur approximative (%)
Matériaux cimentaires, par exemple tôles ondulées, réservoirs d'eau, tuyaux, éléments de construction préfabriqués.	Chrysotile (incorporant occasionnellement crocidolite ou amosite)	10 - 20
Panneaux isolants résistant au feu.	Amosite (incorporant occasionnellement chrysotile ou crocidolite)	15 - 40
Isolation thermique, calorifugeage, notamment isolation des tuyaux et des récipients.	Amosite, chrysotile & crocidolite	1 - 55
Revêtements floqués, par exemple appliqués sur des poutres de construction et des plafonds comme protection contre l'incendie et/ou isolation acoustique et thermique	Amosite, chrysotile & crocidolite	60 - 90
Textiles, par exemple gants résistant à la chaleur, couvertures ignifuges, vêtements de protection contre l'incendie et matelas isolant.	Chrysotile (occasionnellement crocidolite)	85 - 100
Joints et emballages, par exemple joints d'étanchéité.	Chrysotile (occasionnellement crocidolite)	25 - 85
Matériaux de friction, par exemple freins d'automobile & garnitures d'embrayage.	Chrysotile	30 - 70
Carreaux de sol.	Chrysotile	5 - 7
Matériaux de remplissage et de renforcement, par exemple feutres, carton-pâte, papiers, antirouille, mastics, colles.	Chrysotile (occasionnellement crocidolite pour certaines applications)	1 - 10
Plastiques renforcés thermdurcissables et boîtiers de batterie.	Chrysotile, crocidolite & amosite	5 - 20

11.1.4 Fibres d'amiante aéroportées

La structure physique de l'amiante lui permet de se briser en petites fibres, qui sont capables de rester en suspension dans l'air pendant des périodes prolongées. Ces fibres peuvent être inhalées, et certaines d'entre elles peuvent pénétrer et se déposer dans les poumons.

Une fibre « dénombrable » est définie comme une particule dont le rapport longueur/largeur est supérieur à 3:1, le diamètre étant inférieur à 3 microns et la longueur supérieure à 5 microns.

11.1.5 Exposition aux fibres d'amiante

Des fibres d'amiante (poussières d'amiante) peuvent être émises dans le milieu de travail lors de la fabrication, l'utilisation, l'usinage (découpage, perçage, etc.), l'enlèvement et l'élimination des matériaux ou produits contenant de l'amiante ainsi que lors de la détérioration des matériaux contenant de l'amiante (ACM) sur place. On pense que les travailleurs de l'entretien des bâtiments (plombiers, électriciens, etc.) sont particulièrement à risque en raison de l'utilisation intensive de l'amiante dans les bâtiments plus anciens. Il convient toutefois de noter que, dans certaines parties du monde, l'amiante est toujours fabriqué et utilisé. Ainsi les risques sont susceptibles d'être plus importants en raison de l'absence de dispositif réglementaire. De plus, les expositions excessives n'y sont pas toujours reconnues. Des exemples de certaines expositions typiques sont donnés ci-dessous:

Activités	f/ml
Élimination de calorifugeage à sec	Jusqu'à 100
Forage d'un panneau d'isolation en amiante	Jusqu'à 10
Découpage à la scie à main d'un panneau d'isolation en amiante	Jusqu'à 10
Forage d'amiante-ciment	Jusqu'à 1
Découpage à la scie à main d'amiante-ciment	Jusqu'à 1
Utilisation d'une scie circulaire	Jusqu'à 20

11.2 Dangers de l'amiante pour la santé

L'inhalation de fibres d'amiante respirables peut provoquer un certain nombre de pathologies graves.

Asbestose : L'exposition prolongée aux fibres d'amiante aéroportées à des niveaux dépassant les limites en hygiène peut conduire à l'épaississement local de la muqueuse revêtant le thorax (plaques pleurales) et à la formation de tissu fibreux (cicatriciel) dans les tissus pulmonaires profonds. Cela entraîne une baisse progressive de l'élasticité du tissu pulmonaire, une altération de la fonction respiratoire avec réduction de l'espérance de vie.

Cancer des bronches et du poumon : Il a été démontré que les travailleurs en contact avec l'amiante présentaient une augmentation du risque de cancer bronchique et

pulmonaire. La fumée de cigarette peut également provoquer ce type de cancer, et il a été mis en évidence que les fumeurs de cigarettes exposés aux fibres d'amiante aéroportées présentaient un risque significativement supérieur de développer un cancer, par rapport aux non-fumeurs subissant une exposition similaire (effet synergique).

Mésothéliome : L'exposition à l'amiante, en particulier à la crocidolite et à l'amosite, peut entraîner le développement d'un mésothéliome, un cancer peu fréquent et généralement incurable de la plèvre (membrane revêtant la paroi thoracique et les poumons) et plus rarement du péritoine (membranes recouvrant la cavité abdominale). Un mésothéliome peut se développer plus de 20 ans après une brève période d'exposition.

11.3 Registre de l'amiante

11.3.1 Fonction du registre de l'amiante

La fonction du registre de l'amiante est d'enregistrer l'utilisation et la présence d'amiante et de tous les matériaux contenant de l'amiante dans les lieux de travail. Dans les secteurs où l'amiante a été utilisé de façon intensive par le passé, il peut être nécessaire de développer le Registre sur une certaine période. Dans l'intervalle, il peut être recommandé de supposer que certains matériaux d'isolation et de construction contiennent de l'amiante et, jusqu'à ce que leur identité soit établie, de prendre les précautions appropriées. Les informations du Registre peuvent être utilisées pour les actions suivantes :

- Enregistrer la localisation de tous les matériaux à base d'amiante sur le site.
- S'assurer que l'état des matériaux contenant de l'amiante est fréquemment inspecté et que toute action correctrice nécessaire fait l'objet d'une investigation.
- S'assurer que tout travail avec l'amiante ou des matériaux contenant de l'amiante est effectué conformément aux dispositions approuvées.
- Minimiser l'acquisition et l'usage de matériaux pouvant contenir de l'amiante.

11.4 Mesures correctives applicables aux matériaux contenant de l'amiante

11.4.1 Élimination de l'amiante

Les matériaux contenant de l'amiante doivent être éliminés dans les cas suivants :

- S'ils sont endommagés et friables, c'est-à-dire dans un état où ils s'émiettent facilement, avec un risque de libération de fibres aéroportées.

- S'il est probable qu'ils se détérioreront à l'avenir.
- S'il est probable qu'ils seront déplacés ou manipulés au cours de l'entretien, la construction ou la démolition.

Le travail d'élimination de l'amiante ne peut être effectué que par un personnel formé sur les mesures de contrôle correctes permettant de minimiser à la fois son exposition et celle de toute personne à proximité de son activité. Des directives détaillées sur les méthodes adaptées à utiliser pour contrôler les expositions sont disponibles – par exemple, auprès de l'HSE au Royaume-Uni.

11.4.2 Réparation et encapsulation de l'amiante

Les matériaux à base d'amiante légèrement endommagés ou difficiles à éliminer, à cause de la fonction du matériau ou de sa localisation, peuvent être encapsulés afin de prévenir la libération des fibres d'amiante. Cela peut être effectué de différentes manières en fonction de l'ampleur des dommages, et du type et de la fonction des matériaux contenant de l'amiante. Les méthodes adaptées sont les suivantes :

- Recouvrement de la surface extérieure avec, par exemple, un canevas ou de l'aluminium.
- Scellement avec un matériau encapsulant qui scelle les fibres ensemble. Plusieurs produits sont disponibles, certains d'entre eux forment une membrane autour de la surface externe du matériau tandis que d'autres pénètrent le matériau pour fixer ensemble les fibres dans une matrice.

L'amiante ou les matériaux contenant de l'amiante qui ont été soumis à des réparations par encapsulation devraient idéalement être retirés dès que possible et faire l'objet d'une inspection renforcée. Ceux-ci devraient être enregistrés dans le registre Amiante du site.

11.5 Programme de gestion de l'amiante

Dans la pratique, la gestion de l'amiante sur le lieu de travail s'avère très difficile; il faut donc envisager de nommer un coordinateur amiante capable de rédiger et de mettre en œuvre un programme de gestion de l'amiante.

Le coordinateur amiante doit avoir la formation, l'expérience, les ressources et l'autorité nécessaires pour:

- Comprendre les lois et règlements applicables;

- Rédiger et maintenir le programme de gestion de l'amiante; et
- Choisir les bonnes personnes ou les entrepreneurs pour réaliser les différentes parties du programme de gestion de l'amiante.

Le coordinateur amiante doit avoir l'autorité et les ressources nécessaires pour rédiger le programme de gestion de l'amiante. Il s'assurera que le programme approuvé est appliqué correctement.

12 RISQUES BIOLOGIQUES

12.1 Introduction aux risques biologiques

Il existe une différence fondamentale entre les risques chimiques et biologiques : les agents biologiques, qu'ils soient des bactéries, des virus ou des levures, ont la capacité dans les conditions adéquates de se répliquer rapidement. Cela signifie que l'objectif du contrôle est non seulement d'éviter le contact avec un agent, mais également de s'assurer que les conditions favorables à la croissance du micro-organisme ne sont pas réunies.

Les trois principales catégories d'agents biologiques dont nous fournirons des exemples sont les bactéries, les virus et les champignons.

- **Bactéries** – Micro-organismes unicellulaires vivant dans le sol, l'eau et l'air. Il existe plusieurs milliers de bactéries différentes – un grand nombre d'entre elles sont inoffensives et même bénéfiques, mais certaines sont pathogènes – c'est-à-dire qu'elles provoquent des maladies. Les maladies provoquées par les bactéries sont à titre d'exemple : la maladie des Légionnaires, les différents types d'intoxication alimentaire (par exemple, par la salmonelle) et le charbon. Les antibiotiques sont utilisés pour traiter les infections bactériennes.
- **Virus** – Micro-organismes parasites qui ne peuvent se reproduire que dans les cellules vivantes. Ils sont composés d'acide nucléique (ARN ou ADN) et d'une enveloppe protéique. Les plus gros virus connus sont approximativement 1 000 fois plus petits que les bactéries de taille moyenne. Les virus provoquent de nombreuses maladies, notamment le coryza, la grippe, la rougeole, la rage, l'hépatite et le SIDA. Les antibiotiques sont inefficaces contre les virus, mais il est possible de lutter contre de nombreuses maladies virales par les vaccins.
- **Champignons** – Organismes végétaux élémentaires ne contenant pas de chlorophylle ni de structures végétales normales (par exemple, feuilles, tiges, etc.). Les champignons comprennent les levures, les moisissures, les agents responsables du mildiou et les champignons comestibles.
- **Parasites** - organismes qui vivent et se nourrissent dans ou sur un organisme d'une autre espèce. Ils causent des dommages à l'hôte, sont une autre catégorie d'agent biologique.

La réponse de chaque individu à l'exposition à des micro-organismes dépend de l'état de son immunité, c'est-à-dire de la capacité de l'individu à résister à une maladie. Il existe de nombreux facteurs intervenant dans l'immunité, notamment :

- Les antécédents médicaux
- le niveau d'immunisation.
- la résistance individuelle.
- la fatigue.
- l'âge.

Pour simplifier la prise en charge des risques générés par différents micro-organismes, ceux-ci ont été classés en différents groupes de risque. Les mesures de contrôles nécessaires doivent correspondre au groupe de risque :

- **Groupe de risque 1** – (risque individuel et communautaire faible). Le risque qu'un micro-organisme provoque des maladies chez l'homme ou chez l'animal est faible.
- **Groupe de risque 2** – (risque individuel modéré, risque communautaire limité). Germe pathogène susceptible de provoquer une maladie chez l'homme ou chez l'animal et qui peut constituer un danger pour les personnes travaillant dans des laboratoires, mais dont le risque de propagation dans la communauté, le cheptel ou l'environnement est faible. Les expositions dans les laboratoires peuvent provoquer des infections graves, mais un traitement efficace et des mesures préventives sont disponibles et les risques de propagation sont limités.
- **Groupe de risque 3** – (risque individuel élevé, risque communautaire faible). Germe pathogène susceptible de provoquer des maladies graves chez l'homme, mais qui ne se transmet généralement pas d'un individu à l'autre.
- **Groupe de risque 4** – (risque individuel et communautaire élevé). Germe pathogène qui provoque généralement une maladie grave chez l'homme ou chez l'animal, et qui peut être facilement transmis d'un individu à l'autre, directement ou indirectement.

Il existe également quatre niveaux de biosécurité qui définissent les précautions de confinement devant être utilisées pour maîtriser les différents dangers biologiques. Les confinements sont compris entre niveau de biosécurité 1 (le plus faible) et 4 (le plus élevé).

- **Niveau de biosécurité 1** – Confinement léger ou isolement de l'établissement, mais avec des précautions, notamment séparation et étiquetage des déchets.
- **Niveau de biosécurité 2** – Le personnel est formé spécifiquement sur la manipulation des agents pathogènes, l'accès aux laboratoires est limité lorsque le travail est en cours, des précautions extrêmes sont prises avec des objets hautement contaminés; et certaines procédures au cours desquelles des aérosols ou des éclaboussures infectieux peuvent être créés sont effectuées dans des cabines de sécurité biologique.
- **Niveau de biosécurité 3** – Toutes les procédures comprenant la manipulation de matériaux infectieux sont effectuées dans des cabines de sécurité biologique ou avec d'autres dispositifs de confinement physique, ou par un personnel portant des vêtements et des équipements de protection individuelle appropriés. Le laboratoire dispose d'une ingénierie et d'une conception particulière, par exemple zone d'accès avec SAS.
- **Niveau de biosécurité 4** – L'établissement est soit un bâtiment séparé soit une zone contrôlée dans un bâtiment. L'établissement dispose d'une ventilation contrôlée maintenant une pression négative. Toutes les activités sont effectuées dans des cabines de sécurité biologique de classe III, ou des cabines de sécurité biologique de classe II utilisées avec des vêtements personnels en une pièce, à pression positive et ventilés par un équipement de survie.

12.2 *Legionella* et fièvre des humidificateurs

12.2.1 *Legionella*

La maladie des Légionnaires a été reconnue pour la première fois en 1976, lorsqu'un foyer s'est déclenché chez des délégués assistant à un congrès de l'American Legion à Philadelphie. L'agent causal a été identifié ultérieurement comme *Legionella pneumophila*.

La bactérie provoque deux types de maladies chez l'homme : la fièvre de Pontiac (une maladie pseudo-grippale légère) et la maladie des Légionnaires. Elle pénètre dans l'organisme par inhalation de fines gouttelettes d'eau contaminée. La bactérie n'est pas transmise d'une personne à l'autre.

La fièvre de Pontiac est une maladie « autorésolutive » (guérissant spontanément) de courte durée se déclenchant après une période d'incubation brève et se manifestant par des symptômes plus légers que ceux de la maladie des Légionnaires. La fièvre de Pontiac affecte un pourcentage plus important de personnes exposées, mais n'a jusqu'à présent jamais été

fatale.

La maladie des Légionnaires est une pathologie caractérisée principalement par une pneumonie et des symptômes pseudo-grippaux. Elle est fatale dans environ 10 à 15 % des cas. Les hommes ont plus de risques de développer la maladie que les femmes ; les autres facteurs de risque comprennent l'âge et l'état de santé général.

La *Legionella* est extrêmement répandue dans les eaux naturelles fraîches, notamment les rivières, les lacs, les courants et les étangs. Il existe une forte probabilité que des concentrations très faibles de la bactérie se trouvent dans tous les réseaux d'eau ouverts, notamment ceux des systèmes d'entretien des immeubles. Les sources les plus fréquentes de foyers de maladie des Légionnaires sont les tours de refroidissement et les systèmes de distribution d'eau des grands bâtiments, en particulier les hôpitaux et les hôtels.

Les principaux moyens de prévention et de contrôle de la diffusion de la maladie des Légionnaires sont le contrôle de la multiplication initiale de la bactérie dans les systèmes de distribution d'eau et la prévention de la création d'aérosols.

Les zones exposées au risque maximal sont les suivantes :

- Tours de refroidissement.
- Réservoirs d'eau et chaufferie.
- Systèmes de distribution d'eau froide et d'eau chaude dans des bâtiments dont les occupants sont particulièrement sensibles (établissements pour personnes âgées, hôpitaux, etc.).
- Humidificateurs et appareils de lavage créant une pulvérisation de gouttelettes d'eau et dans lesquels la température de l'eau dépasse 20 °C.
- Spas et piscines.
- Extincteurs et fontaines.

Les facteurs affectant la croissance de la bactérie comprennent :

- Température de l'eau – Des températures comprises entre 20 et 45 °C favorisent la multiplication de la bactérie (température optimale 37 °C). La prolifération de la bactérie est peu probable au-dessous de 20 °C, et le micro-organisme ne survit pas au-delà de 60 °C.
- Les eaux stagnantes favorisent la multiplication.

- La présence de sédiments, de tartre et de boues.
- Présence d'autres micro-organismes (algues, amibes et bactéries) ou d'un biofilm (couche de micro-organismes contenus dans une matrice qui peut former un dépôt visqueux sur les surfaces).

Maîtrise :

- Des mesures doivent être prises pour minimiser le risque d'exposition en empêchant la prolifération de *Legionella* dans le système ou dans l'usine et pour réduire l'exposition aux gouttelettes d'eau et aux aérosols. Éviter des températures d'eau comprises entre 20 °C et 45 °C (principal mécanisme de lutte).
- Éviter les eaux stagnantes.
- Éviter l'utilisation de matériaux pouvant héberger ou favoriser la croissance de bactéries ou d'autres micro-organismes.
- Garder le système propre (éviter les sédiments, etc.).
- Utiliser des systèmes de traitement de l'eau adaptés, comprenant des biocides.
- S'assurer que le système fonctionne de façon sûre et correcte, et qu'il est convenablement entretenu.

L'échantillonnage destiné à évaluer la qualité de l'eau est une partie essentielle du protocole de traitement de l'eau et doit inclure des tests chimiques et microbiologiques.

12.2.2 Fièvres des humidificateurs

La fièvre des humidificateurs est associée à l'exposition à différents types de micro-organismes, notamment différents types de bactéries et de champignons se trouvant dans les réservoirs des humidificateurs et dans les unités de conditionnement de l'air. Les micro-organismes ont été retrouvés dans les systèmes de ventilation importants comme dans les petites unités. Des concentrations significatives de ces micro-organismes peuvent être dispersées dans l'environnement sous forme de brouillards aérosols générés par les humidificateurs au cours de leur fonctionnement normal.

La fièvre des humidificateurs provoque généralement des symptômes pseudo-grippaux à type de fièvre, frissons, maux de tête, douleurs musculaires et fatigue. Ces symptômes surviennent généralement quelques heures après l'exposition et disparaissent après une journée environ. Cependant, dans certains cas, une alvéolite allergique peut se déclencher.

Les moyens de lutte contre la fièvre des humidificateurs visent à s'assurer que les bactéries et les champignons ne se multiplient pas et n'atteignent pas des concentrations élevées dans le réservoir d'eau. Des calendriers comprenant un nettoyage et un entretien réguliers, associés à une désinfection, doivent être établis.

12.3 Maladies à diffusion hématogène

La transmission sur le lieu de travail peut survenir par des blessures occasionnées par des objets coupants et par contact du sang infecté ou d'autres liquides corporels avec les muqueuses ou une peau lésée.

Le risque de transmission professionnelle d'un virus par voie sanguine dépend des éléments suivants :

- Prévalence du virus dans la population de patients.
- Efficacité de la transmission du virus après un contact unique avec un liquide / tissu infecté.
- Nature et fréquence des contacts sanguins professionnels.
- Concentration du virus dans le sang.

Les professions exposées à un risque plus important incluent les prestataires de soins de santé et les personnels des services d'urgence, ainsi que ceux qui voyagent et travaillent dans des pays où la prévalence de la maladie est élevée.

Pour se protéger, il convient d'éviter les contacts sanguins en adoptant les précautions suivantes :

- Port de gants de protection et de masques faciaux.
- Protection des coupures et des plaies avec un pansement imperméable.
- Précaution avec les objets coupants.
- S'assurer que tout l'équipement est convenablement stérilisé.
- Élimination sûre des matériaux infectés.
- Contrôle de la contamination des surfaces.
- Bonne hygiène.
- Le cas échéant, vaccination des travailleurs « à risque » (par exemple, hépatite B).

12.3.1 Hépatite B

L'hépatite B est provoquée par un virus à transmission hématogène et sexuelle qui est à l'origine d'une inflammation du foie. De nombreuses personnes infectées ne présentent aucun symptôme, tandis que d'autres souffrent d'une pathologie pseudogrippale caractérisée par des nausées et un ictère. L'hépatite B peut provoquer une hépatite (inflammation du foie) et être également responsable de lésions du foie à long terme.

L'hépatite B est plus fréquente dans certaines régions : notamment l'Asie du Sud-Est, l'Afrique, le Moyen-Orient et l'Extrême-Orient ainsi que l'Europe du Sud et de l'Est. L'OMS estime que 350 millions de personnes souffrent d'infection chronique à travers le monde.

Le virus peut être transmis par contact avec du sang ou des liquides corporels infectés provenant d'une personne ayant contracté l'infection. L'incapacité à éliminer l'infection par le virus de l'hépatite B après six mois conduit à un état de porteur chronique. De nombreux individus devenant porteurs chroniques ne présentent aucun symptôme et n'ont pas conscience d'être infectés.

De manière générale, pour se protéger, il convient d'éviter tout contact avec du sang. En outre, tous les prestataires de soins de santé doivent être vaccinés contre l'hépatite B, et une réponse sérologique au vaccin doit avoir été mise en évidence. Les précautions universelles doivent être appliquées dans le cadre hospitalier.

12.3.2 Hépatite C

L'hépatite C est provoquée par un virus à transmission hématogène à l'origine d'une inflammation du foie. L'infection par le virus de l'hépatite C affecte les personnes de différentes manières : un grand nombre de patients ne présentent aucun symptôme, tandis que d'autres souffrent d'une extrême fatigue. Les symptômes observés comprennent : fatigue, perte de poids, nausées, « symptôme pseudogrippal », problèmes de concentration, douleurs abdominales et ictère.

Il a été estimé qu'environ 15 à 20 % des personnes infectées éliminaient leur infection naturellement au cours des six mois suivant l'infection. Pour les autres, l'hépatite C devient une infection chronique qui peut durer plusieurs décennies, et même être permanente.

Chez les 80 à 85 % de patients ne parvenant pas à éliminer naturellement leur infection, l'évolution est extrêmement variable. Un grand nombre de personnes n'auront jamais de signe ni symptôme de maladie hépatique au cours de leur vie, et peuvent même ignorer avoir été infectées. D'autres en revanche développeront une pathologie grave du foie.

L'Organisation mondiale de la Santé estime que 170 millions de patients sont porteurs de l'hépatite C à travers le monde. Le virus se transmet lorsque le sang d'une personne infectée entre dans la circulation sanguine d'une autre. La prévention se concentre sur le fait d'éviter le contact du sang d'individus infectés avec des personnes saines.

Les utilisateurs de drogues injectables sont exposés à un risque élevé d'infection, et un équipement d'injection stérile doit toujours être utilisé. Dans le cadre des soins de santé, les précautions universelles doivent être appliquées : le sang et tous les liquides corporels doivent être traités comme potentiellement infectieux en permanence.

12.3.3 VIH (virus de l'immunodéficience humaine)

Le VIH déclenche une infection conduisant au SIDA par la destruction progressive de certaines cellules immunitaires. Le VIH est un virus qui se transmet par le sang ou sexuellement.

- Les personnes ayant contracté le VIH ne présentent généralement aucun symptôme pendant une période prolongée, tandis que le virus agit lentement en affaiblissant le système immunitaire de l'organisme.
- Lorsque le système immunitaire d'une personne a été affaibli, celle-ci devient sensible à d'autres pathologies, en particulier aux infections (par exemple tuberculose et pneumonie) et à des cancers, dont un grand nombre ne constitue normalement pas une menace chez une personne saine. À ce stade sévère de l'infection, un diagnostic de SIDA est souvent posé chez la personne. L'abréviation SIDA signifie syndrome d'immunodéficience acquise.
- Généralement, la cause de la maladie et de l'éventuel décès de la personne infectée par le VIH n'est pas le virus lui-même, mais des maladies auxquelles le virus a rendu le patient vulnérable. Grâce au traitement, une personne atteinte du SIDA peut guérir d'une maladie, mais décédera généralement d'une autre. Les personnes présentant une infection par le VIH succomberont le plus souvent prématurément.

Le VIH déclenche une infection grave. Sans traitement, la plupart des personnes mourront de leur infection.

Il n'existe actuellement aucun vaccin ni aucun traitement curatif de l'infection par le VIH. Cependant, les patients disposent de traitements, dénommés traitements antiviraux hautement actifs (*highly active antiretroviral treatment*, HAART). Ces thérapies suppriment

le VIH et peuvent inverser les lésions du système immunitaire pendant un certain temps, prolongeant ainsi la vie des personnes infectées. Le virus évolue en permanence, devenant parfois résistant aux médicaments actuels. C'est pourquoi les HAART ne constituent pas une solution à long terme ni un traitement curatif.

12.4 Zoonoses

Les zoonoses sont des infections transmises naturellement de l'animal à l'homme. Il existe plus de 150 zoonoses connues, qui vont de la teigne au charbon et à la rage. Les zoonoses affectent principalement les personnes travaillant en étroite proximité avec les animaux et manipulant les produits d'animaux, par exemple les personnels travaillant dans des élevages, des laboratoires, les vétérinaires, les forestiers et les employés de l'industrie de la laine et du tannage.

Une infection peut se produire par contact avec les contaminants suivants :

- Animaux et produits animaux (viande, farine d'os, pelage, plumes, peau, laine).
- Tissus et liquides corporels animaux (sang, salive, etc.).
- Produits liés à la mise bas (placenta, etc.).
- Excreta (urine, fumier, fèces).
- Matériels contaminés (sol, clôture, vêtements, etc.).

L'infection peut être contractée par inhalation, ingestion, par rupture de l'intégrité cutanée ou par contact avec les muqueuses.

12.4.1 Charbon Anthrax (Groupe 3)

La maladie est provoquée par la bactérie sporulée *Bacillus anthracis*. De nombreux animaux peuvent transporter la bactérie ou les spores du charbon, notamment les bovins, les équins, les caprins et les ovins. Les spores présentes sur la peau, la laine et le pelage des animaux peuvent constituer un problème pour les processus de fabrication ultérieurs utilisant ces produits. Les spores sont très résistantes et les pâturages peuvent rester infectés pendant de nombreuses années.

Il existe deux principales formes de charbon chez l'homme : le charbon cutané (une pathologie de la peau), ou le charbon pulmonaire (qui affecte les poumons).

Forme cutanée – Il s'agit de la forme la plus fréquente qui suit un contact cutané. Une tache

rouge apparaissant au site de l'infection évolue en pustule présentant un centre noir (pustule maligne). Sans traitement, la lésion commence normalement à guérir après environ 10 jours. Dans une petite proportion de cas, les bactéries de la lésion pénètrent dans la circulation sanguine et déclenchent une septicémie qui peut être fatale.

- **Forme pulmonaire ou par inhalation** – Elle est due à l'inhalation de matériaux contenant des spores. Les spores pénètrent dans les poumons et sont capturées par le système immunitaire. Les symptômes initiaux sont similaires à ceux de la grippe, mais évoluent rapidement lorsque les spores germent dans le tissu lymphoïde, se multiplient et produisent une toxine puissante. La maladie évolue en difficultés respiratoires, décoloration de la peau et désorientation, provoquant un coma et le décès en 24 à 48 heures.

Les principales professions exposées à ce risque comprennent les travailleurs agricoles, les employés des abattoirs, les personnes en contact avec le traitement des sous-produits animaux, les vétérinaires et les employés des industries de la laine et du tannage.

Les mesures de contrôle incluent l'élimination du charbon des animaux de ferme, des normes élevées d'hygiène personnelle comprenant la protection des coupures par des pansements imperméables, ainsi que l'information et la formation.

12.4.2 Leptospirose (groupe de risque 2)

La forme principale de la leptospirose est la maladie de Weil ou leptospirose ictérohémorragique. Il s'agit d'une pathologie pouvant engager le pronostic vital provoquée par la transmission de leptospires par l'intermédiaire de l'urine de rat. Les symptômes comprennent des symptômes pseudo-grippaux : fièvre, maux de tête, vomissements, douleurs musculaires, pneumonie et insuffisance rénale éventuelle, et décès.

La maladie peut être transmise par contact avec l'urine de rat ou des cours d'eau contaminés par l'urine de rat. Le germe peut pénétrer dans l'organisme par des abrasions, des coupures de la peau et par les muqueuses de la bouche, du nez et de la conjonctive.

Les professions à risque sont les agriculteurs, les employés d'élevages agricoles, de pisciculture, les travailleurs de la construction, de l'industrie de l'eau, de l'industrie du loisir, les agents des égouts et les travailleurs des laboratoires.

12.4.3 Salmonellose

La salmonellose est une infection provoquée par l'une des bactéries du genre *Salmonella*.

Les salmonelles peuvent être transportées par la plupart des animaux de ferme. Les infections sont généralement associées à l'ingestion d'aliments contaminés ou peuvent résulter d'un contact avec les excréments d'un animal de ferme, par exemple en mangeant, buvant ou fumant avec des mains contaminées.

Les symptômes se développent brutalement environ 12 à 24 heures après l'infection, et se manifestent par des malaises, des maux de tête, des nausées, une douleur abdominale, une diarrhée et une fièvre. Les symptômes durent normalement 2 à 3 jours, mais peuvent persister plus longtemps. Une déshydratation ou une septicémie (empoisonnement du sang) peut également survenir.

12.4.4 Fièvre Q

La fièvre Q est une infection causée par *Coxiella burnetii*, un type de bactérie trouvée dans le monde entier à l'exception de la Nouvelle-Zélande. L'infection est presque toujours liée au contact direct ou indirect avec des animaux tels que les bovins, les ovins ou les caprins, bien qu'un large éventail d'animaux, y compris les chats, les chiens et les kangourous, puisse être porteur de l'infection.

12.5 Moisissures

Les moisissures sont des champignons microscopiques qui se développent en formant des filaments ramifiés. Ils se reproduisent par l'intermédiaire de spores microscopiques qui donnent naissance à une nouvelle moisissure, qui à son tour produit des millions de spores.

En cas d'inhalation, les spores fongiques peuvent provoquer une rhinite allergique ou d'autres réponses allergiques, par exemple une alvéolite.

Les moisissures peuvent se trouver là où il y a de l'humidité, de l'oxygène et une source de nutriments. Elles se développent sur les matières organiques sans vie telles que la végétation en décomposition et les feuilles mortes, en particulier dans les zones ombragées humides.

Dans les situations industrielles, les boulangeries, les brasseries, les laiteries et les serres sont des exemples d'endroits idéaux pour le développement des moisissures. Toutes les zones où des aliments frais sont conservés constituent également des sites potentiels de multiplication pour les moisissures. Des exemples bien documentés font référence à des magasins ou à des silos à grains (en particulier si les graines ont été conservées avec une légère humidité).

A l'intérieur des bâtiments, les moisissures peuvent se développer dans des endroits humides, notamment dans les caves mal ventilées, les salles de bains et les unités d'humidification et de conditionnement de l'air. Elles recherchent toutes les surfaces ou les matériaux présentant de l'humidité. Une réduction de l'humidité constitue le facteur le plus important pour entraver la multiplication des moisissures.

12.6 Pandémies

Une pandémie peut être définie comme une épidémie qui se transmet sur une zone géographique étendue (plusieurs pays, un continent ou même le monde entier) et affecte une large proportion de la population.

Une pandémie peut se déclencher lorsque les conditions suivantes sont réunies :

- Émergence d'une maladie, ou d'une souche particulière d'une maladie, nouvelle pour une population.
- L'agent affecte les hommes, provoquant une maladie grave.
- L'agent se transmet facilement et de façon prolongée dans la population humaine.

De nombreuses pandémies ont sévi par le passé, notamment la typhoïde, le choléra, la peste bubonique et la grippe. La peste bubonique a décimé des dizaines de millions de personnes en Europe au Moyen Âge. La pandémie grippale la plus sévère a été enregistrée entre 1918 et 1920 lorsque la « grippe espagnole » a tué au moins 40 millions de personnes. Plus récemment, la « grippe de Hong Kong » a entraîné le décès d'environ 1 million de personnes à la fin des années 1960.

De nouvelles souches de virus grippal continuent à émerger chez l'animal, avec le risque qu'une nouvelle souche provoque une future pandémie. Ces nouvelles souches de virus grippal apparaissent lorsqu'elles sont transmises d'une espèce animale, par exemple le porc, le poulet ou le canard, à l'homme.

Un récent exemple de nouveau variant du virus grippal est la souche H5N1 (« grippe aviaire ») qui a été mise en évidence en 2004 chez les oiseaux au Vietnam. En 2007, de nombreux cas ont été diagnostiqués dans toute l'Asie, et un grand nombre en Europe. Des décès ont été constatés chez les personnes en contact étroit avec les oiseaux infectés. La maladie ne se transmet que peu ou pas d'une personne à l'autre.

La grippe aviaire H5N1 n'est pas classée comme une pandémie, dans la mesure où le virus ne peut pas se transmettre facilement ou durablement dans la population humaine.

Cependant, si le virus s'associe à une souche virale grippale humaine, un nouveau sous-type peut évoluer et devenir hautement contagieux chez l'homme.

Une autre préoccupation liée aux pandémies est le fait que de nombreux micro-organismes deviennent résistants à un grand nombre d'antibiotiques actuellement utilisés. Ces micro-organismes résistants aux antibiotiques (parfois dénommés superbactéries ou « superbugs ») peuvent contribuer à la réémergence de nombreuses maladies actuellement bien contrôlées comme la tuberculose.

Différentes bactéries communes deviennent également plus résistantes aux antibiotiques, ce qui conduit à l'apparition d'un certain nombre d'infections nosocomiales. Un exemple bien connu est *Staphylococcus aureus* résistant à la méticilline (methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* ou MRSA).

12.7 Modification génétique

La modification génétique est une technologie développée au cours des 30 dernières années ayant pour objet de modifier les caractéristiques des organismes vivants, notamment les plantes ou les animaux. Elle consiste à ajouter un nouveau matériel génétique au génome d'un organisme.

Les organismes génétiquement modifiés (OGM) permettent de larges applications. Ils sont utilisés dans la recherche biologique et médicale, la production de médicaments et en agriculture. Jusqu'à présent, l'application la plus importante de la modification génétique a été la production de cultures vivrières plus résistantes aux maladies ou à l'infestation par les insectes, ou présentant des rendements améliorés.

Les bénéfices de la modification génétique sont potentiellement énormes. Les bénéfices potentiels pouvant être obtenus à l'avenir comprennent la découverte de nouveaux traitements pour certaines maladies, de récoltes plus résistantes aux nuisibles et aux maladies, d'aliments de plus grande valeur nutritionnelle et la production de médicaments à partir des plantes.

Cependant, cette technologie soulève un certain nombre d'inquiétudes. Certaines personnes sont préoccupées par le principe de modifier les systèmes biologiques ayant évolué naturellement. En outre, d'autres craignent que nous ne soyons pas encore en mesure de comprendre toutes les conséquences potentielles de la manipulation génétique.

L'un des problèmes particuliers soulevés par cette technologie a été la possibilité que des

plantes génétiquement modifiées effectuent une pollinisation croisée avec d'autres variétés de cultures « naturelles » et produisent une autre variété dont les propriétés n'ont pas été évaluées. La sécurité des organismes génétiquement modifiés dans la chaîne alimentaire a également été mise en question.

Ces préoccupations ont conduit à la mise en place de contrôles stricts pour l'utilisation et la production des organismes génétiquement modifiés.

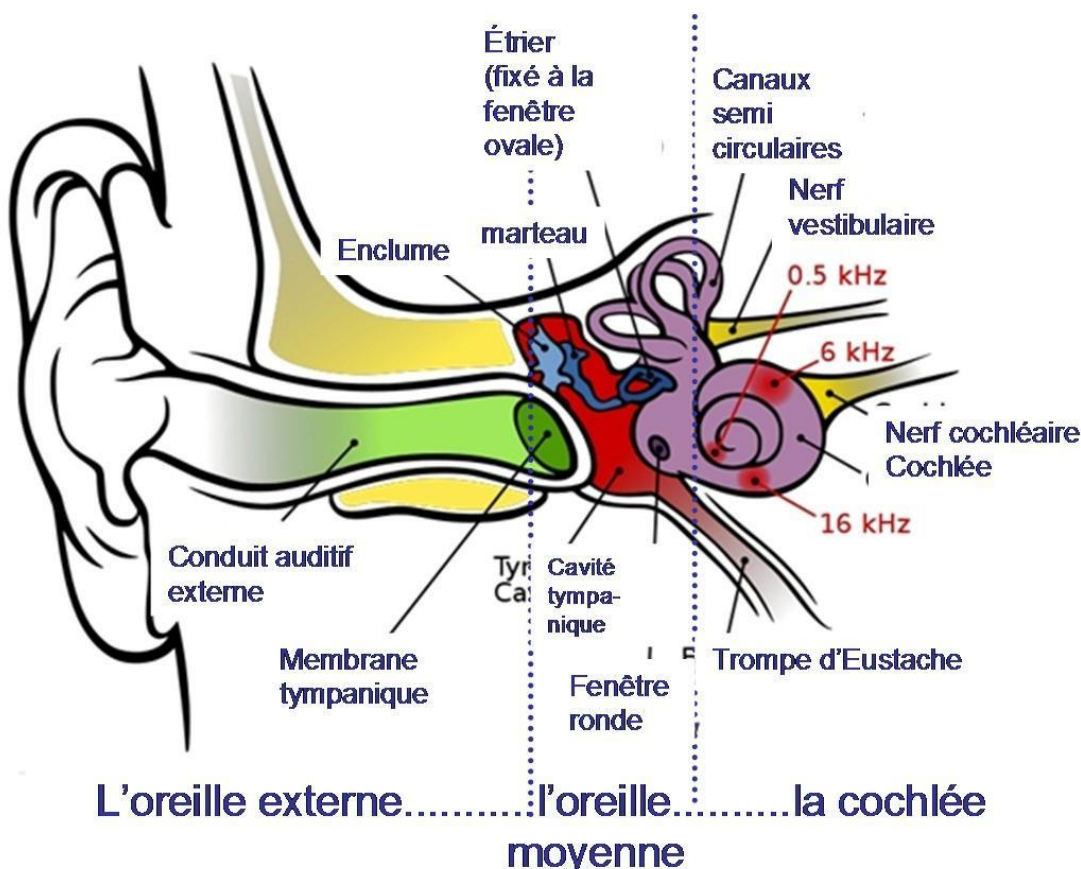
13 BRUIT

13.1 Généralités

Il est devenu commun de définir le bruit comme un son indésirable, et il est connu depuis de nombreuses années qu'il peut être à l'origine d'une perte de l'audition dans l'industrie. Mais qu'est-ce qu'exactly un son et comment l'entendons-nous ? Le son est la sensation qui est perçue par le cerveau humain ou animal à la suite de vibrations longitudinales des molécules de l'air entrant en contact avec l'oreille.

Le son est en fait constitué d'ondes de pression provoquées par un corps émettant des vibrations, qui irradient à partir de la source. L'oreille humaine peut sentir et percevoir des petites ondes de pression rapides sous forme de son (bruit) et transmettre au cerveau l'information sur leur ampleur (amplitude) et leur fréquence.

13.2 L'oreille



Source : Wikimedia Commons

Figure 13.1 – Diagramme simplifié de l'oreille humaine

L'oreille externe, qui est la partie visible, reçoit les ondes de pression et les transmet le long du canal auditif jusqu'à une membrane – le tympan, qui est situé à l'intérieur du crâne afin d'être protégé. Le tympan vibre en réponse aux ondes de pression sonores, cette vibration est transmise par l'intermédiaire des trois petits os de l'oreille moyenne - le marteau, l'enclume et l'étrier - à une autre membrane, la fenêtre ovale de l'oreille interne.

L'oreille moyenne contient également la trompe d'Eustache, qui fournit une ouverture jusque dans la gorge et maintient ainsi l'oreille moyenne à pression atmosphérique. Cette égalisation de la pression est nécessaire, car le tympan doit répondre à des petites fluctuations rapides de la pression, et non à la pression absolue.

La fenêtre ovale transmet à son tour les vibrations dans la cochlée, un organe hélicoïdal contenant un liquide et quelque 25 000 cellules réceptrices (terminaisons nerveuses). Les vibrations génèrent des ondes de pression dans le liquide de la cochlée, et celles-ci stimulent les terminaisons nerveuses qui transmettent les signaux électriques correspondants au cerveau. Chaque cellule réceptrice est caractérisée par sa propre hauteur tonale. Elle est donc en mesure d'analyser et de séparer, dans un mélange de signaux reçus, leurs composants individuels de fréquence. Cette capacité permet à l'oreille humaine d'identifier des notes individuelles dans un ensemble de sons perçus.

13.3 Son audible

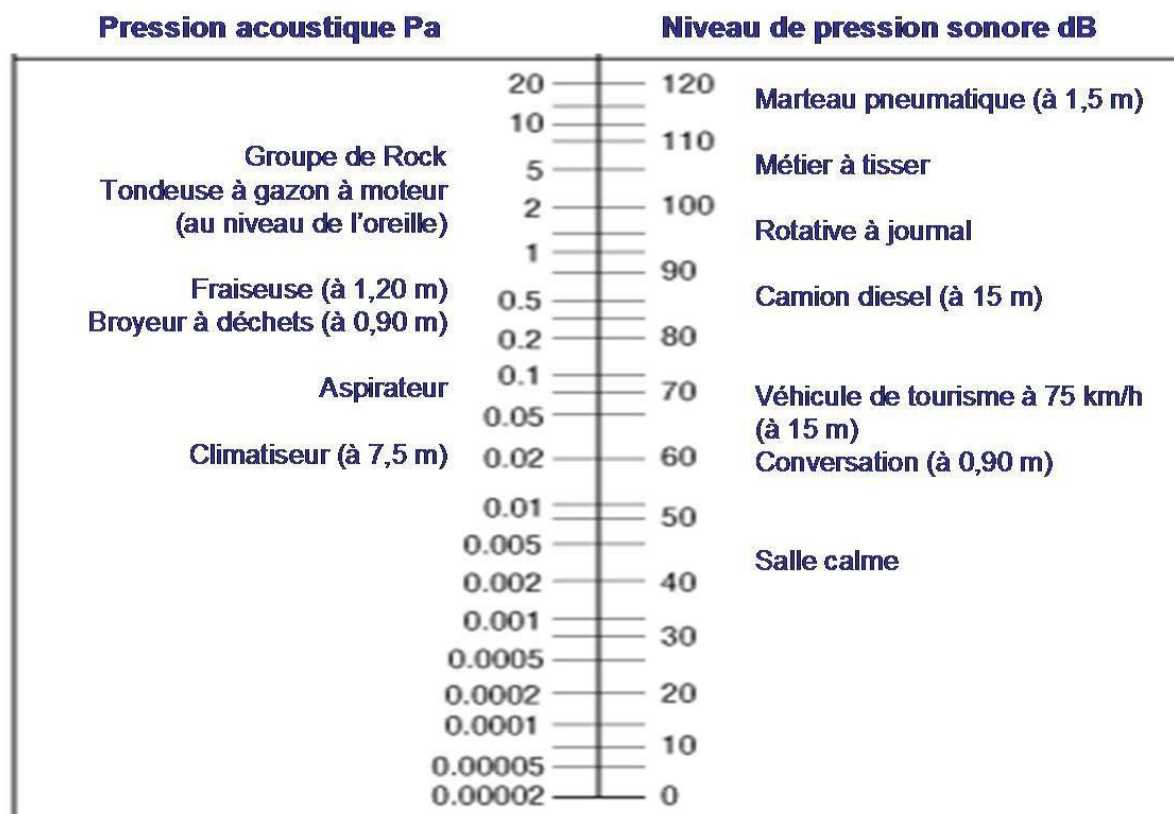
La fréquence et l'intensité sont les deux caractéristiques principales du son. Le nombre d'ondes de pression / de vibrations par seconde définit la fréquence, qui est exprimée en Hertz (Hz) ; plus les fluctuations par seconde sont nombreuses, plus la tonalité du son est élevée. L'intervalle de fréquence que l'oreille humaine peut normalement identifier est compris entre 20 Hz et 20 000 Hz (20 kHz). La note do médiane a une fréquence d'approximativement 260 Hz (les opinions des musiciens varient entre 255 et 278 Hz), et doubler la fréquence augmente la hauteur tonale d'une octave, c'est-à-dire que le do situé à l'octave supérieure du do moyen (260 Hz) a une fréquence de 520 Hz.

Par le terme d'intensité (I), nous désignons l'amplitude (la taille) des ondes de pression, et elle est définie comme la quantité moyenne d'énergie traversant une surface unitaire par unité de temps. Elle est exprimée en watts par mètre carré (W/m^2).

Il devient très compliqué d'exprimer les niveaux sonores en mesures de la pression sonore (Pascals) ou en intensité ($watt/m^2$), car les nombres deviennent très difficiles à manipuler. Nous les relierons par conséquent à un niveau de référence (dans ce cas, le seuil de l'audition)

et nous utilisons une échelle logarithmique pour exprimer le résultat, ce qui produit un chiffre beaucoup plus facile à utiliser. Cette unité a été dénommée décibel, qui est égal à 1/10 de Bel. Le décibel (dB) n'a pas de dimension en soi ; il s'agit juste d'une unité de comparaison définie par une échelle logarithmique, de telle sorte que l'augmentation du nombre de décibels correspond à une multiplication de l'intensité. La force du bruit est fonction à la fois de l'intensité et de la fréquence.

COMPARAISON ENTRE LA PRESSION ACOUSTIQUE ET LE NIVEAU DE PRESSION SONORE



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

13.4 Effets d'un bruit excessif sur la santé

Il est établi depuis longtemps qu'une exposition régulière à un bruit de forte intensité peut entraîner des lésions du mécanisme de l'audition, le degré d'altération étant proportionnel à l'énergie totale intégrée du bruit perçu par les oreilles. Les lésions sont liées à l'intensité, la nature (continue ou intermittente) et à la durée de l'exposition au bruit, et montrent des effets visibles à l'échelle microscopique sur l'oreille interne, généralement irréparables et incurables. Il existe cinq effets possibles du bruit sur la santé :

- 1 La perte d'audition due au bruit est un effet cumulatif provoqué par une exposition répétée. Elle est due à des lésions des cellules épithéliales pourvues

de poils de la cochlée dans l'oreille interne. La première indication d'une perte d'audition se manifeste par une réduction de la capacité à entendre des fréquences de l'ordre de 4 kHz. Avec le temps, si l'exposition continue, les lésions de l'audition induites par le bruit aggravent la profondeur de la perte d'audition, qui s'étend à des fréquences inférieures et supérieures à la valeur moyenne de 4 kHz.

- 2 Acouphènes – Bruit entendu dans l'oreille sans cause externe ; ils accompagnent fréquemment la surdité.
- 3 Déplacement temporaire des seuils d'audition – Lésions des cils de l'oreille interne pouvant altérer temporairement l'audition, provoquées par l'exposition à des niveaux de bruit élevés. La récupération survient lorsque l'exposition au niveau sonore élevé est réduite, généralement après une période de plusieurs heures.
- 4 Lésions physiques du tympan et des osselets de l'oreille moyenne induites par des niveaux sonores excessivement élevés, par exemple une explosion. Ce type de perte d'audition est désigné par le terme de surdité de transmission (ou de conduction).
- 5 Contrariété / stress, qui sont difficiles à mesurer et à quantifier, mais peuvent provoquer des effets psychologiques comme des difficultés de concentration, une irritabilité et un stress.

Outre la perte d'audition temporaire ou permanente, le bruit peut également être un danger pour la sécurité. De façon la plus évidente, le bruit empêche la communication verbale, entraînant des erreurs et des incapacités à répondre à des sons d'alerte ou à des cris.

Les lésions de l'audition peuvent être induites par une exposition continue à des niveaux dépassant 85 dB(A), mais la réponse individuelle varie au sein d'une population. Une exposition continue à des niveaux supérieurs à 90 dB(A) entraînera une perte d'audition due au bruit chez 20 % de la population exposée.

Une exposition régulière à un **bruit d'intensité élevée**, c'est-à-dire supérieure à 80 dB(A), entraînera presque invariablement un certain degré de perte d'audition due au bruit chez les personnes dont l'audition est sensible. Il n'existe aucun moyen de prévoir à l'avance quels individus en particulier seront plus sensibles à la perte d'audition due au bruit.

Un **bruit d'intensité modérée**, c'est-à-dire entre 55 et 80 dB(A), bien qu'il ne constitue pas un danger potentiel pour l'audition, peut affecter négativement la concentration et interférer avec la communication orale si l'intensité est supérieure à 65 dB(A).

Un **bruit de faible intensité**, c'est-à-dire inférieure à 55 dB(A), peut se traduire par des plaintes de la population ressentant une « gêne », par exemple des troubles du sommeil.

13.5 Addition des niveaux sonores

Lorsque deux sons sont émis en même temps, leur intensité combinée totale n'est pas la somme numérique des valeurs en décibels de chaque son. Pour des calculs précis, ils doivent être ajoutés sous forme logarithmique – généralement en utilisant une calculatrice. Autrement, une approximation raisonnable de l'addition des niveaux en décibels peut être effectuée en utilisant le tableau suivant :

Différence en dB(A) entre la source faible et la source forte	Ajouter au son le plus élevé
0 ou 1	3
2 ou 3	2
4 à 9	1
10 ou plus	0

Par conséquent, si deux machines émettent toutes les deux des niveaux sonores de 90 dB(A), la somme totale exprimant le niveau sonore sera de 93 dB(A). Un doublement du niveau sonore entraînera une augmentation de 3 dB(A).


$$\begin{array}{c} \text{90 dB(A)} \end{array} + \begin{array}{c} \text{90 dB(A)} \end{array} = 93 \text{ dB(A)}$$

13.6 Analyse de fréquence

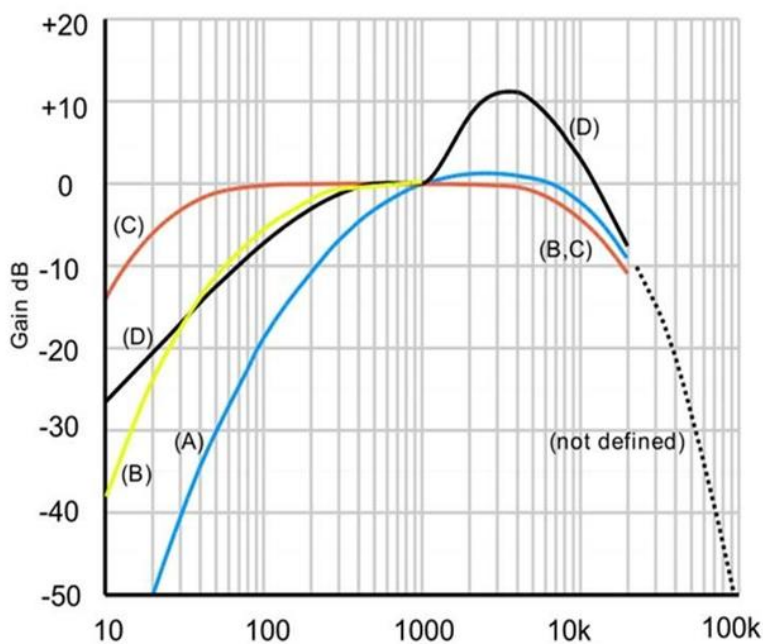
Sauf si un son est pur, ce qui est inhabituel, la plupart des bruits sont constitués de sons de fréquences et d'intensités variables. Lors de l'évaluation de ces bruits afin de déterminer leur influence sur la santé ou la gêne qu'ils occasionnent, il est utile de comprendre quels sont les différents niveaux d'un intervalle de fréquence, c'est-à-dire qu'il est judicieux de produire un spectre sonore. Pratiquement, il est habituel de diviser l'intervalle des fréquences en bandes d'octave à l'aide d'un instrument qui mesure les intensités sur une octave. Il exprime

la valeur en indiquant l'intensité à une fréquence particulière située au milieu de l'octave. Les fréquences à mi-octave choisies pour cette analyse sont ici :

31,5 Hz ; 63 Hz ; 125 Hz ; 250 Hz ; 500 Hz ; 1 kHz ; 2 kHz ; 4 kHz ; 8 kHz et parfois 16 kHz
Par conséquent, un spectre sonore exprime les intensités à chacune des fréquences à mi-octave ci-dessus. L'oreille humaine montre une sensibilité maximale aux fréquences entre 20 Hz et 20 kHz. La fréquence de la parole est comprise entre 500 Hz et 4 kHz. Les voyelles se situent aux fréquences basses et les consonnes aux fréquences hautes.

13.7 Pondération des décibels

Dans la mesure où le bruit est une combinaison de sons de fréquences et d'intensités variables, l'intensité du son peut soit être exprimée sous forme de spectre, soit sous forme d'une combinaison de toutes les fréquences ajoutées ensemble pour obtenir une seule valeur. L'oreille humaine étant plus sensible à certaines fréquences qu'à d'autres, il est possible de tenir compte de ce phénomène dans les circuits électroniques d'un appareil de mesure du niveau sonore ; c'est-à-dire que certaines fréquences seront supprimées tandis que d'autres seront renforcées afin d'obtenir une approximation de la réponse de l'oreille humaine. Cette technique est désignée par le terme de pondération, il existe les pondérations A, B, C et D disponibles pour différents objectifs. Celle qui a été adoptée pour le spectre sonore sur le lieu de travail est exprimée en dB(A). Si la pondération A est appliquée pour une mesure exprimée en dB, le niveau correspondant en dB(A) sera une bonne indication de l'intensité telle qu'elle est perçue par l'oreille humaine.



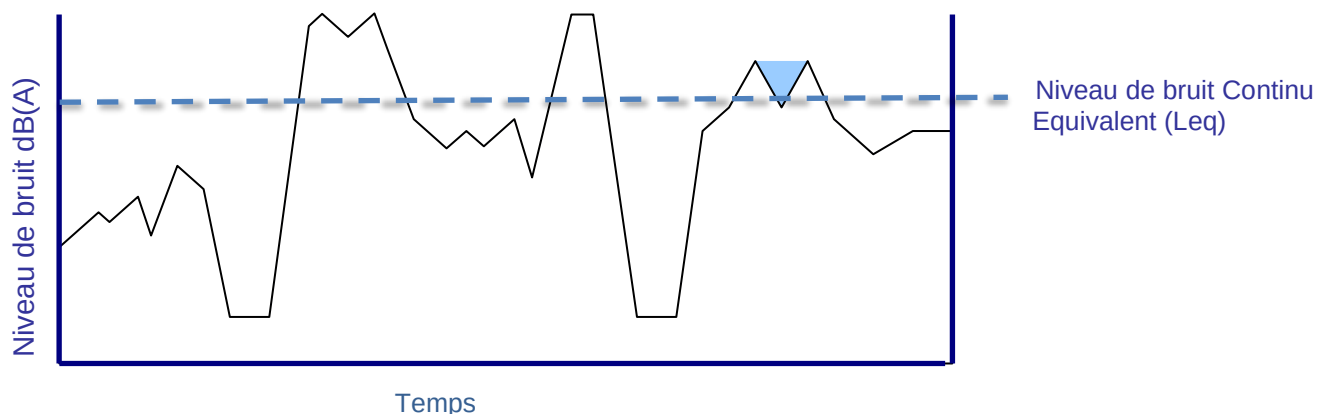
pondération A (bleu), B (jaune), C (rouge) et D (noir)

Source : Wikimedia Commons –
Domaine public

Figure 13.2 – Graphique indiquant les pondérations de fréquence et la réponse relative.

13.8 Niveau de bruit continu équivalent (Leq)

L'expression de l'exposition au bruit du point de vue de sa capacité à provoquer une perte d'audition due au bruit est simplifiée par l'utilisation des dB(A) au lieu des dB, car elle élimine le facteur dépendant de la fréquence. Cependant, les bruits industriels varient en fréquence comme en intensité au cours de la journée et d'un jour à l'autre, et sont souvent de nature intermittente. Un calcul de la moyenne est par conséquent nécessaire et le niveau de bruit continu équivalent (Leq) a été établi à cet effet.



Source : Adrian Hirst

Le Leq peut être défini comme le niveau de pression sonore constant qui, pendant une certaine période, a la même teneur énergétique et, par conséquent, exerce le même potentiel lésionnel sur l'audition que le son réel fluctuant.

13.9 Dose de bruit

En Europe, la directive 2003/10/CE sur les agents physiques (bruit) spécifie que niveau d'exposition quotidienne au bruit ($L_{EX,8h}$) ne doit pas excéder 85 dB(A). Cette limite est équivalente à un Leq de 85 dB(A) pendant 8 heures par jour, et représente une dose de bruit (un indice d'évaluation du bruit) de 100 %. En utilisant le concept énergétique du Leq, une augmentation de 3 dB du niveau de pression du son diminue de moitié la durée possible d'exposition. Par exemple, une augmentation du niveau sonore de 85 dB(A) à 88 dB(A) doit s'accompagner d'une réduction de moitié de la durée d'exposition, de 8 heures à 4 heures.

Durée par jour (heures)	Limite européenne (Leq) dB(A)
16	82
8	85
4	88
2	91
1	94
30 minutes	97
15 minutes	100
7,5 minutes	103
3,75 minutes	106

13.9.1 Calcul du Lep,d

Un certain nombre de tableurs et de nomogrammes sont disponibles pour le calcul du Lep,d. Voir : <http://www.hse.gov.uk/noise/calculator.htm> (consulté en 07/2015) ou <http://www.inrs.fr/risques/bruit/exposition-risque.html>

13.10 Limites de bruit

En Europe, la directive sur les agents physiques (bruit) établit également les devoirs des employeurs dans les États membres de la façon suivante :

- L'employeur est obligé d'évaluer les risques associés à une exposition au bruit.
- Il doit protéger les employés d'une exposition au bruit en prenant les mesures suivantes :
- Élimination et contrôle des risques de bruit.
- Fourniture d'une protection auditive appropriée.
- Délivrance des informations, des instructions et de la formation appropriées pour les employés au sujet des risques, des mesures de contrôle, de la protection de l'audition et des pratiques de sécurité au travail.
- Fourniture d'une surveillance de santé (vérification de l'audition) pour les employés exposés à ce risque.
- Entretien de l'équipement, en particulier tout équipement fourni pour contrôler le bruit.
- Examen régulier de l'évaluation des risques et des actions appropriées

(normalement au moins une fois tous les deux ans).

Les réglementations spécifient les actions et les valeurs limites de la façon suivante :

- **Valeurs d'exposition inférieures déclenchant l'action** : exposition personnelle au bruit quotidienne ou hebdomadaire de 80 dB (pondération A) et pic de pression sonore de 135 dB (pondération C).
- **Valeurs d'exposition supérieures déclenchant l'action** : exposition personnelle au bruit quotidienne ou hebdomadaire de 85 dB (pondération A) ou pic de pression sonore de 137 dB (pondération C).
- **Valeurs limites d'exposition** : exposition personnelle au bruit quotidienne ou hebdomadaire de 87 dB (pondération A) ou pic de pression sonore de 140 dB (pondération C).

13.10.1 Autres limites

Les limites de bruit ont été davantage renforcées au cours des deux dernières décennies. En Europe, une limite de 85 dB(A) de $L_{ep,d}$ est utilisée, tandis qu'une limite de 90 dB(A) est spécifiée au Canada. Aux États-Unis, un ensemble de critères plus complexe est appliqué, présentant une corrélation entre la dose et le niveau de pression sonore et le temps. Ces dispositions sont connues comme le concept de doublement de 5 dB, et sont largement discréditées en dehors des États-Unis.

D'un point de vue pratique, la norme adoptée par une société ou un pays, et la manière dont ces normes sont appliquées par des mesures de contrôle d'ingénierie, dépendent de l'interprétation de la base de données de l'évaluation des risques, et sur ce qui est considéré comme « raisonnablement praticable » à mettre en œuvre.

13.11 Conservation de l'audition

L'objectif de la mise en œuvre de programmes de conservation de l'audition dans l'industrie est de prévenir la perte d'audition professionnelle en assurant l'évaluation et de contrôle de l'exposition à des bruits excessifs sur le lieu de travail. Cela peut être obtenu grâce à des programmes incorporant les caractéristiques essentielles suivantes.

13.11.1 Évaluation du bruit sur le lieu de travail

Le principal intérêt quant au bruit sur le lieu de travail concerne l'exposition sonore professionnelle et le respect d'une limite d'exposition professionnelle. C'est la raison pour laquelle une surveillance sur le bruit doit être effectuée dans les zones où une exposition

à un bruit professionnel est susceptible de dépasser le Premier niveau d'action dans les États membres de la Communauté européenne.

Sur les lieux de travail où les niveaux sonores sont raisonnablement constants, la surveillance doit établir une carte à courbes de niveaux sonores, les expositions individuelles aux bruits typiques au cours d'une période de travail complète ou les deux. Bien que le respect de la limite d'exposition au bruit soit une préoccupation essentielle, il est souvent plus facile, d'un point de vue administratif, pour respecter cette exigence de spécifier et d'assurer le respect d'une limite sur un lieu de travail numériquement égale à la limite d'exposition au bruit. C'est pourquoi une approche par courbes de niveaux sonores a été adoptée. Trois circonstances peuvent se présenter :

- Si seule l'approche par courbes de niveaux sonores est adoptée, les localisations où le niveau sonore est numériquement supérieur ou égal à la limite d'exposition au bruit doivent être désignées clairement, comme zones de danger dû au bruit. Aucune personne ne doit pénétrer dans ces zones sans disposer des protections auditives adaptées, quelle que soit la durée de la visite.
- Si les expositions individuelles au bruit typiques au cours d'une période de travail complète ont été déterminées, celles-ci doivent être comparées avec la limite d'exposition au bruit. Pour les activités professionnelles au cours desquelles la limite devrait normalement être dépassée, une protection auditive adaptée doit être portée dans les zones où des niveaux élevés de bruit sont constatés.
- Si une carte à courbes de niveaux sonores et les données sur l'exposition au bruit sont disponibles, un niveau de bruit numériquement supérieur à la limite d'exposition sonore peut être utilisé pour définir les zones désignées, à la condition qu'il puisse être montré que les expositions au bruit sont constamment inférieures à la limite d'exposition au bruit.

Les niveaux de bruit peuvent être déterminés en utilisant un sonomètre (de type 1 ou de type 2), mais il est essentiel que l'instrument soit utilisé correctement si des données significatives doivent être obtenues, par exemple respect de l'étalonnage, prise en compte du type de bruit, etc.

Dans les lieux de travail où les niveaux de bruit fluctuent (par exemple, zones d'atelier), l'enquête devra établir les expositions individuelles typiques au bruit au cours d'une période

complète de travail pour les activités concernées, afin de les comparer à la limite d'exposition au bruit. Pour les activités ou les éléments d'activités pour lesquels la limite doit normalement être dépassée, une protection auditive adaptée doit être portée.

En dehors de la vérification du respect d'un critère d'exposition, les mesures de l'exposition au bruit sont également utiles pour indiquer les zones prioritaires de contrôle du bruit, mettre en évidence les personnels exposés au risque les plus élevés et à des fins d'information sur la conservation de l'audition.

13.11.2 Contrôle du bruit sur le lieu de travail

Lorsqu'un contrôle d'ingénierie est indiqué pour minimiser le bruit sur un lieu de travail, les approches générales suivantes sont recommandées, par ordre décroissant de préférence :

- Réduction du bruit à la source – plus facile à obtenir au stade de la conception.
- Isolement de l'équipement bruyant – bien que la dissipation de la chaleur et l'accès pour l'entretien puissent constituer un problème.
- Pose d'un écran entre l'équipement bruyant et le travailleur et/ou augmentation de la séparation du travailleur des sources de bruit.
- Absorption du son par gainage des surfaces appropriées avec un matériau absorbant le bruit lorsque la réverbération peut être un problème.

Ces mesures doivent être couplées avec un entretien régulier des machines, car cela peut contribuer de manière significative à minimiser l'émission de bruit.

Des spécifications concernant le bruit doivent être établies pour toute nouvelle machine. Ces spécifications doivent prendre en compte l'environnement sonore existant du lieu de travail et les limites d'exposition au bruit en vigueur.

13.11.3 Protection du personnel à risque

Il est nécessaire de protéger le travailleur d'une exposition à un bruit excessif dans l'environnement de travail si des mesures d'ingénierie et/ou d'autres moyens de lutte sont insuffisants ou ne peuvent pas raisonnablement être mis en pratique. Une ou plusieurs des approches suivantes peuvent être adoptées :

- Mise à disposition de refuges antibruit dans des zones désignées, par exemple chaufferie. Si 50 % de la journée de travail est passée dans les refuges acoustiques, l'exposition est effectivement divisée par deux – c'est-à-dire que la dose de bruit est réduite de 3 dB(A).

- Modification du schéma de travail, par exemple par une rotation des emplois (bien que cela puisse être difficile à administrer) afin de réduire la durée d'exposition dans des zones désignées et ainsi restreindre l'exposition.
- Utilisation de dispositifs de protection auditive individuels, par exemple casque anti-bruit, bouchons d'oreille. La sélection appropriée, l'utilisation correcte et l'entretien régulier de ces dispositifs sont d'une importance cruciale pour assurer une protection efficace contre le bruit. Lorsqu'elles sont disponibles, les données d'atténuation réelle doivent être prises en compte dans la procédure de sélection.

13.11.4 Informations, instructions et formation

Toutes les personnes potentiellement exposées sur le lieu de travail à des bruits dont l'intensité dépasse la limite d'exposition au bruit doivent être informées du risque de perte d'audition, des mesures préventives et de leur rôle dans le programme de conservation de l'audition.

La formation des employés potentiellement à risque doit inclure des informations sur les sujets suivants :

- Nature du bruit et mécanisme de l'audition.
- Effets sur l'audition de l'exposition à des sons dépassant la limite d'exposition au bruit.
- Principes de conservation de l'audition.
- Exigences pour la mise en place efficace du programme de conservation de l'audition.

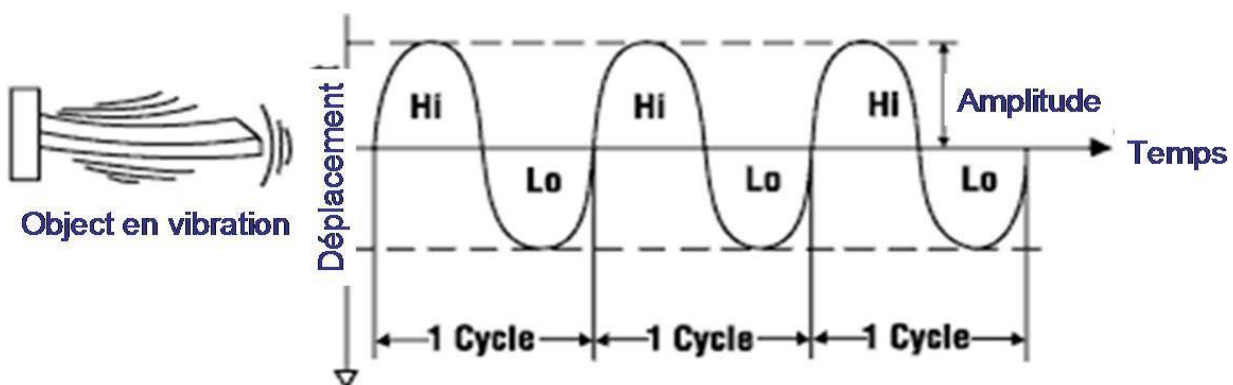
14 VIBRATIONS

14.1 Introduction

Les vibrations sont des oscillations mécaniques d'un objet autour d'un point équilibre. Les oscillations peuvent être régulières comme le mouvement d'un pendule ou aléatoires comme le mouvement d'un pneu sur une route cahoteuse. L'étude des effets sur la santé des vibrations nécessite la mesure des « ondes de pression » globales qui sont générées par l'équipement ou la structure émettant les vibrations.

Les vibrations pénètrent dans le corps par l'organe en contact avec l'équipement vibrant. Lorsqu'un travailleur utilise un équipement portatif, par exemple une tronçonneuse ou un marteau-piqueur, les vibrations affectent les mains et les bras. Une telle exposition est dénommée exposition aux vibrations des mains et des bras. Lorsqu'un travailleur s'assied ou reste debout sur un sol ou un siège vibrant, l'exposition aux vibrations affecte pratiquement le corps entier, et elle est dénommée exposition aux vibrations du corps entier.

Si nous pouvions observer un objet vibrant au ralenti, nous pourrions voir les mouvements dans différentes directions. Toute vibration est définie par deux quantités mesurables. L'ampleur du déplacement (amplitude ou intensité) et la vitesse du déplacement (fréquence) de l'objet contribuent à déterminer les caractéristiques de ses vibrations. Les termes utilisés pour décrire ce mouvement sont : fréquence, amplitude et accélération.



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

Figure 14.1 – Représentation des mesures de l'exposition aux vibrations

14.1.1 Fréquence

Un objet vibrant se déplace d'avant en arrière par rapport à sa position stationnaire normale. Un cycle complet de vibrations est achevé lorsque l'objet se déplace d'une position extrême

à l'autre position extrême et qu'il revient à la position initiale. Le nombre de cycles qu'un objet vibrant effectue en une seconde est dénommé fréquence. L'unité de fréquence est le hertz (Hz). Un hertz équivaut à un cycle par seconde.

14.1.2 Amplitude

Un objet vibrant se déplace d'une certaine distance maximale de chaque côté de sa position stationnaire. L'amplitude est la distance par rapport à la position stationnaire jusqu'à la position extrême d'un côté, et elle est mesurée en mètres (m). L'intensité de la vibration dépend de l'amplitude.

14.1.3 Accélération (mesure de l'intensité de la vibration)

La vitesse d'un objet vibrant varie de zéro à une valeur maximale au cours de chaque cycle de vibrations. Il se déplace le plus rapidement lorsqu'il passe par sa position stationnaire naturelle vers une position extrême. L'objet vibrant ralentit lorsqu'il s'approche de la position extrême, il s'arrête puis se déplace en sens inverse jusqu'à la position stationnaire puis vers l'autre extrême. La vitesse de vibration est exprimée en mètres par seconde (m/s).

L'accélération est la mesure de la rapidité avec laquelle la vitesse change par rapport au temps. La mesure de l'accélération est exprimée en (mètres par seconde) par seconde ou en mètres par seconde carrée (m/s^2). L'amplitude de l'accélération change de zéro à une valeur maximale au cours de chaque cycle de vibration. Elle augmente lorsque l'objet vibrant s'éloigne de sa position stationnaire normale.

14.2 Exposition aux vibrations

L'exposition aux vibrations se produit normalement au cours de l'utilisation d'appareils motorisés, par exemple les outils à main ou en voyageant dans des véhicules. Certains exemples d'exposition sont fournis ci-dessous. Les vibrations ont tendance à être classées selon les types suivants en fonction de la nature de l'exposition.

Les **vibrations des mains et bras** sont des vibrations mécaniques qui, lorsqu'elles sont transmises au système mains-bras de l'homme, peuvent entraîner des troubles vasculaires, osseux ou articulaires, neurologiques ou musculaires.

Les **vibrations du corps entier** sont des vibrations mécaniques qui, lorsqu'elles sont transmises au corps entier, peuvent entraîner une morbidité de la région inférieure du dos et des traumatismes de la colonne vertébrale.

Exemples d'exposition professionnelle aux vibrations

Industrie	Types de vibrations	Sources fréquentes de vibrations
Agriculture	Corps entier	Tracteurs
Chaudronnerie	Main-bras	Outils pneumatiques
Construction	Corps entier Main-bras	Véhicules d'équipement lourds Outils pneumatiques, marteaux-piqueurs
Taille de diamants	Main-bras	Outils à main vibrants
Sylviculture	Corps entier Main-bras	Tracteurs Tronçonneuses
Fonderies	Main-bras	Fendeuses vibrantes
Fabrication de meubles	Main-bras	Burins pneumatiques
Fer et acier	Main-bras	Outils à main vibrants
Bois	Main-bras	Tronçonneuses
Machines-outils	Main-bras	Outils à main vibrants
Exploitation minière	Corps entier Main-bras	Utilisation d'un véhicule Marteaux perforateurs
Rivets	Main-bras	Outils à main
Caoutchouc	Main-bras	Outils pneumatiques de décapage
Tôles	Main-bras	Emboutisseuses
Chantiers navals	Main-bras	Outils à main pneumatiques
Cordonnerie	Main-bras	Bocard
Rhabillage d'une meule	Main-bras	Outils à main pneumatiques
Textile	Main-bras	Machines à coudre, métiers à tisser
Transport	Corps entier	Véhicules

14.3 Effets des vibrations sur la santé

Les affections induites par les vibrations progressent lentement. Au début, elles se manifestent par une douleur. Lorsque l'exposition aux vibrations se poursuit, la douleur peut évoluer en blessure ou en pathologie. La douleur est la première manifestation pathologique observée, et doit être prise en charge afin d'interrompre la progression des lésions.

Le phénomène du doigt blanc lié aux vibrations [Vibration-induced white finger (VWF)] est l'affection la plus fréquente chez les personnes utilisant des outils à main vibrants. Les vibrations peuvent entraîner des altérations des tendons, des muscles, des os et des articulations, et peuvent affecter le système nerveux. Globalement, ces effets sont regroupés sous l'appellation syndromes des doigts blancs/maladie de Raynaud [Hand-Arm Vibration Syndrome (HAVS)]. Les symptômes sont aggravés lorsque les mains sont exposées au froid. Les travailleurs affectés par la maladie de Raynaud rapportent généralement les symptômes suivants :

- Crises de blanchissement d'un ou plusieurs doigts en cas d'exposition au froid.
- Picotements et perte de sensation au niveau des doigts.
- Perte du toucher léger.
- Sensations de douleur et de froid entre les crises périodiques de blanchissement des doigts.
- Perte de la force de saisie.
- Kystes osseux au niveau des doigts et des poignets.

Le développement de la maladie de Raynaud est graduel et sa sévérité augmente avec le temps. Un délai de quelques mois à quelques années peut être nécessaire pour que les symptômes de la maladie de Raynaud deviennent cliniquement observables. Le syndrome des doigts blancs est un trouble qui affecte les vaisseaux sanguins, les nerfs, les muscles et les articulations de la main, du poignet et du bras, et qui peut devenir sévèrement incapacitant s'il est ignoré. La syncope locale des doigts blancs est un symptôme fréquemment rapporté chez les travailleurs utilisant régulièrement des outils et/ou des perceuses motorisées, qui peut être déclenché par un temps froid ou humide, et provoque une douleur sévère dans les doigts affectés.

14.4 Mesure des vibrations

Les vibrations sont en général mesurées par des accéléromètres et, contrairement à un sonomètre, la sonde doit être de petite taille et légère afin de ne pas altérer le mouvement vibratoire de la machine qui est mesuré ou, si l'appareil est attaché à la main d'un travailleur, l'accélération mesurée. À l'inverse des mesures de bruit, l'évaluation des vibrations comporte un élément subjectif dans la mesure où l'accéléromètre doit être maintenu contre un outil vibrant à la main ; il peut être fixé à l'outil, par exemple par des élastiques ; ou il peut être fixé à la main de l'opérateur. Toutes ces possibilités donneront nécessairement des résultats différents.

15 ENVIRONNEMENT THERMIQUE : PRINCIPES, EVALUATION & MAITRISE

Le corps humain peut être considéré comme une usine de traitement, utilisant des réactions chimiques complexes pour produire de l'énergie mécanique ; la conséquence de l'inévitable inefficacité de ces réactions est la production de chaleur comme sous-produit. Afin de fonctionner efficacement, nous devons maintenir notre organisme à une température constante comprise entre 36,5 et 37,5 °C.

15.1 Réponse de l'organisme humain à l'environnement thermique

Les centres de régulation thermique de notre cerveau sont sensibles à de faibles changements de la température du sang, et reçoivent également des informations des nerfs sensitifs situés au niveau de la peau, après quoi notre cerveau traite ces données pour ajuster les réponses de l'organisme à la chaleur.

15.1.1 Réponses physiologiques à la chaleur

Lorsqu'ils sont exposés à la chaleur, les vaisseaux sanguins de la peau se dilatent et la fréquence du pouls augmente. Cela élève le débit sanguin à la surface du corps, augmentant ainsi le transfert de chaleur du centre du corps à la peau et au milieu environnant. La transpiration accroît également la perte de chaleur due à la chaleur latente de l'évaporation. Ce phénomène a également pour conséquence qu'il augmente nos besoins en eau.

Dans des conditions très chaudes, la transpiration offre le plus grand potentiel pour réguler la température corporelle. Lors de la relocalisation d'un climat frais à un climat principalement plus chaud, il est nécessaire de permettre au corps de s'acclimater en augmentant le volume sanguin et la capacité de sudation tout en diminuant les pertes de sel dans la sueur. Il existe de nombreuses variantes au concept suivant. L'acclimatation nécessite une activité physique dans des conditions de stress thermique semblables à celles prévues pour le travail. Cela signifie au moins deux heures continues dans un environnement similaire pendant 5 jours sur 7 ou 10 jours sur 14 pour s'acclimater (ACGIH 2015). Cette capacité accrue de transpiration est perdue après quelques jours dans un environnement plus frais. Une perte d'acclimatation perceptible survient après 4 jours et disparaît complètement après trois à quatre semaines (ACGIH 2015)

Les effets indésirables possibles de l'exposition à une chaleur excessive comprennent; fatigue, modification du comportement (y compris la concentration réduite), crampes de chaleur dues à la perte de sel, à l'évanouissement, à l'épuisement dû à la chaleur et au coup

de chaleur.

15.1.2 Réponses physiologiques au froid

Lorsqu'ils sont exposés au froid, les vaisseaux sanguins de notre peau se contractent et le flux de chaleur vers la surface du corps est réduit, minimisant ainsi la perte de chaleur du corps. La production de chaleur est augmentée par l'activité physique et les frissons. Contrairement à l'acclimatation à la chaleur, il est difficile de trouver des situations où l'acclimatation humaine au froid pourrait se développer et être clairement démontrée. Les preuves de cette adaptation sont variées et souvent contradictoires.

Les amas coréennes (plongeurs perlières) sont soumises à un stress quotidien de l'ensemble du corps plus grand que tout autre groupe de sujets humains étudiés (0 ° C air, 10 ° C eau en hiver). Il convient de souligner que les amas plongent tout au long de l'année en portant uniquement des maillots de bain en coton. Ils commencent à plonger à l'âge de 12 ans et continuent jusqu'à 50 ans. Comme ils sont exposés de façon répétée au froid sévère pendant une longue période, les amas constituent un exemple convaincant d'acclimatation au froid, y compris la composante métabolique de ce processus (Doi, Ohno, Kurahasi et Kuroshima 1979).

Les effets défavorables possibles au froid excessif incluent; lassitude / apathie, engelures, morsures de gel et hypothermie.

15.1.3 Réponses psychologiques à l'environnement thermique

Les personnes modifient souvent la manière dont elles travaillent en fonction de l'environnement thermique. Dans la plupart des cas, elles essaieront de modifier leur environnement local de travail, par exemple en se déplaçant dans un endroit plus confortable, en changeant de vêtements, en augmentant ou en diminuant la ventilation, etc. Les performances et l'efficacité peuvent également être affectées par des conditions thermiques défavorables.

15.2 Transfert de chaleur à partir de l'organisme

Des formules permettent de calculer la charge de chaleur et l'équilibre d'une personne, à la condition de disposer de données suffisantes. Il s'agit d'un domaine très complexe qui n'entre pas dans le cadre de ce cours. Cependant, il est utile de comprendre les mécanismes et les facteurs participant aux mécanismes d'équilibre thermique pour avoir un aperçu de l'évaluation des problèmes liés au stress d'origine thermique.

Pour l'évaluation des environnements thermiques, six paramètres peuvent être pris en compte. Deux d'entre eux sont associés à l'individu et quatre à l'environnement :

$$S = M \pm C \pm R - E$$

Où M = Taux de production de chaleur métabolique

C = perte ou gain de chaleur par convection

R = perte ou gain de chaleur radiante

E = Perte de chaleur par évaporation

S = Chaleur acquise ou perdue par le corps

Deux autres paramètres, W (travail externe effectué) et K (conduction) sont généralement petits et non pris en compte, de sorte que la forme simplifiée est souvent utilisée.

Les mécanismes de l'équilibre thermique au cours d'une certaine période sont affectés par 6 paramètres, dont 2 sont associés à l'individu et 4 à l'environnement :

1	Taux de travail (c'est-à-dire taux d'activité ou taux métabolique)	Personne
2	Habillement	
3	Température de l'air	Environnement
4	Température radiante	
5	Vitesse de l'air	
6	Conditions d'humidité	

15.3 Évaluation de l'environnement thermique

15.3.1 Taux métabolique

Le taux métabolique est exprimé en watts (W) ou en watt par mètre carré de surface corporelle. Il est compris entre environ 45 W/m² au repos, et environ 70 W/m² en position debout jusqu'à environ 500 W/m² pour un taux de travail maximum typique. Les taux métaboliques sont souvent estimés en comparant la tâche effectuée avec des tableaux indiquant les types d'activité.

Activité	Taux métabolique (W/m ² de surface corporelle)
Sommeil	43
Repos	47
Position assise	60
Position debout	70

Marche lente (2,5 km/h)	107
Marche (5 km/h)	154
Course (16 km/h)	600
Course rapide (25 km/h)	2 370

15.3.2 Isolation personnelle

Isolation personnelle (vêtements) – La résistance thermique des vêtements est exprimée par la valeur Clo, où $1 \text{ Clo} = 0,155 \text{ km}^2/\text{W}$. L'isolation personnelle a tendance à être auto-régulée dans la mesure où les personnes ajouteront ou retireront des vêtements selon leur propre sensation de confort. Les tableaux des valeurs Clo typiques pour les ensembles de vêtements sont présentés pour information.

Vêtements	Valeur Clo
Nudité	0
Short	0,1
Vêtements d'été légers	0,5
Vêtements d'intérieur typiques	1,0
Costume épais	1,5
Vêtements polaires	3 - 4
Maximum pratique	5

15.3.3 Durée d'exposition

La durée d'exposition à une situation thermique peut dans de nombreux cas varier soit volontairement soit par l'intermédiaire des alternances de travail/repos réduisant ainsi le risque d'exposition prolongée à la chaleur ou au froid. Le temps de repos doit être de préférence pris dans un environnement moins exposé à des températures extrêmes.

15.3.4 Température au thermomètre sec

La température au thermomètre sec (température de l'air) est mesurée par un thermomètre disposant d'un détecteur maintenu au sec et protégé de la chaleur radiante.

Thermomètre simple

- dilatation thermique du fluide (mercure ou alcool) dans un tube capillaire fin
- peu coûteux
- peut être précis
- plages de température limitées

- fragile
- peut être lent à répondre

Appareils électriques - par ex. thermistance ou thermocouple

- peut être robuste
- précis
- pratique
- souvent intégré dans des dispositifs anémométriques ou des compteurs thermiques

15.3.5 Température au thermomètre globe mouillé

Ceci est mesuré via une sphère en cuivre noir avec un simple thermomètre qui se projette en son centre. La température du globe est utilisée dans un certain nombre d'indices de stress thermique tels que le WBGT. Il peut également être utilisé dans le calcul de la température radiante moyenne.

15.3.6 Température radiante moyenne

La température radiante moyenne est la température hypothétique d'une enceinte noire uniforme qui échangerait la même quantité de chaleur radiante avec le corps qu'une enceinte non uniforme.

Lorsque la température de l'air et la vitesse de l'air sont connues, la température moyenne de l'environnement peut être calculée en utilisant des calculs de base, ou à l'aide de nomogrammes.

Pyromètres ou thermopiles – Dispositifs directionnels qui, lorsqu'ils sont pointés vers une surface d'émissivité connue, peuvent être utilisés pour déterminer la température radiante de cette surface. Avec des données suffisantes, la température radiante moyenne peut être calculée.

15.3.7 Vitesse de l'air

La chaleur est éliminée du corps par convection lorsqu'un courant d'air se déplace sur lui, sauf si la température de l'air est supérieure à la température de la peau. Les mouvements de l'air affecteront également le taux d'évaporation de l'humidité à partir de la peau, sauf si l'air est saturé à 100 %, ou que sa pression de vapeur est supérieure à celle de la surface de la peau.

Anémomètre à palettes – De type « axial », directionnel, électrique ou mécanique. Peut être utilisé pour mesurer les fluctuations de débits d'air unidirectionnels.

Anémomètre à résistance – Dispositif unidirectionnel, sensible et fragile.

Catathermomètre – Un alcool est placé dans un thermomètre en verre présentant un large réservoir argenté à sa base et un petit réservoir à son extrémité supérieure. Il est chauffé jusqu'à ce que le liquide se répande dans le réservoir supérieur, la chaleur est ensuite éliminée pour permettre au débit d'air de le refroidir. Lorsque le liquide se contracte à nouveau dans le réservoir inférieur, sa diminution est chronométrée entre deux marques placées sur la tige. La vitesse de l'air peut être calculée à partir de ce « temps de refroidissement ».

Fumées de traçage – Extrêmement intéressantes pour visualiser les flux d'air et mesurer les très faibles vitesses.

15.3.8 Teneur en humidité

La convection et l'évaporation jouent un rôle majeur dans la dissipation de la chaleur corporelle, c'est la raison pour laquelle la température et la teneur en humidité de l'air sont des paramètres importants. Ils sont inter-reliés et l'étude de leur relation est désignée par le terme de « psychrométrie ».

La force qui entraîne l'évaporation de l'eau est la différence de « pression de vapeur » entre l'air et la surface de l'eau. La pression de vapeur maximale qui peut survenir à une température quelconque est désignée par le terme de « pression de vapeur de saturation », et celle-ci varie avec la température selon une ligne courbe (saturation à 100 %) sur le diagramme psychrométrique qui désigne un certain nombre de paramètres, notamment le bulbe sec, le bulbe humide, la teneur en humidité et le pourcentage de saturation (humidité relative). Cette courbe forme la base du diagramme psychrométrique qui montre le bulbe sec, le bulbe humide, la teneur en humidité, le pourcentage de saturation (humidité relative). L'effet de la pression de vapeur d'eau sur l'environnement est mesuré indirectement soit par la mesure du point de rosée (température à laquelle la vapeur d'eau se condense dans l'air), soit par la mesure de la dépression de la température dans un bulbe de thermomètre recouvert d'une mèche trempée dans l'eau.

Bulbe humide naturel – Thermomètre simple dont le bulbe est recouvert d'une mèche de mousseline trempée dans l'eau distillée.

Bulbe humide forcé – par exemple psychromètre fronde. Dans ce cas, un mouvement d'air d'au moins 4 m/s est induit sur la mèche.

Remarque : Le bulbe humide forcé est utilisé pour les recherches psychrométriques, tandis que le bulbe humide naturel est utilisé pour calculer les indices thermiques WBGT.

15.3.9 Surveillance personnelle

Dans des conditions thermiques extrêmes (chaleur), il peut être nécessaire d'effectuer une surveillance des individus - par ex. fréquence cardiaque et température centrale. Ceci est particulièrement important lorsque les temps d'exposition calculés sont inférieurs à 30 minutes. Chez la plupart des individus, le mécanisme de sudation, clé pour le contrôle de la température chez l'homme, ne s'engage qu'au bout de 10 à 15 minutes. Par conséquent, pendant cette période initiale, le corps peut être plus à risque. Dans les situations où des niveaux élevés d'EPI sont portés, comme les combinaisons Hazmat, une surveillance physiologique doit également être envisagée.

La surveillance physiologique permet au professionnel de la santé au travail de surveiller en temps réel comment le corps réagit au stress thermique. Les deux méthodes les plus utiles et les plus utilisées sont la température centrale et la fréquence cardiaque. Il existe un certain nombre de critères qui peuvent être utilisés lors de l'évaluation via cette méthode.

Les lignes directrices sur le stress thermique AIOH (DiCorleto, Firth & Mate 2013) suggèrent qu'une contrainte thermique excessive peut être marquée par une ou plusieurs des mesures suivantes, et l'exposition d'un individu au stress thermique doit être interrompue lorsque l'une des situations suivantes se produit:

- "Limite de fréquence cardiaque" = $185 - 0,65 A$ (voir ISO 9886) (ISO 2004b), où A = âge en années; ou
- L'augmentation de la «fréquence cardiaque thermique» est supérieure à 30 bpm par augmentation de 1 ° C de la température interne; ou
- La fréquence cardiaque de récupération à une minute après un effort de travail de pointe est supérieure à 124 bpm; ou
- La température interne du corps est supérieure à 38,5 ° C pour le personnel médicalement sélectionné et acclimaté; ou supérieure à 38 ° C chez les travailleurs non sélectionnés et non acclimatés; ou
- Il y a des symptômes de fatigue soudaine et grave, des nausées, des étourdissements ou des étourdissements.

S'il existe une incertitude quant à l'aptitude des personnes à effectuer ce travail, un avis médical devrait être sollicité dans de telles circonstances.

15.4 Indices de contrainte thermique

Aucun des paramètres mentionnés ne doit être pris en considération isolément pour représenter une condition thermique. Certains travailleurs ont imaginé des indices combinant un certain nombre d'entre eux en une valeur unique, à laquelle une norme peut être appliquée. Quelques-uns d'entre eux sont décrits ci-dessous :

- **Indice de Température au thermomètre-globe mouillé (*Wet Bulb Globe Temperature, WBGT*)** : Indice simple calculé après la mesure du bulbe sec, du bulbe humide naturel et des températures au thermomètre globe. Le chiffre résultant peut ensuite être utilisé par rapport aux données publiées sur les limites recommandées au travail et repos.
- **Indice de contrainte thermique de Belding et Hatch (*Belding and Hatch Heat Stress Index, HSI*)** : Calculé à l'aide d'un ensemble de mesures environnementales et le taux de travail, souvent utilisé par les ingénieurs pour évaluer les effets de la modification d'un ou plusieurs facteurs inclus dans cet index.
- **Indice de débit sudoral prévu sur quatre heures (*Predicted Four Hour Sweat Rate, P4SR*)** : Calculé à partir de tableaux et utilisé pour évaluer les limites physiologiques. Le débit sudoral maximum autorisé pour des jeunes hommes en bonne santé est de 4,5 l sur quatre heures, mais un débit sudoral inférieur à 2,7 l est préférable.
- **Limite de travail thermique (TWL)** : Proposée par Brake & Bates (Brake & Bates 2002) qui considère que les indices de contrainte thermique actuellement utilisés sont soit difficiles à appliquer, soit peu applicables dans de nombreuses situations.

Le TWL utilise cinq paramètres environnementaux (température de bulbe sec, bulbe humide et globe, vitesse du vent et pression atmosphérique) et tient compte des facteurs d'habillement pour arriver à une prédiction d'un taux métabolique maximal continuellement sûr (Wm^{-2}) pour les conditions (c'est-à-dire le TWL). Le TWL est défini comme le taux métabolique limite (ou maximum) durable que les individus acclimatés et euhydratés peuvent maintenir dans un environnement thermique spécifique, dans une température corporelle profonde et sûre ($<38,2^{\circ}C$) et un taux de sudation (1,2 kg / h).

- **Astreinte thermique prévisible (Predicted Heat Strain PHS):** Cet indice est un indice complet, quoique complexe, qui prend en compte de nombreux facteurs affectant la réponse du corps à la chaleur et a ensuite été adopté dans ISO 7933:2004.

Ergonomie de l'environnement thermique - Détermination analytique et interprétation du stress thermique de la déformation thermique prévue (ISO 2004a).

Il décrit une méthode pour calculer le bilan thermique ainsi que le taux de sudation requis que le corps humain doit produire pour maintenir cet équilibre.

L'information requise comprend la mesure de:

- température du bulbe sec
- température de bulbe humide
- humidité
- vitesse de l'air
- température du globe
- ainsi que des estimations des facteurs relatifs à l'isolation thermique, à la propriété des vêtements, au taux de travail métabolique et à la posture

Ceci permet le calcul de la température centrale prédite (pour le maintien si équilibre thermique) de l'adaptation de l'équation de base de la chaleur.

Une bonne compréhension de l'utilisation de ces indices est nécessaire avant usage. Il y en a beaucoup disponibles, et ils ne sont pas tous pertinents dans toutes les situations.

15.5 Confort thermique

Le confort thermique est très subjectif et les gens auront un avis différent sur ce qu'est l'environnement thermique «idéal». Les problèmes de confort thermique se manifestent dans des conditions beaucoup moins extrêmes que celles qui peuvent causer un stress thermique. Des indices ont aussi été créés pour tenter de mesurer le confort thermique.

Par exemple. L'indice Fanger et le vote moyen prévu et le pourcentage prévu insatisfaits de l'ISO 7730: 2005 - «Ergonomie de l'environnement thermique - Détermination analytique et interprétation du confort thermique à l'aide du calcul des indices PMV et PPD et des critères locaux de confort thermique» (ISO 2005).

15.6 Contrainte due au froid

L'indice de refroidissement éolien (wind chill index) s'applique à l'extrémité froide de l'échelle de température et relie l'effet de refroidissement de la température de l'air et de la vitesse du vent à une température équivalente dans un air au repos obtenue sur un graphique.

15.7 Contrôle de l'environnement thermique

Lorsqu'il s'agit de confort, il est toujours intéressant de vérifier si c'est l'environnement thermique qui est la source du problème. D'autres facteurs peuvent être à l'origine d'une plainte au sujet de la température, par exemple une insatisfaction générale, des plaintes vis-à-vis des voisins et de leurs habitudes, l'ergonomie, etc.

Pour traiter les problèmes de confort thermique, il est nécessaire de se rappeler qu'il est rare d'être en mesure de satisfaire toutes les personnes tout le temps à cause des différences dans les préférences individuelles.

En comprenant comment l'environnement thermique affecte les personnes, et en disposant de données sur les paramètres spécifiques, il est possible de prévoir l'effet que déclenchera la modification de chacun de ces paramètres.

15.7.1 Modification des conditions de confort

Des personnes séparées avec des exigences vestimentaires et des niveaux d'activité différents modifient leurs environnements séparément. Voici quelques exemples de personnes dans le même environnement qui entreprennent des tâches différentes et qui, par conséquent, ont probablement besoin de vêtements différents: soudeurs vs travailleurs à l'assemblage; assistants de magasin contre les clients.

- Modification de l'habillement, de l'activité et des schémas de comportement.
- Modification locale de l'environnement, par exemple radiateurs, ventilateurs.
- Chauffage / ventilation de l'environnement total.
- Air conditionné.

15.7.2 Modification des environnements chauds

- Modifier l'environnement localement
- Modifier les conditions de rayonnement en posant un écran, en isolant ou en peignant des surfaces rayonnantes avec de la peinture à faible émissivité

- Placer des radiateurs froids
- Augmenter le mouvement de l'air
- Modifier les comportements
- Alternier les régimes de travail / repos
- Fournir des refuges climatisés
- Augmenter la distance des «points chauds» locaux
- Installer un refroidissement à l'air
- Déshumidifier
- Proposer des vêtements de protection
- Fournir de l'eau potable facilement accessible et agréable au goût
- Prévoir du temps pour que les employés s'acclimatent après le temps libre.

15.7.3 Modification des environnements froids

Étant donné que l'un des facteurs les plus critiques de l'apparition du stress dû au froid est le refroidissement éolien, tout processus d'ingénierie pouvant réduire l'exposition au vent et donc la puissance de refroidissement de l'air est utile. Les deux approches communes sont l'utilisation de pare-vent et de refuges. Les pare-vent (boucliers) s'avèrent efficaces à l'extérieur ou contre l'air ambiant à l'intérieur des chambres de congélation. La fourniture de refuges locaux, équipés de boissons chaudes et de conditions chaudes permettant aux travailleurs de se reposer, constitue un contrôle technique essentiel. Si le refuge peut être construit autour de la zone de travail de sorte que la tâche requise est effectuée à l'intérieur, cela présente un excellent environnement de travail. Les autres contrôles techniques qui devraient être considérés comprennent:

- Pour les travaux en dessous de 0 ° C, les poignées et les barres métalliques doivent être recouvertes d'un matériau isolant thermique. Évitez les outils métalliques, si possible.
- Fourniture de chauffage local, de jets d'air chaud, de chauffage par rayonnement si les mains nues doivent être utilisées.
- L'utilisation d'aides mécaniques devrait être encouragée afin de réduire les exigences de manipulation manuelle (réduisant ainsi le potentiel de transpiration).

- Les machines et les outils doivent être conçus de manière à pouvoir fonctionner sans avoir à retirer les mitaines ou les gants.
- Concevoir des lieux de travail de sorte que les opérateurs ne soient pas obligés de rester assis ou debout pendant de longues périodes dans des conditions froides.
- Réduire la vitesse de l'air dans les chambres froides / les refroidisseurs alors que les travailleurs doivent travailler à l'intérieur.

Prévoir des vêtements de protection secs, porter une attention particulière à la tête et aux extrémités. Fournir des installations conditionnées pour changer si les vêtements sont susceptibles d'être mouillés.

- Modifier les comportements.
- Modifier l'environnement localement, les radiateurs, etc.
- Chauffer tout l'environnement.

15.8 Problèmes environnementaux spécifiques

15.8.1 Composants hautement radiants

Si la température radiante est élevée et dépasse la température du bulbe sec, alors le composant radiant contribuant à l'environnement dominera probablement. Des températures radiantes moyennes élevées peuvent survenir pour différentes raisons, chacune demandant une solution différente.

Dans certains lieux de travail, toutes les surfaces entourant l'ouvrier, telles que les murs, le plafond et les éléments de l'installation, peuvent avoir une température de surface de plusieurs degrés supérieure à celle de l'air ambiant. De telles conditions pourraient se produire dans les chaufferies, les maisons de moteurs et de compresseurs, les centrales électriques et les véhicules militaires intérieurs tels que les chars et les avions.

Les bâtiments légers exposés à la lumière du soleil peuvent également avoir des propriétés similaires. Dans ces cas, il serait impraticable de protéger le travailleur de la source telle qu'elle se produit de tous les côtés. Si la température du bulbe sec est inférieure à la température de la peau, une simple augmentation de la vitesse de l'air peut faciliter la situation. Même dans les situations où la température de l'air est supérieure à la température de la peau, l'augmentation de la vitesse de l'air peut favoriser une évaporation accrue de la transpiration et donc un meilleur refroidissement. Des précautions doivent être prises lorsque

la température de l'air dépasse environ 42°C, car la capacité de refroidissement par évaporation peut être dépassée par la charge thermique supplémentaire. Si la vitesse de l'air est déjà élevée ou s'il existe d'autres bonnes raisons, il peut être nécessaire d'utiliser soit la climatisation à l'aide de refroidisseurs d'air, ou si l'humidité relative est très faible, des refroidisseurs par évaporation. Dans le cas des avions militaires, les pilotes portent des ensembles de vêtements réfrigérés et cette solution pourrait être appliquée ailleurs. Cependant, les lignes assurant le refroidissement des vêtements peuvent souvent rendre leur utilisation peu pratique car elles peuvent s'emmêler dans d'autres équipements dans l'environnement.

Placer un écran isolant la source de chaleur radiante peut être approprié dans les conditions rencontrées par exemple dans la fonte des métaux, les zones de four, la fabrication de l'acier ou le travail en fonderie, où certaines surfaces ont des températures extrêmement élevées, en particulier lorsque le métal en fusion, chauffé au rouge ou chauffé à blanc, est manipulé. Certaines situations extérieures exposées à la lumière directe du soleil, en particulier dans les zones tropicales sèches, peuvent présenter une composante radiante similaire et la couverture d'ombre peut également être un moyen de maîtrise utile. Le plus souvent, dans ces conditions, la température sèche est trop élevée pour qu'une augmentation de la vitesse de l'air soit efficace. L'air conditionné (refroidissement de l'air) peut être utilisé, mais souvent la source de chaleur radiante est beaucoup plus intense que l'effet de refroidissement maximum obtenu, ce qui rend plus adaptée l'utilisation d'écrans ou de vêtements réfléchissant la chaleur. La protection thermique a tendance à absorber la chaleur, à augmenter la température et à devenir par conséquent elle-même un émetteur de chaleur. Pour minimiser ce phénomène, la protection doit présenter des surfaces hautement réfléchissantes ou être refroidie par l'air ou l'eau. Il en va de même pour les vêtements. Malheureusement, les protections limitent la visibilité et l'accessibilité au travail et il est souvent nécessaire d'y remédier. Des trous ménagés pour la visibilité peuvent être couverts de verre réfléchissant la chaleur, tandis que les problèmes de manipulation manuelle peuvent être facilités par l'utilisation de dispositifs de contrôle à distance.

15.8.2 Conditions d'humidité élevée

Dans les blanchisseries et certaines mines, ainsi que dans les processus de fabrication de textiles notamment, la température sèche est élevée et la température humide atteint un

niveau similaire. Cela indique une humidité élevée. De nombreux endroits dans les zones tropicales humides ont des environnements comparables. L'apport d'un air déshumidifié, par exemple avec des systèmes d'air conditionné dans de nombreuses situations industrielles, sera limitée à une zone pas plus étendue que la zone du gicleur ; cependant, si ce gicleur d'air est projeté dans une zone occupée, alors l'augmentation de la vitesse de l'air sur les travailleurs pourrait s'avérer efficace pour améliorer le confort et soulager le stress.

15.8.3 Conditions de chaleur sèche

Ces situations peuvent survenir dans les mines sèches profondes, à l'intérieur des bâtiments dans les zones tropicales sèches, et au cours de nombreux processus de fabrication au cours desquels la chaleur est émise à partir d'éléments de l'usine ou de machines. La solution la plus simple est d'augmenter la vitesse de l'air sur le travailleur, mais, si cela ne peut pas être mis en pratique, d'autres mesures, par exemple l'introduction d'un air réfrigéré, peuvent être nécessaires.

16 INTRODUCTION A L'ECLAIRAGE & AUX RADIATIONS NON IONISANTES

16.1 Introduction

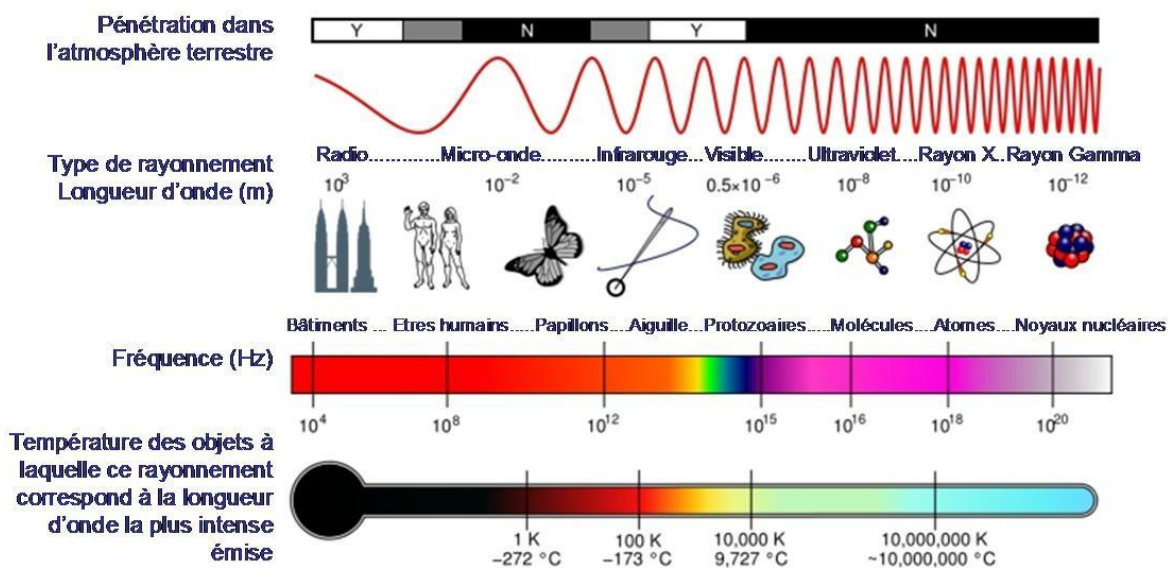
Les ondes électromagnétiques (eM) sont produites par le mouvement de particules chargées électriquement. Ces ondes sont dénommées « radiations électromagnétiques », car elles irradient à partir de particules chargées électriquement. Elles se déplacent dans l'espace intersidéral, mais également dans l'air et peuvent pénétrer certaines autres substances. Les ondes radio, les micro-ondes, la lumière visible et les rayons X sont autant d'exemples d'ondes électromagnétiques.

En tant qu'énergie sonore, les radiations électromagnétiques peuvent être décrites par leur fréquence (ou longueur d'onde) et leur intensité. La fréquence (Hz) est inversement proportionnelle à la longueur d'onde (nm), de telle sorte que plus les fréquences sont élevées, plus les longueurs d'onde sont courtes.

$$f \propto \frac{1}{L}$$

où : L = longueur d'onde et f = fréquence.

L'intensité (mW/cm²) est exprimée par la quantité d'énergie incidente sur une unité de surface. L'intensité varie inversement au carré de la distance par rapport à la source. Le spectre électromagnétique couvre un large intervalle de fréquences. Les termes de lumière visible, micro-ondes et infrarouges décrivent les différentes parties du spectre.



Source : Gouvernement fédéral américain par Wikimedia Commons

Figure 16.1 – Spectre électromagnétique

Le spectre électromagnétique peut être divisé en deux par rapport à une longueur d'onde d'environ 10 nm, un seuil qui distingue les RADIATIONS NON IONISANTES des RADIATIONS IONISANTES. La lumière visible, l'infrarouge et les micro-ondes sont des types de radiations non ionisantes. Les rayons X et les rayons gamma sont des exemples de radiations ionisantes. La distinction entre les radiations non ionisantes et ionisantes est simplement liée à l'énergie associée. Pour la zone ionisante du spectre électromagnétique, l'énergie incidente sur une matière est suffisamment importante pour retirer un électron d'une orbite atomique et produire une ionisation, tandis que pour la zone non ionisante, l'énergie n'est normalement pas suffisante pour produire des paires d'ions. Les radiations ionisantes seront traitées au Chapitre 17.

16.2 Types de radiations non ionisantes

16.2.1 Rayons ultraviolets (UV)

Les ultraviolets sont des rayons invisibles produits naturellement par le soleil (rayons solaires) et artificiellement dans l'industrie par des arcs (par exemple, soudure) agissant à haute température. Les lampes fluorescentes ordinaires génèrent une quantité importante de rayons UV à l'intérieur de l'ampoule, mais ils sont absorbés par le revêtement fluorescent de phosphore, qui émet une fluorescence d'une longueur d'onde supérieure à la lumière visible.

Les rayons ultraviolets sont facilement absorbés par les tissus humains et, par conséquent, les yeux et la peau sont particulièrement vulnérables. L'exposition la plus fréquente provient du soleil, qui peut provoquer des érythèmes solaires, et dans certaines circonstances graves, des phlyctènes (cloques) sur la peau. Une exposition cutanée prolongée peut entraîner un vieillissement prématuré et un épaissement (kératose) de la peau. La pathologie la plus grave est le cancer de la peau, qui est aujourd'hui le type de cancer le plus fréquemment diagnostiqué. Le mélanome, provoqué par des lésions des cellules mélaniques de la peau, est la forme la plus grave. Selon les estimations de l'Organisation mondiale de la Santé, 132 000 cas de mélanome malin (66 000 décès) et plus de 2 millions de cas d'autres cancers de la peau sont diagnostiqués chaque année. Il s'agit du cancer le plus fréquent dans la population jeune (tranche d'âge de 20 à 39 ans), et il est estimé qu'environ 85 % des cas sont provoqués par une exposition excessive à la lumière du soleil. Ce phénomène a des conséquences pour l'exposition professionnelle des travailleurs à l'extérieur, par exemple les

jardiniers ou les ouvriers du bâtiment. En outre, l'exposition à certaines substances utilisées au travail, notamment le goudron de houille ou les crésols se trouvant dans les goudrons routiers, peut rendre la peau exceptionnellement sensible au soleil.



Source : Wikimedia Commons

Figure 16.2 – Mélanome

Une exposition excessive des yeux entraîne une conjonctivite, une irritation douloureuse retardée provoquant la sensation de sable dans l'œil. Les soudeurs présentent ce type de pathologie (« kératoconjonctivite photoélectrique ») et une affection similaire se produit avec la « cécité des neiges ». À long terme, les lésions oculaires peuvent conduire à la formation d'une cataracte.



Source : Michael H. Wong sous license Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0

Figure 16.3 – Conjonctivite

Les rayons ultraviolets sont subdivisés en trois bandes de longueurs d'onde décroissantes : les UVA dont la longueur d'onde est la plus élevée, les UVC la plus courte et les UVB de longueurs d'onde intermédiaires. Plus la longueur d'onde est élevée moins l'énergie associée à la radiation est importante et moins elle risque de provoquer de lésions sur l'organisme, par exemple les UVA constituent le type de lumière utilisée dans les « lumières noires » et ne provoquent pas de cancer de la peau.

16.2.2 Rayons infrarouges (IR)

Les rayons IR sont émis par des corps chauds, par exemple les fourneaux et les torches à gaz. Leurs principaux effets sont de chauffer les tissus superficiels. Une exposition excessive à une chaleur radiante entraînera une gêne immédiate et constituera par conséquent une alerte avertissant la survenue de lésions imminentes, généralement avant la survenue d'une brûlure. Toutefois, les yeux ne possèdent pas ce type de mécanisme d'alerte précoce et une exposition excessive peut entraîner des lésions du cristallin et la formation d'une cataracte. Des lésions rétinienne peuvent également se produire.

16.2.3 Rayon laser

Le terme de laser est un acronyme de « *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* » (Amplification de la lumière par émission stimulée de radiations). Les émetteurs de laser produisent un rayon concentré de radiations non ionisantes – de longueur d'onde unique ou présentant une bande de longueurs d'onde étroite – dans la région visible et infrarouge du spectre électromagnétique, et peuvent être potentiellement dangereux, en particulier pour les yeux, car leur émission est d'intensité élevée et les rayons parallèles peuvent être concentrés par l'œil en une image ponctuelle. Les lésions peuvent varier de brûlures guérissables à une cécité permanente.

Une cataracte peut par ailleurs survenir. Les lasers sont largement utilisés, par exemple dans les communications, la construction, les applications médicales, la recherche et l'arpentage.

Les lasers ont été classés par longueurs d'onde et puissances de sortie maximales en quatre classes et quelques sous-classes sous la norme ICE 60825-1. Les classifications sont brièvement résumées dans le tableau au verso.

Pictogramme d'alerte pour la classe 2 et supérieure



Étiquette d'avertissement pour la Classe 2 et au-dessus

Tableau des classes de laser

Classe 1	Sûr.
Classe 1M	Sûr, à la condition que des instruments optiques ne soient pas utilisés.
Classe 2	Laser visible. Sûr en cas d'exposition accidentelle.
Classe 2M	Laser visible. Sûr en cas d'exposition accidentelle, à condition que des instruments optiques ne soient pas utilisés.
Classe 3R	Non sûr. Faible risque.
Classe 3B	Dangereux. La vision de la réflexion diffuse est sûre.
Classe 4	Dangereux. La vision de la réflexion diffuse est également dangereuse. Risques d'incendie.

16.2.4 Micro-ondes

Les micro-ondes sont produites par la vibration moléculaire dans des corps solides et sont généralement décrites par la fréquence des ondes générées. A titre d'exemple, les antennes de transmetteurs et certains équipement médicaux sont des sources d'énergies microondes. L'effet principal sur l'organisme est thermique, et les micro-ondes de certaines fréquences ont en effet trouvé une utilité comme moyen de cuisson rapide. Le principal risque est donc une brûlure thermique de la peau et des yeux. Une exposition prolongée à des micro-ondes de faible niveau a été associée à des maux de tête, des troubles du sommeil, une irritabilité, une fatigue et des pertes de mémoire.

Les micro-ondes sont largement utilisées dans des applications comme les connexions informatiques sans fil et les réseaux de téléphone mobile. Une forte préoccupation du public concerne l'éventualité d'effets graves à long terme sur la santé, par exemple le cancer. Jusqu'à maintenant, les recherches ne sont pas parvenues à démontrer un tel lien de manière concluante.

16.2.5 Autres effets des radiations non ionisantes

. Les radiations non-ionisantes (par exemple UV, lasers de forte puissance, micro-ondes) peuvent provoquer des décharges électriques ou une ionisation de l'air environnant produisant de l'ozone. Une exposition à l'ozone de courte durée, dépassant de quelques dixièmes de ppm peut entraîner une gêne (céphalées, sécheresse des muqueuses et de la gorge).

16.3 Évaluations des radiations non ionisantes

Des appareils de mesure portables sont disponibles pour mesurer les radiations non ionisantes. Ils incorporent un matériel photoémetteur adapté (par exemple, UV, visible ou IR) de telle sorte que les radiations incidentes libèrent des électrons de surface. Ces électrons sont collectés par une anode, afin de produire un courant électrique qui est mesuré par un ampèremètre convenablement étalonné.

Les données obtenues sur les radiations sont comparées aux limites d'exposition professionnelle appropriées. En fait, l'ACGIH a adopté ou proposé des VLEP pour chacune des radiations suivantes :

- Rayons ultraviolets.
- Lumière visible et proche infrarouge.
- Rayon laser.
- Micro-ondes et radiations de radiofréquence.

Les limites d'intensité des radiations sont exprimées en mW/cm^2 .

16.4 Éclairage

16.4.1 Reconnaissance

La partie visible du spectre électromagnétique est étroite, comprise entre 400 et 700 nm. C'est la sensibilité des yeux à ces radiations visibles qui nous permet de les voir. En ce qui concerne l'hygiène du travail, nous sommes préoccupés par la sensation subjective de confort visuel, et un bon éclairage sera décrit en termes de quantité et de qualité.

Quantité – Il s'agit de la quantité d'éclairage pour la tâche. Il est mesuré en lux et doit être suffisant pour que le travailleur effectue la tâche.

Qualité – Il s'agit de la conformité de l'éclairage, par exemple la distribution de la luminosité dans l'environnement visuel, la couleur de la lumière, sa direction, sa diffusion et son degré d'éblouissement.

Le type d'éclairage le moins recommandé est une ampoule unique au milieu de la pièce. Une diminution des contrastes et une amélioration de la visibilité pourront être obtenues par l'augmentation du nombre de sources lumineuses au niveau du plafond.

En général, pour chaque tâche effectuée, il est nécessaire qu'une certaine quantité minimale de lumière arrive sur chaque surface unitaire de l'objet. Cette quantité minimale de lumière varie en fonction de la nature du travail à effectuer. Une lumière trop faible peut conduire à une fatigue oculaire et à des maux de tête, et une lumière excessive peut provoquer un éblouissement. Les directives sur les valeurs recommandées d'éclairage sont fournies dans le Code de l'Institut des ingénieurs agréés en techniques du bâtiment (*Code of the Institution of Building Services Engineers*, Code CIBSE) au Royaume-Uni, par la Société américaine des ingénieurs en chauffage et ventilation (*American Society of Heating and Ventilation Engineers*, ASHRAE) aux États-Unis et par l'AFNOR en France (norme NF EN 12464-1).

L'éclairage des différentes zones des usines ou des bureaux peut être classé selon trois catégories :

- L'éclairage local
- L'éclairage localisé
- L'éclairage général.

Les recherches ont montré que l'on pouvait parler de conditions d'éclairage favorables lorsque l'éclairage de la tâche était environ trois fois supérieur à celui de son environnement immédiat, et lorsque l'environnement immédiat présentait un éclairage trois fois supérieur au reste de la pièce. Un bon éclairage exerce un effet psychologique bénéfique sur les travailleurs et leur productivité.

16.4.2 Évaluation de l'éclairage

L'instrument le plus fréquemment utilisé pour mesurer l'éclairage est un photomètre photoélectrique (souvent désigné par le terme luxmètre). Lorsque la lumière est incidente sur la cellule photoélectrique, l'énergie de la radiation est convertie en énergie électrique et le courant produit est enregistré sur un appareil de mesure étalonné en lux. Il comprend un

filtre intégré qui applique automatiquement la correction nécessaire lorsque la lumière du jour, la lumière d'une lampe à mercure ou une lumière fluorescente doit être mesurée. Il est également corrigé afin de correspondre à la vision de l'œil humain. Les résultats quantitatifs obtenus sont évalués par rapport à des critères appropriés, par exemple ceux recommandés par le CIBSE ou l'ASHRAE.

16.4.3 Éblouissement

Un éblouissement peut être défini comme toute brillance dans le champ de vision dont le caractère entraîne une gêne, une perturbation, une interférence avec la vision ou une fatigue des yeux. Trois types différents d'éblouissement peuvent être présents séparément ou de façon concomitante.

Éblouissement perturbateur – Cela affectera la capacité à voir clairement, par exemple les pleins phares d'une voiture ou un coucher de soleil se reflétant sur une surface humide.

Éblouissement gênant – Cet effet augmentera avec le temps, par exemple une partie de scène (fenêtre de jour, éclairage de nuit) peut être trop brillante par rapport au fond.

Éblouissement par réflexion – Cela est observé sur les surfaces brillantes ou polies qui reflètent une image plus ou moins distordue d'une lumière brillante, d'une installation ou d'une fenêtre. Cela peut être ennuyeux ou incapacitant, dans la mesure où il peut être difficile ou impossible de voir ce qui se trouve derrière.

16.4.4 Éclairage convenable

Les directives générales pour concevoir un éclairage de quantité suffisante et de qualité adaptée sont les suivantes :

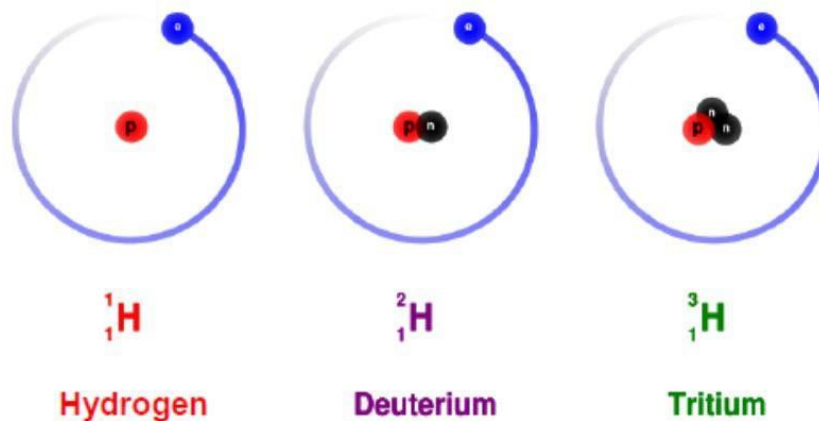
- L'éclairage doit être pensé au stade de la conception d'un bâtiment ou d'un lieu de travail
- Concevoir des niveaux d'éclairage suffisants conformes à la directive établie, par exemple le code CIBSE
- Intégrer la lumière du jour et la lumière artificielle
- Éviter les éblouissements
- Minimiser les fluctuations et les oscillations
- Assurer un entretien adéquat des surfaces vernies et des équipements lumineux.

17 RADIATIONS IONISANTES

17.1 Nature

Il est possible d'expliquer de nombreux phénomènes à l'échelle de l'atome en supposant que tous les atomes sont constitués de trois particules fondamentales: les électrons, les protons et les neutrons. La combinaison atomique la plus simple est formée par un électron et un proton – l'atome d'hydrogène. Dans les autres cas, un certain nombre d'électrons chargés négativement tournent généralement sur certaines orbites autorisées autour d'un noyau central qui est composé d'un nombre équivalent de protons (chargés positivement) et de quelques neutrons (chargés négativement). Les neutrons ne portent aucune charge, et le nombre égal d'électrons et de protons assure la neutralité de la charge de l'atome entier, dans la mesure où leurs charges sont égales en valeur absolue.

Le diagramme ci-dessous illustre ceci pour les trois variantes de l'atome d'hydrogène, qui possèdent des nombres différents de neutrons. Ces variants sont dénommés isotopes.



Source : Modifié de Dirk Hünninger, sous licence Creative Commons Attribution ShareAlike 3.0

Figure 17.1 – Isotopes de l'hydrogène

Les radiations ionisantes désignent les particules ou les radiations électromagnétiques qui possèdent suffisamment d'énergie pour affecter directement les atomes, c'est-à-dire les « ioniser », en d'autres termes créer des particules chargées, ou « ions », lors de l'interaction avec la matière. Il existe cinq types différents de radiations ionisantes : alpha (α), bêta (β), neutrons (n), gamma (γ), rayons X (χ). Les trois premiers types sont des particules, et les deux derniers sont des radiations électromagnétiques. Des informations plus détaillées sont

fournies dans le tableau ci-dessous.

Type	Symbole	Nature	Charge	Masse relative	Portée dans l'air	Pénétration
Alpha	α	Particules (noyau d'hélium)	+	4	0,4 à 2 cm	Aucune
Bêta	β	Particules (électrons)	-	1/1 800	5 à 20 cm	Légère
Neutrons	n	Particules (neutrons)	0	1	Longue	Élevée
Gamma	γ	Onde Électromagnétique	0	0	Très longue	Élevée
Rayons X	X	Onde Électromagnétique	0	0	Très longue	Élevée

17.2 Radionucléides

Les radiations ionisantes sont émises par des noyaux instables qui se décomposent, avec émission d'énergie. Ces substances sont désignées par le terme de nucléides radioactifs (radionucléides).

Un radionucléide perd sa radioactivité par décomposition. La décomposition est de nature statistique, c'est-à-dire qu'il est impossible de prédire quand un atome particulier se désintégrera, mais il est établi avec certitude qu'une proportion de la radioactivité disparaîtra au bout d'une certaine période. Ce taux de décomposition est caractérisé par une demi-vie spécifique, qui est propre à chaque radionucléide et qui est inaltérable. La demi-vie est la période au cours de laquelle la moitié de la radioactivité du radionucléide disparaît ; il s'agit d'une constante souvent désignée par l'abréviation $t_{1/2}$.



Ce symbole trifolié est utilisé pour indiquer la présence d'un matériau radioactif.

17.2.1 Unités de mesure des radiations ionisantes

Les unités utilisées pour mesurer les radiations ionisantes sont relativement complexes. La plupart des pays utilisent désormais le Système international d'unités (abréviation SI) qui est la forme moderne du système métrique. Cependant, les États-Unis continuent

d'appliquer un ancien système pour certaines raisons réglementaires. Les deux méthodes sont récapitulées ci-dessous pour information :

Activité (Becquerel)

L'unité du SI pour l'activité d'un matériau radioactif est le Becquerel (Bq), un Becquerel est égal à une désintégration par seconde.

L'unité traditionnelle d'activité était le Curie (Ci), où un Curie = $3,7 \times 10^{10}$ désintégrations par seconde.

Dose absorbée (Gray)

Il s'agit de la mesure de l'énergie conférée à la matière par la radiation ionisante par unité de masse du matériau. L'unité du SI de la dose absorbée est le Gray (Gy), qui est égale à une absorption d'énergie de 1 J/kg.

L'unité traditionnelle de la dose absorbée est le rad, où 1 Gray = 100 rads.

Équivalent de dose (Sievert)

Des doses absorbées équivalentes ne provoquent pas toujours des risques similaires de produire un effet biologique quelconque. L'efficacité biologique relative d'une dose donnée absorbée peut être modifiée par le type de radiations ou les conditions d'irradiation. Par conséquent, l'équivalent de dose peut être exprimé par l'équation suivante :

$$\text{Équivalent de dose (Sievert)} = \text{Dose absorbée (Gray)} \times \text{facteur modifiant.}$$

Le facteur modifiant dépend à la fois de la « qualité » de la radiation (qui est de 1,0 pour les radiations de faible énergie, mais peut atteindre 20 pour les fragments de fission à haute énergie) et de la partie du corps affecté.

L'unité traditionnelle est le rem, où 1 Sv = 100 rem.

17.3 Radiations externes et internes

En abordant les aspects relatifs à la santé de l'exposition à des radiations ionisantes et le contrôle des dangers éventuels, il est important de distinguer les radiations externes des radiations internes.

Un **danger provoqué par une radiation externe** provient de sources de radiations situées à l'extérieur de l'organisme, et présentant une énergie suffisante pour pénétrer les couches externes de la peau. Un résumé des effets de l'exposition, des moyens de maîtrise et des types de surveillance est présenté ci-dessous :

Les effets d'une exposition externe peuvent être résumés de la façon suivante :

- α Danger minimal
- β Risque pour la peau et les yeux
- γ Risque pour le corps entier (radiations pénétrantes)

Un **danger provoqué par une radiation interne** se produit lorsque l'organisme est contaminé par un isotope radioactif. La présence d'un matériel radioactif dans l'organisme est souvent un problème beaucoup plus grave que l'exposition à des radiations externes pour les raisons suivantes :

- Le matériau radioactif est en contact étroit avec les tissus et les organes de l'organisme (se souvenir de la loi sur l'inverse du carré).
- Le matériau radioactif ne peut pas être retiré ou séparé (il irradie l'organisme pendant 168 heures par semaine).

La pénétration dans l'organisme peut survenir par inhalation, ingestion ou absorption cutanée.

Dans cette situation, les effets de l'exposition sont les suivants :

- α Danger très sérieux
- β Danger sérieux
- γ Normalement sans objet

17.4 Niveaux de radiations

Nous sommes tous exposés aux radiations d'origine naturelle, et à celles que nous rencontrons au cours de notre activité professionnelle. Cela tient compte des éléments suivants :

- Radiations cosmiques augmentant avec l'altitude au-dessus du niveau de la mer
- Matériaux dont notre maison est constituée.
- Temps passé dans l'avion
- Tabagisme
- Rayons X médicaux
- Autres facteurs du style de vie

17.5 Effets biologiques des radiations ionisantes

L'exposition des tissus vivants aux radiations ionisantes entraîne des lésions des cellules qui les composent. Ces lésions par irradiation peuvent être utiles pour l'homme (comme dans le traitement du cancer, sous des conditions soigneusement contrôlées), mais dans la plupart des cas, elles doivent être évitées autant que possible. Les effets éventuels sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Effets aigus	Effets chroniques
Érythème Altérations hématologiques Stérilité Décès	Cancer Anomalies héréditaires

Toutes les formes de radiations ionisantes produisent le même type de lésions dans les tissus irradiés. Toutefois, l'efficacité avec laquelle les réactions tissulaires sont produites varie selon la densité de l'ionisation sur le passage des radiations. Les radiations particulières, par exemple les particules alpha ou les neutrons, qui produisent des traînées d'ions très compacts sont plus dangereuses par unité d'énergie absorbée que les radiations électromagnétiques, par exemple les rayons gamma ou les rayons X, qui provoquent une ionisation plus diffuse.

Dans la mesure où les rayons cosmiques bombardent toute la surface de la Terre et que des éléments radioactifs naturels existent partout, une certaine exposition minimale à un rayonnement dit « ambiant » est inévitable. Dans certaines régions, le radon, un gaz radioactif, est émis naturellement dans le substratum rocheux, par exemple le granit. Il peut exposer les mineurs travaillant en sous-sol, et peut s'accumuler dans les caves des immeubles, ce qui nécessite alors une ventilation spécifique.

Compte tenu de l'utilisation de matériaux radioactifs dans l'industrie et des radiations ionisantes en médecine et dans l'industrie, certains groupes de personnes sont exposés à des niveaux de radiations plus élevés.

17.6 Utilisations des radiations

Industrielles

- Appareils de mesure – Les radiations (α , β , γ , neutrons) peuvent être utilisées pour mesurer l'épaisseur, la densité et le niveau d'humidité.
- Radiographie industrielle – Vérification de l'intégrité des soudures (γ , χ).
- Techniques analytiques de laboratoire – Diffraction et fluorescence aux rayons X.
- Traceurs – Les radionucléides sont utilisés pour la détermination du rendement, des tests d'usure ou lors d'inspections des réservoirs d'eau et d'huile.

Médicales

- Diagnostic par rayons X
- Imageries médicales – Les radionucléides sont parfois utilisés comme marqueurs.
- Traitement du cancer – Utilisation des radionucléides pour détruire les tumeurs.

17.7 Mesure des radiations

Les radiations peuvent être mesurées de différentes façons en fonction des facteurs à évaluer.

Radiations émises : Les compteurs Geiger et les compteurs à scintillation sont utilisés pour mesurer les niveaux de radiations provenant de sources particulières. Les dispositifs sont souvent spécifiques au type de radiation à mesurer.

Dose de radiation : Différents dispositifs peuvent être utilisés pour mesurer la dose personnelle. Il est important de différencier la dose interne (celle qu'une personne capture dans son organisme par différentes voies, notamment la respiration) et la dose externe (reçue simplement par le fait d'être dans un environnement où des radiations sont présentes).

La dose externe peut être mesurée en utilisant différents types de dosimètres. Les dosimètres à chambre d'ionisation ressemblent à des stylos, et peuvent être accrochés sur un vêtement. Les dosimètres photographiques personnels (dosifilms) comprennent un morceau de film photographique qui sera exposé aux radiations qui le traverseront.

La mesure de la dose interne comprend l'utilisation de pompes d'échantillonnage qui collectent le matériau radioactif dont les radiations doivent être mesurées.

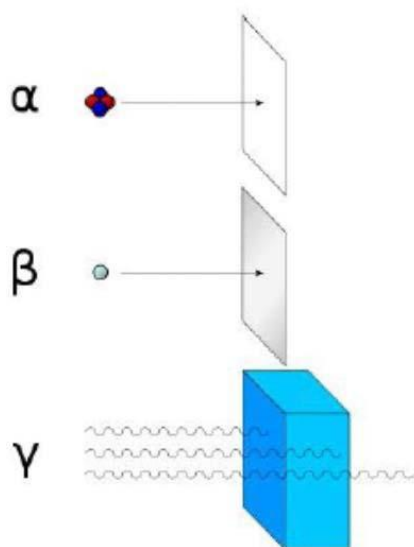
17.8 Protection radiologique

La maîtrise de l'exposition aux radiations peut être abordée selon quatre approches principales. En pratique, une association de ces approches est souvent appliquée.

Temps : Limiter ou minimiser la durée pendant laquelle les personnes sont exposées aux radiations réduira la dose reçue.

Distance : L'intensité des radiations diminue fortement avec la distance, proportionnellement à l'inverse du carré. En outre, même l'air atténue les rayonnements alpha et bêta.

Écran : Les particules alpha peuvent être totalement arrêtées par une feuille de papier, les particules bêta par un écran d'aluminium. Les rayons gamma demanderont des barrières beaucoup plus importantes pour être réduits. Les barrières composées de plomb, de béton ou d'eau fournissent une protection efficace contre les particules énergétiques comme les rayons gamma et les neutrons. Certains matériaux radioactifs sont conservés et manipulés sous l'eau ou par des contrôles à distance dans des pièces construites en béton épais ou doublées de plomb.



Source : Wikimedia Commons sous licence Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0

Figure 17.2 – Efficacité des écrans

Confinement : Les matériaux radioactifs peuvent être utilisés sous forme de « sources scellées » pour éviter leur diffusion. L'utilisation de petits espaces de travail, de zones isolées et d'une ventilation contrôlée permet également de contenir la libération des matériaux radioactifs.

Dans de nombreux pays, le rôle de la protection radiologique est confié à un spécialiste

reconnu pour ses compétences et ses qualifications. Par exemple, au Royaume-Uni, le HSE (*Health and Safety Executive*) spécifie le niveau de qualification nécessaire pour devenir un « Conseiller sur la protection radiologique ».

■ En France, la « personne compétente en radioprotection » est reconnue par l'ASN (Autorité de Sureté Nucléaire).

17.9 Surveillance de la santé

La nature des radiations est telle que les employés qui travaillent en contact avec celles-ci doivent avoir un suivi médical particulier. Ils sont notamment soumis à une surveillance biologique. Généralement, il est demandé aux employés travaillant dans des zones contrôlées :

- De remplir un questionnaire
- D'effectuer un test sanguin
- D'effectuer un test urinaire
- De faire vérifier leur pression artérielle
- De faire vérifier leur taille et leur poids
- De discuter de leur santé en général.

18 INTRODUCTION A L'ERGONOMIE

18.1 Introduction

L'ergonomie concerne les interactions des personnes avec les machines qu'elles font fonctionner et avec leur environnement de travail. Cette discipline est destinée à maximiser les performances humaines et minimiser la gêne, l'insatisfaction et le risque de blessures musculo-squelettiques.

En termes simples, l'ergonomie concerne l'adaptation de la tâche au travailleur. Si la correspondance est faible, la meilleure solution est de concevoir à nouveau la tâche à effectuer pour la rendre plus compatible avec les capacités du travailleur. Il est moins efficace d'essayer de changer les caractéristiques des employés, par exemple en améliorant la sélection et la formation.

Une bonne corrélation entre les facteurs technologiques, organisationnels et humains est un objectif clairement souhaitable si de bonnes performances professionnelles veulent être obtenues. Si ces facteurs peuvent être équilibrés, la productivité s'en verra améliorée, ce qui représente un avantage par rapport aux concurrents, mais également des bénéfices pour la santé et la sécurité.

Le cadre de l'ergonomie est par conséquent extrêmement large. Certaines activités communes dans lesquelles l'ergonomie joue un rôle important sont les suivantes :

- manipulation manuelle de charges ;
- tâche comportant des actions répétitives ;
- utilisation d'un équipement avec écran de visualisation, par exemple le travail sur ordinateurs.

Ces applications de l'ergonomie sont discutées ci-dessous plus en détail. En outre, l'ergonomie est étroitement associée à l'étude des erreurs humaines. Les erreurs ont tendance à survenir lorsque la capacité d'un individu à faire face aux demandes d'une tâche ou d'une situation est dépassée. Cela peut être dû à une interface homme-machine mal définie, l'absence de formation ou de compétence ou par des facteurs psychologiques, notamment le stress ou la fatigue. Les erreurs peuvent conduire à des accidents, des maladies ou une perte de productivité. C'est la raison pour laquelle, aux États-Unis, l'ergonomie est souvent désignée par le terme de « facteurs humains » et le terme est interprété plus largement que l'acception utilisée dans ce chapitre. Nous discuterons des

erreurs humaines, des comportements et de l'organisation du travail ultérieurement dans ce document.

L'ergonomie est un domaine d'étude multidisciplinaire, faisant appel à la biomécanique, la physiologie, l'anatomie, la psychologie, la physique, la sécurité et l'ingénierie. Elle basée sur des faits, orientée vers des solutions et doit être pleinement intégrée aux processus de gestion de l'organisation.

18.2 Évaluation des risques sur le lieu de travail

Le point de départ pour une évaluation des facteurs ergonomiques est l'évaluation du lieu de travail. Elle doit porter sur les paramètres suivants :

- **Matériel**, c'est-à-dire conception et agencement des contrôles des machines, facilité de l'entretien et sécurité des machines (surveillance, verrouillage, etc.).
- **Logiciel**, c'est-à-dire procédures opérationnelles standard et instructions, manuels et programmes informatiques.
- **Espace visuel de travail**, c'est-à-dire conception de la tâche et de l'affichage, disposition de l'affichage, charge d'informations, utilisation de symboles.
- **Organisation**, c'est-à-dire méthode de travail, teneur de l'activité (degré de variété des tâches et de contrôle personnel), charge de travail, satisfaction, communication, notification, systèmes de surveillance, gestion des conflits, etc.
- **Espace physique de travail**, c'est-à-dire accès, espace libre, sièges, position de travail, accès, rangement, nettoyage, etc.
- **Environnement physique**, c'est-à-dire température, bruit, éclairage, vibrations, substances dangereuses pour la santé, etc.
- **Caractéristiques individuelles**, c'est-à-dire taille corporelle (anthropométrie), force, endurance, compétence, formation, motivation, attitude, etc.

Pour des évaluations détaillées, il peut être nécessaire de faire intervenir un ergonomiste. Les ergonomistes ont développé des moyens de mesurer les contraintes ergonomiques et ont établi des modèles prédictifs pour la réalisation de tâches physiques. Il est souvent utile de disposer d'une vidéo de la tâche en cours de réalisation afin de la visualiser pour analyse.

18.3 Manipulations manuelles

Les manipulations manuelles désignent le transport ou le port d'une charge (notamment le fait de la soulever, de la poser, de la pousser, de la tirer, de la porter ou de la déplacer) à la force des mains ou du corps entier.

Dans certaines juridictions, par exemple en Australie (SafeWork Australia 2011), la terminologie «tâche manuelle dangereuse» est utilisée. Ceci est défini comme une tâche qui exige qu'une personne soulève, abaisse, pousse, tire ou porte, maintienne ou retienne toute personne, tout animal ou toute chose impliquant:

- force répétitive ou soutenue
- force élevée ou soudaine
- mouvement répétitif
- posture soutenue ou inconfortable
- l'exposition aux vibrations.

Une proportion importante d'accidents et un nombre significatif de pathologies sont associés à des opérations liées à des manipulations manuelles. La plupart des accidents survenant au cours de manipulations manuelles sont des entorses ou des douleurs, affectant très souvent le dos. Ces troubles musculo-squelettiques surviennent à la suite d'une application incorrecte et/ou prolongée de la force physique. Une mauvaise position et la répétition fréquente de mouvements peuvent constituer des facteurs importants à l'origine de ces accidents. Les autres types de blessures associées à des manipulations manuelles comprennent les fractures, les coupures, les hématomes, les amputations et les blessures thermiques.

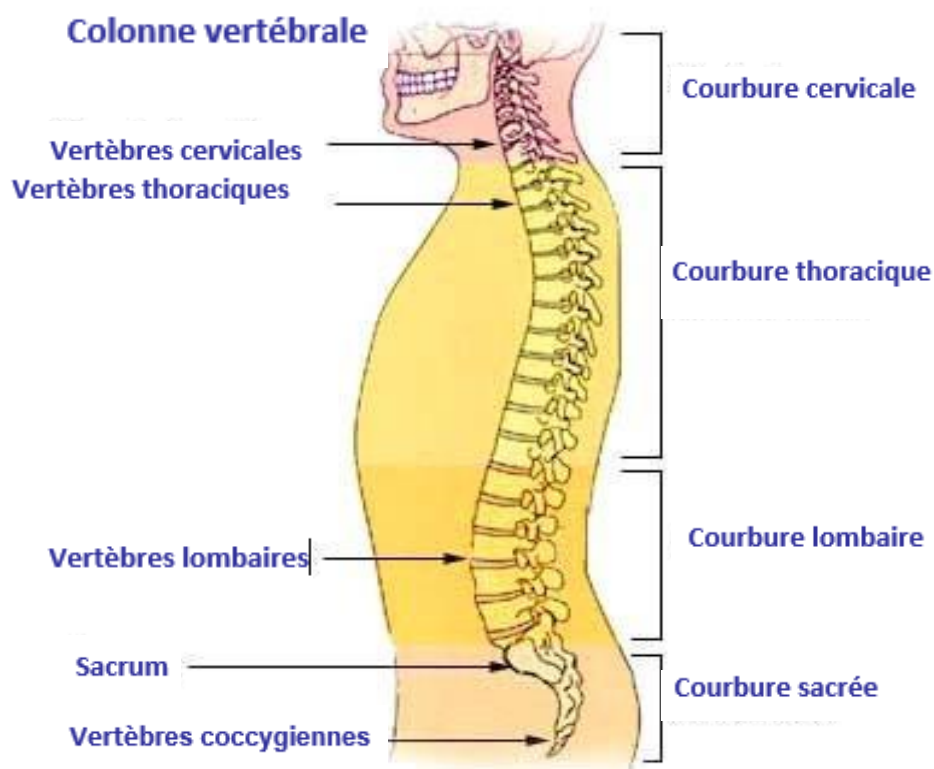
De nombreuses blessures survenant dans le cadre de manipulations manuelles ont tendance à être de nature cumulative plutôt qu'attribuables à un incident unique. Une récupération complète n'est pas toujours possible et le résultat peut conduire à une altération physique ou même à des incapacités permanentes. Les conséquences pour l'individu et l'employeur sont par conséquent très élevées. Notre stratégie de prévention des blessures devra donc être préventive et non réactive.

18.3.1 Le dos

La colonne vertébrale est un exemple complexe et superbe d'une ingénierie d'excellence,

non seulement comme système de soutien central de l'organisme et de protection de la moelle épinière, mais également comme élément essentiel pour la marche et les autres mouvements du corps. Cependant, comme toute structure d'ingénierie, elle ne répond pas favorablement à une surcharge ou à des mauvais traitements, que ce soit sous forme d'une surcharge dynamique soudaine, de surcharges répétitives ou de performances ne correspondant pas à ses paramètres de conception.

La colonne vertébrale est composée de 24 segments osseux (vertèbres), cinq fusionnés pour former le sacrum et trois à cinq fusionnés ou partiellement mobiles formant une queue vestigiale. Entre les segments mobiles sont interposés 23 disques cartilagineux qui fonctionnent comme d'excellents absorbeurs de choc. Les séquences incurvées de la colonne vertébrale lui permettent d'absorber des chocs 100 fois plus efficacement que si elle était rectiligne.



Source : Gouvernement fédéral américain par Wikimedia Commons

Figure 18.1 – Le dos

Les disques contiennent un liquide, excellent pour l'absorption des chocs, mais une compression constante risque d'expulser le contenu liquide, rendant les disques plus plats, moins flexibles et moins élastiques. Un disque jeune et sain présente une résistance à la rupture de 800 kg, supérieure aux vertèbres, qui se réduit à 450 kg chez les personnes âgées.

À la suite de stress répétés ou d'un stress traumatique soudain, le noyau liquide central peut s'infiltrer à travers les fissures du cartilage fibreux et finalement sortir de sa place. Il dépasse à l'extérieur du disque, et appuie sur les nerfs environnants en provoquant une douleur extrêmement vive. Contrairement à l'opinion répandue, le disque ne glisse pas ! Lorsque la lésion est survenue, le traitement peut se limiter au repos, des analgésiques et de la kinésithérapie. L'intervention chirurgicale n'a qu'un rôle limité ; il est difficile d'accéder à la colonne vertébrale par une voie d'abord antérieure, et la structure est tellement complexe et sensible que les interventions par voie postérieure restent limitées.

Les blessures du dos entraînent souvent des arrêts de travail de plusieurs semaines ou plusieurs mois, et peuvent facilement récidiver. Il est important que les travailleurs soient encouragés par un programme de « retour au travail » qui comprend une rééducation rapide et les empêche de sombrer vers un état d'incapacité permanente.

18.3.2 Réaliser une évaluation des manipulations manuelles

En fonction de la complexité de l'activité, une évaluation sera mieux réalisée par les personnes familiarisées avec les opérations effectuées, par exemple les superviseurs et les opérateurs, ou bien elle pourra être effectuée par des professionnels de la santé et de la sécurité, de l'hygiène du travail ou de l'ergonomie, ou par une équipe multidisciplinaire.

L'évaluation doit prendre en considération la totalité de l'opération. Elle doit traiter quatre facteurs principaux :

- la tâche ;
- la charge ;
- l'environnement de travail ;
- les capacités individuelles.



Source : Steve Bailey

Figure 18.2 – Risques des manipulations manuelles liés au levage et à la torsion.

Une évaluation simple peut se dérouler de la façon suivante :

- Quelles parties du corps sont utilisées?
- Quelles actions sont effectuées?
- Quels sont les facteurs de risque?
- Quelle est la force de la personne mise en œuvre?
- Quelle est l'inconfort de la posture de la personne? (La flexion répétitive, les mouvements de torsion augmentent le risque, tout comme le levage avec une portée étendue)
- Quelle est la durée de l'action?
- À quelle fréquence des actions similaires sont-elles réalisées?
- Quelle est la taille ou l'encombrement de l'objet ? (Considérez la forme, la taille, le poids et les difficultés particulières d'une charge.)
- La tâche et le lieu de travail sont-ils adaptés à l'individu? (Cela peut impliquer de prendre en compte les hauteurs de travail des bancs, des tables et des tailles de silos.)

- L'environnement de travail augmente-t-il le risque de blessure?
- Comment cette tâche peut-elle être faite différemment? (Envisager des mesures correctives possibles, par exemple, il peut être possible d'utiliser des aides mécaniques ou de diminuer la charge, ou la tâche peut être réorganisée.)

18.3.3 Méthodes de réduction des risques

Comme pour tout risque lié à l'hygiène du travail, le contrôle doit être organisé de façon hiérarchique.

L'approche recommandée est d'éliminer entièrement l'opération de manipulation lorsque cela est possible. Par exemple, il est possible d'acheter des matériaux en quantités pré-pesées afin d'éliminer l'étape du pesage. Ou encore, la localisation de deux opérations au même endroit évite le transport des matériaux.

Les solutions peuvent comprendre le changement de position ou de hauteur de la tâche, par exemple en fournissant des tables ou des sièges ajustables afin d'améliorer la posture. Souvent, les solutions comprennent des aides à la manipulation : si un élément de manipulation manuelle est conservé, les forces corporelles sont appliquées plus efficacement, réduisant ainsi le risque de blessures. Par exemple :

- un appareil de levage peut supporter le poids d'une charge, laissant le manipulateur libre de contrôler son positionnement ;
- un diable ou un convoyeur à rouleaux peut réduire la force nécessaire pour déplacer une charge horizontalement ;
- les toboggans ou les glissières constituent une méthode efficace utilisant la gravité pour déplacer des charges d'un endroit à un autre ;
- les plateaux ventouses ou les crochets manuels peuvent simplifier la manipulation d'une charge difficile à saisir.

Il faut se souvenir que l'ajout de nouvelles pratiques de travail peut créer de nouveaux risques qui doivent eux aussi être pris en charge, par exemple l'entretien correct d'un nouvel équipement.

Lorsque toutes les mesures possibles ont été prises pour adapter la tâche au travailleur, il reste nécessaire de fournir des informations, des instructions et d'assurer une formation sur les risques résiduels.

18.3.4 Informations, instructions et formation

Informations – Lorsque cela est possible, les employés participant à des opérations de manipulation manuelle doivent recevoir des informations précises sur le poids de chaque charge, et le côté le plus lourd de chaque charge lorsque le centre de gravité n'est pas central. Dans le cas contraire, des conseils généraux seront délivrés sur les différentes charges à manipuler et sur les manières de manipuler une charge dont le poids n'est pas distribué de façon homogène.

Formation – La connaissance et la formation ne permettent pas à elles seules de garantir des manipulations manuelles sécurisées, mais constituent un aspect important d'un environnement de travail sûr. Un programme de formation adapté doit porter sur les sujets suivants :

- comment les charges potentiellement dangereuses peuvent-elles être identifiées ;
- comment gérer des charges inhabituelles ;
- bonnes techniques de manipulation, notamment l'utilisation correcte des aides à la manipulation ;
- utilisation appropriée des équipements de protection individuelle ;
- caractéristiques de l'environnement de travail contribuant à la sécurité ;
- importance d'un nettoyage satisfaisant ;
- facteurs affectant la capacité individuelle, notamment forme physique et santé.

Les employés doivent également être formés à reconnaître les charges dont le poids, ainsi que leurs formes et d'autres caractéristiques, et les circonstances dans lesquelles elles sont manipulées, peuvent être à l'origine de pathologies.

18.4 Tâches répétitives

Les tâches comprenant des mouvements répétitifs peuvent provoquer des troubles des muscles, des articulations et des tendons, même lorsque les actions individuelles ne nécessitent pas une charge ou une force excessive.

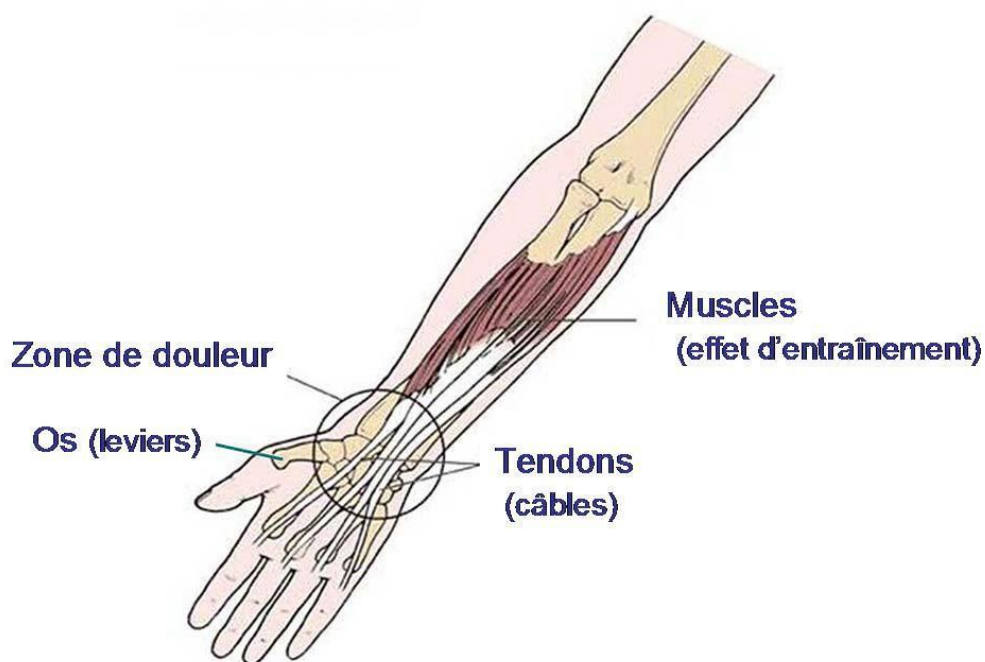


Figure 18.3 – Structure traction-câble-levier du bras indiquant la localisation de la tendinite du poignet

Ces affections douloureuses sont fréquemment dénommées microtraumatismes répétés ou TMS (troubles musculo-squelettiques). Les affections professionnelles qui touchent les mains et les bras sont également désignées par le terme « pathologies d'hyper-sollicitation du membre supérieur d'origine professionnelle » (*Work Related Upper Limb Disorders*, WRULD).

Des exemples bien connus de TMS incluent l'épicondylite latérale ou *tennis elbow*, la ténosynovite chronique sténosante du pouce de De Quervain (*gamer's thumb*) provenant d'une utilisation excessive des manettes de jeux vidéo, le *stylus finger* (doigt stylet) provoqué par la manipulation prolongée des claviers des téléphones mobiles. Une douleur du poignet (tendinite) est souvent associée à l'utilisation excessive des claviers.

Les symptômes comprennent une douleur et une faiblesse de la zone affectée, aggravées par l'utilisation. Cependant, le diagnostic de TMS peut être difficile à poser, car souvent aucune pathologie n'apparaît clairement. Les médecins pensent que les TMS comprennent souvent une composante psychologique, et certains éléments montrent que l'expérience des personnes atteintes peut être aggravée par le stress. Le traitement est difficile et souvent inefficace, aussi la prévention est-elle essentielle.

L'évaluation des risques nécessite d'abord l'identification des tâches qui sont effectuées

fréquemment ou intensément. Des risques professionnels proviennent souvent d'une chaîne d'assemblage répétitive, par exemple visser des bouchons sur des bouteilles, visser des composants entre eux ou insérer des composants dans des positions inconfortables. Le risque est aggravé si une prise en pince de forte intensité est nécessaire ou lorsqu'un impact se produit. Lorsque la réalisation des objectifs de production fait l'objet de pressions excessives, en particulier dans le cadre d'un travail à la pièce ou du versement de bonus, le problème peut être exacerbé.

Les risques peuvent également provenir d'un processus automatisé en panne ou d'un lot de produits rejeté obligeant les travailleurs à effectuer les opérations correctrices manuellement.

Dans les cas complexes, les ergonomes peuvent mesurer la fréquence et la force nécessaires à une opération et estimer le niveau de risque encouru.

L'intervention suit la hiérarchie habituelle :

- éviter l'exposition aux risques ergonomiques lorsque cela est possible ;
- réduire le risque en automatisant les tâches de routine ou en fournissant des outils, par exemple des tournevis électriques ou pneumatiques ;
- introduire des procédures de travail sûres, telles que des pauses régulières et une limitation du temps passé sur un poste. Fournir des informations sur les risques, des instructions et une formation sur les procédures de travail sûres.

18.5 Équipement à écran de visualisation

Un grand nombre d'équipements informatiques utilisés dans les laboratoires, les usines, les bureaux et le travail à domicile sont composés d'un écran et de différents types de dispositifs d'entrée de données, par exemple un clavier ou une souris. Ces appareils peuvent créer plusieurs catégories de risques ergonomiques et illustrent parfaitement la nécessité d'aborder les problèmes ergonomiques d'une façon globale.

18.5.1 Effets possibles de l'utilisation des équipements à écran de visualisation

- **Problèmes de posture (douleurs et gêne des membres supérieurs)**

Ces problèmes peuvent se traduire par une fatigue ou une douleur dans le bras, la main et l'épaule, mais également aboutir à des troubles chroniques des tissus mous, par exemple le syndrome du canal carpien – inflammation de la gaine entourant les tendons permettant de fléchir les doigts.

Le rôle des facteurs de risques individuels (par exemple, nombre de frappes) dans la survenue de ces troubles n'est pas clairement défini. Il est probable qu'une combinaison de facteurs intervienne. Des postures statiques prolongées du dos, du cou et de la tête entraînent des problèmes musculo-squelettiques connus. Des positions inconfortables des mains et des poignets, à la suite d'une mauvaise technique de travail ou d'une hauteur inappropriée du travail, peuvent également être des facteurs plausibles. La survenue de troubles des tissus mous chez les personnes travaillant sur des claviers a souvent été associée à des charges de travail élevées, aggravées par des délais serrés. Ces différents facteurs contribuant aux risques inhérents au travail à l'écran nécessitent une stratégie de réduction des risques comprenant un bon équipement, des meubles, une formation, une conception et organisation du travail appropriés.

- **Problèmes visuels (effets sur les yeux et la vision)**

Comme les autres tâches exigeantes sur le plan visuel, le travail à l'écran n'entraîne pas de lésions oculaires ni n'aggrave les anomalies existantes. Toutefois, il peut faire prendre mieux conscience aux utilisateurs présentant des anomalies de la vision de leur existence, et certains utilisateurs peuvent présenter une fatigue visuelle temporaire, conduisant à un certain nombre de symptômes, notamment altération des performances visuelles, yeux rouges ou douloureux, maux de tête ou changements comportementaux (par exemple, changement de posture). Ces symptômes peuvent être provoqués par le fait de rester dans la même position et de se concentrer pendant une période prolongée, par une mauvaise position de l'écran, par une mauvaise visibilité de l'écran ou des documents sources, de mauvaises conditions d'éclairage, notamment par des éblouissements et des reflets, et/ou par une image mobile, un papillotement et/ou une image instable à l'écran.

Des troubles de la vision non corrigés peuvent rendre le travail à l'écran plus fatigant ou plus stressant qu'il ne le serait autrement.

- **Fatigue et stress**

De nombreux symptômes décrits par les utilisateurs d'écran reflètent le stress inhérent à la tâche effectuée par l'utilisateur. Ils peuvent être la conséquence de problèmes visuels ou du membre supérieur, mais sont plus souvent provoqués par une conception ou une organisation insuffisante du travail, un manque de contrôle du travail par l'utilisateur, une sous-utilisation des compétences, un travail répétitif à haute vitesse et un isolement social.

18.6 Effectuer une évaluation

- **Identification des utilisateurs d'équipements à écran de visualisation**

La première étape est de dresser une liste des employés qui travaillent avec des écrans, accompagnée des informations sur les tâches effectuées et le temps passé à l'écran chaque jour. Les employés qui utilisent habituellement un écran pour effectuer une partie significative de leur travail normal doivent être classés comme des « utilisateurs ».

- **Évaluation**

La seconde étape consiste à évaluer les postes de travail des utilisateurs, en prenant en considération le matériel, l'environnement et les facteurs spécifiques de l'utilisation par le travailleur de l'équipement. Les impressions des utilisateurs doivent être entendues dans le cadre de l'évaluation.

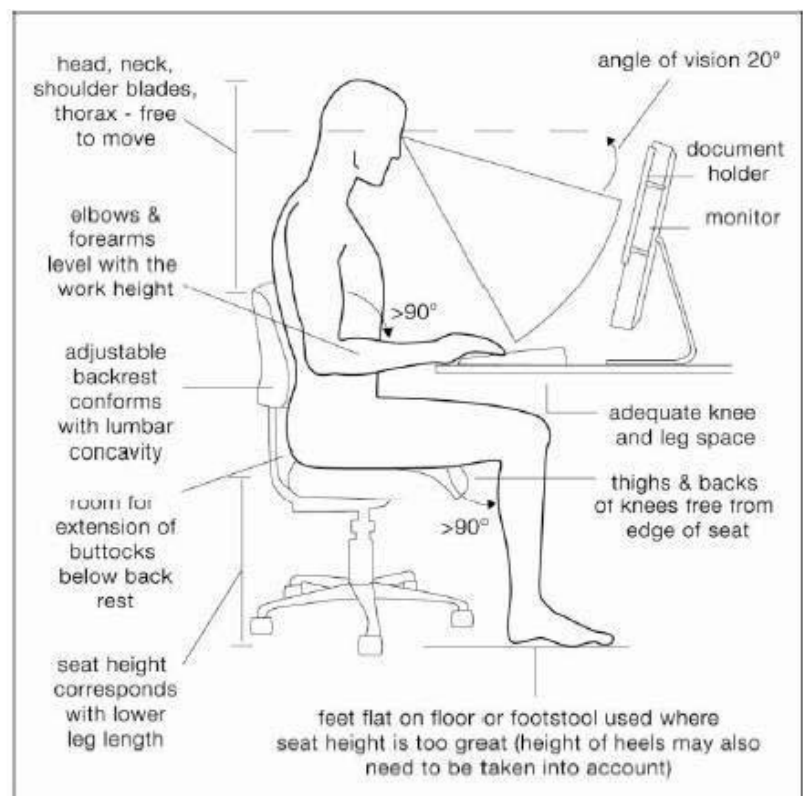
Il est possible d'avoir recours à des listes de vérification simples ou des formulaires pour faciliter le processus d'évaluation, contribuer à l'identification des mesures correctrices, mais également constituer un dossier écrit lorsque celui-ci sera achevé.

18.7 Exigences minimales pour les postes de travail

Les préconisations suivantes représentent les bonnes caractéristiques qui doivent se retrouver dans un poste de travail de bureau typique (voir figure).

- L'écran doit normalement disposer de réglages pour la luminosité et les contrastes. Cela permet aux personnes de trouver un niveau confortable pour leurs yeux, et d'éviter les problèmes liés à la fatigue et aux contraintes oculaires.
- Le siège doit être stable et ajustable en hauteur, et le dossier doit être ajustable en hauteur et pouvoir s'incliner. Un siège bien conçu et correctement ajusté favorise une bonne position, et contribue à éviter la fatigue posturale.
- Le clavier doit normalement être inclinable et séparé de l'écran. Cela permet aux utilisateurs d'adopter une position confortable pour la frappe, évitant la fatigue des bras et des mains.
- La surface de travail doit être spacieuse, et permettre une disposition flexible de l'équipement. Cela permet à l'employé d'adopter différentes positions de travail adaptées qui favorisent la prévention de la fatigue posturale et visuelle.

- Le support de documents doit être stable et ajustable. Un support de documents stable et bien positionné minimise la nécessité de mouvements inconfortables de la tête et des yeux.
- Tête, cou, épaules, thorax : libres de mouvement
- Niveau des épaules et avant-bras à hauteur de travail
- Dossier ajustable à la forme de la colonne
- Hauteur du siège correspondant aux jambes les plus courtes
- Pieds posés au sol ou sur un repose-pied si la hauteur du siège est trop haute (la hauteur des talons peut être prise en compte)
- Les cuisses et l'arrière des genoux libres du bord du siège
- Place adéquate pour les genoux et les jambes
- Ecran et support de documents
- Angle de vision 20°



(Source: McPhee, 2005 – reproduced with the permission)

Figure 18. 4 – Suggestion de disposition d'un poste de travail de bureau

Remarque: Cette position indique un point de départ pour permettre une posture de travail optimale - mais pas parfaite. Aucune posture ne convient à toutes les personnes tout le temps. Les postures de travail confortables varient et doivent être modifiées régulièrement. Les personnes qui effectuent un travail sédentaire devraient sortir de la chaise ou du siège au moins une fois par heure et se déplacer - plus si possible.

18.8 Contrôles administratifs

- **Pauses ou changements d'activité**

La routine professionnelle quotidienne des utilisateurs doit être brisée par des changements de tâches ou par des pauses. Pour la plupart des tâches, des interruptions ou des pauses naturelles ont lieu car elles font partie de l'organisation inhérente du travail.

À chaque fois que cela est possible, le travail à l'écran doit être pensé pour permettre un mélange des tâches s'effectuant à la fois à l'écran et hors écran afin de prévenir la fatigue et de diversifier les demandes visuelles et mentales.

Les pauses doivent être courtes et fréquentes, plutôt qu'occasionnelles et plus longues, par exemple une pause de 5 minutes toutes les heures. Plusieurs chercheurs plaident également pour l'adoption de la technique des « micro-pauses », c'est-à-dire des interruptions courtes de 10 à 20 secondes prises toutes les 5 à 10 minutes – ce temps peut être utilisé pour s'étirer rapidement et regarder au loin.

- **Tests des yeux et de la vision**

Dans certains pays, les utilisateurs d'équipements à écran de visualisation ou les employés susceptibles de devenir des utilisateurs peuvent demander à leur employeur d'effectuer à sa charge un test des yeux et de la vision. Ce test doit être effectué par un médecin ou un optométriste.

- **Information et formation**

Les utilisateurs peuvent faire beaucoup pour adapter leur propre poste de travail à leurs besoins, lorsqu'ils sont avertis des risques et formés sur les moyens de les prévenir.

19 COMPORTEMENT & CULTURE

19.1 Impact du comportement sur l'hygiène du travail

Le comportement des travailleurs a une importance considérable sur l'exposition aux agents dangereux sur le lieu de travail. Par exemple, un contact avec des matériaux dangereux peut survenir dans les cas suivants :

- utilisation d'outils contaminés (par exemple, un pinceau dont le manche est contaminé) ou en répandant de la pâte chimique avec les mains ;
- utilisation d'un équipement de protection individuelle (EPI) souillé, entraînant le transfert du contaminant en mettant ou en retirant l'équipement ;
- nettoyage insuffisant, travail dans le désordre ou absence de nettoyage après le travail ;
- non-utilisation de l'EPI lorsque cela est nécessaire, par exemple le retirer lorsque la tâche n'est pas terminée ou le porter de façon inefficace ;
- comportement non hygiénique, par exemple ne pas retirer les vêtements protecteurs et ne pas se laver les mains avant une pause repas.

Des exemples de ce type sont assez fréquents en hygiène du travail. Un « travailleur sale » présente souvent un degré d'exposition beaucoup plus élevé bien qu'il semble travailler dans les mêmes conditions que les autres travailleurs.

D'autres exemples de problèmes comportementaux peuvent inclure :

- ne pas mettre en marche un système de ventilation ou ne pas positionner une hotte mobile correctement ;
- manipuler un matériau vigoureusement et sans précaution, générant davantage de vapeurs ou de poussières aéroportées ;
- se placer face au vent d'une source d'exposition plutôt que du côté opposé.

L'impact du comportement sur l'exposition peut être minimisé tout d'abord en effectuant de bons contrôles d'ingénierie, puis en respectant les bonnes procédures opérationnelles sur lesquelles les travailleurs ont été bien formés. Toutefois, un comportement inadéquat peut toujours conduire à des expositions élevées à certaines occasions. Une analogie utile peut être proposée par la prévention des accidents. Le modèle en « gruyère » (voir Reason J., *Managing the Risks of Organisational Accidents*, 1997, Ashgate) suggère l'existence de

multiples couches, certes imparfaites, de défense contre les accidents, comme le montre le schéma ci-dessous. Les accidents se produisent lorsque les insuffisances surviennent simultanément dans toutes les barrières défensives.

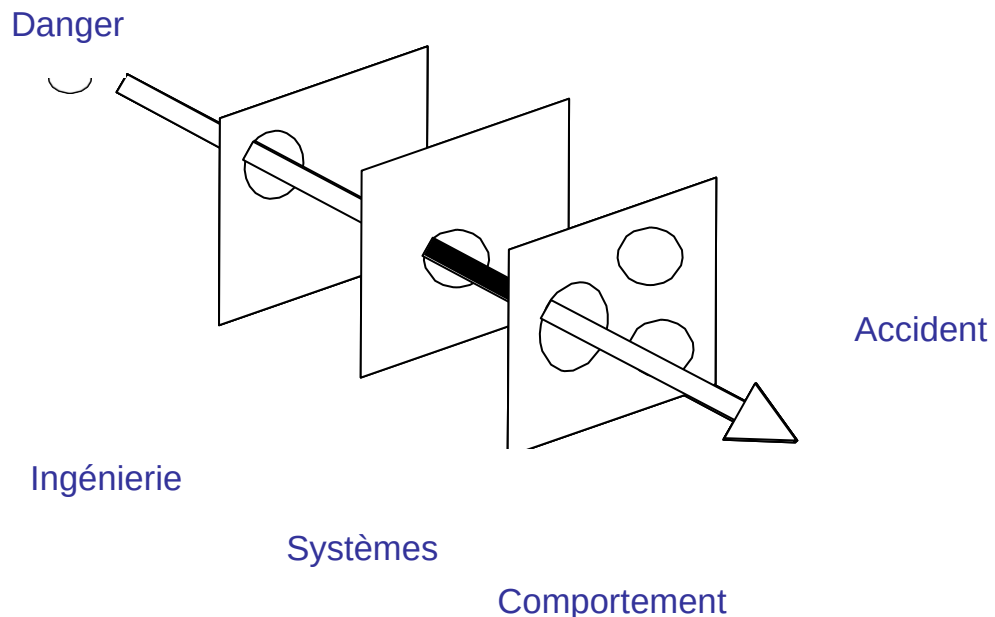


Figure 19.1 – Modèle en « gruyère » de la prévention des accidents

En termes d'hygiène, nous pouvons rencontrer la situation suivante :

- un système d'extraction qui ne fonctionne pas en pleine capacité à cause d'un manque d'entretien ;
- une tâche non standard qui n'est pas entièrement couverte par la procédure normale de sécurité, et
- un travailleur enclin à ne pas porter son EPI.

Une ou deux mesures pourraient être suffisantes pour contrôler l'exposition, mais une insuffisance générale simultanée entraîne une probable surexposition.

19.2 Motivation et modification du comportement

Pour changer les comportements, il est nécessaire de comprendre, puis de considérer les facteurs qui influencent notre comportement. Ces dernières années, il a été observé une augmentation de l'utilisation des approches de modification du comportement visant la sécurité, et les enseignements tirés concernent tout autant l'hygiène du travail. L'analyse et la modification du comportement du travailleur participant à une activité se sont avérées être un moyen efficace de réduction des accidents et des expositions professionnelles.

Le comportement peut être compris simplement selon le modèle Antécédents – Comportement – Conséquences (*Antecedents – Behaviour – Consequences*, A – B – C) (par exemple, Daniels A C, *Bringing out the Best in People*, 2nd ed. 1999, McGraw-Hill).

- Les **antécédents** confèrent la motivation initiale pour agir. Ils peuvent inclure des instructions du directeur, ainsi que des campagnes de publicité et de sensibilisation par le département de la santé et de la sécurité au travail. La manière dont ces messages sont reçus dépendra d'autres antécédents, notamment l'expérience antérieure du travailleur de messages similaires, les modes de travail établis et d'autres événements survenant au cours de la même période. Les antécédents fixent l'étape des événements ultérieurs.
- Le **comportement** est l'acte observable. Contrairement aux attitudes ou aux intentions, le comportement peut être observé et quantifié. Il est objectif.
- Les **conséquences** sont les événements qui surviennent après le comportement. Les travailleurs peuvent noter les conséquences pour eux-mêmes. Par exemple, ils peuvent considérer qu'il est plus facile d'effectuer un travail lorsque leur poste est propre et ordonné. Ou encore, ils peuvent trouver que l'EPI qu'ils doivent porter est inconfortable. Ils peuvent aussi recevoir des informations, positives ou négatives, de leur directeur ou de leurs collègues. Ce sont ces conséquences qui déterminent si le travailleur aura tendance à répéter le comportement.

Les expériences sont précieuses pour engager un changement, mais seules des conséquences entraînant un renforcement garantiront la répétition du comportement recherché.

Le plus souvent, les conséquences sont multiples et contradictoires et doivent être évaluées les unes par rapport aux autres. Par exemple, l'individu peut être conscient que l'utilisation d'un masque respiratoire a réduit son exposition aux particules d'amiante aéroportées, et qu'il a ainsi réduit le risque de développer un cancer à l'avenir. Cependant, il peut avoir présenté des difficultés à respirer avec le masque ou avoir eu une limitation de sa vision ce qui a rendu le travail plus difficile. La règle générale est que les conséquences *précoces, certaines et positives* prévalent sur celles qui sont *tardives, incertaines et négatives*. Il est ainsi facile de voir pourquoi de nombreux travailleurs choisiront de retirer le masque respiratoire, c'est-à-dire les bénéfices immédiats en croyant que les conséquences négatives ultérieures ne surviendront jamais.

Une modification efficace du comportement nécessite que les directeurs et les professionnels de santé trouvent des moyens pour minimiser les conséquences négatives et renforcer les conséquences positives des attitudes recherchées. Une erreur fréquente consiste à se référer aux antécédents et à indiquer encore au travailleur ce qu'il doit faire.

Une intervention sur le comportement peut être engagée sur trois stades distincts de la manière suivante :

1. **Motivation** : D'abord, il est nécessaire de motiver les personnes afin de les amener à vouloir changer leur comportement. Cela peut être influencé par des antécédents, notamment :
 - Leurs compétences dans l'activité qu'elles effectuent et leur connaissance des dangers qui y sont associés.
 - Leurs opinions au sujet des conséquences de l'exposition à un danger particulier.
 - Leurs opinions sur les performances et les capacités des moyens de contrôle.
 - Les procédures de travail établies (culture de santé et de sécurité).
2. **Instigation** : Lorsque les personnes sont motivées, elles doivent être soutenues afin de leur permettre de changer de comportement. Ce soutien peut être à la fois physique (effectuer une formation, équipements, etc.) et social (de la part de leurs collègues et des directeurs).
3. **Entretien** : Lorsqu'un comportement a été modifié, tous les efforts doivent être faits pour s'assurer que le travailleur ne reviendra pas au comportement antérieur. Généralement, les professionnels de la santé et de la sécurité se concentrent sur les antécédents, afin de maintenir un niveau élevé de conscience et de raviver les connaissances et les compétences. Cependant, le facteur le plus important est le renforcement des conséquences positives du changement.

Chacune de ces étapes (motivation, instigation et entretien) est à son tour influencée par les circonstances internes du travail (environnement de travail immédiat), l'organisation et les organisations externes / la société.

19.3 Culture de la santé et de la sécurité

Lorsqu'un schéma de comportement se généralise dans une organisation, il peut être qualifié de *culture organisationnelle*. La culture peut être un concept nébuleux – une définition simple serait « la façon dont nous agissons ici ». Cette définition simple illustre comment la culture

et le comportement sont liés, et permet de manière objective d'évaluer la culture en recueillant des informations sur les comportements observés.

La culture définit les règles implicites d'une organisation – comment les choses fonctionnent réellement, contrairement à la manière dont les choses sont supposées se dérouler. La culture reflète les attitudes et les valeurs sous-jacentes de l'organisation.

Lorsqu'un comportement devient ancré dans la culture d'une organisation, il peut être difficile de le changer. Il serait inutile d'encourager un individu à changer son comportement si tous les autres continuent à agir différemment. La pression des pairs conduirait le travailleur à revenir à la norme culturelle dès que possible. Dans une telle situation, le seul moyen de changer un comportement est de s'intéresser à la culture. Un changement culturel est un projet important à long terme qui nécessite un travail préparatoire approfondi.

La culture d'une organisation peut être qualifiée de positive pour la santé et la sécurité si elle encourage des comportements minimisant les incidents et l'exposition au risque. Par exemple, dans une culture positive, il serait normal que les travailleurs rapportent rapidement toute défaillance dans les moyens de contrôle, portent des équipements de protection correctement et suivent les procédures de sécurité au travail. De même, les directeurs devraient contrôler régulièrement le lieu de travail pour vérifier la santé et la sécurité, pour discuter de la santé et de la sécurité avec leurs employés ; et pour agir rapidement si une défaillance est rapportée.

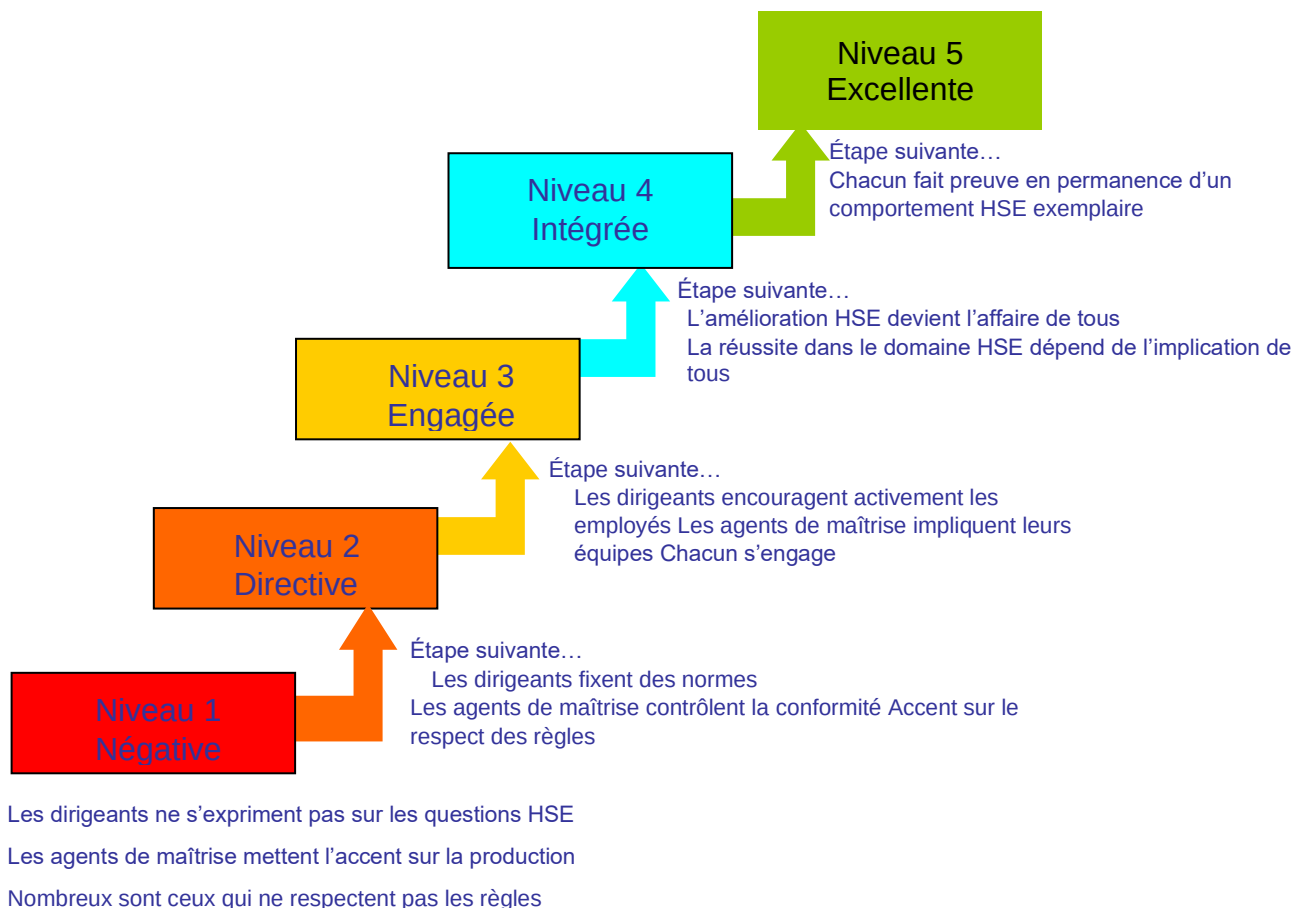
Les cultures négatives sont souvent caractérisées par la peur et les reproches, ce qui ne favorise pas la notification de situations dangereuses et empêche toute amélioration. Les employés passent outre les règles et les directeurs s'en lavent les mains.

Il a été observé que, lorsque des initiatives de sécurité comportementale identiques sont mises en œuvre dans différentes organisations, le succès varie de façon considérable. Dans certains lieux, une initiative peut apporter un changement positif, tandis qu'ailleurs, elle échouera. Comment expliquer cela ? Les recherches initiales menées dans l'industrie du pétrole et du gaz ont révélé que le succès de ces initiatives de sécurité dépendait des niveaux préexistants de développement de la culture. Différents sites, même au sein d'une même organisation, bien qu'apparemment similaires, montraient des niveaux divers du développement de leur culture de sécurité, et certains d'entre eux n'étaient pas « prêts ».

Pour assurer le succès d'une initiative destinée à améliorer la culture de sécurité, celle-ci doit « correspondre » au niveau de culture de sécurité existant du site. Cela signifie

également que le type le plus approprié d'initiative pour l'amélioration de la culture de la sécurité changera au fur et à mesure que son niveau de culture de sécurité s'améliorera.

Les éléments qui auront aidé la société à améliorer sa culture de sécurité à partir des niveaux de développement inférieurs ne relèveront pas du même type d'initiative que ceux qui lui permettront d'atteindre l'excellence.



Source : GlaxoSmithKline

Figure 19.2 – Exemple d'échelle de maturité de la culture

L'exemple d'une échelle de maturité de la culture de la santé et de la sécurité présentée ci-dessus comporte cinq niveaux de culture. Chaque niveau reflète les comportements et la participation à la santé et la sécurité de toutes les personnes du site. En commençant au Niveau 1 où l'accent est mis sur la production, les personnes négligent les règles et les directeurs sont absents, jusqu'au Niveau 5 où tous les échelons affichent systématiquement les bons comportements. Un certain nombre d'étapes doivent être traversées pour passer au niveau suivant de l'échelle. Si une organisation essaie de passer du Niveau 1 au Niveau 4 ou 5, en une étape, l'initiative aura de grands risques

d'échouer.

De même, il faut reconnaître que pour rester à n'importe quel niveau il faudra travailler pour maintenir la situation ; sinon, la culture peut en souffrir.

20 STRESS LIE AU TRAVAIL

Les aspects psychosociaux de l'environnement du travail ont été de plus en plus reconnus au cours des dernières années. Les problèmes associés au « stress lié au travail » sont désormais considérés comme un sujet central dans la gestion de la santé et de la sécurité. Dans de nombreux pays développés, les cas de « maladie mentale » représentent la cause unique la plus fréquente de pathologies liées au travail.

Un travail bien conçu, bien organisé et bien géré contribue à conserver et à favoriser la santé et le bien-être individuel. Toutefois, lorsque la conception, l'organisation et la gestion du travail n'ont pas fait l'objet d'une attention suffisante, les bénéfices et ceux associés au travail peuvent être perdus. L'un des résultats les plus fréquents est le stress lié au travail.

Par le terme « stress lié au travail », nous désignons les effets survenant lorsque les demandes professionnelles de types et de combinaisons variés dépassent les compétences et la capacité d'une personne à faire face. Il s'agit de l'une des causes de pathologies qui est connue pour être liée à des nombres importants d'arrêts maladie, d'une rotation importante du personnel et d'autres indicateurs de performances organisationnelles insuffisantes – y compris d'erreurs humaines.

La conception et la gestion du travail sont importantes pour anticiper, reconnaître et prévenir les situations stressantes. Bien entendu, un grand nombre des facteurs de stress majeurs de la vie se manifestent en dehors du lieu de travail, et il est souvent impossible de corriger le stress simplement en traitant les problèmes sur le lieu de travail. De nombreuses organisations importantes proposent désormais une formation sur la *résilience* à leurs employés pour les aider à gérer l'équilibre entre le travail et leur vie personnelle et éviter de se stresser. Pour les personnes soumises au stress, il reste toutefois nécessaire de déceler et de pallier dans les meilleurs délais à cette situation de telle sorte que le travailleur puisse être réintégré.

20.1 Symptômes du stress

Le stress produit un certain nombre de signes et de symptômes, comme par exemple :

Changements de comportement : difficultés d'endormissement, changement des habitudes alimentaires, augmentation du tabagisme ou de la boisson, refus de voir les amis et la famille ou problèmes sexuels.

Symptômes physiques : fatigue, indigestion et nausées, maux de tête, douleurs

musculaires ou palpitations.

Changements mentaux : indécision croissante, difficultés de concentration, pertes de mémoire, sensation d'inadéquation ou perte de l'estime de soi.

Changements émotionnels : irritabilité ou colère ; anxiété ou inhibition, hypersensibilité ou sensation d'épuisement et sans enthousiasme.

20.2 Évaluation du stress

Le recours à une enquête est la méthode la plus fréquente pour recueillir des informations destinées à établir si un stress lié au travail semble être un problème potentiel chez les employés. Elle peut également donner une indication sur les personnes susceptibles d'être affectées et de quelle manière. Les enquêtes permettent généralement de poser toute une série de questions aux employés. Ces derniers évaluent leur perception individuelle du type de facteurs susceptibles de contribuer au stress ou à la satisfaction professionnelle. Ceux-ci peuvent comprendre :

- Diversité des tâches.
- Demandes professionnelles équilibrées avec les capacités.
- Développement continu des compétences.
- Responsabilité et autorité.
- Contribution à l'avancement et au développement des travaux.
- Participation à la planification et à la résolution des problèmes.
- Délais (pression par le temps).
- Soutien social et interactions avec les collègues.
- Visibilité de la totalité du processus.
- Climat de gestion du travail positif.
- Liberté de se déplacer physiquement.
- Contrôle sur les horaires (rythme).
- Choix des méthodes de travail.
- Influence sur la quantité et la qualité de la production.
- Longueur des cycles.
- Degré de liberté d'action.

- Organisation des groupes de travail.

Le Health and Safety Executive britannique propose un exemple de ce type d'enquête et fournit également un tableau pour l'analyse des résultats. Voir :

<http://www.hse.gov.uk/stress/standards/step2/surveys.htm> (consulté en 01/2018).

20.3 Gestion du stress

Une bonne gestion des facteurs psychosociaux dans une organisation peut contribuer à favoriser les bénéfices du travail pour la santé, mais également éviter le stress lié au travail. Elle comporte la mise en application de pratiques de travail et d'une culture dans toute l'organisation et couvre les aspects suivants du travail :

Demandes – notamment charge de travail, organisation du travail et environnement de travail.

- Les demandes doivent être adéquates et doivent pouvoir être satisfaites dans les horaires de travail convenus.
- Les activités professionnelles doivent être conçues dans le cadre des capacités des employés.
- Les compétences et les capacités des personnes doivent correspondre aux demandes de l'activité.
- Les préoccupations des employés vis-à-vis de leur environnement de travail doivent être prises en compte.

Maîtrise – dans quelle mesure la personne peut intervenir sur la manière dont elle effectue son travail.

- Lorsque cela est possible, les employés doivent avoir un certain contrôle sur leur rythme de travail.
- Les employés doivent avoir leur mot à dire sur le moment où les pauses peuvent être prises.
- Les employés doivent être consultés sur leur organisation du travail.
- Les employés doivent être encouragés à mettre à profit leurs compétences et à faire preuve d'initiatives pour effectuer leur travail.
- Les employés doivent être encouragés à développer de nouvelles compétences pour les aider à réaliser de nouvelles tâches plus difficiles.

Soutien – notamment encouragement, parrainage et ressources fournies par l'organisation, la hiérarchie et les collègues.

- L'organisation doit disposer de politiques et procédures soutenant les employés.
- Des systèmes doivent être mis en place pour permettre et encourager le soutien des directeurs vis-à-vis de leur équipe.
- Des systèmes doivent être mis en place pour permettre et encourager le soutien des employés vis-à-vis de leurs collègues.
- Les employés doivent savoir de quel soutien ils peuvent bénéficier, et comment et quand y accéder.
- Les employés doivent savoir comment accéder aux ressources nécessaires pour faire leur travail.
- Les employés doivent recevoir des informations en retour régulières et constructives sur leur travail.
- Des avis et conseils médicaux confidentiels doivent être mis à la disposition des employés qui en ressentent le besoin.

Relations – notamment favoriser un travail positif pour éviter les conflits et gérer les comportements inacceptables.

- L'organisation doit favoriser les comportements positifs au travail afin d'éviter les conflits et assurer l'équité.
- Les employés doivent partager les informations en lien avec leur travail.
- L'organisation doit avoir convenu des politiques et des procédures pour prévenir ou résoudre les comportements inacceptables.
- Des systèmes doivent être mis en place pour permettre et encourager les directeurs à gérer les comportements inacceptables.
- Des systèmes doivent être mis en place pour permettre et encourager les employés à signaler un comportement inacceptable.

Rôle – les personnes comprennent-elles leur rôle dans l'organisation et l'organisation peut-elle assurer qu'elles n'ont pas à assumer des rôles contradictoires.

- L'organisation doit s'assurer autant que possible que les différentes exigences qu'elle soumet aux employés sont compatibles.

- L'organisation doit fournir des informations pour permettre aux employés de comprendre leur rôle et leurs responsabilités.
- Des systèmes doivent être mis en place pour permettre aux employés de signaler les problèmes au sujet d'incertitudes ou de conflits concernant leur rôle et leurs responsabilités.

Changement – comment les changements organisationnels (importants ou minimes) sont-ils gérés et communiqués dans l'organisation.

- L'organisation doit fournir aux employés des informations dans les meilleurs délais pour leur permettre de comprendre les raisons des changements proposés.
- L'organisation doit consulter de manière adéquate les employés sur les changements et donner la possibilité aux employés d'influencer les propositions.
- Les employés doivent être informés des calendriers des changements et avoir accès à un soutien significatif au cours de la mise en œuvre de ces changements.

21 CARRIÈRES EN HYGIÈNE DU TRAVAIL

21.1 Pratique de l'hygiène du travail

Les services d'hygiène du travail sont organisés selon différentes méthodes en fonction des paramètres suivants :

- Taille et ressources de l'organisation employeuse.
- Nécessité de faire appel aux compétences d'un spécialiste.
- Disponibilité d'une aide extérieure.

Une société importante travaillant avec des matériaux toxiques emploiera probablement un ou plusieurs hygiénistes du travail en interne. Les petites sociétés ou celles qui sont exposées à peu de risques vis-à-vis de la santé du travail, feront appel aux services d'un consultant le cas échéant.

Certains pays fournissent des services nationaux d'hygiène du travail, par l'intermédiaire d'instituts centraux de santé du travail. D'autres imposent l'obligation statutaire aux employeurs d'utiliser des hygiénistes qualifiés ou des services de santé du travail. D'autres encore n'ont aucune exigence réglementaire.

Dans cette section, nous examinerons les rôles et les caractéristiques des différents types de services et ceux de l'équipe de l'hygiène.

21.1.1 Services internes

D'une façon générale, les organisations comptant moins de 1 000 personnes emploient rarement un hygiéniste du travail à plein temps. Des services d'hygiène de base pourront être fournis par un responsable de la sécurité ou une infirmière spécialisée dans l'hygiène du travail avec un consultant qui interviendra selon les besoins. Il y a des exceptions à cette règle, notamment lorsque la société présente un important problème spécifique concernant l'hygiène du travail, par exemple dans l'industrie du plomb. Nous traiterons ici des organisations de grande taille, souvent multinationales, exerçant dans les domaines comme l'industrie chimique, l'industrie pharmaceutique, l'extraction et le raffinage des métaux, le pétrole et le gaz, l'électronique, etc. Il existe également des services internes au sein de certaines autorités sanitaires et dans le service civil.

Un tel « service » peut comprendre l'intervention d'un hygiéniste unique ou d'un certain nombre d'hygiénistes présentant des niveaux d'expérience et d'ancienneté différents. Ils

tendent à approfondir leur expertise dans ces domaines de l'hygiène du travail ayant un intérêt particulier pour l'organisation, et ils peuvent même avoir la possibilité de publier des articles de recherche. À l'inverse, le cadre de l'expertise ne dépassera pas celui des activités de la société.

Les postes en interne sont généralement les suivants :

Assistant hygiéniste ou technicien hygiéniste. Il disposera de qualifications universitaires, comme le BTS / DUT / Licences professionnelles en France, le GSCE au Royaume-Uni [ou un diplôme de grandes écoles aux États-Unis], et un diplôme et une formation spécifique (souvent pratique) dans les techniques de mesure de l'hygiène du travail. Les techniciens ou les chimistes d'un laboratoire remplissent ou adoptent souvent ce type de fonction.

Leurs tâches peuvent comprendre :

- Mesure de l'exposition des travailleurs en utilisant des techniques standard.
- Étalonnage et entretien de l'équipement d'échantillonnage.
- Analyses de laboratoire des échantillons recueillis.
- Tests des mesures de contrôle, par exemple des systèmes de ventilation.

Généralement, ces tâches seront effectuées sous le contrôle d'un hygiéniste plus expérimenté. Même dans ce cas, la personne devra être pleine de ressources, observatrice, et en mesure de communiquer clairement et de s'adapter aux changements de technologie.

Hygiéniste du travail. Il devra :

- Connaître les lieux de travail, l'usine, les processus, les matériaux, les sources d'exposition et les personnes concernées.
- Connaître les exigences législatives en vigueur.
- Avoir des connaissances lui permettant de reconnaître les dangers potentiels pour la santé et leur association avec une pathologie ou une gêne.
- Comprendre l'origine des normes d'hygiène acceptées.
- Concevoir des programmes adaptés d'échantillonnage au poste de travail ou biologique.
- Sélectionner, acheter, étalonner et entretenir l'équipement de terrain approprié.

- Réaliser des enquêtes sur le lieu de travail et en connaître les limites.
- Évaluer le risque pour la santé en utilisant son jugement professionnel en référence à des normes d'hygiène fiables.
- Appliquer un traitement statistique aux données obtenues.
- Enregistrer et extraire les données le cas échéant.
- Évaluer les méthodes de contrôle par l'observation et les mesures.
- Recommander des mesures de contrôle nouvelles ou améliorées à la direction.

Au cours du travail, ils seront en contact avec la direction, le personnel, les syndicats, le personnel médical, de sécurité et d'ingénierie. Des services au sein de comités, des présentations et une participation à des sessions de formation peuvent être demandés. L'hygiéniste peut également représenter la société à l'extérieur, auprès des autorités responsables, des autorités de programmation, etc.

L'hygiéniste du travail à plein temps doit disposer d'un diplôme universitaire. Il doit faire preuve d'un degré élevé d'engagement dans sa profession, avec tout ce que cela implique.

Hygiéniste du travail principal. Hygiéniste qui, grâce à ses compétences et expériences professionnelles approuvées, assume un rôle plus important dans l'organisation.

L'hygiéniste principal fait appel à son expérience pour mettre en œuvre des programmes appropriés d'hygiène du travail dans l'organisation, en surveiller la progression et prendre les actions le cas échéant. Ces tâches peuvent inclure :

- Formulation des politiques et des normes d'hygiène du travail.
- Audit et surveillance de l'efficacité des politiques.
- Évaluation des risques des nouveaux processus, en examinant attentivement les matériaux, la conception de l'usine, etc., et en anticipant les problèmes.
- Informations et formation de l'encadrement et des employés à l'hygiène du travail.
- Supervision et développement professionnel d'une équipe chargée de l'hygiène.
- Gestion d'un laboratoire d'hygiène du travail.
- Assurance qualité des mesures et des programmes d'hygiène.

À ce niveau, d'excellentes capacités de communication sont essentielles. L'hygiéniste principal doit être en mesure d'interpréter les données qu'il reçoit et de persuader les

directeurs, les travailleurs ou les autorités en conséquence. Des compétences de communication par écrit et par oral sont primordiales.

Des compétences managériales sont également attendues. L'hygiéniste principal doit pouvoir gérer des assistants et contrôler un budget. Il est nécessairement conscient du rapport coût-efficacité et il a une parfaite connaissance actuelle de la législation, des litiges, de la toxicologie et de l'épidémiologie.

L'hygiéniste principal sera très actif professionnellement, aussi bien en apprenant de ses pairs qu'en contribuant aux connaissances de son domaine. Des travaux en comités, des publications et des présentations constituent des éléments nécessaires pour mettre à jour ses connaissances et communiquer ses propres découvertes.

Lorsqu'il a acquis de l'expérience, l'hygiéniste peut devenir un membre de l'équipe décisionnelle au niveau de l'encadrement supérieur. Les termes de directeur de l'hygiène du travail et d'hygiéniste exécutif sont parfois utilisés pour décrire ces fonctions de haut niveau. Dans une société multinationale, l'hygiéniste peut assumer des responsabilités au sein de l'entreprise à un niveau international. Un jugement fiable reposant sur de nombreuses années d'expérience constitue une condition indispensable. Des hygiénistes de ce niveau deviennent la principale source d'information et de conseil pour l'encadrement supérieur, tout en conservant le contrôle fonctionnel sur la politique d'hygiène du travail et la pratique professionnelle dans l'organisation.

21.1.2 Consultants

Le plus souvent, le consultant interviendra dans le cadre de services commerciaux. Il peut s'agir de sociétés indépendantes ou liées à un assureur ou à un fabricant d'équipements. Dans tous les cas, les consultants recherchent légitimement le profit et sont rémunérés en fonction des honoraires qu'ils perçoivent. Les honoraires sont calculés soit sur une base journalière soit forfaitairement pour l'ensemble d'un contrat.

Il existe certaines exceptions : certaines associations commerciales et services de groupe par exemple proposent des services d'expertise-conseil, et ce, à titre gratuit. Généralement, ils sont financés (au moins en partie) par une souscription ou une taxe sur les membres. Les revenus peuvent être complétés en facturant un tarif journalier réduit (subventionné).

Les consultants peuvent également provenir de certaines universités, et considérer ce travail comme un moyen de garder l'équipe universitaire en contact avec le monde réel ou simplement comme une autre source de revenus. Il existe en outre certaines fondations

indépendantes qui peuvent disposer de subventions leur permettant d'appliquer des tarifs réduits.

Les hygiénistes consultants doivent disposer des mêmes compétences techniques que ceux de l'industrie, mais ont rarement la possibilité de se spécialiser. Ils acquièrent en revanche une expérience exceptionnellement large de différents types de problèmes. Cela demande de s'adapter très rapidement et avec un degré d'autonomie élevé aux nouvelles situations. Globalement, ils ont tendance à être plus qualifiés et expérimentés que les hygiénistes de l'industrie.

21.1.3 Agences nationales

Les services fournis par l'État peuvent avoir des rôles coercitifs ou consultatifs ou les deux à la fois. Parfois, les deux fonctions doivent coexister de façon inconfortable, lorsqu'un inspecteur propose un conseil, mais menace de poursuites si ce conseil n'est pas appliqué. Les services nationaux sont généralement considérés comme autoritaires, mais également regardés avec suspicion s'ils ont le rôle d'imposer des mesures.

Les inspecteurs disposant de l'autorité sur le terrain sont généralement des généralistes de la santé et de la sécurité, qui demanderont le cas échéant l'aide d'un hygiéniste du travail spécialisé pour effectuer des enquêtes et fournir des conseils.

Les hygiénistes peuvent également participer aux tâches suivantes :

- Coordination des données pour l'établissement de normes.
- Participation à des comités nationaux et internationaux.
- Liaison avec de nombreux organismes scientifiques, industriels et universitaires nationaux.
- Demande ou réalisation de recherches.
- Production de directives sur l'ensemble du spectre des problèmes de prévention et de contrôle.
- Rédaction et révision de la législation.

Dans certains pays, les agences nationales sont financées par les impôts généraux. Dans d'autres, les sociétés paient une taxe obligatoire pour financer les services nationaux de santé du travail. Les taxes peuvent être complétées par des honoraires de consultant réduits pour des projets spécifiques. Dans ces pays, les consultants commerciaux privés ont

tendance à être peu nombreux.

21.1.4 Recherche et enseignement

Les universités, les établissements d'enseignement supérieur et les organismes de recherche sont les derniers lieux principaux où exercent les hygiénistes. Ils peuvent effectuer les activités suivantes :

- Réalisation de recherches sur les dangers pour la santé, les techniques de mesure ou les méthodes de contrôle.
- Cours à des étudiants diplômés et non diplômés, et conférences auprès de médecins, d'infirmières, de responsables de la sécurité, d'ingénieurs, etc., comme sujet connexe.
- Réalisation d'investigations sur l'hygiène du travail dans l'organisation et parfois en externe comme consultants.

Une carrière de conférencier, conférencier principal et de professeur est fréquente pour d'autres fonctions universitaires, et n'est pas nécessairement liée aux qualifications relatives à l'hygiène du travail.

21.2 Conséquences pour les hygiénistes

Ces traits divergents des différents types de services d'hygiène du travail ont un effet important sur la manière d'effectuer leur métier. Les objectifs, la gestion et le financement des organisations imposent toutes des contraintes sur leur fonctionnement, avec des domaines à considérer, y compris la prestation de services affaires, les installations disponibles pour fournir des services, des possibilités de développement et d'avancement et d'assurance qualité au sein de l'organisation.

21.3 L'hygiéniste en tant que dirigeant

Le concept d'hygiéniste agissant en tant que dirigeant peut signifier différentes choses pour différentes personnes. Cette situation peut impliquer :

- gestion de programmes d'hygiène du travail conception des programmes, programmation de leur mise en œuvre, réalisation et surveillance de ces programmes ;
- gestion d'un service d'hygiène – soit interne soit en tant que consultant, avec la responsabilité de l'équipe, du budget, etc. ;
- appartenance à l'équipe dirigeante de la société, conseil à la hiérarchie sur les sujets d'hygiène spécifiques afin de répondre aux exigences de l'activité.

- Changement de carrière – passage dans un domaine comme le marketing ou la hiérarchie sur la base des capacités acquises au cours de la pratique en tant qu'hygiéniste.

Toutes ces interprétations sont possibles mais un concept plus large du rôle de dirigeant est également envisageable pour l'hygiéniste.

L'efficacité d'un hygiéniste peut être jugée par le succès remporté pour améliorer l'environnement du travail. L'hygiéniste doit s'efforcer d'obtenir la coopération des travailleurs en faveur du programme d'hygiène du travail, avec le soutien sans faille de la direction et l'utilisation des capacités de toutes les autres équipes d'hygiène. L'efficacité dépend en partie des connaissances techniques, mais principalement de la capacité à obtenir des résultats. Elle peut nécessiter les actions suivantes :

- influencer les employés afin qu'ils utilisent de façon correcte les mesures de contrôle fournies ;
- superviser les autres équipes d'hygiène afin qu'elles agissent de façon optimale ; ou
- influencer les dirigeants pour prendre ou soutenir des décisions.

Obtenir des résultats de cette manière, c'est-à-dire par l'intermédiaire des personnes, est la science du management. Cela nécessite des attitudes, des connaissances et des compétences, lesquelles ne sont pas enseignées traditionnellement aux hygiénistes.

Un hygiéniste du travail jouissant de capacités techniques mais ne disposant pas de capacités de direction agira comme un spécialiste, qui sera consulté le cas échéant pour fournir des données aux autres, qui eux prendront les décisions. En revanche, un directeur de l'hygiène du travail exercera une influence majeure sur les politiques, la direction et les performances de la société. Un profil managérial est donc requis pour tous les hygiénistes principaux. Il doit faire preuve d'une parfaite maîtrise des compétences évoquées ci-après :

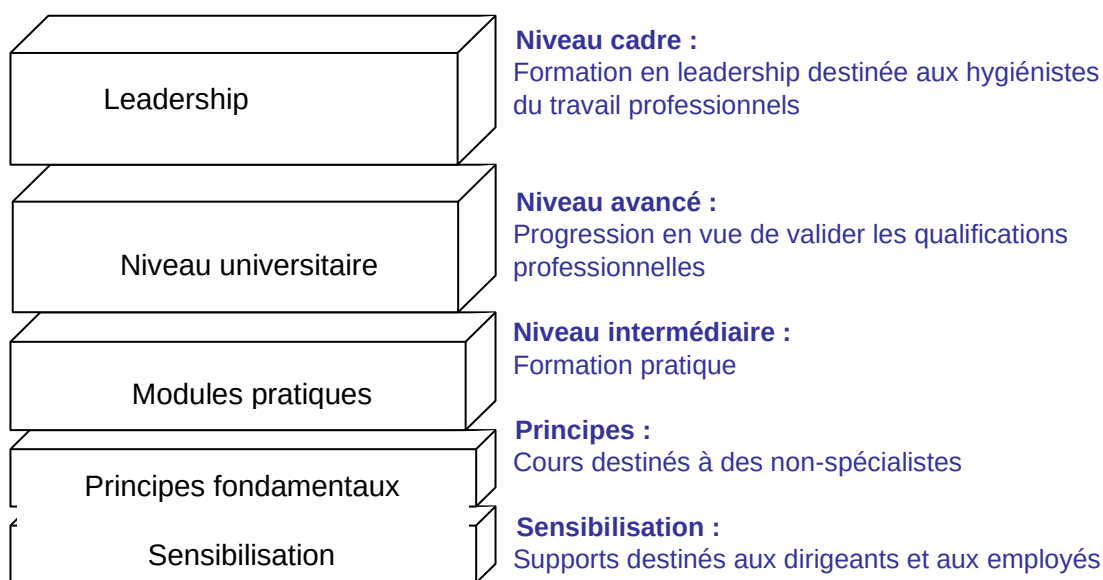
- Compétences de direction et d'administration, notamment fixer des objectifs, programmer, superviser, résoudre des problèmes, prendre des décisions, gérer le temps, déléguer, établir un budget et effectuer des audits.
- Compétences de direction vis-à-vis des employés, comprenant entretiens de recrutement, formation et renforcement de l'équipe, conseils, entretiens disciplinaires, création d'équipes, leadership et motivation.
- Compétences de communication, notamment rédaction de rapports, présentations et

communications en public, pilotage de réunions, persuasion (ou vente) et négociations.

Ces compétences doivent être utilisées dans le contexte de la culture, des procédures, du statut actuel et des plans de l'organisation. Les hygiénistes devraient prévoir d'acquérir de l'expérience dans les situations de gestion dans le cadre de leur développement professionnel et / ou suivre une formation en gestion. Un ajustement plus difficile est le changement d'attitude nécessaire. Traditionnellement, les hygiénistes sont des conseillers impartiaux, qui présentent les faits aux autres pour prendre des décisions. Devenir un gestionnaire implique d'être prêt à prendre en charge les problèmes. Le gestionnaire doit rester objectif, mais être axé sur les résultats plutôt que sur l'impartialité. Les gestionnaires doivent aussi parfois être disposés à prendre des décisions sur la base de données incomplètes plutôt que de reporter l'action jusqu'à ce que la preuve scientifique soit complète.

21.4 Développement personnel

L'hygiène du travail est un domaine qui offre des possibilités d'apprendre et de se développer tout au long de la vie. Non seulement il est vaste et techniquement difficile, mais il évolue en permanence créant de nouveaux domaines de connaissances. Des cours sont disponibles pour cinq niveaux différents (voir figure).



Source : Steve Bailey

Figure 21. 1 – Besoins en enseignements et en formation

De nombreux hygiénistes exercent seuls au sein de leur organisation et peuvent ne pas savoir de quelle formation ils ont besoin ou encore comment se développer. Plusieurs possibilités s'offrent à eux pour rester en contact avec leurs pairs, cela leur permet de

partager des informations et d'apprendre les uns des autres.

21.4.1 Rejoindre une société

Il existe des sociétés d'hygiène du travail établies dans près de 30 pays. Les détails peuvent être consultés sur le site internet de l'Association internationale d'hygiène au travail (*International Occupational Hygiene Association*, IOHA) – voir www.IOHA.net (consulté en 1/2018).

De nombreuses sociétés offrent des conférences et des réunions pour que les hygiénistes se réunissent, avec des bulletins d'information et des sites Web pour aider les gens à rester en contact. Certains offrent également des qualifications professionnelles. Il existe 15 pays dotés de systèmes de certification reconnus par l'IOHA couvrant 9 langues différentes. Les pays avec les systèmes de certification de reconnaissance d'accréditation de l'IOHA sont:

- Australie
- Canada
- France
- Allemagne
- Hong Kong
- Italie
- Japon
- Malaisie
- Pays-Bas
- Norvège
- Afrique du Sud
- Suède
- Suisse
- Royaume-Uni
- États-Unis
-

■ En France, l'association est la Sofhyt (société française des hygiénistes du travail), fondée

en 1991. Elle assure aussi depuis 2011, l'examen de « certification des hygiénistes du travail » en français et programmera bientôt l'examen intermédiaire « certificat d'hygiène du travail ».

Un système mondial de formation et de qualifications vise à faciliter la transférabilité des qualifications entre les pays. Il a été mis en place par le biais de l'OHTA (Association de formation en hygiène du travail) www.ohtatraining.org (consulté en 01/2018).

21.4.2 S'impliquer

- Rejoindre un forum internet. La plupart des grandes associations ou instituts les ont, tout comme les grandes entreprises manufacturières.
- Aller aux conférences et donner des présentations.
- Assister ou organiser une réunion locale.
- Tenez-vous au courant en lisant des journaux sur l'hygiène du travail tels que the Annals of Work Exposures and Health - voir <https://academic.oup.com/annweh/> (consulté 01/2018) et le Journal of Occupational and Hygiène de l'environnement - voir <https://www.aiha.org/publications-and-resources/JOEH/Pages/default.aspx> (consulté 01/2018).

■ Participer aux discussions de l'association française <http://sofhyt.fr/> (consulté en 01/2018)

21.4.3 Tisser son réseau

- Trouver une personne avec laquelle vous maintenez des contacts, soit un camarade soit un mentor.
- Partenariat avec une université, des consultants ou un organisme de formation dans votre région.

21.5 Considérations éthiques

Le premier devoir d'un hygiéniste doit toujours être de sauvegarder la santé et le bien-être du personnel. Mais l'hygiéniste a également des responsabilités envers l'employeur, les clients (si l'hygiéniste est un consultant) et le public en général. Inévitablement, des questions éthiques se poseront. Par exemple :

- La confidentialité des données personnelles de santé professionnelle doit être protégée, mais les employeurs doivent savoir quels sont les employés qui sont exposés à un risque.

- Il peut exister des conflits de loyauté entre les devoirs des hygiénistes envers les employeurs, les travailleurs, les clients et la loi.
- Il peut exister des contraintes sur la liberté de l'hygiéniste d'effectuer ses activités, par exemple accès aux sites, équipements disponibles, temps octroyé, niveau de l'équipe de soutien.
- Faire appel à du personnel subalterne pour du travail de terrain peut poser des questions sur la conformité de la supervision.
- La publicité et les pratiques de vente des consultants peuvent être soumises à des contraintes éthiques.

Les corps professionnels devront disposer d'un Code de l'éthique pour garantir que ces sujets sont pris en considération avec responsabilité et constance par la profession. Les normes de conduite sont aussi rigoureuses que celles exigées dans d'autres disciplines professionnelles, par exemple la médecine et la loi. Les membres sont obligés de respecter les dispositions du Code et peuvent faire l'objet d'actions disciplinaires et, éventuellement, d'expulsion dans le cas contraire.

Dans un code d'éthique, le devoir principal envers les employés peut être complété par un certain nombre de devoirs parallèles, par exemple :

Envers les employeurs et les clients

- Conserver la confidentialité de toutes les informations au sujet de leurs activités ou de leurs processus.
- Conseiller honnêtement, avec responsabilité et compétence.

Envers le personnel

- Conserver une attitude objective concernant les risques pour la santé.
- Utiliser les informations recueillies uniquement à des fins d'hygiène professionnelle et pour le bénéfice du personnel.

Envers le public général

- Conserver une attitude objective concernant les sujets d'ordre public.
- Se limiter aux sujets sur lesquels ils peuvent parler avec autorité, en distinguant les faits acceptés des opinions éclairées.

Envers d'autres professionnels

- Maintenir un niveau élevé d'intégrité et de compétences professionnelles.
- Respecter les autres professionnels et éviter les situations conflictuelles lorsque cela est possible.

En outre, les hygiénistes consultants peuvent avoir certaines responsabilités particulières :

- Informer leurs clients de tout intérêt / emploi qui pourrait compromettre leur indépendance.
- Ne pas travailler avec plus d'un client sur le même sujet.
- Ne pas accepter de paiements ni de gratifications d'une tierce partie.
- Ne pas solliciter du travail de façon incorrecte, par exemple en offrant des incitations financières ou en remettant en question les capacités d'un autre consultant.

| ABREVIATIONS

FR	EN	
AA	AA	absorption atomique
		Antécédents – Comportement – Conséquences
A-B-C	A-B-C	/Antecedents – Behaviour – Consequences
ACGIH	ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
ADN		Acide désoxiribonucléique
ALA		Acide amino-lévulinique
ARN		acide ribonucléique
BPCO		Bronchopneumopathie chronique obstructive
CAS	CAS	Chemical Abstracts Service
CCHST		Centre canadien d'hygiène et de sécurité au travail
CFC	CFC	Chlorofluorocarbones
		résistance thermique des vêtements , où 1 Clo = 0,155
Clo	Clo	km ² /W.
CME	TWA	Concentration moyenne d'exposition
CPA		cellule présentatrice d'antigène
CVF		capacité vitale forcée
DES	DES	diéthylstilbestrol
EPI	PPE	équipement de protection individuelle
		espérance de vie corrigée de l'incapacité / Disability
EVCI	DALY	Adjusted Life Years
FMA	MMF	Fibres minérales artificielles / man made fiber
Gy	Gy	Gray, égale à une absorption d'énergie de 1 J/kg
HIV	VIH	virus de l'immunodéficience humaine
Hz	Hz	Hertz
		Organisation internationale du Travail / International Labor
ILO	OIT	Organization
IR	IR	infrarouge
		Amplification de la lumière par émission stimulée de
		radiations / Light Amplification by Stimulated Emission of
LASER	LASER	Radiation
Leq		Niveau de bruit continu équivalent
	LEX,8h -	
LEX,8h	Lep,d	niveau d'exposition quotidienne au bruit
Maladie de		syndrome vibrations mains-bras/[Hand-Arm Vibration
Raynaud	HAWS	Syndrome
MRSA		methicillin-resistant Staphylococcus aureas
n	N	Neutron
NIOSH	NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health (USA)
OGM	GMO	organisme génétiquement modifié
OMS	WHO	Organisation mondiale de la Santé
rad	Rad	dose absorbée,1 Gray = 100 rads.
SDS	FDS	Fiches de données de sécurité

SI	ISU	Système International / International System of Units
SNC	CNS	système nerveux central
SNP	PNS	système nerveux périphérique
sv	Sv	sievert, 1 Sv = 100 rem
UV	UV	ultra violet
VEMS		volume expiratoire maximal par seconde
VLEP	OEL - TLV	Occupational Exposure Limit
VLEP	TLV / OEL	valeurs limites d'exposition professionnelle
VLEP8h	TLV-TWA	valeur limite d'exposition professionnelle long terme
VLEPct	TLV-STEL	valeur limite d'exposition professionnelle court terme
X	X	rayon X
α	A	Alpha
β	B	Beta
γ	Γ	gamma
	γ GT	gammaglutamyl transférase
	CET	Température effective corrigée / Corrected Effective Temperature
	cOc	chaîne de traçabilité
	control banding	gestion graduée des risques
	HAART	highly active antiretroviral treatment, HAART
	HEPA	filtres à haute efficacité /high efficiency particule arrester
	HPLC	chromatographie liquide à haute performance
	HSE	Health and Safety Executive UK
	HSI	Belding and Hatch Heat Stress Index
	HVAC	Heating, Ventilation and Air-Conditioning / chauffage, ventilation et climatisation
	ICP	spectroscopie à plasma d'arc à couplage inductif/Inductively Coupled Plasma Arc Spectroscopy
	IOHA	International Occupational Hygiene Association
	LEV	ventilation locale par aspiration
	MDHS	Methods for the Determination of Hazardous Substances (UK)
	MTBE	méthyl t-butyl éther
	NIHL	perte d'audition due au bruit / Noise Induced Hearing Loss
	P4SR	Indice de débit sudoral prévu sur quatre heures/ Predicted Four Hour Sweat Rate
	prick test	test cutané
	RSI	repetitive strain injuries
	TTS	Temporary Threshold Shift
	WBGT	Température au thermomètre-globe mouillé /Wet Bulb Globe Temperature
	WRULD	Work Related Upper Limb Disorder
	WWF	doigt blanc lié aux vibrations / Vibration-induced white finger
	XRD	diffraction des rayons X

REFERENCES

- ACGIH 2001, *Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices*, 7th edn, American Conference of Governmental Industrial Hygienists Inc.
- ACGIH 2015, '2015 TLVs and BEIs Based on the Documentation of the Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices', Cincinnati, USA
- AIOH 2013, *Principles of occupational health and hygiene: an introduction*, Allen & Unwin.
- Brake, DJ & Bates, GP 2002, 'Limiting metabolic rate (thermal work limit) as an index of thermal stress', *Applied occupational and environmental hygiene*, vol. 17, no. 3, pp. 176-86.
- DiCorleto, R, Firth, I & Mate, J 2013, 'A guide to Managing Heat Stres: Developed for Use in the Australian Environment', *AIOH Australian Institute of Occupational Hygienists*.
- Doi, K, Ohno, T, Kurahasi, M & Kuroshima, A 1979, 'Thermoregulatory nonshivering thermogenesis in men, with special reference to lipid metabolism', *The Japanese Journal of Physiology*, vol. 29, no. 4, pp. 359-72.
- Forouzanfar, MH, Alexander, L, Anderson, HR, Bachman, VF, Biryukov, S, Brauer, M, Burnett, R, Casey, D, Coates, MM & Cohen, A 2015, 'Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990–2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013', *The lancet*, vol. 386, no. 10010, pp. 2287-323.
- Health and Safety Executive *COSHH Essentials*, accessed 3rd October 2015, <http://www.hse.gov.uk/coshh/essentials/index.htm>
- Health and Safety Executive *Surveys*, accessed 3rd October 2015, <http://www.hse.gov.uk/stress/standards/step2/surveys.htm>
- Hirst, A, Morgan, L & Semple, S 2011, *Clear and concise report writing: guidance for occupational hygienists*, British Occupational Hygiene Society, Pride Park, Derby, <<http://www.bohs.org/library/technical-publications/>>.
- International Labour Organization 2006, *International Chemical Control Toolkit*, accessed 3rd October 2015, http://www.ilo.org/legacy/english/protection/safework/ctrl_banding/toolkit/icct/index.htm 199
- ISO 1995, *ISO 7708 Air quality -- Particle size fraction definitions for health-related sampling*, International Organisation for Standardization, Switzerland.
- ISO 2004a, *ISO 7933 Ergonomics of the Thermal Environment - Analytical Determination and Interpretation of Heat Stress Using Calculation of the Predicted Heat Strain*, International Organisation for Standardisation, Geneva.
- ISO 2004b, *ISO 9886: Ergonomics - Evaluation of thermal strain by physiological*

measurements, International Organisation for Standardisation.

ISO2005, *Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*, International Organisation for Standardisation, Geneva.

OSHA 2015, *Nanotechnology*

https://www.osha.gov/dsg/nanotechnology/nanotech_healtheffects.html

Prüss-Üstün, A & Corvalán, C 2006, *Preventing disease through healthy environments*, World Health Organization Geneva, Switzerland.

Punnett, L, Prüss-Üstün, A, Nelson, DI, Fingerhut, MA, Leigh, J, Tak, S & Phillips, S 2005, 'Estimating the global burden of low back pain attributable to combined occupational exposures', *American journal of industrial medicine*, vol. 48, no. 6, pp. 459-69.

SafeWork Australia 2009, *Evaluation of Potential Safety (Physiochemical) Hazards Associated with the Use of Engineered Nanomaterials*, by Toxikos.

SafeWork Australia 2011, *Hazardous Manual Tasks Code of Practice*, SafeWork Australia 2011

Takala, J, Härmäläinen, P, Saarela, KL, Yun, LY, Manickam, K, Jin, TW, Heng, P, Tjong, C, Kheng, LG & Lim, S 2014, 'Global estimates of the burden of injury and illness at work in 2012', *Journal of occupational and environmental hygiene*, vol. 11, no. 5, pp. 326-37.