



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Polycopié du cours

LES NUISANCES

**3^{ème} Année LMD
Licence Académique**

Dr. BOUHADIBA Brahim

ANNEE UNIVERSITAIRE 2016-2017

Avant-propos

Ce cours photocopie destiné comme support pédagogique sur la sécurité industrielle préventive est le résultat d'une expérience d'enseignement durant plusieurs années à l'Institut de Maintenance Sécurité Industrielle, Université Ahmed Ben Mohamed Oran 2.

Il profite également de l'expérience acquise à travers l'encadrement dans le même institut.

Ce cours photocopie traite en effet, la partie nuisance qui comporte quatre chapitres dont l'étude de toutes sortes d'ambiances (Acoustiques, Lumineuses, Thermiques et Chimiques " pollutions ") suivant le programme pédagogique UEF 10.

Ce cours photocopie comporte Seulement la partie Nuisance sur les deux grandes parties conformément au programme défini par arrêté ministériel du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Il est destiné aussi bien aux enseignants qu'aux étudiants en Sécurité Industrielle & Environnement.

Je serais très reconnaissant aux lecteurs me signalant les éventuelles erreurs ou incompréhensions.

Pour l'évaluation continue des étudiants, j'ai proposé des exposés dont le plan figure en fin de ce cours photocopie, ainsi qu'une étude en vue de l'installation d'un réseau de mesure de pollution atmosphérique & méthodologique " Etude d'un cas ".

Dr. Brahim BOUHADIBA

Table des matières

Préambule

CHAPITRE I

AMBIANCES ACOUSTIQUES

I.	Introduction sur l'acoustique	1
I.1.	Notions fondamentales d'acoustiques	1
I.1.1	Nature des sons	1
I.1.2	Caractéristiques d'ondes	2
I.1.3	Les champs sonores	2
I.1.4	Puissances et intensité acoustique	3
I.2	Mesure du bruit	4
I.2.1	Définition du décibel	4
I.2.2	Échelle des bruits	5
I.2.3	Addition et soustraction des bruits	6
I.3	L'audition	9
I.3.1	Le système auditif	9
I.3.2	Les effets du bruit	10
I.4	La carte de bruit	12
I.4.1	Méthodologie	12
I.5	Contrôle du bruit en milieu industriel	12
I.5.1	Pourquoi établir les normes	12
I.5.2	Normes valeurs limites	12
I.5.3	Critères des normes valeurs limites	13
I.6	Notion de gêne	14
I.6.1	Norme ISO	15
I.7	Description du sonomètre (dBA)	15
I.8	Le niveau de bruit équivalent continu Leq	16
I.8.1	Tableau des limites d'exposition aux bruits	16
I.8.2	Explication de la méthode de détermination du niveau sonore équivalent (Leq)	17
I.9	Bruits d'impacts et vibrations	18
I.9.1	Excitation par les socles des objets	18
I.9.2	Influence des vibrations sur le corps humain	19
I.9.3	Les conséquences en fonction de la fréquence	19
	Conclusion	20

CHAPITRE II
AMBIANCES LUMINEUSES

Introduction	21
II. l'œil instrument d'optique	21
II.1. Description	22
II.2. Fonctionnement	22
II.3. Acuité visuelle	22
II.4. Anomalies	22
II.5. Accident les plus fréquents de l'œil	23
II.5.1 La présence accidentelle de corps étrangers	23
II.5.2 Les Rayonnements	23
II.6 Certaines intoxications internes détériorent la vision.	24
II.6.1 Le saturnisme	24
II.6.2 L'alcool méthylique	24
II.7 Éclairage extrême	24
II.7.1 Spectre lumineux	24
II.8 Définition d'éclairagisme	25
II.8.1 Champ visuel	25
II.8.2 Contraste	25
II.8.3 Éblouissement	26
II.8.4 Éblouissement par défilement des sources, ou éblouissement direct	26
II.8.5 Éblouissement par réflexion, ou éblouissement indirect	27
II.9 Principales unités utilisées en éclairagisme	27
II.9.1 Les différents éclairages	27
II.9.2 Éclairage naturel	28
II.9.3 Éclairage artificiel – Éclairage mixte	29
II.10 Facteurs de réduction de l'éclairement artificiel d'un local	30
II.10.1 Le facteur d'utilisation	30
II.10.2 Le facteur de dépréciation	30
II.11 Sources lumineuses	30
II.11.1 Distance entre luminaires	31
II.11.2 Systèmes d'éclairage	31
II.11.3 L'introduction des couleurs	32
II.12 Eclairage de sécurité	34
II.12.1 Conception générale	34
II.12.2 Fonction de l'éclairage de la sécurité	34
Conclusion	34

CHAPITRE III
AMBIANCES THERMIQUES

Introduction	35
III Notion du confort thermique	35
III.1 Notions de base sur les ambiances thermiques	35
III.1.1 Thermogenèse : Production de chaleur	35
III.1.2 Thermolyse : Perte de chaleur	35
III.2 Lutte physiologique contre les ambiances chaudes et froides	38
III.2.1 La vasodilatation	38
III.2.2 La sudation	38
III.2.3 L'acclimatation	38
III.2.4 Le frissonnement	39
III.2.5 Le vasoconstriction	39
III.2.6 Augmentation du métabolisme de base	39
III.3 Pathologies liées aux ambiances chaudes et froides	39
III.3.1 Ambiance chaude	39
III.3.2 Ambiance froide	39
III.4 Méthodes d'analyses des ambiances chaudes	39
III.4.1 Confort thermique et neutralité thermique	39
III.4.2 Évaluation de la contrainte thermique	40
III.4.3 Principe et définition du WBGT	40
III.5 Détermination analytique de la contrainte thermique par l'indice de la sudation requise.	42
III.5.1 Principe et définition de l'indice de sudation requise	42
III.5.2 Réduction de la contrainte sur le métabolisme (opérateur)	42
III.5.3 Eliminer les risques	43
III.6 Réduire la contrainte thermique dans les ateliers	43
III.6.1 L'activité de l'opérateur	43
III.6.2 Les échanges par rayonnement	43
III.6.3 Les échanges par convections	43
III.6.4 Les échanges par évaporation	44
III.7 Conception technique des locaux	44
III.7.1 Quelques repères à prendre en compte	44
Conclusion	45

CHAPITRE IV

AMBIANCES CHIMIQUES (POLLUTION)

Introduction	46
IV Généralités sur l'environnement	46
IV.1 Définition	46
IV.2 Les différents niveaux d'intégration	46
IV.2.1 La cellule	46
IV.2.2 L'individu	46
IV.2.3 La population	47
IV.2.4 La communauté ou la biocénose	47
IV.2.5 L'écosystème	47
IV.3 La circulation des différents éléments dans les écosystèmes.	47
IV.3.1 La pollution : définitions	47
IV.4 Une pollution chronique	48
IV.4.1 Les mesures de la pollution	48
IV.4.2 La mesure du débit	49
IV.5 La mesure de la concentration	49
IV.5.1 La concentration de fond	49
IV.5.2 La concentration de pointe	49
IV.6 La lutte contre la pollution	50
IV.6.1 Des moyens technologiques	50
IV.6.2 Les retombées économiques	50
IV.7 Les produits dans l'environnement	50
IV.7.1 L'évaluation de l'impact des produits sur l'environnement.	51
IV.7.2 Méthodes d'évaluation des dangers et impacts sur l'environnement	51
IV.8 L'éco chimie : le devenir des produits	52
IV.8.1 L'étude du devenir des produits	52
IV.9 Les phénomènes de transferts et de dégradations	53
IV.9.1 L'étude des phénomènes de transferts	53
IV.9.2 L'étude des phénomènes de dégradations	53
IV.10 L'étude d'écotoxicité	54
IV.11 Les polluants atmosphériques	54
IV.11.1 L'atmosphère terrestre	54
IV.11.2 Les Polluants atmosphériques	55
IV.11.3 Les sources de pollution atmosphérique	56
IV.11.4 Les poussières et fumées noires	57
IV.12 Les polluants atmosphériques gazeux	57
IV.12.1 Le dioxydes de soufre SO ₂	57
IV.12.2 Les oxydes d'azote (NO _x).	57
IV.12.3 Le monoxyde de carbone (CO)	58

IV.12.4 Les dioxydes de carbone (CO ₂)	58
IV.12.5 L'ozone (O ₃)	58
IV.12.6 Les composés organiques volatils (COV)	58
IV.13 L'origine des composés organiques volatils	58
IV.13.1 Les effets des composés organiques volatils	59
IV.13.2 La mesure des composés organiques volatils	59
IV.14 Les autres polluants atmosphériques	59
IV.15 Les phases de transfert et de transformation des polluants chimiques dans l'atmosphère.	61
Références Bibliographies	62

Index des figures.

Figure I.1 :	Courbe de pondération.....	6
Figure I.2 :	Echelle de bruit en décibel.....	6
Figure I.3 :	Abaque 1 Addition de niveaux de pression acoustique via la méthode graphique.....	8
Figure I.4 :	Soustraction de niveaux de pression acoustique via la méthode graphique.....	9
Figure I.5 :	Fréquences d’audibilités humaine.....	9
Figure I.6 :	Audiogrammes de référence chez l’homme.....	11
Figure I.7 :	Courbes audiométriques montrant l’évolution de la surdité professionnelle.....	12
Figure I.8 :	Normes de la conférence des hygiénistes industriels Gouvernementaux américains (1982) – TLVs (Selon “ The Ashley Act ”).....	14
Figure I.9 :	Sonomètre.....	16
Figure II.1 :	Coupe horizontale de l’œil.....	21
Figure II.2 :	Anomalies de réfraction oculaire et correction.....	23
Figure II.3 :	Champ périphérique de l’œil.....	25
Figure II.4 :	Angle de défilement.....	26
Figure II.5 :	L’éblouissement dû à l’éclairage artificiel.....	26
Figure II.6 :	Eclairage en façade.....	28
Figure III.1 :	Déperdition thermique d’un local.....	44
Figure IV.1 :	Mesure de débit.....	49
Figure IV.2 :	Classement des produits rapporté au pourcentage de biodégradabilité.....	54
Figure IV.3 :	Structure schématique d’une particule d’aérosol atmosphérique âgée.....	55

Index Tableaux

Tableau I.1 :	Distance d'intelligibilité de la parole	15
Tableau I.2 :	les limites d'expositions.....	17
Tableau I.3 :	Histogramme de fréquences d'apparition d'un NPS.....	18
Tableau II.1 :	Valeurs de repères	32
Tableau II.2 :	Valeurs types des coordonnées	33
Tableau IV.1 :	Principe avantage et inconvénients des méthodes dites de « score » et du « facteur de risque »	51
Tableau IV.2 :	Pourcentage des constituants de l'atmosphère	55
Tableau IV.3 :	Les différentes sources de pollution atmosphériques	55

Sigles & Abréviations

AFNOR	Association Française de Normalisation
TTS	Temporary Threshold Shift
O ₃	Ozone
COV	Composés organiques Volatils
Pb	Plomb
HCl	Acide Chlorhydrique
PVC	Polyvinyle de chlorure
F	Fluor
H ₂ S	Hydrogène sulfuré
CH ₄	Méthane
CO ₂	Dioxyde de carbone
CO	Monoxyde de carbone
NO _x / NO ₂	Oxyde d'azote / dioxyde d'azote
SO ₂	Dioxyde de soufre
VC	Valeur ciblée
VL	Valeur limite
DL	Concentration létale
DC	Dose létale

INTRODUCTION

Le développement durable est un concept très récent par rapport à l'ancienneté des préoccupations liées aux pollutions de l'air, en Algérie, ont suscité non seulement une prise de conscience mais également tout un cortège de dispositifs législatifs.

L'histoire de la maîtrise des pollutions atmosphériques repose essentiellement sur la prise en compte de l'impact des polluants sur la santé humaine. Les critères sanitaires sont, plus ou moins bien intégrés à travers les normes qui ont permis de jeter les bases d'une politique en la matière.

Cependant, les pathologies identifiées comme étant liées à la pollution atmosphérique ne mentionnent pas les nuisances qui, d'une part, relèvent de la subjectivité du plaignant et d'autre part, correspondent à des phénomènes qui surviennent dans la proximité immédiate des sources. Or, les grandes études épidémiologiques s'appuient sur le bruit de fond de la pollution urbaine, c'est à dire sur le niveau commun que tout le monde respire.

La pollution industrielle diminue, les nuisances urbaines restent nombreuses et peu prise en compte par les études épidémiologiques.

La santé demeure un levier majeur pour établir une politique préventive dans le cadre de l'émergence progressive de la notion de santé environnementale telle qu'elle a été initiée, notamment, par la LAURE (Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie de décembre 1996) souvent qualifiée de « loi de santé publique ».

Les problèmes de nuisances et de pollution de l'environnement requièrent toute notre attention. Si on ne limite pas la pollution, elle menacera la qualité de vie des êtres humains, des animaux et des plantes.

Les nuisances acoustiques sont au commencement bruit et, comme tel, ce sont les nuisances les plus répandues au monde et au quotidien. Le bruit est perçu comme un mélange complexe de sons produisant une sensation auditive considérée comme gênante ou dangereuse. Il peut se caractériser par sa fréquence (grave ou aigue), son niveau sonore (aussi appelé intensité), et sa durée (courte ou longue).

Si l'environnement est perturbé, nos sens sont également souvent mis à rude épreuve. On parle alors de nuisances environnementales. Celles-ci sont en général locales et industrielle.

Les causes les plus connues de nuisance sont le bruit, les odeurs, la poussière épaisse, la suie ou la fumée, l'excès de lumière artificielle, les vibrations, et les produits chimiques.

Le fait qu'une perturbation de l'environnement puisse provoquer des nuisances dépend de plusieurs facteurs.

De graves nuisances peuvent entraîner des désagréments physiques, des troubles du sommeil, des problèmes de santé ou la dégradation de biens matériels.

Il serait faux de rendre l'industrie entièrement responsable de la présence de polluants dans notre environnement. Les ménages, par exemple, jettent environ 3 fois plus de métaux lourds dans l'eau que l'industrie.

CHAPITRE I

AMBIANCES ACOUSTIQUES

I. INTRODUCTION SUR L'ACOUSTIQUE

Le bruit et les vibrations constituent des nuisances importantes en milieu du travail et particulièrement dans certaines industries telles que la métallurgie, la pétrochimie, le transport aérien et les textiles etc. Ils peuvent être sources de perturbation des communications et des consignes verbales, de facteurs déclenchant des accidents de travail, de perturbation psycho-physiologique et surtout de lésions de l'oreille interne avec comme conséquence une surdité professionnelle par traumatisme sonore chronique.

En tant qu'organe, l'oreille mérite une toute particulière attention dans notre mission de protection, puisqu'elle est le siège de l'un des cinq sens.

Quoique l'effet nocif d'intensités élevées du son soit connu depuis des centaines d'années, ce n'est que ces dernières décennies que le risque de l'ouïe a été reconnu comme tel dans les milieux industriels. Les raisons en sont le développement industriel de nos régions d'une part et le souci plus accentué de maintenir un milieu viable d'autre part.

I.1. Notions fondamentales d'acoustiques

Pour mieux comprendre le phénomène de l'ambiance acoustique, il a été impératif de définir sur le physique certaines grandeurs qui composent cette nuisance afin de mieux mener cette analyse sur les installations en question.

1.1.1. Nature des sons

Selon AFNOR

Un son est une variation de pression de l'air ambiant détecté par l'oreille humaine. Un bruit c'est tout phénomène acoustique qui produit une sensation désagréable.

Les sons peuvent avoir des caractéristiques temporelles variées. On distingue :

- a) Les bruits continus : ils sont émis de façon continue sous de faibles variations d'intensité (quelque dB), Exemple : compresseurs, machines de filatures ;
- b) Les bruits intermittents : le niveau sonore a des variations importantes ayant pour base le niveau ambiant et se répétant à plusieurs reprises pendant un cycle de travail ;
- c) Les bruits d'impact : ce sont de brusques variations du niveau de bruit qui comprennent de très brefs maxima (pics) de quelques fractions de secondes suivis d'une atténuation rapide et qui se répètent avec un intervalle supérieur à une seconde selon « The American Conférence of Gouvernement Industrial Hygienists »

I.1.2. Caractéristiques d'ondes

Un son est un phénomène vibratoire mécanique qui se propage d'une source au milieu élastique dans lequel elle est plongée (ici l'Air)

Les molécules d'air au contact de la source entrent en vibration de sorte qu'il naît une onde sonore qui transmet de proche en proche.

Elle est caractérisée :

- par son amplitude
- par sa fréquence
- par sa phase

L'oreille est définie comme étant un capteur qui permet de détecter une variation de pression.

$$\begin{aligned} \text{Ou} \quad P(t) &= P_B + \Delta P(t). & (I.1) \\ P_B &= \text{Pression barométrique} \\ \Delta P(t) &= \text{variation de pression captée par l'oreille} \end{aligned}$$

La propagation de l'onde dans un solide donne des vibrations.

La propagation de l'onde dans un fluide donne une onde sonore.

La vitesse de l'onde sonore est égale : célérité. Elle est fonction de la nature des matériaux

A titre d'exemple :

La célérité dans l'air est fonction de la température et non pas de la pression ;

Soit :

- à 0°C la vitesse est de 331 m S⁻¹
- à 20°C la vitesse est de 343 m S⁻¹

Autres :

Dans l'eau	==>	1440 m S ⁻¹
Dans le béton	==>	(2800- 3200) m S ⁻¹
Dans la pierre	==>	3500 m S ⁻¹
Dans le cuivre	==>	4620 m S ⁻¹
Dans le Fer	==>	5000 m S ⁻¹
Dans le verre	==>	5400 m S ⁻¹
Dans l'acier	==>	6110 m S ⁻¹
Dans l'aluminium	==>	6220 m S ⁻¹

Pour les matériaux la vitesse est fonction de leur poids spécifiques.

I.1.3. Les champs sonores

Il existe trois types de champs (libre, diffus, et réel)

- ✓ Champ libre : Champ sans obstacle, la propagation des ondes se fait dans toutes les directions
(Le champ libre n'existe pas en réalité)

- ✓ Champ diffus : Par opposition au champ libre les obstacles existent les ondes sont réfléchies
- ✓ Champ réel : C'est ce qui existe réellement comme champ (c'est à dire ni libre ni diffus)
Intermédiaire

1.1.4. Puissances et intensité acoustique

Pour qu'une source puisse faire du bruit il lui faut une certaine énergie dans le temps c'est à dire une puissance acoustique exprimée en Watts
Autrement dit la puissance est une énergie nécessaire pour qu'une source puissent propager et rayonner

- *Seuil d'audibilité ==> P= 10⁻¹² Wtt (chute d'une feuille)
- *Conversation moyenne ==> P= 10⁻¹⁴ Wtt
- *Seuil de douleur ==> P= 10-100 KWtt (moteur d' avion)

L'oreille a une sensation différentielle. La variation de sensation est indépendante de la grandeur des intensités mais ne dépend que de la variation de cette intensité.
On définit par intensité acoustique. C'est la puissance acoustique ramenée à l'unité de surface prise généralement comme surface d'une sphère
 $S=4\pi R^2$

$$\text{Donc } I_{\text{acoustique}} = \frac{P_{\text{acoustique}}}{S} = \frac{P_{\text{acoustique}}}{4\pi R^2} \quad (I.2)$$

Relation entre le décibel (dB), I (intensité), et P (pression acoustique)

$$\text{Soit } \text{dB} = 10 \log \frac{P_{\text{acoustique}}}{P_0} \quad \begin{array}{l} \longrightarrow \text{ Puissance acoustique à la source} \\ \longrightarrow \text{ Seuil d'audibilité } 10^{-12} \text{ Wtt} \end{array} \quad (I.3)$$

$$\begin{array}{l} \text{Soit} \\ I_{ac} = \frac{P_{\text{acoustique}}}{S} = \frac{P_{\text{acoustique}}}{4\pi R^2} \\ I_0 = \frac{P_0}{S} = \frac{P_{\text{acoustique}}}{4\pi R^2} \end{array} \quad \left. \vphantom{\begin{array}{l} I_{ac} \\ I_0 \end{array}} \right\} \Rightarrow \frac{I_{ac}}{I_0} = \frac{P_{ac}}{4\pi R^2} \times \frac{4\pi R^2}{P_0} = \frac{P_{ac}}{P_0} \quad (I.4)$$

Nous obtenons

$$\text{Soit } \text{dB} = 10 \log \frac{I_{ac}}{I_0} \quad \begin{array}{l} \longrightarrow \text{ Intensité acoustique} \\ \longrightarrow \text{ Intensité acoustique correspondant Seuil} \\ \text{d'audibilité} \end{array} \quad (I.5)$$

Exemple : Calcul de dB (P₀ = 10⁻¹² Wtt)

$$\text{dB} = 10 \log \frac{10^{-12}}{10^{-12}} = 10 \log 10^0 = 0 \text{ dB}$$

Calcul de P avec (30 dB) $\implies \text{dB} = 10 \log \frac{X}{10^{-12}} = 30$

$$\text{Log} \frac{10}{10^{-12}} = 3 = \log \frac{10^{-9}}{10^{-12}} = 3$$

$$\implies X = 10^{-9} \text{ Wtt}$$

Autrement

Soit S_1 et S_2 , les sensations correspondantes aux excitations physique qui sont des intensités sonores I_1 & I_2

La loi s'écrit :

$$S_2 - S_1 = K \cdot \frac{I_2 - I_1}{I_1} \quad \text{ou en différentielle} \quad ds = \frac{K dt}{I} \quad (\text{I.6})$$

$$\text{Par intégration} \quad \int Ds = K \int \frac{DI}{I} \quad S \int_1^2 = K \log I \int_1^2 \quad (\text{I.7})$$

$$S_2 - S_1 = K \log \frac{I_2}{I_1} \quad (\text{I.8})$$

Le coefficient K est la base logarithmique restant arbitraire $K=1$ (beta) $K=10$ (décibels) GRAHAM BEL

$$\text{dB} = 10 \log \frac{P}{P_0} \quad \text{avec } P = 10^{-12} \text{ Wtt}$$

Le décibel est l'unité qui relie la puissance acoustique et l'intensité acoustique

$$\text{dB} = 10 \log \frac{P}{P_0} = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

I.2. Mesure du bruit

La mesure du bruit n'étant pas simple car cette grandeur, bruit est caractérisée par une intensité acoustique ou une pression acoustique que produit une source sonore en un point donné.

Elle est caractérisée aussi par la sensation qu'elle provoque chez l'individu.

De cela il a été décidé de mesurer le bruit en décibel (dB) dixième partie de bel, unité portant le nom de son inventeur AMERICAIN du téléphone GRAHAM BEL

I.2.1. Définition du décibel

Le décibel est la plus petite variation de niveau acoustique décelable par l'oreille. C'est aussi l'unité de l'acoustique servant à définir le niveau d'intensité acoustique ou le niveau de pression acoustique.

Il se définit par :

$$L = 10 \log \frac{I_s}{I_0} \text{ en décibel (dB)} \quad (\text{I.9})$$

- L = niveau sonore exprimé en décibel
- I_s = intensité acoustique produite par la source exprimée en Watt/m^2
- I_0 = intensité de référence égale à 10^{-12} Wtt/m^2

Or le décibel ainsi défini reste comme même difficile à mesurer par intermédiaire d'un appareil de mesure des intensités acoustiques quand une source sonore dissipe une énergie en un point, elle se propage dans le milieu sous forme de pression. L'énergie transportée par l'onde est proportionnelle au carré de la pression.

$$L(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_s^2}{P_0^2} \quad (\text{I.10})$$

- L = niveau de pression acoustique exprimé en décibel
- P_s = étant la valeur efficace de la pression exercée par l'onde sonore
- P_0 = Est une pression de référence dont la valeur = a $2 \cdot 10^{-5}$ Pascal (Pa)

Pour représenter par un chiffre la sensation éprouvée par l'oreille au même endroit que le microphone de l'appareil de mesure, il faut tenir compte des propriétés de l'oreille car celle-ci n'a pas la même sensibilité pour toutes les fréquences qui constituent le bruit.

Les filtres de pondération servent à pondérer les mesures du sonomètre en fonction des réactions de l'oreille humaine aux différentes fréquences.

Trois caractéristiques internationales ont été reconnues se sont les pondérations A, B, & C. Figure I.1

La pondération A donne une approximation de la courbe d'égale perception aux faibles niveaux acoustiques.

La pondération B aux niveaux moyens et la pondération C aux niveaux élevés.

Mais il semble que ce soit la pondération A qui répond le mieux aux critères selon les tests subjectifs de sortie que c'est la plus employée.

Le niveau A exprimé en dB(A) est celui qui a été choisi pour toutes les mesures de niveau sonores

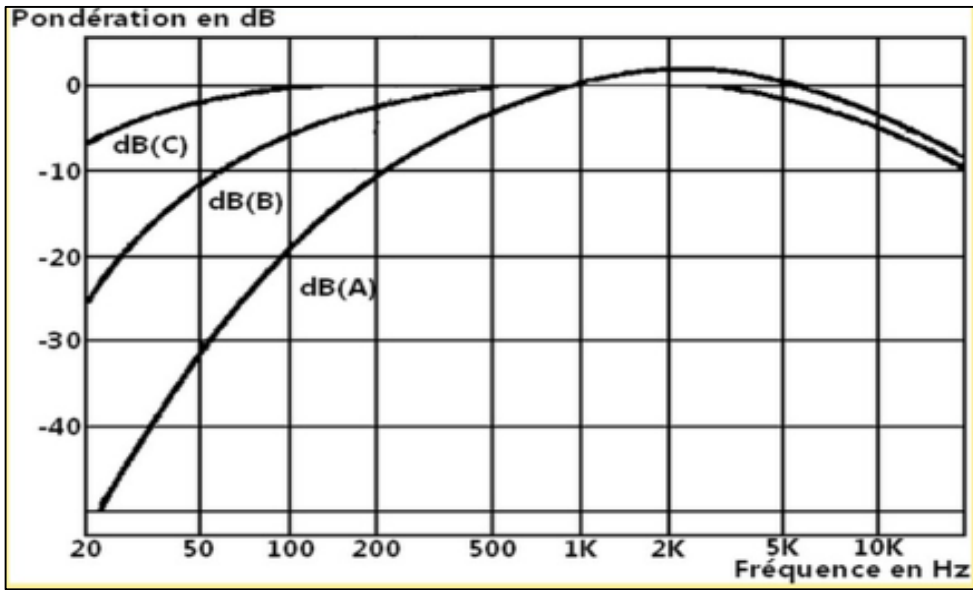


Figure I.1 courbe de pondération
 Source : <http://www.bruit.fr/>

1.2.2. Échelle des bruits

Il convient de noter que sans atteindre le seuil de sensation douloureuse les bruits peuvent engendrer des nuisances ainsi entre 1000 & 10000 Hz le seuil de sensation douloureuse est situé au voisinage de 100 à 120 dB. Mais l'exposition fréquent et prolongée à un bruit de 85 dB engendre des troubles de l'ouïe. Nous pouvons tracer une échelle des bruits en y distinguant les différentes zones : figure I.2

- Audibilité normale 1 à 8 dB
- Zone dangereuse 80 à 100 dB
- Zone douloureuse > à 120 dB

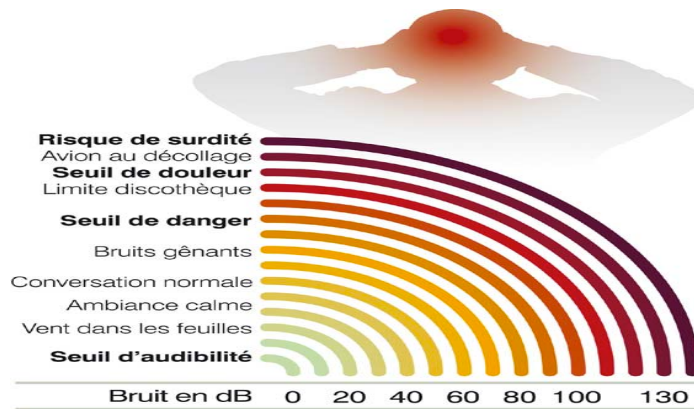


Figure I.2 échelle de bruit en décibel
 Source : <http://www.bruit.fr/>

Exemples de niveaux de bruit en dB(A)

1.2.3. Addition et soustraction des bruits

Pression acoustique	Niveau de pression sonore en dB(A)	Sensation sonore	EXEMPLES
$2 \cdot 10^{-5}$	0 dB (A)	Seuil d'audibilité	Bruit le plus faible que l'oreille humaine peut percevoir
$5,3 \cdot 10^{-5}$	10 dB (A)	Très calme	Vent dans les arbres
$6,3 \cdot 10^{-4}$	20/25 dB (A)	Calme	Conversation à voix basse, chambre calme
$2 \cdot 10^{-3}$	30/40 dB (A)	Calme	Bruit de fond (bureau tranquille, appartement calme)
$2 \cdot 10^{-2}$	50/60 dB (A)	Gênant travail intellectuel	Grands magasins
$6,3 \cdot 10^{-1}$	80/90 dB (A)	Seuil lésionnel	Rue bruyante, intérieur de métro ==> seuil de danger acoustique
6,3	100 /115 dB (A)	Inaudible	Batterie, concert et discothèque
20	120 dB (A)	Assourdissant	Marteau piqueur ==> seuil de la douleur
63	130 dB (A)	Seuil de douleur	Avion au décollage

a) Addition de n bruits : (via la méthode graphique)

Le bruit ne se somme pas

Ne jamais faire de mesure dans un champ unidirectionnel (du fait que la mesure sera faible).

L'onde va subir des réverbérations qui arrivent de différents endroits :

A titre d'exemple

Soit 3 sources

S1 = 90 dB
S2 = 87 dB
S3 = 81 dB

Utilisation de la table (méthode graphique) fig. I.3

1) $S1 - S2 = 90 - 87 = 3 \text{ dB}$ Sur abaque 3dB correspond à 1,75 dB
 Soit $S' = S1 + 1,75 \text{ dB}$
 $S' = (90 + 1,75)\text{dB} = 91,75\text{dB}$

2) $S' - S3 = (91,75 - 81)\text{dB} = 10,75\text{dB}$ sur l'abaque
 10,75 dB correspond à 0,4 dB
 Soit $S'' = S' + 0,4 \text{ dB}$
 $S'' = (91,75 + 0,4)\text{dB} = 92,25 \text{ dB}$

Le bruit total de ces 3 sources S1, S2 et S3 est égale à 92,25 dB

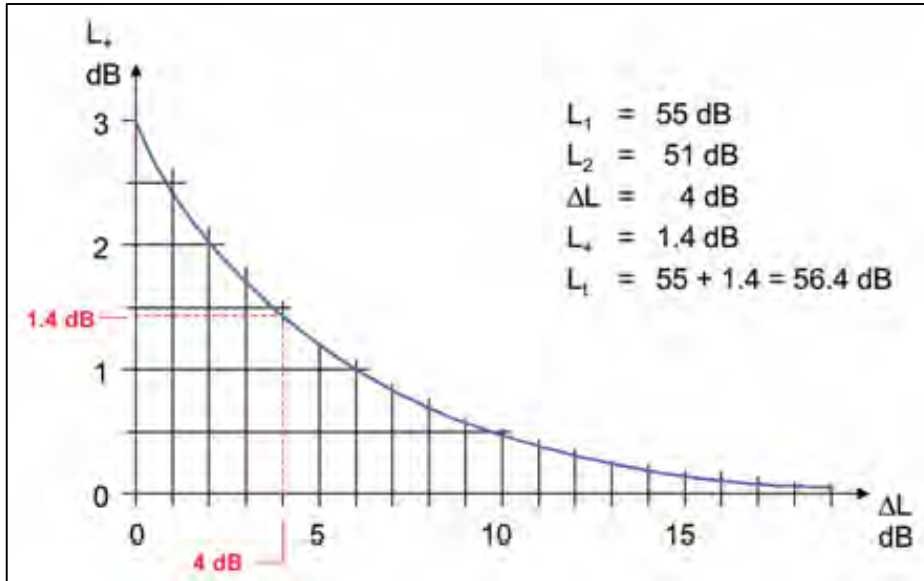


Figure I.3 : Abaque 1 Addition de niveaux de pression acoustique via la méthode graphique.

On obtient le résultat de l'addition en calculant la différence linéaire entre les deux niveaux à additionner, en déterminant ensuite la valeur de cette différence sur l'axe des ordonnées et en additionnant enfin cette valeur au plus élevé des deux niveaux. [1]

b) Soustraction des bruits : (via la méthode graphique)

Le problème est de déterminer le niveau acoustique d'une seule machine d'un atelier bruyant contenant plusieurs machines. Ceux-ci reviennent à définir le bruit de fond et le bruit de la machine : Fig. I.4

A titre d'exemple, Le bruit total d'un atelier est de $S_1 = 83 \text{ dB}$
 Le bruit de fond est de $S_2 = 74 \text{ dB}$ (à l'arrêt des machines)

Application de la méthode graphique ; correction du bruit de fond

$S_1 = 83 \text{ dB}$ (niveau total)
 $S_2 = 74 \text{ dB}$ (bruit de fond)

$S_1 - S_2 = 83 - 74 = 9 \text{ dB}$

Sur le graphique elle correspond : $9 \text{ dB} \implies 0,75 \text{ dB}$

Le bruit des machines sera égal :

$S' = 83 - 0,75 = 82,25 \text{ dB}$

NB. Le calcul de soustraction et d'addition des bruits n'est valable que dans le cas d'un atelier comportant plusieurs machines et qu'on peut démarrer une par une.

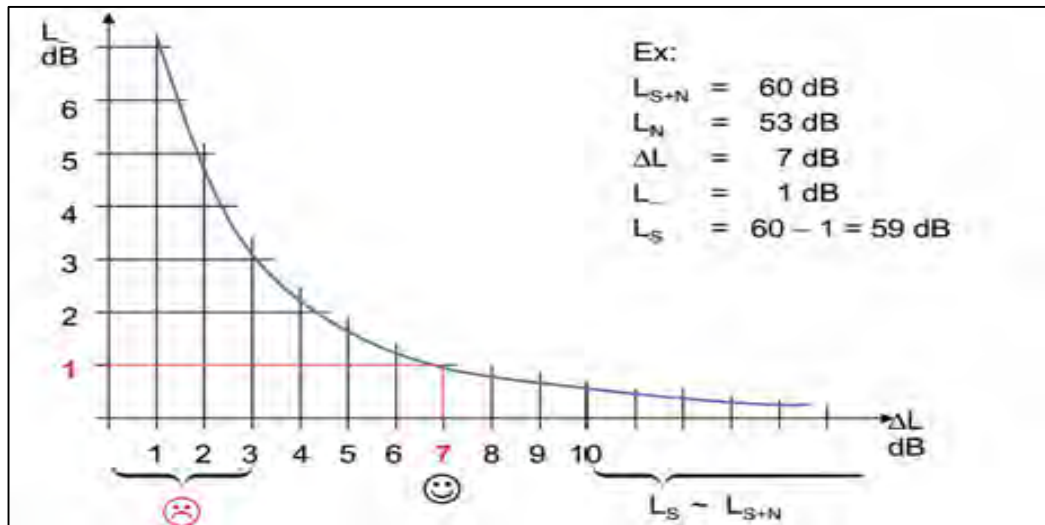


Figure I.4 : Soustraction de niveaux de pression acoustique via la méthode graphique.

Le résultat de la soustraction s'obtient en calculant la différence linéaire entre les deux niveaux de pression acoustique, en déterminant ensuite la valeur correspondant à cette différence sur l'axe des ordonnées et en soustrayant enfin cette valeur du plus élevé des deux niveaux de pression acoustique. [2]

I.3. L'audition

L'oreille n'entend pas les bruits de toutes les fréquences. En dessous de 20 Hz, le bruit n'est pas perçu par l'oreille quelque soit l'intensité, il s'agit alors d'infrasons.

De 20 à 20000 Hz il s'agit de fréquences acoustiques (zone d'audibilité). Au delà de 20000 Hz on entre dans le domaine des ultrasons auquel l'oreille est insensible.

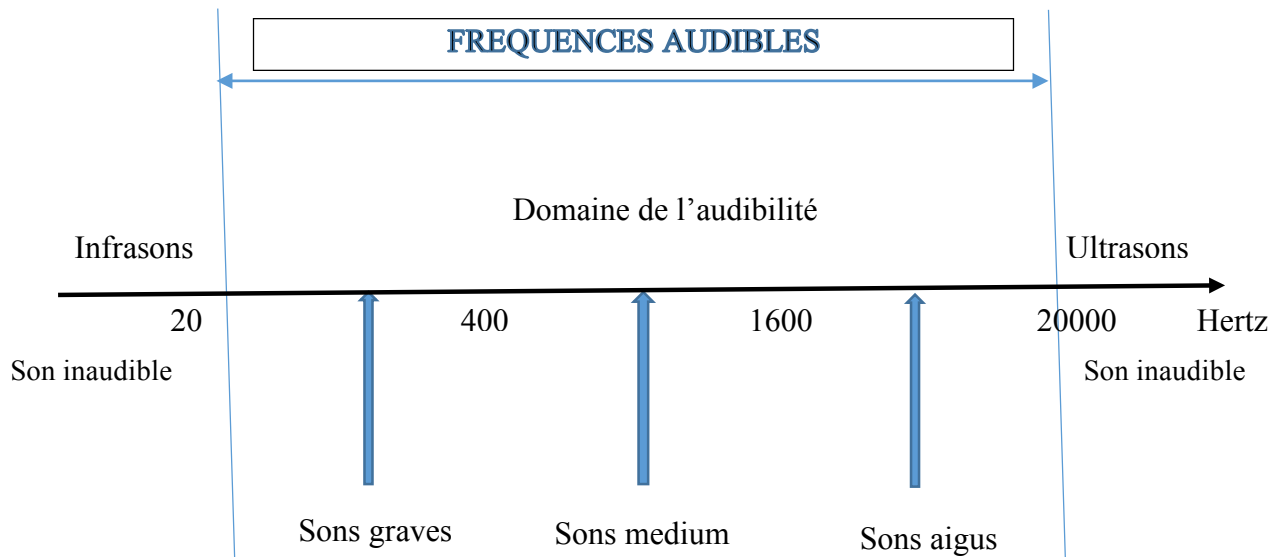


Figure I.5 : fréquences d'audibilités humaine

Source : <http://www.inrs.fr/risques/bruit/reglementation.html>

I.3.1. Le système auditif

Anatomie de l'oreille

Notre appareil auditif se compose de trois parties :

- a L'oreille externe qui conduit le son dans le canal auditif après le passage du pavillon.
- b L'oreille moyenne qui transforme les ondes sonores du tympan à la fenêtre ovale via la chaîne des osselets.
- c L'oreille interne qui transforme les ondes sonores (mécaniques) en influx nerveux. Ce processus s'effectue dans un petit organe connu sous le nom de cochlée.

a) L'oreille externe.

Elle se compose :

- Du pavillon constitué par un cartilage recouvert de peau et qui n'intervient guère dans la qualité de l'audition.
- Du conduit auditif externe qui est un canal rempli d'air de 1cm de diamètre et de 2,5cm de longueur
- Du tympan ; membrane circulaire dans le rôle physiologique est important. C'est celui de la membrane d'un microphone.

b) L'oreille moyenne.

Elle se compose :

- De la caisse du tympan, creusée dans un os très dur (le rochet), elle est remplie d'air et n'est en communication avec l'extérieure que par la trompe d'eustache, canal étroit et long.
- Les osselets : le marteau, l'enclume et l'étrier. Ces osselets constituent en quelque sorte, un transformateur d'impédance qui amortit les sons.

c) L'oreille interne.

Elle se divise en deux parties :

- La cochlée : qui comprend 3 anneaux distincts (rampe tympanique, cochléaire vestibulaire), enroulée en spirale.

Le liquide de la rampe vestibulaire reçoit les vibrations transmises par les osselets et engendre les déplacements de la fenêtre située à l'extrémité de la rampe tympanique.

Les vibrations liquidiennes d'origine sonore déforment la rampe cochléaire, ce qui entraîne des influx nerveux, entre une électrode placée au voisinage de la rampe cochléaire et une électrode indifférente, on peut recueillir au cours de l'audition d'un son, une différence de potentiel de l'ordre du millivolt.

- Le vestibule : partie réceptrice de l'appareil d'équilibration.

I.3.2. Les effets du bruit

Il y a des effets de deux types

a) Effets aigus

- Un bruit intense (exemple : arme à feu) va déterminer des lésions de l'oreille interne (Organe du corti)

- Au niveau de l'oreille, quand une onde de choc se produit suite à une explosion, la compression des molécules d'air est considérable et très bref ($< 10^{-5}$ seconde), le tympan va répondre à cette onde par un déplacement de grande amplitude qui peut provoquer sa rupture.

b) Effets chroniques

- Sur l'audition

La réduction de l'audition induite par le bruit peut être temporaire ou permanente. Les hypoacusies temporaires sont dues à des expositions de courtes durée avec un retour à la normale après une période de repos. Cette perte temporaire de l'audition est appelée (TEMPORARY THRESHOLD SHIFT. TTS)

Par exemple : Si une personne avec une ouïe normale travaille toute une journée dans un environnement bruyant, des mesures en fin de journée vont montrer une diminution de l'audition par rapport au début de la journée. Le lendemain matin, l'audition sera revenue à la normale, mais suite à des expositions de plusieurs années au bruit, on constate un dommage permanent aux cellules sensorielles de la cochlée couvrant une atteinte de la cochlée ou du nerf auditif est appelé neuro-sensorielle et provoque une perception altérée de l'intelligibilité aussi bien que de l'intensité (surdité de perception), même s'ils sont amplifiés, les sons semblent indistincts. La perte d'audition neuro-sensorielle est irréversible.

La perte d'audition induite par le bruit est du type surdité de perception, elle est caractérisée par une source de sensibilité aux hautes fréquences (plus de 2000 Hz) la perte apparaît d'abord est plus sévères pour les fréquences de 4000 Hz.

Si l'exposition aux bruits continu, la perte s'étend à d'autres fréquences (500 à 6000 Hz) et se traduit par un manque de compréhension de la parole. Les individus dont l'ouïe est altérée par le bruit sont frustrés de message d'information nécessaire dans la ville sociale.

Si ces individus se trouvent placés en plus dans le bruit de fond, ils peuvent encore moins bien distinguer les sons émis par leur interlocuteur (émission de radio, de TV, en bruit de fond)

- Sur d'autres systèmes

Diverses études ont impliqué le bruit comme un des facteurs étiologiques des maladies liées aux stress, notamment l'hypertension, les ulcères, les désordres neurologiques, les accidents cardio-vasculaires

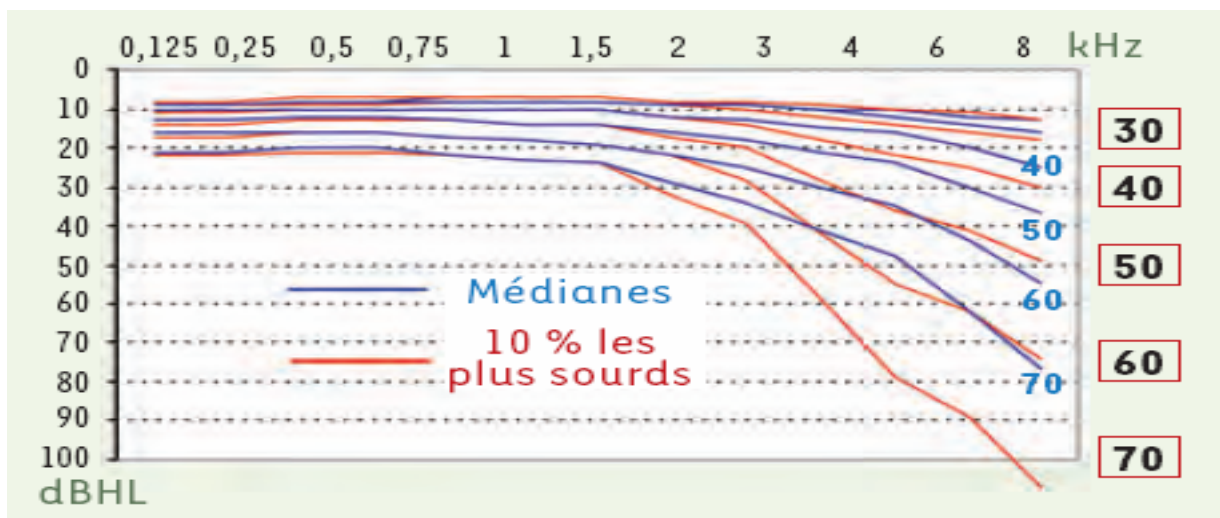


Figure I.6 : Audiogrammes de référence chez l'homme

Source : <http://www.uvmt.org/sections.php?artid=568>

Ces audiogrammes ont été tracés à partir des équations données dans la norme ISO 7029. Les courbes bleues correspondent aux tracés médians. Les courbes rouges correspondent aux audiogrammes des 10 % les plus sourds de la population de référence ontologiquement normale. Les audiogrammes de la population féminine (non tracés ici) montrent que les femmes résistent mieux à la presbycusie. Schématiquement, leurs courbes audiométriques correspondent à celles des hommes ayant dix ans de plus.

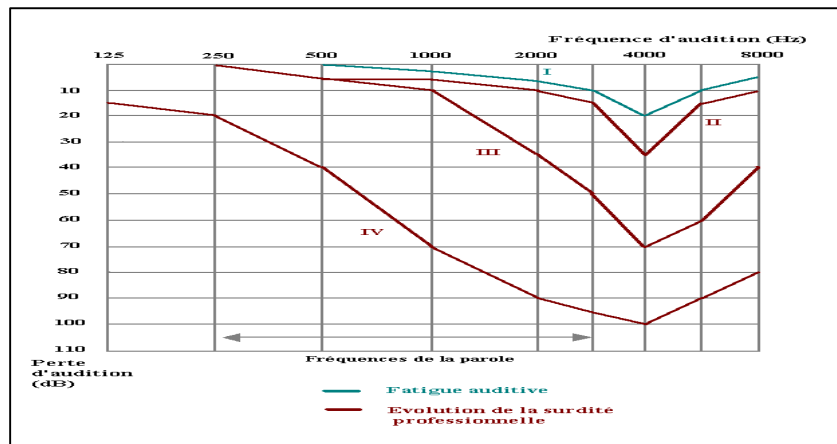


Figure I.7 : Courbes audiométriques montrant l'évolution de la surdité professionnelle

Source : <http://www.uvmt.org/sections.php?op=viewarticle&artid=568>

I.4. La carte de bruit

Dans le but de délimiter les zones bruyantes d'un milieu industriel. Les entreprises dont le niveau sonore dépasse les 85 dB(A) doivent produire obligatoirement une carte de bruit.

I.4.1. Méthodologie

- Réaliser un plan de l'entreprise ou d'un atelier
 - a) Cadrer le local en maille
 - b) Localiser les sources influentes
 - c) Noter les protections anti-bruit
- Enquêter sur :
 - a) Les appréciations subjectives
 - b) Le comportement des gens vis à vis de l'ambiance bruyante
- Recenser
 - a) L'évaluation du temps
 - b) Les durées d'exposition
 - c) Les indices sonores utiles
 - d) Le besoin en communication
- Mesurer : où ?
 - a) Au centre du quadrillage quand ?
Quand l'activité de l'atelier ou de l'entreprise est normale, habituelle (noter les sources d'activité)
 - b) En décibel A (dB(A))
 - c) A la hauteur de l'oreille.

I.5. Contrôle du bruit en milieu industriel

Afin de contrôler le bruit. Il faut considérer certains points de façon analytique et physique.

Ces points sont les suivants :

- Détection des sources de bruit
- Le mécanisme de production du bruit par ces sources
- Les voies de transmission sonore
- Le niveau sonore à l'emplacement d'un auditeur.

I.5.1. Pourquoi établir les normes

- Limiter la gêne au sens large (loi anti-pollution)
- Garantir l'intelligibilité de la parole (travail meilleur, plus agréable et plus sûr)
- Éviter les altérations de l'ouïe
- Limiter les effets psychomatique (irritation du système nerveux végétatif) tandis que parfois il est souhaitable de percevoir certains bruits.

I.5.2. Normes valeurs limites

La pratique nous apprend que les critères et les valeurs limites fixées aux niveaux sonores sont basées sur :

- La prévision et la limitation des lésions auditives (gêne physiologique)
- L'amélioration de l'intelligibilité de la parole (gêne fonctionnelle)
- La prévention ou la limitation de la gêne au sens large (gêne psychologique et/ou sociale de l'environnement professionnel et privé.

I.5.3. Critères des normes valeurs limites

A. Premier critère :

Limite acceptable du bruit industriel, recommandation de la commission technique d'étude de bruit du ministère de la santé publique. (Loi du ...)

Cette commission technique a retenue au cours de sa séance une courbe de niveau de bruit en fonction des fréquences donnant les valeurs qu'ils conviendraient de ne pas dépasser pour une exposition à un bruit complexe pendant une durée de huit heures. Ces valeurs étant considérées non lésionnelles pour une oreille normale.

La comparaison des résultats des travaux effectuées dans ce domaine, montre que les courbes proposées par les différents auteurs sont toutes comprises entre les limites. Celle-ci définissent trois zones figure 1.8

Zone 1 : Située au dessus de la courbe la plus basse (courbe a)

Zone 2 : Située au dessus de la courbe la plus élevée (courbe b) les niveaux sonores compris dans cette zone considérée comme dangereux

Zone 3 : Située entre les deux courbes (a et b). La courbe c retenue par la commission, qui se situe sensiblement dans l'axe de la zone 3 a été déterminée à partir de considérations d'ordres physiologique. Elle constitue en quelque sorte « la côte d'alarme » préconisée par la commission.

B. Deuxième critère :

Limites des bruits dangereux. Recommandation relative aux limites de bruits dangereux pour audition en lieu de travail. Adaptée par la commission technique d'étude du bruit au cours de ses séances. Pour une exposition permanente (40Hs/semaine) en un poste de travail à un niveau de bruit stationnaire et sans choc ni impulsions, le bruit étant mesuré en niveau pondéré avec un appareillage correspondant à la norme AFNOR relative aux sonomètres de précision réglé « réponse lente »

- Le niveau sonore de 85 dB(A) doit être pris comme côte d'alerte pour une surveillance du niveau de bruit.
- Le niveau sonore de 90 dB(A) doit être pris comme côte de danger : au delà de ce niveau, il apparaît un risque appréciable de surdité professionnelle, croissant avec le niveau et le nombre d'année de travail.

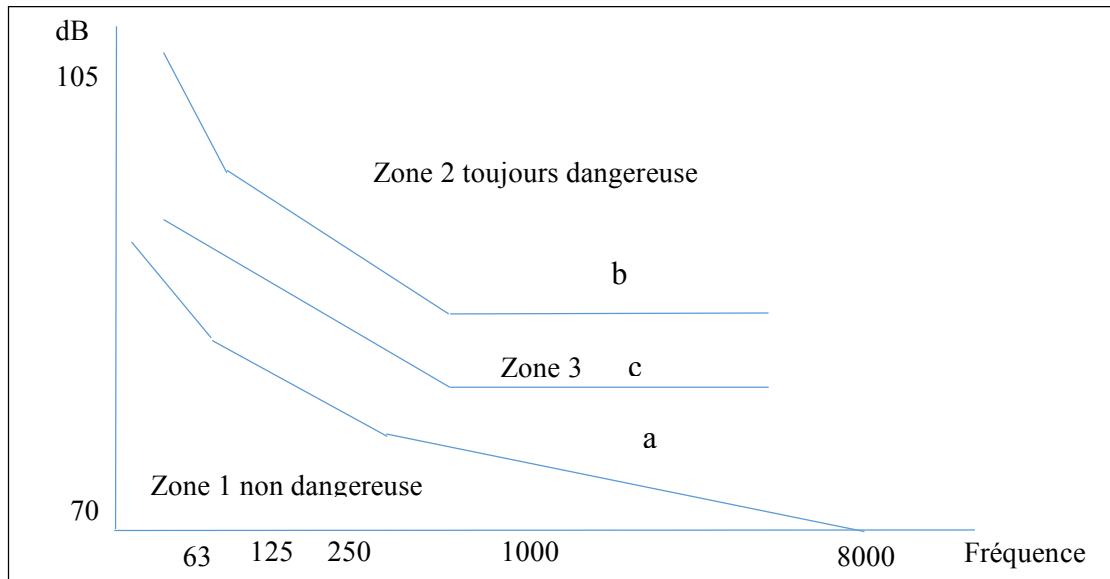


Figure I.8 : Normes de la conférence des hygiénistes industriels Gouvernementaux américains (1982) – TLVs (Selon « The Ashley Act »)

On doit dans ce cas là, d'une part effectuer un contrôle audiométrique périodique du personnel, d'autre part entreprendre toute action visant à diminuer le bruit ou la durée d'exposition, ou améliorer la protection des travailleurs.

Les limites d'exposition sont fixées dans l'esprit que presque tous les travailleurs peuvent travailler en dessous d'elles sans effet nocif sur leur capacité à entendre et à comprendre les fréquences conversationnelles

Les durées d'exposition ne devront pas excéder les valeurs suivantes :

Pression acoustique avec filtre d'atténuation A dB(A)		Durée de l'exposition journalière (en heure)
80	→	16
90	→	8
95	→	4
100	→	1
105	→	½
115	→	1/8

Aucune exposition à un bruit continu de plus de 115 dB(A) ne peut être permise

I.6. Notion de gêne

Communication de la parole

Le bruit est à l'origine de difficultés dans la transmission et la réception du message oral, réduction d'intelligibilité du langage et effet de masque. Cet effet du bruit résulte de la superposition au langage des bandes de fréquences continues dans le bruit surtout celles ci sont situées entre 1000 Hz et 3000 Hz, sont importantes ou l'intelligibilité du langage. [3]

I.6.1. Norme ISO

On établit la valeur de l'indice d'évaluation N en mesurant le niveau sonore aux fréquences 500, 1000 et 2000 Hz. L'indice N est la valeur la plus élevée de ces trois mesures. On se rapporte alors au tableau ci-dessous pour connaître la distance maximal d'intelligibilité de la parole soit pour la voix normale ou la voix élevée.

Tableau I.1 : Distance d'intelligibilité de la parole

Indice d'évaluation du bruit Nen dB(A)	Distance maximale d'intelligibilité de la parole à voix normale en (m)	Distance maximale d'intelligibilité de la parole à voix élevée en (m)
40	7	14
45	4	8
50	2,2	4,5
55	1,3	2,5
60	0,7	1,4
65	0,4	0,8
70	0,2	0,4
75	0,13	0,25
80	0,07	0,25
85	-	0,08

Sources : http://www.bruit.fr/docs/A1_decibel_bruit.pdf
<http://ile-de-france.sante.gouv.fr/santenv/bruit/product/1phys.pdf>

I.7. Description du sonomètre (dBA)

Le sonomètre donne le niveau sonore instantané en décibels pondérés. Un niveau sonore en dB n'est pas vraiment représentatif de la sensation auditive car l'oreille est peu sensible aux fréquences très basses ou très élevées. Le niveau sonore en dB doit donc être corrigé par le coefficient dépendant de la fréquence du son émis pour pénaliser les graves et les aigus. On obtient ainsi un niveau sonore exprimé en décibel pondérés, plus représentatif de la sensation auditive. Le plus utilisé est le décibel A noté dB(A), cette pondération est la seule retenue par les normes pour l'évaluation des différents risques.

Le sonomètre est conçu pour répondre aux sons approximativement de la même façon que l'oreille humaine.

Le sonomètre est composé :

- a. D'un microphone
- b. D'une unité de traitement du son
- c. D'une mesure

Le microphone étant un cadran convertissant le signal acoustique en un signal électrique qui est pondéré, mesuré et amplifié pour être ensuite affiché sur un cadran en décibel (A)

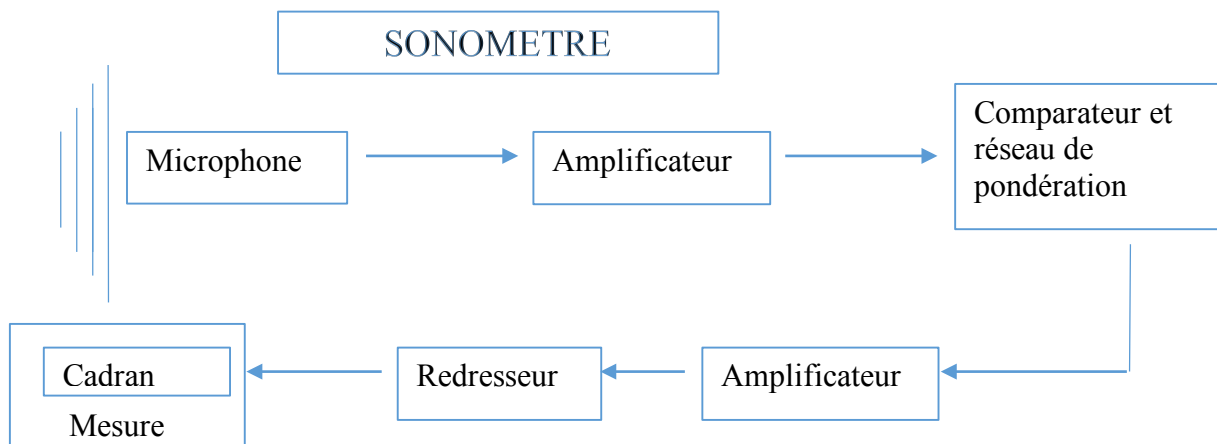


Figure I.9. : Sonomètre

I.8. Le niveau de bruit équivalent continu L_{eq}

L'exposition d'un niveau au bruit varie dans le temps, soit parce que la machine bruyante d'un fonctionnement intermittent ou émet un bruit qui varie avec la phase de travail, soit parce que le poste de travail est mobile. La valeur $L(L)$ du niveau sonore au poste de travail à un instant (t) peut donc ne pas être représentative de l'exposition véritable du travailleur. C'est ainsi que l'on a été amené à évaluer l'énergie sonore totale reçue.

Pendant un temps (T) donné qui peut être une journée de travail, une semaine ou autre durée représentative du type d'exposition au bruit. Ce niveau sonore est dit équivalent (L_{eq}).

Le (L_{eq}) constitue une mesure de la dose de bruit absorbée pendant un certain temps d'exposition. En général, le calcul est fait à partir de niveau sonore exprimé en dB(A), il en résulte alors un L_{eq} en dB(A) voir tableau suivant :

1.8.1. Tableau des limites d'exposition aux bruits

Les durées d'exposition ne devront pas excéder les valeurs du tableau I.2. Suivant :

Tableau I.2 : les limites d'expositions

Pression acoustique avec filtre d'atténuation A en dB(A)	Durée d'exposition
	Journalière en heure
80	10
85	8
90	4
95	2
100	1
105	1/2
110	1/4
115	1/8

Remarque : Aucune exposition à un bruit de plus de 115 dBA ne peut être permise

1.8.2. Explication de la méthode de détermination du niveau sonore équivalent (L_{eq}) :

Le niveau sonore continu équivalent à un niveau de bruit fluctuant est égal au niveau sonore d'un bruit permanent qui transporterait la même énergie pendant le même temps. On peut l'obtenir de deux façons :

- Soit par intégration en fonction du temps.
- Soit par analyse statistique des niveaux sonores.

Le niveau sonore continu équivalent par intégration en fonction du temps :

Considérons un bruit non permanent dont on mesure le niveau sonore en fonction du temps $L_t = f(t)$.

L'intensité instantanée correspondante est :

$$I(t) = I_0 \times 10^{L_t/10} \quad \text{d'ou} \quad L_t = 10 \log I(t) / I_0 \quad (\text{I.11})$$

Pendant le temps t , l'énergie totale émise est :

$$E = \int_0^t I(t) dt = I_0 \int_0^t 10^{L_t/10} dt \quad (\text{I.12})$$

L'intensité moyenne pondérée est définie par :

$$I_{\text{moy}} = E \times T^{-1} = I_0 \int_0^t t^{-1} \times 10^{L_t/10} dt \quad (\text{I.13})$$

On en tire le niveau sonore continu équivalent :

$$Leq = 10 \log (I_{moy}/I_0) = 10 \log (1/t \int_0^t 10^{Lt/10} dt) \quad (I.14)$$

Le niveau sonore continu équivalent par analyse statistique des niveaux sonores :
 Pour ce faire, il faut d’abord mesurer à intervalles réguliers, le niveau sonore. Il faut effectuer cette mesure sur un temps d’observation suffisamment long pour être représentatif du bruit fluctuant étudié. On obtiendra une série statistique de type $L_1 - L_j$ du temps T_1 au temps T_j (L_j est le NPS au temps T_j).

Ensuite, on regroupe ces mesures en classes de niveau. On peut choisir des classes de 5 dB de largeur centrées sur 70 dB, 75 dB, etc.

Par exemple. Ces données peuvent être traduites sous la forme d’un histogramme de fréquence d’apparition d’un NPS dans une classe donnée :

Tableau I.3. : Histogramme de fréquences d’apparition d’un NPS

		Histogramme des fréquences f%(Li)						
35								
30								
25								
20								
15								
10								
5								
Classe dB	65	70	75	80	85	90	95	100

$$On \text{ a alors : } Leq = 10 \log (1/100 \sum_1^n f_i 10^{L_i/10}) \quad (I.15)$$

La norme NF S 31-013 propose que cette formule soit représentée sous la forme :

$$Leq = 70 + 10 \log \sum E_i \text{ avec } E_i \text{ (Indice partiel d'exposition)} = \frac{t_i}{40} 10 \log \sum 10^{(L_i-70)/10}$$

I.9. Bruits d’impacts et vibrations

Contrairement aux bruits aériens, les bruits d’impact sont ceux qui résulte d’une excitation directe d’une paroi par une force. Cette force peut être le résultat d’un choc entre un objet ou une personne et la paroi (bille, marteau, vaisselle, déplacement des pieds d’une chaise, déplacement ou chute d’une personne, etc.). Cette force peut aussi résulter du contact d’une machine en fonctionnement avec une paroi (machine à laver, par exemple).

Les bruits d’impact sont rayonnés aux locaux par les parois parcourues par les vibrations engendrées par l’impact. Ces vibrations ne se distinguent en rien de celles créées par des bruits aériens. Elles sont de même nature et obéissent aux mêmes règles physiques de propagation ou d’atténuation, par exemple.

1.9.1. Excitation par les socles des objets :

Les machines, les outils et les objets ménagers, lorsqu’ils sont posés ou fixés sur des planchers, transmettent par leurs points d’appui, des forces variables qui mettent ces planchers en vibration.

Les forces verticales, qui induisent directement des ondes de flexion, sont les plus importantes, mais il peut y avoir des forces horizontales, inclinées ou divers autres couples de force à l’origine de bruits.

Les forces transmises peuvent être réduites par une meilleure équilibrage des pièces en rotation ainsi que par la mise en place de dispositifs antivibratoires entre la machine et son support.

Un dispositif antivibratoire est souvent constitué par un ensemble d'éléments élastiques liant la machine à son support tout en lui permettant de se déplacer dans la ou les directions suivant lesquels elle développe ces efforts et la ramenant à sa position d'équilibre lorsqu'elle est au repos.

Le plus souvent, les éléments élastiques sont complétés par des amortisseurs atténuant l'amplitude des oscillations accidentelles de l'ensemble suspendu.

Il arrive même que les éléments élastiques et les amortisseurs ne fassent plus qu'un.

L'efficacité d'un dispositif antivibratoire peut être représenté par le rapport F' / F de l'amplitude F' de la force transmise au sol à l'amplitude F de la force exercée par la machine.

Ce rapport s'appelle facteur de transmission.

Pour une masse suspendue m et un dispositif antivibratoire de raideur k (force-écrasement), le facteur de transmission dépend à la fois du rapport de la fréquence f de la force excitatrice à la fréquence propre f_0 du système et de l'amortissement de l'ensemble.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (I.15)$$

On constate que pour être efficace, une suspension doit être conçue de sorte que la fréquence de résonance f_0 soit nettement inférieure aux fréquences excitées par la machine. Plus les fréquences sont basses et plus la suspension doit être élastique ou la masses suspendue plus lourde

1.9.2. Influence des vibrations sur le corps humain

L'influence néfaste des vibrations sur le corps humain est fonction de la fréquence, de l'amplitude des vibrations et de la durée d'exposition. Le corps humain peut être considéré comme un système mécanique déformable constitué de différentes entités reliées entre elles par des ressorts et des amortisseurs que sont les ligaments, les muscles, les disques intervertébraux [4] [5]

Lors de l'exposition du corps à des vibrations, tous les organes ne réagissent pas de la même manière. Chaque partie du corps possède une fréquence de résonance propre. Si une vibration est transmise au corps et que la fréquence de la vibration et la fréquence de résonance de la partie du corps touchée sont voisines, l'augmentation de l'amplitude peut être grande et nuire à la santé. [6]

Par exemple, la fréquence de résonance de la main se situe entre 50 et 200 Hz, celle de la colonne vertébrale entre 10 et 12 Hz

1.9.3. Les conséquences en fonction de la fréquence

- ✓ Très basses fréquences (0 – 2 Hz) : effets psycho-physiologiques comme le mal de mer ;
- ✓ Basses fréquences (2 – 20 Hz) : effets néfastes pour la colonne vertébrale
- ✓ 20-40 Hz : affections ostéo-articulaires ;
- ✓ 40-300 Hz : troubles au niveau de la circulation sanguine ;
- ✓ Au-dessus de 300 Hz : troubles de la circulation dans les mains et les doigts.

On distingue 2 types de vibrations qui ont des effets sur l'être humain : [7]

1. Les vibrations transmises au système main-bras qui sont liées à l'utilisation d'outillage à main (de 5 Hz à 1 500 Hz) ;
2. Les vibrations transmises à l'ensemble du corps qui sont liées à l'utilisation d'engins mobiles (de 0,7 Hz à 100 Hz).

Conclusion :

Les principales suggestions proposées sont :

- Insonorisation des cabines abritant les opérateurs avec un certain confort tels-que chauffage et climatisation
- Amélioration de la qualité des protections auditives
- Réorganisation du temps de travail (minimiser le temps d'exposition a ces hauts niveaux sonores)
- Prévoir des commandes à distances de l'appareillage (en salle de contrôle par exemple) pour soustraire ce travailleur de la zone bruyante.

CHAPITRE II AMBIANCES LUMINEUSES

Introduction :

Au cours des dernières années, l'industrie a fait des progrès considérables. Elle met sur le marché un équipement qui assure un rendement sans cesse croissant pour un minimum énergie absorbée. En quelques années, l'éclairage public, par exemple, a gagné jusqu'à 125% d'efficacité selon les auteurs [8] [9]. Des normes et recommandations fixent maintenant les seuils des niveaux d'éclairement suivant la nature des locaux et le genre d'activité.

Mais l'éclairage selon, [3] sur le lieu de travail ne présente pas toujours toutes les conditions requises pour, améliorer la qualité de travail, diminuer la fatigue visuelle et éventuellement les accidents. En effet, un éclairage défectueux est un des nombreux facteurs de risques qui peuvent être à l'origine d'accidents de travail.

L'importance de cette relation possible entre l'éclairage et les accidents de travail n'a d'ailleurs pas échappé au législateur puisque l'éclairage industriel fait l'objet d'un article de ce code de travail. En matière d'éclairage dans le bâtiment, les documents réglementaires sont rares et se résument dans le texte législatif suivant : (Article 35 du décret exécutif n°91-175 du 28/05/1991)

Il est donc nécessaire de résoudre correctement les problèmes posés par l'éclairage et par celui des couleurs qui lui est intimement lié.

II. l'œil instrument d'optique

Pour mieux comprendre les problèmes posés par l'éclairage sur le lieu de travail, il est indispensable de rappeler quelques notions de physiologie.

II.1. Description

En simplifiant, on peut comparer l'œil à un appareil photographique à mise au point optique figure.1.1

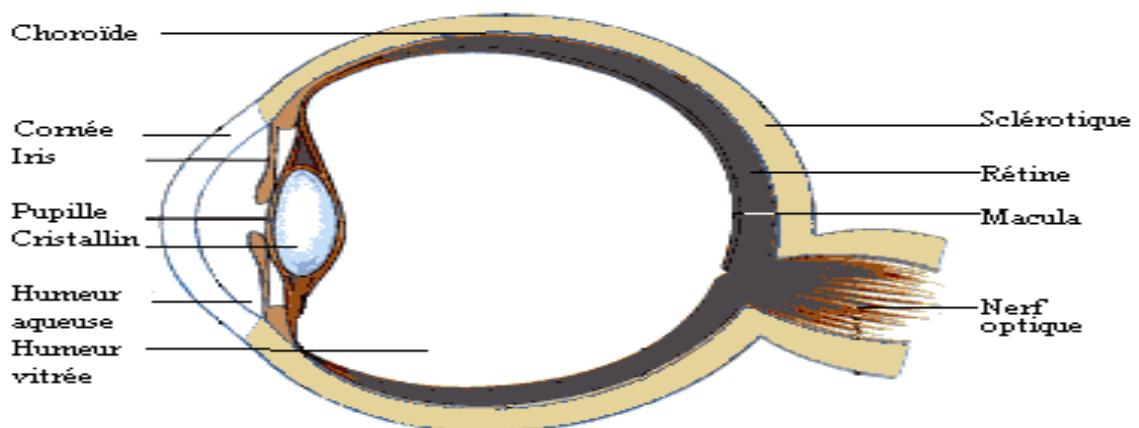


Figure II.1 : Coupe horizontale de l'œil

Les rayons lumineux provenant de l'objet observé traversent la cornée transparente, passent par la pupille (sorte de diaphragme à ouverture variable), puis au travers du cristallin ("lentille" bi-convexe également réglable) atteignent 15mm plus loin, la rétine qui constitue le fond de l'œil.

La rétine est destinée de deux groupes de cellules sensibles :

- Les cônes : éléments essentiels de la vision diurnes et de la vision des couleurs (au nombre de 6 à 7 millions)
- Les bâtonnets : (au nombre de 100 à 130 millions) surtout sensibles aux faibles luminances de la vision en blanc et noir.

L'œil possède un certain nombres d'annexes dont les principales sont :

- Les muscles qui en permettent tout les mouvements.
- Les paupières qui le protègent pendant le sommeil et contre les corps étrangers qui nettoient la cornée comme un essuie-glace de voiture.
- Les glandes lacrymales qui secrètent les larmes et font office de lave-glace.

II.2. Fonctionnement

- ✓ Les deux yeux permettent une vision du relief, plus difficile en vision monoculaire (avec un œil).
- ✓ La vision à l'infini n'exige pas pour l'œil normal de modification de la courbure naturelle du cristallin (accommodation de l'œil)
- ✓ La courbure du cristallin (accommodation de l'œil) croit à mesure que diminue la distance entre l'objet et l'œil ; cette courbure atteint son maximum à une distance appelle " punctum courbure " ; cette distance est variable en fonction de l'âge : elle est en moyenne de 10 cm à 2 ans et de 52 cm à 50 ans. Un plan de travail situé à 35 cm des yeux est à la distance moyenne la meilleure.
- ✓ La pupille joue le rôle de diaphragme : plus la lumière est intense, plus le diamètre de la pupille diminue ; ce diamètre varie, à notre insu, d'un minimum de 2 mm pour la vision d'un objet clair placé au soleil, à un maximum de 8 mm lorsque le sujet tente d'apercevoir un objet pat une nuit bien sombre.

II.3. Acuité visuelle

Encore appelée « pouvoir séparateur de l'œil » ou « limite de séparation de l'œil » est la plus belle distance de 2 points pouvant être séparés par l'œil ; pour un œil normal on trouve une valeur égale à 1 ou 2 minutes d'angle. Un bon éclairage permet une amélioration de l'acuité visuelle.

II.4. Anomalies

Tous les yeux ne sont pas rigoureusement semblables (fig.1.2) et il est souvent nécessaire de corriger par des lunettes, les imperfections de la nature dont les principales, couramment citées, sont :

- La presbytie : difficulté d'accommodation du cristallin ; la presbytie affecte progressivement tous les yeux au fur et à mesure que les individus prennent de l'âge.
- La myopie : œil trop grand (distance cristallin/rétine 15mm) ; l'image se forme en avant de la rétine.

- ***L'hypermétropie*** : œil trop petit (distance cristallin/rétine 15mm) ; l'image se forme en arrière de la rétine.
- ***L'astigmatisme*** : la cornée à une courbure irrégulière, l'image est nette en certains endroits et ne l'est pas ailleurs
- ***Le daltonisme*** : trouble de la vision des couleurs dont il existe diverses sortes ; la plus courante est la non distinction des verts et des rouges ; 10% des individus sont daltoniens.

D'une façon générale, il n'y a guère que 10% des individus adultes qui aient une vision normale leur permettant de se passer des verres correcteurs en toutes circonstances. Trop de gens négligent de se faire examiner la vue.

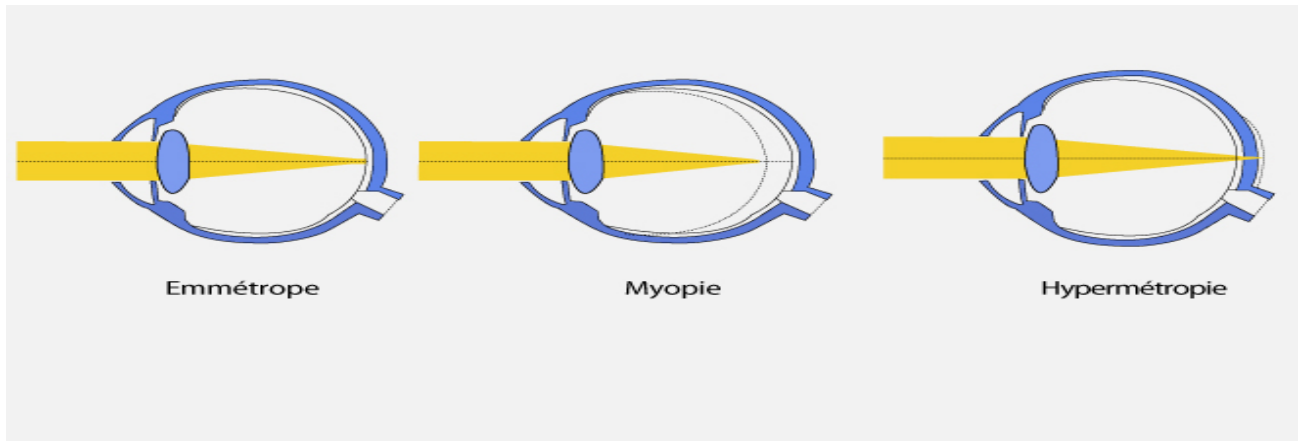


Figure II.2 : Anomalies de réfraction oculaire et correction

Source <http://www.energie.arch.ucl.ac.be>

II.5. Accident les plus fréquents de l'œil

Cinq pour cent d'accidents du travail arrivent aux yeux, on peut les classer en 4 groupes caractérisés par leurs causes :

II.5.1. La présence accidentelle de corps étrangers

Ils irritent la conjonctive qui est une membrane fine, transparente, tapissant les paupières et protégeant la cornée : cette irritation est appelée « conjonctivite ». Cette dernière peut également avoir pour origine l'emploi et la manipulation de fluorure doublée de flucinium et de sodium. (Tableau n° 32 des maladies professionnelle). On peut également ranger dans ce groupe une infection des paupières appelée « blépharite »

II.5.2. Les Rayonnements

A. Les rayons infra-rouge

Les rayons infra-rouge qui, bien qu'invisible sont reçus par l'œil peuvent à la longue coaguler le cristallin et provoquer une perte progressive de transparence de la cornée : le verre de fusion émet des infra-rouge qui sont à l'origine de la cataracte des verriers.

B. Les rayons ultra-violet

Ils sont également, peuvent provoquer une inflammation de l'œil : l'ophtalmie ; il y a risque d'ophtalmie à regarder sans lunette ou masque une opération de soudage à l'arc comme à effectuer une course à haute montagne sans protection de la vue, la pureté de l'air ne filtre pas les ultra-violet solaire réfléchis par la neige.

C. Les rayons X

Les rayons x ou les substances radioactives engendrent blépharite, conjonctivite, kératite et cataracte (des maladies professionnelles)

II.6. Certaines intoxications internes détériorent la vision.**II.6.1. Le saturnisme**

Causé par le plomb et ses composés par un affaiblissement de la vision consécutif à une détérioration de la rétine (encéphalopathie)

II.6.2. L'alcool méthylique

Absorbé accidentellement peut entraîner la cécité

II.7. Éclairage extrême

Enfin, un éclairage extrême (trop violent ou insuffisant), de reflets éblouissants, le déplacement continu du regard d'une zone très éclairée à une zone d'ombre oblige l'œil à s'adapter trop fréquemment ou trop fortement, il s'ensuit une fatigue oculaire qui engendre des maux de tête un état congestif de l'œil, douloureux à la pression.

Ces mauvaises conditions d'éclairages sont susceptibles d'entraîner une augmentation de la fréquence des accidents et une détérioration de la qualité de travail.

II.7.1. Spectre lumineux

Les 3 premiers groupes d'affections oculaires seront négligés volontairement dans ce polycopie, seul le problème de l'éclairage retiendra l'attention.

Mais, qu'est ce que la lumière ? on peut la définir comme la partie du spectre électromagnétique que l'œil humain peut voir.

Le spectre lumineux s'étend de 380 n.m à 760 n.m (nanomètre unité de longueur d'onde utilisée en éclairage (10^{-9} mètre)) ; c'est dans cette partie de spectre que l'œil perçoit les 6 couleurs simples. (Violet-bleu-vert-jaune-orange-rouge). Il faut toutefois, ajouter qu'il y a des différences, dans la manière dont ces couleurs sont perçues et en particulier la nuit et le jour. Un maximum de sensibilité.

- ✓ En vision nocturne ou scotopique (éclairage enregistré par des bâtonnets) se situe dans les plages du vert et du bleu.
- ✓ En vision diurne (de jour) ou photo pique (éclairage enregistré par les cônes) se situe dans les plages du jaune et du vert.

La couleur blanche ne figure pas dans le spectre car ce n'est pas une couleur simple mais un mélange ; c'est pour ce motif que des éclairages dits « blanc » ne sont pas, selon les sources, de même blancheur, il peut y avoir une légère domination de rouge ou de violet qui modifie les caractéristiques de la lumière émise.

II.8. Définition d'éclairagisme

II.8.1. Champ visuel

C'est ce que nous pouvons voir en tenant la tête et les yeux immobiles. Il comprend :

- La tache visuelle, exemple : le mot que vous lisez en ce moment.
- Champ central : ce que fixe l'œil, les 2 ou 3 lignes de texte qui entourent le mot que vous êtes entrain de lire ; il forme avec l'axe optique des yeux un angle de 30 degrés.
- Champ périphérique : il forme une surface circulaire dont le cercle extérieur forme avec l'axe optique des yeux un angle approximatif de 90° l'ensemble de la page sur laquelle se trouve le texte fig. 1.3

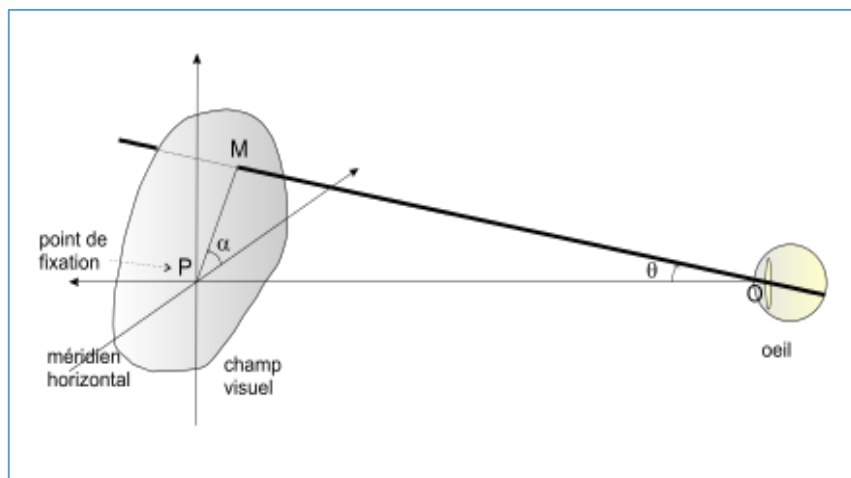


Figure II.3 : Champ périphérique de l'œil

- Champ total, formant avec l'axe optique des yeux un angle approximatif de 120°, votre entourage actuel, votre table de travail et même au delà ; le champ total est une zone où l'on ne distingue pas le détail des objets mais on les perçoit, il faut bien les voir, un déplacement des yeux.

II.8.2. Contraste

La bonne vision d'une tache n'est pas seulement liée à la dimension mais aussi au contraste.

Celui ci est le rapport C entre la luminance (L) de la tache ou de la plage observée (L_t) et la luminance du fond sur lequel elle se détache (L_F)

$$\text{le contraste } C = \frac{L_t - L_F}{L_F}$$

On utilise parfois un classement en 3 catégories qui sont :

- Contraste élevé : exemple caractères d'imprimerie noirs sur papier blanc.
- Contraste faible : exemple travaux de couture ton sur ton (stoppage d'un tissu)
- Contraste moyen : la plupart des taches visuelles peuvent être placées dans la catégorie intermédiaire, les deux autres étant des extrêmes.

II.8.3. Éblouissement

Pour être bien vues, les tâches doivent être éclairées ; il faut néanmoins éviter la sensation d'inconfort ou de diminution des facultés provoquées par des valeurs trop élevées de la luminance lorsque la source lumineuse est située dans le champ visuel de l'observateur. Ce qui provoque l'inconfort, ce qui peut être la luminance de la tâche elle-même ou du luminaire (par vision directe) ou des murs (réflexion de la source).

L'éblouissement, problème important auquel n'est pas toujours accordée une attention suffisante à deux origines distinctes :

- L'éblouissement direct
- L'éblouissement indirect.

II.8.4. Éblouissement par défilement des sources, ou éblouissement direct

Plus une source lumineuse s'approche de la ligne de la vision normale d'un observateur et plus elle devient éblouissante. Un soleil couchant dans l'axe d'une route provoque une très importante augmentation de l'éblouissement des conducteurs lui faisant face. Ce phénomène est particulièrement remarquable lorsque l'angle D (angle de défilement) formé par la hauteur du soleil sur l'horizon devient très faible

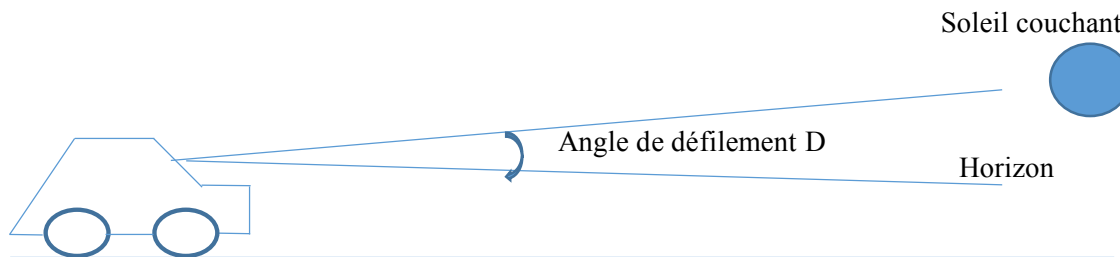


Figure II.4 : Angle de défilement

Pour éviter l'éblouissement direct, il suffit donc de déplacer les sources plus haut ou de les munir d'un dispositif masquant les lampes ou tubes nus aux regards (abat-jour, paralume).

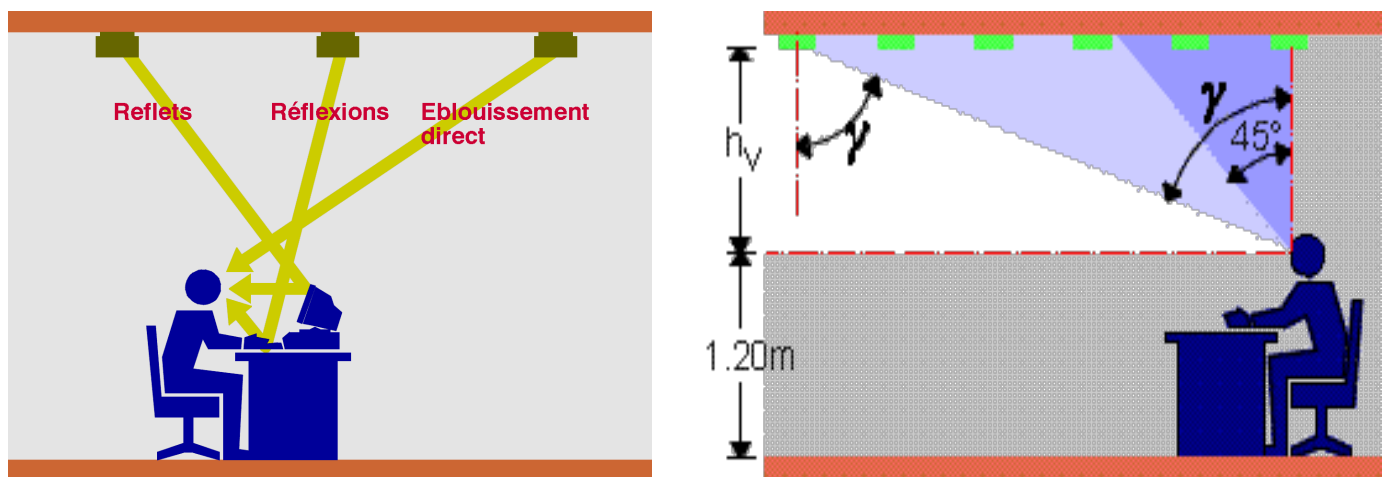


Figure II.5 : L'éblouissement dû à l'éclairage artificiel.
Source <http://wwwenergie.arch.ucl.ac.be>

II.8.5. Éblouissement par réflexion, ou éblouissement indirect

Cet effet indésirable provoque rarement une gêne aussi importante que celle due à l'éblouissement direct. Elle se schématise ainsi : la lumière vue par réflexion sur la surface très polie du bureau semble provenir à travers la table, d'une source figure. 1.5

L'exemple le plus spectaculaire est l'effet de miroitement qui voile entièrement les surfaces brillantes telles que papier glacé ou objet sous vitre etc. ...

II.9. Principales unités utilisées en éclairagisme

Il existe un certain nombre d'unités photométriques que nous ne mentionnerons pas ici pour simplifier ce polycopie. Nous retiendrons les plus courantes

1. Le lumen (lm) flux, lumineux émis dans un cône ayant pour ouverture l'angle solide unité.
2. Le lux (lx) éclairement donné par un flux unité (1 lumen) tombant uniformément sur une surface unité (m^2)
3. La candéla par m^2 (cd/m^2) c'est la luminance d'un objet. Elle dépend de son éclairement et de son pouvoir réflecteur.

II.9.1. Les différents éclairages

- Éclairage naturel : c'est celui qui donne la lumière du jour.
- Éclairage artificiel : c'est l'éclairage dont l'origine est différente de l'éclairage naturel : c'est l'éclairage électrique, au gaz, au pétrole,
- Éclairage mixte : c'est celui réalisé à la combinaison de l'éclairage naturel et de l'éclairage artificiel chaque fois que le niveau d'éclairement de l'éclairage naturel est insuffisant (surface de vitrage trop réduite par proximité d'immeuble hauts dans le cas de panneaux vitrés verticaux, ciel couvert, intensification nécessaire de l'éclairement d'une tache...) [10]

L'éclairage mixte est nécessaire lorsque l'indice de vitrage est insuffisant ou l'éclairement extérieure trop faible.

- Éclairage de secours ou de remplacement : c'est celui prévu pour permettre la poursuite du travail en cas d'interruption de l'éclairage.
- Éclairage de sécurité : l'éclairage de sécurité qui est obligatoire (arrêté du 10 Novembre 1976) doit permettre :
 - D'assurer la reconnaissance des obstacles et le balisage des issues prévus pour l'évacuation des personnes en cas de sinistre ;
 - De mettre en œuvre des mesures de sécurité et permettre l'intervention des secours.

Cet éclairage doit être réparti aussi uniformément que possible sur toute la surface du local pour permettre la reconnaissance des obstacles et des changements de direction, cet éclairage doit être basé sur un flux lumineux d'au moins de 5 lumens par mètre carré de surface du local, correspondant à un éclairement moyen de 5 lux mesuré au niveau du sol.

- Éclairage général : (ou d’ambiance) c’est celui, naturel ou artificiel qui permet un éclairage correct et simultané de tous les emplacements de travail. Dans le cas où, dans un local il est seul utilisé pour des postes de travail dont l’orientation et la nature sont différentes, dans la zone de travail, le rapport entre l’éclairage minimum et l’éclairage moyen ne doit pas être inférieur à 0,8
- Éclairage localisé : dans tous les cas où l’éclairage général ne permet pas un niveau d’éclairage suffisant pour un poste de travail, il est nécessaire de prévoir à proximité de ce poste un éclairage d’appoint dit « éclairage localisé ». Il doit être réalisé au moyen de dispositifs convenablement adaptés et non improvisés en tenant compte :
 - Des conditions d’éblouissement direct ou par réflexion (à éviter)
 - De l’orientation à donner à la lumière et de sa diffusion
 - Des ombres (à souligner ou à éviter)
 - Des règles de sécurité à observer (voltage, isolement ...)
 - Et, éventuellement des conséquences sur lui des vibrations de la machine.

Pour éviter aux personnes utilisant un éclairage localisé (sur machine, sur table de bureau) la fatigue oculaire, par adaptation trop fréquente de l’œil entre la tâche vivement éclairée et le fond sombre du champ total, il ne doit pas y avoir entre l’éclairage général et l’éclairage localisé, et en aucun cas E_g ne devra être inférieure à 150 lux.

A un éclairage localisé d’Éclairage E_l , doit correspondre un éclairage général plus faible dont l’éclairage E_g est fixé par la formule suivante :

$$E_g = 1/5 E_l \quad (E_g \text{ et } E_l \text{ s’exprime en Lux})$$

II.9.2. Éclairage naturel

Les différents modes d’éclairage sont à placer respectivement dans l’ordre : éclairage naturel, éclairage mixte, puis éclairage artificiel. L’éclairage naturel est à préférer aux autres toutes les fois qu’il peut être réaliser.

Il existe 2 techniques d’éclairage naturel :

a) **L’éclairage en façade** par vitrages transparents ou diffusants verticaux conçus avec les limitations maximales de la hauteur de retombée (distance comprise entre le plafond et le dessus de la baie) et de la hauteur d’allège (distance comprise entre le sol et le dessus de la baie) en vue d’assurer le maximum de pénétration de la lumière fig.1.6

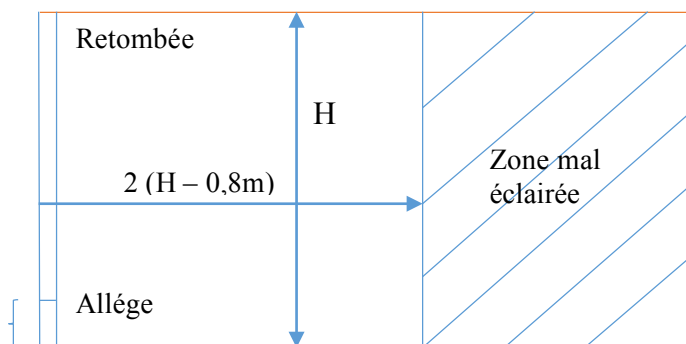


Figure II.6 : Eclairage en façade

Par mesure de sécurité il doit être prévu :

- Dans les bureaux, jusqu'à 1m de haut : une allège ou bien un garde-corps ajouré ou muni de verres de sécurité
- Dans les ateliers, jusqu'à hauteur d'homme : une allège ou une protection mécanique des vitrages.

L'éclairage par vitrages verticaux n'est efficace, en ateliers ou bureaux, que pour une profondeur réduite dont les maxima sont, en fonction de la hauteur H du local.

- Éclairage vertical unilatéral, verres transparents : $2 (H - 0,8m)$
- Éclairage vertical unilatéral, briques fonctionnelles : $- 3 (H - 0,8m)$
- Éclairage bilatéral : $- 4 (H - 0,8m)$

b) *L'éclairage zénithal* (ou par toiture) : réalisable selon 3 dispositions principales

a. Verrières sur pentes inclinées :

Elles laissent passer un important flux lumineux ; il est préférable de les répartir sur les deux versants. Il est difficile avec cette disposition de verrières de supprimer l'éblouissement. Il est un système qui en dérive : la terrasse en béton armé translucide qui a un coefficient de transmission de 40 à 50% [11]

b. Shed :

Orienté au nord, il permet d'éviter un ensoleillement excessif. On obtient un éclairage plus homogène en peignant le rampant du shed en couleur claire. Il faut que la longueur du shed soit inférieure au double de la hauteur sous chéneau.

c. Lanterneaux :

Ils évitent la directivité accusée de la lumière fournie par les sheds, une orientation est-ouest protège le soleil, on obtient de bons résultats en respectant les proportions

II.9.3. Éclairage artificiel – Éclairage mixte

Il est impossible de dissocier l'étude de ces modes d'éclairage pour deux raisons :

1. Il n'est pratiquement aucune entreprise, même celles possédant un excellent éclairage naturel, qui ne soient contraintes en début de matinée et en fin de soirée d'hiver de faire appel à l'éclairage artificiel et à l'éclairage mixte
2. Dans l'un et l'autre cas nous avons à traiter de l'éclairage électrique seul mode d'éclairage se substituant de façon générale à l'éclairage naturel ou le renforçant. Nous laisserons à côté les impératifs de la prévention du danger d'ordre électrique.

II.10. Facteurs de réduction de l'éclairage artificiel d'un local

Dans l'exemple cité en référence de la définition du Lumen il a été indiqué que dans le cas d'un travail de bureau nécessitant un éclairage uniforme de 300 lux il était indispensable de fournir 18000 lumens en première appréciation. Pourquoi cette restriction ? parce que ce chiffre est insuffisant. En effet, nous avons vu au sujet de l'éclairage naturel, que l'éclairage mesure en un point diminuait progressivement si les vitrages n'étaient pas nettoyés périodiquement.

En éclairage artificiel, il existe des problèmes comparables aggravés de la notion de vieillissement des sources lumineuses. il est donc indispensable de majorer la quantité du flux lumineux à prévoir en tenant compte du « facteur d'utilisation » et « du facteur de dépréciation ».

II.10.1. Le facteur d'utilisation :

C'est la quantité de lumière disponible après absorption par les abat-jour ou paralumes et diffusion vers les murs et le plafond pour éviter les zones sombres. Ce facteur d'utilisation peut varier dans d'importantes limites (de 0,75 à 0,25)

II.10.2. Le facteur de dépréciation :

C'est dû au vieillissement des sources de lumière et aux dépôts de poussières ; en vieillissant les sources perdent une partie de leurs facultés éclairantes ; les poussières déposées sur les murs et les plafonds leur font perdre partiellement une fraction de leur pouvoir réfléchissant d'origine. Ce facteur de dépréciation se situe entre 1,25 et 1,50. Une relation simplifiée mais suffisante permet donc le calcul du flux lumineux nécessaire en y incorporant ces 2 facteurs de pertes. Elle s'écrit :

$$\text{Flux total Nécessaire (en lumens)} = \frac{\text{eclairage (en Lux)} \times \text{surface (m}^2\text{)} \times \text{facteur de dépréciation}}{\text{facteur d'utilisation}}$$

L'exemple du bureau de 60 m² pour lequel nous considérons que :

- Le facteur d'utilisation est faible (0,40 par exemple) du fait de la présence de diffuseurs
- Le facteur de dépréciation est également faible (1,25) car les dépôts de poussières ne peuvent être importants

Remplaçons les paramètres de la formule par des chiffres, nous obtenons

$$\text{Flux total : } \frac{300 \text{ (lux)} \times 60 \text{ m}^2 \times 1,25}{0,40} = 56,25 \text{ lumens,}$$

Soient sensiblement 3 fois plus qu'en se basant sur la surface seulement.

II.11. Sources lumineuses

Il convient, à présent d'opérer la conversion du flux lumineux en foyers lumineux ; notre problème, en effet, consiste à préconiser tel type de foyers et leur puissance unitaire ou de vérifier si l'installation existante correspond aux besoins tels qu'ils sont définis dans notre leçon.

Les foyers les plus utilisés sont

- a. Les lampes à incandescence dont la partie éclairante est formée de filaments portés à une température élevée

- b. Les lampes à décharge dont l'allumage est produit par une décharge électrique entre 2 électrodes dans un gaz raréfié contenant une vapeur métallique (vapeur de mercure ou de sodium)
- c. Les tubes fluorescents dont l'allumage est produit par une décharge électrique dans de la vapeur de mercure : à la différence des lampes à décharge, ces tubes sont tapissés d'un revêtement fluorescent intérieure dont on peut déterminer la composition spectrale (la lumière perçue est produite par ce revêtement fluorescent, lui-même sensibilisé par la décharge électrique dont l'effet lumineux est nulle).

II.11.1. Distance entre luminaires

Nous venons de voir que pour obtenir le même flux total on a le choix entre différents types de luminaires en nombre variable. Une question se pose. ? Allons-nous placer dans un bureau 4 montages en duo ou bien 38 lampes à incandescences ?

Dans ce cas nous ferons une économie sur le nombre d'appareils, dans l'autre cas le grand nombre de sources permettra d'obtenir en tous points du local un éclairage uniforme.

C'est en général entre les 2 extrêmes que se situe la solution satisfaisante. En effet l'éclairage très élevé obtenu sous un appareil décroît très rapidement lorsqu'on s'éloigne de lui et devient insuffisant pour la plus grande partie du local, par compte des appareils trop nombreux sont généralement inutiles.

Il existe cependant un écartement maximum, entre les sources, qu'il est indispensable de respecter ; cette distance entre luminaires est calculée en fonction de la hauteur de la source au-dessus du plan de travail qui se trouve généralement à 0,90 m du sol. Cette distance est comptée du centre d'un luminaire au centre du luminaire voisin " h " étant la hauteur plan de travail / source, 3 chiffres simples d'écartement maximum sont à retenir

- Entre la paroi et le 1^{er} luminaire (ou la 1^{ere} rangée)
l'écartement maximum est de : $3h / 4$ lorsqu'il existe une allée le long de la paroi.
 $h / 2$ lorsque le personnel travaille à proximité de cette paroi.
- Entre les luminaires : $1,5 h$
Dans le cas de luminaires fluorescentes munies de paralumes, ces valeurs maximales d'écartement sont à réduire d'environ 15%

Exemple en TD : Réalisons donc en fonction de ces données, l'éclairage général d'un bureau.

Données supposons que sa longueur soit de 8,60 m, sa largeur 7 m sa hauteur sol-plafond 4 m et h 2,50 m
(4m – (0,90m sol / plan de travail + 0,60 m luminaire / plafond) = 2 ;50 m

II.11.2. Systèmes d'éclairage

Afin de simplifier l'exposé sur la distance entre luminaires. Nous avons immédiatement indiqué que le bureau serait par des tubes montés en duo sans autre précision. En réalité il y a 5 systèmes d'éclairage ou manière de disposer les luminaires. Ce sont :

- a. L'éclairage direct, pour atelier de grande hauteur ou a parois très sombres.
- b. L'éclairage indirect, pour bureau de dessin, salle de lecture
- c. L'éclairage semi-direct, pour atelier de faible hauteur à parois claires.
- d. L'éclairage semi-indirect, pour bureau de dessin, appartement.

- e. L'éclairage mixte (à ne pas confondre avec éclairage naturel + éclairage artificiel) encore appelé diffus, pour bureau de tous genre, magasins.

II.11.3. L'introduction des couleurs

a- Les principes

Chaque rayonnement est caractérisé, non seulement par son intensité (en lumens), mais également par sa couleur, notion beaucoup plus difficile à prendre en compte. Pour le moment la solution la plus simple - pour caractériser la couleur - est d'utiliser des coefficients spectraux.

b- Les coordonnées colorimétriques

Ce qui conduit, pour chaque longueur d'onde (λ) concernée (entre 0,38 et 0,78 μm), à définir, outre son efficacité lumineuse, trois coordonnées colorimétriques spectrales :

$$x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda),$$

qui permettent - selon les valeurs fixées par La Commission Internationale de l'Eclairage, de caractériser la couleur du rayonnement

Les valeurs types des coordonnées

Le tableau II.1 : ci-dessous illustre quelques valeurs repères.

Tableau II.1 : Valeurs de repères

Coordonnées spectrales			
λ [μm]	$x(\lambda)$	$y(\lambda)$	$z(\lambda)$
0,400	0,0143	0,0004	0,0679
0,450	0,3362	0,0380	1,7721
0,500	0,0049	0,3230	0,2720
0,550	0,4334	0,9950	0,0087
0,600	1,0622	0,6310	0,0008
0,650	0,2835	0,1070	0,0000
0,700	0,0114	0,0041	0,0000
0,750	0,0003	0,0001	0,0000

c- Les valeurs types

Comme déjà indiqué il faut classer les rayonnements, selon la longueur d'onde, dans l'une des trois catégories fondamentales que sont l'ultraviolet (longueurs d'onde de moins de 0,38 μm), le visible (longueurs d'onde comprises entre 0,38 et 0,78 μm), l'infrarouge (longueurs d'onde de plus de 0,78 μm).

Dans la partie du rayonnement située dans le visible, la lumière se traduit par des couleurs différentes selon la longueur d'onde, ainsi que l'indique le tableau II.2, ci-dessous, limitée à des valeurs types.

Tableau II.2 : Valeurs types des coordonnées

LES COULEURS TYPES	
Couleur au sens courant	Longueurs d'onde types [μm]
violet	0,38 à 0,42
bleu	0,47
vert	0,52
jaune	0,58
orange	0,61
rouge	0,65 à 0,78

d- Le rendu des couleurs : un premier classement

Le rendu des couleurs, qui permet de mesurer l'adaptation d'un éclairage au rendu colorimétrique, est une notion surtout utilisée en éclairage artificiel. Cette notion repose sur un classement conventionnel noté de 0 à 100, ce nombre dépendant de la forme du spectre dans la zone visuelle. Les valeurs obtenues peuvent, schématiquement, se classer comme suit :

- Rendu de plus de 90 : excellent rendu des couleurs (appréciation aussi exacte que possible).
- Rendu de 80 à 90 : rendu de qualité, valeur type recommandée.
- Rendu de 70 à 80 : rendu acceptable.
- Rendu de 60 à 70 : n'est acceptable que dans des ambiances industrielles peu exigeantes.
- Rendu inférieur à 60 : n'est acceptable qu'en ambiance industrielle sans véritable exigence en matière de couleur.

e- Les températures de couleur : un deuxième classement

Avec les nouvelles sources de lumière la couleur joue un rôle croissant, ce qui conduit à introduire le concept de température de couleur. Cette dernière, mesurée en kelvin [K], est celle du rayonnement propre le plus proche, en couleur apparente, de celle de la source examinée.

C'est ainsi, que la lumière de chaque type de lampe est caractérisée par sa température de couleur. Cette température de couleur, notée ici T_c , exprimée en kelvin [K], est liée à l'impression visuelle, et peut être exprimée comme suit :

- Teinte « chaude » : $T_c < 3300$ [K].
- Teinte neutre : $T_c = 3300$ à 5500 [K].
- Teinte « froide » : $T_c > 5500$ [K].

La température de couleur doit être, si possible, choisie en fonction de l'ambiance à créer, par exemple :

- Pour l'habitat $T_c = 3000$ à 4500 [K].
- Pour les salles de classe : $T_c = 3000$ à 4000 [K].
- Pour les magasins de vente selon activité, - boulangerie ou boucherie : 3000 à 3500 [K]
- Pharmacie : 4500 à 5000 [K]
- Fleuriste : 4000 à 6500 [K].

II.12. Eclairage de sécurité

II.12.1. Conception générale

L'éclairage de sécurité doit être à l'état de veille pendant l'exploitation de l'établissement. L'éclairage de sécurité est mis ou maintenu en service en cas de défaillance de l'éclairage normal/ remplacement. En cas de disparition de l'alimentation normal/remplacement, l'éclairage de sécurité est alimenté par une source de sécurité dont la durée assignée de fonctionnement doit être de 1 heure au moins. Il comporte :

- A. Soit une source centralisée constituée d'une batterie d'accumulateurs alimentant des luminaires ;
- B. Soit des blocs autonomes.

II.12.2. Fonctions de l'éclairage de sécurité

L'éclairage de sécurité a deux fonctions :

- L'éclairage d'évacuation ;
- L'éclairage d'ambiance ou d'anti-panique.

L'éclairage d'évacuation doit permettre à toute personne d'accéder à l'extérieur, en assurant l'éclairage des cheminements, des sorties, des indications de balisage, des obstacles et des indications de changement de direction. Cette disposition s'applique aux locaux recevant cinquante personnes et plus et aux locaux d'une superficie supérieure à 300 m² en étage et au rez-de-chaussée et 100 m² en sous-sol. »

L'éclairage d'ambiance ou d'anti-panique doit être installé dans tout local ou hall dans lequel l'effectif du public peut atteindre cent personnes en étage ou au rez-de-chaussée ou cinquante personnes en sous-sol.

Cet éclairage doit être basé sur un flux lumineux minimal de 5 lumens par mètre carré de surface du local pendant la durée assignée de fonctionnement.

Conclusion

Le contrôle de l'environnement lumineux est un facteur très important dans le processus de l'appréciation de la qualité lumineuse, un large panel de paramètres peuvent être régulés tels que, l'intensité lumineuse des luminaires, les spots d'appoint... Ces paramètres combinés offrent une marge de manœuvre à l'occupant pour définir facilement l'idéal lumineux dans lequel il aspire à évoluer.

Afin d'assurer un éclairage permettant la sécurité et la santé des travailleurs, plusieurs paramètres sont à prendre en compte en ne négligeant pas le facteur humain.

Pour convaincre un employeur de réaliser un bon éclairage, le facteur coût est un excellent argument.

En effet, le coût lié à l'éclairage des locaux représente 10% de la facture électrique. De plus, une installation d'éclairage bien pensée peut contribuer à la rentabilité d'une activité par des gains financiers par une réflexion sur les coûts d'exploitation et de maintenance, des gains de productivité, des gains sociaux et environnementaux.

CHAPITRE III

AMBIANCES THERMIQUES

Introduction :

L'ambiance thermique est un facteur de conditions de travail jouant un rôle important sur la santé, la sécurité et le confort des travailleurs. Cela concerne aussi bien les situations de chaleur que de froid.

Les ambiances physiques d'inconfort sont très courantes en milieu professionnel. On exprime assez facilement et spontanément les sensations éprouvées face à l'ambiance thermique à laquelle on est soumis : sensation de chaleur, d'étouffement et de froid, associés à des effets caractéristiques tels que la transpiration, le frissonnement...

Ces premiers symptômes doivent attirer l'attention du médecin du travail et du responsable Hygiène Sécurité Environnement et conduire à une analyse complète.

L'évaluation du risque ambiance thermique au poste de travail est une étape délicate. La réglementation impose à l'employeur d'assurer la protection de ses employés au travers d'une analyse des risques. (Article du code du travail). Le facteur ambiance thermique doit être ainsi pris en compte, évalué et maîtrisé.

III. Notion du confort thermique

III.1. Notions de base sur les ambiances thermiques

Définition : L'homéothermie

C'est la satisfaction d'un individu par rapport aux conditions thermiques de son environnement

L'homme est un homéotherme, c'est-à-dire que sa température centrale est stabilisée à environ 37°C, en dépit des variations de la température extérieure.

Il s'agit d'un équilibre entre la thermogenèse (production de chaleur) et la thermolyse (perte de chaleur).

Cet équilibre permet les performances biologiques, mentales et physiques optimales. Le centre de la thermorégulation se situe dans l'hypothalamus.

III.1.1 Thermogenèse : Production de chaleur

C'est la somme des chaleurs produites par l'organisme par :

a. Le métabolisme de base (au repos) :

Dépense énergétique de l'organisme à la température de neutralité thermique ou à l'état de repos.

b. L'exercice musculaire :

Dépense énergétique dû à l'activité de travail.

c. Les métabolismes ajoutés (digestion, frissons, ...) :

Particulièrement la digestion

III.1.2. Thermolyse : Perte de chaleur

La thermolyse correspond aux échanges de chaleur entre l'organisme et l'environnement. Ce sont, en générale, des mécanismes qui permettent à l'organisme d'évacuer la chaleur excédentaire à condition que l'environnement le permette.

Quand l'environnement est défavorable (taux d'humidité important, absence de ventilation...), ces mécanismes ne sont plus efficaces et entraînent un stockage de la chaleur excédentaire pouvant engendrer des pathologies à plus ou moins long terme.

Il existe 4 types de mécanismes quantifiables au travers de la Norme NFX 35-204 de décembre 1982, permettant d'évaluer la contrainte thermique s'exerçant sur l'opérateur.

La conduction

C'est l'échange de chaleur entre deux corps solides en contact, ici l'organisme est apparenté à un solide quelconque.

Elle dépend de :

- La différence de température entre les deux corps : la chaleur allant toujours du corps le plus chaud vers le corps plus froid,
- La conductivité thermique du solide en contact,
- L'épaisseur du solide,
- La surface de contact entre la peau et le solide.
- Le mécanisme de conduction est généralement négligé dans l'évaluation de la contrainte thermique. Le fait que les opérateurs soient habillés la rend négligeable face aux autres mécanismes.

La convection ($W^2.m^2$)

C'est l'échange de chaleur entre l'organisme et le fluide qui l'entoure (liquide ou gaz).

Elle dépend de :

- La vitesse du fluide :
Selon la vitesse de l'air, il existe deux types de convection, la convection naturelle ou libre quand la vitesse de l'air est inférieure à 0,2m/s et la convection forcée pour des vitesses supérieures à 0,2m/s,
- La température de l'air,
- La température de la peau.

$$C = hc * Fcl (Ta - Tsk) \quad (III.1)$$

Grandeurs mesurables :

hc : Coefficient de transfert de chaleur par convection ($W.m^{-2}.K^{-1}$). Proportionnel à la vitesse de l'air.

Fcl : Facteur de réduction des échanges de chaleur par les vêtements (chaleur sèche).

Ta : Température de l'air (°C) mesurée à l'aide d'un psychromètre.

Tsk : Température cutanée locale (°C).

Remarque :

Les échanges de chaleur par convection sont proportionnels à la vitesse du fluide en contact. Ainsi plus celle-ci est importante, plus la perte de chaleur par ce mécanisme sera importante. C'est le cas des ventilateurs. Ils ne refroidissent pas l'atmosphère mais contribue à une perte calorifique.

Le rayonnement (R)

Le rayonnement représente les échanges de chaleur entre l'organisme et un solide séparé. Les corps chauds émettent de la chaleur vers les corps froids par infra-rouge. Ex : (Sidérurgie, travail devant un four fonderie...)

$$C = hr * Fcl (Tr - Tsk) \quad (III.2)$$

Grandeurs mesurables :

hr : Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement ($W.m^{-2}.K^{-1}$).

Tr : Température moyenne de rayonnement de l'environnement (°C).

L'évaporation (E)

L'évaporation est le moyen le plus efficace pour éliminer la chaleur produite par le corps humain. Il en existe plusieurs formes :

- a. Perte de vapeur d'eau par les poumons
Négligeable pour l'homme sauf au cours d'exercices musculaires.
- b. Perspiration :

Diffusion de l'eau des couches superficielles de la peau vers l'extérieur (en générale faible sauf au cours d'exercices musculaires).

- c. Sudation :

C'est le moyen d'évaporation le plus important à condition que la sueur soit effectivement évaporée c'est-à-dire que l'air ambiant soit renouvelé et non saturé en vapeur d'eau (1 gramme d'eau évaporée permet d'éliminer 0,6 kcal). Elle se fait par la sueur excrétée par les glandes sudoripares.

$$E = h_e F_{pcl} w P_s H_2O - P_a H_2O \quad (III.3)$$

Grandeurs mesurables

- he : Coefficient de transfert de chaleur par évaporation (W.m⁻².mbar⁻¹).
- Fpcl : Coefficient de réduction des échanges de chaleur sensible par le vêtement (chaleur latente).
- w : Mouillure cutanée allant de 0,1 (peu mouillé) à 1 (très mouillé, évaporation maximale permise par l'ambiance).
- PsH₂O : Pression partielle de vapeur d'eau à la surface de la peau (mbar).
- PaH₂O : Pression partielle de vapeur d'eau dans l'air ambiant (mbar).

Le bilan thermique et Évaporation requise (Ereq)

Le bilan thermique correspond à l'ensemble des échanges de chaleur subit par l'organisme :

$$Bilan = MA (RA) C - E \quad (III.4)$$

M représente le métabolisme énergétique général de l'organisme, comprenant le métabolisme de base et le métabolisme d'exercice (W.m²). Le métabolisme d'exercice est fourni par des tables normatives, selon le type d'activité exercé.

- Supérieur à 0

L'organisme est en hyperthermie et emmagasine de la chaleur. Les mécanismes de thermolyse ne sont pas suffisamment efficaces et risquent d'engendrer des pathologies. Il est nécessaire d'agir sur le mécanisme pouvant rendre le plus de résultat.

- Égal à 0

C'est la situation la plus favorable. L'opérateur se situe dans une zone de neutralité thermique.

- Inférieur à 0 : hypothermie

L'organisme est en hypothermie, il perd plus de chaleur qu'il en gagne ou qu'il en produit. Cette situation engendre elle aussi des pathologies. Il est nécessaire d'effectuer un bilan des contraintes permettant d'établir les causes de ce dérèglement (cause environnementale, vent froid, sur quel mécanisme agir...).

Dans un contexte d'hypothermie ou d'hyperthermie il est possible de déterminer des durées limites de travail de telle façon que le bilan thermique soit nul, c'est à dire en homéothermie.

Dans ce but, nous sommes amenés à déterminer l'évaporation requise qui est l'évaporation nécessaire pour que le bilan thermique soit nul, donc que l'homéothermie soit maintenue au cours de l'activité.

En considérant que le Bilan est nul, nous pouvons écrire :

$$E_{req} = M \pm R \pm C \quad (III.5)$$

III.2. Lutte physiologique contre les ambiances chaudes et froides

III.2.1 La vasodilatation

C'est le premier mécanisme de lutte mis en œuvre face à une ambiance chaude. C'est un mécanisme surtout efficace au repos puisque l'exercice physique augmente la quantité de sang vers les muscles rendant la vasodilatation difficile.

Elle consiste à favoriser le passage du sang au niveau des couches cutanées grâce à l'augmentation du diamètre des vaisseaux sanguins pour y permettre les échanges de chaleur et donc de refroidir la peau (Perte de calorie par le mécanisme de convection).

La vasodilatation entraîne une diminution de l'apport sanguin dans la sphère digestive ainsi qu'une diminution de la filtration rénale. Le muscle cardiaque et le système nerveux restent des organes fortement irrigués.

III.2.2. La sudation

L'exercice physique limitant la vasodilatation, l'organisme fait intervenir la sudation. C'est le moyen le plus efficace de lutter contre la chaleur. Cependant, une attention toute particulière doit être apportée sur la conception des vêtements de travail car ceux-ci peuvent entraver ce phénomène (la perte de calories par évaporation).

Ce phénomène est limité par la "sudation maximale" (S Max) qui est la quantité maximale de sueur qu'un sujet donné peut fournir (à peu près 4 litres pour 8 heures).

La sudation entraîne par ailleurs une perte importante d'eau et de sels divers. La déshydratation de l'organisme doit être limitée à 4 à 6 % du poids du corps. Une perte sudorale maximale admissible (D max) a été fixée. Celle-ci ne doit pas dépasser 1,5 L/h.

Cette sudation est rendue possible grâce aux glandes sudoripares qui vont puiser l'eau et le sel dans le sang. Les glandes vont ensuite de façon pulsative faire remonter l'eau et le sel à la surface de la peau pour que l'eau soit évaporée. Cette eau puise la chaleur de l'organisme pour passer à l'état gazeux et se diluer dans l'air ambiant.

Dès lors la sudation est dépendante de la saturation de l'air en humidité. Si l'atmosphère est fortement humide, le processus de sudation ne sera pas efficace et contribuera au déséquilibre du bilan thermique. Ce phénomène est observé dans les saunas pour lesquels une durée d'exposition a été fixée.

La sudation apparaît toujours après un délai qui dépend de la charge de chaleur et de l'acclimatation du sujet. En cas de forte amplitude thermique ou de début d'un exercice musculaire, le délai est d'environ dix minutes

III.2.3. L'acclimatation

L'exposition régulière à la chaleur va déclencher une acclimatation du sujet, c'est à dire :

- Déclenchement de la sudation plus rapide,
- Débit sudoral plus important,
- Efficacité thermolitique plus grande.

Ceci a pour conséquence de baisser la température rectale, la fréquence cardiaque et de permettre une meilleure performance pour l'opérateur. L'attention sera portée vers les processus de déshydratation, dangereux pour l'opérateur malgré l'acclimatation.

Les normes prennent en compte l'acclimatation du sujet dans l'évaluation de la contrainte thermique. D'une manière générale, le laps de temps à cette dernière est d'environ 15 jours.

III.2.4. Le frissonnement

Les muscles horripilateurs libèrent, face au froid, de la chaleur en soulevant un poil, ce qui donne une sensation de « chair de poule ».

Ce mécanisme peut s'amplifier jusqu'à provoquer la contraction de gros muscles : c'est le frissonnement. Il a pour objectif le dégagement de chaleur.

III.2.5. La vasoconstriction

Le diamètre des capillaires sanguins, situés sous la peau soumise au froid, va se réduire. Ainsi le volume de sang exposé au froid diminue (l'échange par convection diminue). Parallèlement le sang chaud réchauffe le sang froid en profondeur.

Ce mécanisme est peut efficace car les tissus extérieurs doivent être irrigués pour ne pas entraîner de gelure.

III.2.6. Augmentation du métabolisme de base

Le corps va libérer des hormones qui accélèrent les réactions enzymatiques et ainsi augmenter la production de chaleur générale.

Il faut noter que les mécanismes hormonaux mettent environ une semaine pour lutter et s'adapter efficacement contre le froid. Durant cette phase d'adaptation, l'opérateur nécessite une surveillance particulière.

III.3. Pathologies liées aux ambiances chaudes et froides

D'une manière générale, les effets dus aux contraintes thermiques chaudes ou froides sont accompagnés d'une diminution des capacités mentales et physiques des opérateurs.

III.3.1. Ambition chaude :

Augmentation du rythme des battements du cœur entraînant un risque de syncope,

- Déficit en eau et en sels consécutifs à une transpiration excessive. Ceci entraîne une augmentation de la température du corps ainsi que fatigue, vertiges, nausées,
- Affection cutanée : brûlure, rougeur,
- Coup de chaleur avec perte de connaissance pouvant entraîner la mort (appelé syncope de chaleur).

III.3.2. Ambiance froide :

- Chute de la dextérité articulaire (facteur favorisant l'apparition de TMS),
- Pâleur extrême due à une faible irrigation sanguine de la peau,
- Gelures,
- Baisse de la température (hypothermie) pouvant conduire à une atteinte du système nerveux et des perturbations respiratoires,
- Augmentation de la pression artérielle et des risques d'accident cardiaque (lié à la vasoconstriction).

III.4. Méthodes d'analyses des ambiances chaudes

On distingue deux types de normes :

- Les normes dites de confort thermique (Norme NF X 35-203 de décembre 1981)
- Les normes dites de contraintes thermiques (Norme NF X 35-204 de décembre 1982)

III.4.1. Confort thermique et neutralité thermique :**✓ Neutralité thermique :**

Elle correspond à une zone d'ambiance thermique pour laquelle on ne mobilise aucun mécanisme de lutte contre le froid ou le chaud.

✓ Confort thermique :

C'est une appréciation subjective. Ainsi, la notion de confort est équivalente pour les trois exemples suivants

Température	40°C	32°C	28°C
Humidité	26%	68%	100%
Vitesse de l'air	1 mètre par seconde	0,1 mètre par seconde	nulle

Tant que les mécanismes physiologiques de lutte sont suffisants pour assurer un bon équilibre thermique, ce sont des ambiances tolérables. Quand ces mécanismes sont saturés (ex : environnement défavorable), l'équilibre peut être rompu. Il faut alors déterminer des durées maximales d'exposition.

Remarque :

Un bilan thermique nul place le sujet dans une zone de neutralité thermique. Il n'en sera pas totalement satisfait si une partie de son corps est chaude alors qu'une autre partie est froide.

Un tel inconfort thermique local peut avoir plusieurs origines :

- Une trop grande asymétrie de rayonnement qui peut être due à des panneaux chauds, des radiateurs ou inversement à des fenêtres froides, à des murs non isolés...
- Un courant d'air local : on recommande généralement une vitesse d'air inférieure à 0,15 m/s et toujours inférieure à 0,5 m/s. Un léger courant d'air n'est supportable que si la température de l'air est supérieure à la température optimale.
 - La température des planchers : on recommande de maintenir les planchers entre 19°C et 26°C.
 - Des gradients verticaux de température d'air : entre les chevilles et la tête, on recommande de maintenir une différence de température inférieure à 3°C.

III.4.2. Évaluation de la contrainte thermique

Deux indices permettent d'évaluer la contrainte thermique :

- WBGT : W et Bulb Globe Temp,
- La sudation requise.

Ces deux indices permettent avec précision d'évaluer le bilan thermique.

Le WBGT est un indice permettant de déterminer si le sujet est capable de travailler dans une ambiance donnée sur une durée de 8 heures. C'est la première démarche à effectuer dans le cas de l'analyse d'un poste de travail soumis à la chaleur.

La sudation requise permet d'établir des limites d'exposition dans le cas où il n'est pas possible de travailler dans l'ambiance considérée durant 8 heures.

III.4.3. Principe et définition du WBGT

Le WBGT est proposé comme une première approche des conditions de travail à la chaleur.

C'est un indice qui permet une évaluation simplifiée de la contrainte thermique grâce à une analogie physique entre les échanges thermiques du corps humain et ceux d'un dispositif de thermomètres humides d'une part et de thermomètres à globe noir d'autre part.

En effet, ce dispositif permet de déterminer la température humide naturelle (Thn) et la température de globe noir (Tg) de l'atmosphère qui entrent dans le calcul du WBGT :

La mesure de ces températures se fait simultanément à des hauteurs normatives au niveau de la tête, de l'abdomen et des chevilles.

Le WBGT globale est donné d'après la formule :

$$WBGT = \frac{WBGT \text{ tête} + WBGT (2 \times \text{abdomen}) + WBGT \text{ cheville}}{4} \quad (\text{III.6})$$

En parallèle, il est nécessaire de procéder à une évaluation du métabolisme de l'opérateur selon son type d'activité. Des tables normatives fixe ces valeurs par classe.

Ces valeurs repères permettent de savoir si l'opérateur est capable de travailler 8h sans danger dans l'ambiance thermique étudiée. En effet, si le WBGT déterminé est supérieur à la valeur repère de la situation étudiée, cet opérateur ne pourra pas travailler 8h dans cette ambiance thermique.

Les valeurs repères correspondent à des niveaux d'expositions auxquels la quasi-totalité des personnes peuvent être exposées de manière habituelle sans effets nocifs, sous réserve d'absence d'états pathologiques préexistants.

Elles tiennent compte de l'acclimatation des sujets. Est considérée comme acclimatée une personne en bonne santé qui travaille depuis plus d'une semaine en ambiance chaude au poste considéré.

Malheureusement, cet indice ne donne qu'une idée de l'exposition à une ambiance thermique et n'est pas utilisable pour proposer une démarche de correction. De ce fait, il est nécessaire d'avoir recours à l'indice de sudation requise qui est beaucoup plus précis.

Exemple :

Un opérateur effectue un transport de matériaux lourds. C'est un nouvel embauché (non acclimaté). Il transporte les matériaux devant un four radiant.

Peut-il travailler 8 heures dans ces conditions ?

Les mesures de terrains :

	Thn	Tg
Tête	25°C	50°C
Abdomen	19°C	45°C
Cheville	17°C	20°C

Nous calculons le WBGT pour la tête, abdomen et cheville :

$$WBGT \text{ Tête} = 0,7 \times 25 + 0,3 \times 50 = 32,5^\circ\text{C}$$

$$WBGT \text{ Abdomen} = 0,7 \times 19 + 0,3 \times 45 = 26,3^\circ\text{C}$$

$$WBGT \text{ Cheville} = 0,7 \times 17 + 0,3 \times 20 = 17,5^\circ\text{C}$$

Nous calculons ensuite le WBGT globale :

$$WBGT = 32,5 + (2 * 26,3) + 17 \frac{3}{4} \quad (III.7)$$

$$WBGT = 25,15 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (III.8)$$

Selon, l'annexe l'activité de l'opérateur est de classe 3, soit un métabolisme élevé. On observe que, d'après l'annexe, la valeur repère WBGT, pour un opérateur non acclimaté, est fixée à :

- Absence de courant d'air : 22°C,
- Mouvement de l'air perceptibles : 23°C.

Conclusion :

Que ce soit en absence ou en présence de mouvement d'air, le WBGT globale mesuré auprès du sujet est supérieur aux valeurs repères. Ainsi, l'opérateur ne peut travailler 8 heures dans cette ambiance.

Une étude approfondie est nécessaire. Celle-ci doit permettre d'évaluer une durée limite d'exposition à cette ambiance et, parallèlement, de proposer des axes d'améliorations de conditions de travail.

III.5. Détermination analytique de la contrainte thermique par l'indice de la sudation requise.

III.5.1. Principe et définition de l'indice de sudation requise

L'indice de sudation requise permet une approche plus précise que le WBGT et de caractériser les différents échanges de chaleurs sèches et latentes (convection, rayonnement et évaporation).

On peut ainsi connaître le mécanisme sur lequel il faut agir pour rendre acceptable la contrainte thermique. Cette méthode doit être utilisée en complément de la méthode basée sur l'indice WBGT si celle-ci s'avère négative.

La contrainte thermique en ambiance chaude est évaluée par la mouillure cutanée requise (W_{req}) et l'évaporation requise (E_{req}) du fait des conditions physiques du travail pour maintenir une neutralité thermique.

Ces deux valeurs sont comparées à l'évaporation E_0 constatée sur le terrain (mesurée par pesée du sujet et de ses ingestas) et l'évaporation maximale (E_{max} possible par l'ambiance).

Le but de l'indice est de connaître si l'évaporation constatée sur le terrain est égale à l'évaporation requise théorique pour maintenir l'homéothermie. Si cela n'est pas le cas, il est nécessaire de calculer une durée limite d'exposition (DLE) qui tient compte du stockage maximum de chaleur de l'organisme (H_{max} fournie par des tables normatives) et de la différence entre l'évaporation requise (E_{req}) et l'évaporation mesurée (E_0).

On peut décomposer cette méthode en trois étapes :

- Mesure sur le terrain de l'évaporation réelle de l'opérateur par pesées,
- Calculs basés sur le bilan thermique à partir de valeurs mesurées sur le terrain, notamment T_g , T_a , T_{hv} , V_a ,
- Mesure de la durée limite d'exposition (DLE) si l'ambiance s'avère excessive.

III.5.2. Réduction de la contrainte sur le métabolisme (opérateur)

Les moyens de réduire la contrainte thermique, et donc d'éviter ses effets sur les opérateurs, sont multiples. Tout en reposant sur des principes simples, ils seront spécifiques à chaque atelier, chaque situation de travail et leur mise en œuvre nécessitera toujours une étude particulière. Pour cela, le recours à des spécialistes est souvent nécessaire.

III.5.3. Eliminer les risques

Avant toute intervention de correction d'une situation, il y a lieu de s'interroger sur les possibilités d'élimination du risque :

- En remplaçant les équipements sources de chaleur ou de froid par d'autres moyens faisant appel à des technologies différentes (exemple : le chauffage par induction se substituant au chauffage à la flamme),
- En procédant à de nouveaux agencements des équipements et locaux de travail (exemple : l'éloignement des équipements des zones où s'exerce l'activité des opérateurs).

III.6. Réduire la contrainte thermique dans les ateliers

Pour réduire la contrainte thermique, il est nécessaire d'intervenir sur les différents facteurs de production de chaleur et d'échange de chaleur entre le corps et l'environnement. Ce qui suppose préalablement une observation et une analyse des postes de travail et de l'activité des opérateurs.

III.6.1. L'activité de l'opérateur

L'activité physique de l'opérateur conduit à une production de chaleur par métabolisme. Pour limiter cette production, on peut :

- ✓ Automatiser le poste de travail,
- ✓ Implanter des aides à la manutention manuelle,
- ✓ Limiter les efforts par une étude du poste de travail,
- ✓ *Fractionner l'exposition à la chaleur en organisant des pauses, des périodes de repos*

L'activité de l'opérateur contribue favorablement à compenser le refroidissement du corps lors de l'exposition en ambiance froide. C'est cependant un moyen dont il ne faut pas user au-delà des nécessités de la tâche.

III.6.2. Les échanges par rayonnement

Les sources extérieures rayonnent de la chaleur vers le corps lorsqu'elles sont plus chaudes que celui-ci. A l'inverse, c'est le corps qui cède de la chaleur aux sources plus froides que lui. Pour limiter ces échanges on peut :

- Isoler les parties chaudes des machines,
- Encoffrer certaines machines et évacuer l'air chaud par des systèmes de ventilation canalisée,
- Interposer des écrans entre les sources et les opérateurs. Plusieurs types d'écrans sont utilisables (écrans équipés de surfaces réfléchissantes, écrans à circulation d'eau ou d'air interne, écrans à ruissellement d'eau, écrans filtrants),
- Equiper les opérateurs de vêtements spéciaux de protection anti-thermique en ambiance chaude ou de protection contre le froid.

III.6.3. Les échanges par convections

Il est utile de contrôler ces échanges pour leur donner un rôle bénéfique de réduction de la contrainte thermique.

En ambiance chaude, la ventilation par de l'air frais permet de refroidir le sujet ; en ambiance froide, la ventilation par de l'air chaud permet de le réchauffer. Tout procédé contraire à ces principes renforce la contrainte thermique. Pour mettre en œuvre ces moyens on peut :

- ✓ Conditionner l'air des locaux par le contrôle de la température et de son humidité,
- ✓ Ventiler les locaux (de façon générale, de façon localisée).

III.6.4. Les échanges par évaporation

Pour contrôler l'humidité de l'air on peut :

- ✓ Eliminer toute fuite de vapeur,
- ✓ Conditionner l'air (comme pour le contrôle de la convection),
- ✓ Egalement utiliser des vêtements de protection ventilés et refroidis qui permettent les échanges évaporatoires.

III.7. Conception technique des locaux :

Une fois le cahier des charges défini selon la réglementation en vigueur, il convient de calibrer les moyens d'isolation permettant d'assurer une ambiance thermique correcte et adaptée au type de travail effectué. Cette étape permettra ensuite de dimensionner les moyens de chauffage, en terme de puissance thermique à fournir au bâtiment.

III.7.1. Quelques repères à prendre en compte :

Coefficient volumique de déperditions thermiques par transmission à travers la paroi :

Ubât (anciennement G1)

« Le coefficient G1 d'un bâtiment ou d'une partie de bâtiment est égal aux déperditions thermiques par les parois de celui-ci ou de celle-ci pour un degré d'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur, divisées par le volume intérieur, celui-ci étant compté avec déduction des murs, des planchers, des cloisons, des gaines et des ébrasements de portes et de fenêtres. Le coefficient G1 est exprimé en watt par mètre cube et par degré Celsius. » Art.5 de l'arrêté du 13 avril 1988.

Le calcul se fait en additionnant toutes les déperditions par transmission à travers les parois du bâtiment considéré qui sont en contact avec :

- l'extérieur,
- les vides sanitaires,
- le sol,
- et les locaux adjacents

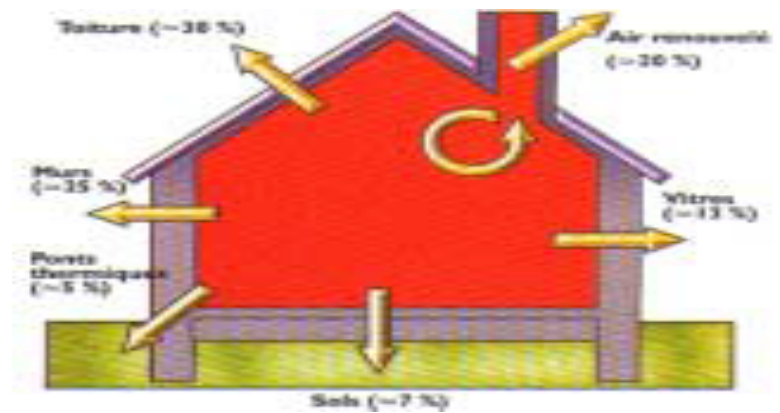


Figure III.1: Déperdition thermique d'un local

Le calcul doit tenir compte de plusieurs facteurs :

- Les caractéristiques thermiques moyennes des matériaux mis en œuvre,
- Les ponts thermiques,
- La protection des vitrages,
- L'exposition au vent,
- La présence éventuelle d'éléments chauffants en paroi.

Conclusion

L'évaluation du risque d'ambiance thermique peut se faire selon plusieurs approches. Le confort thermique est une question d'appréciation relativement subjective et varie selon les conditions environnementales. L'approche basée sur la contrainte thermique et la réponse physiologique de l'organisme est la plus complexe mais la plus exhaustive.

Cette dernière permet de mettre en valeur les mécanismes déficients et les réelles causes des déséquilibres.

La réglementation impose à l'employeur une évaluation des risques sans pour autant en préciser la démarche analytique. Celle-ci devra faire preuve de flexibilité et s'adapter à la situation et au besoin.

En complément, la conception de l'installation doit donc être adaptée aux contraintes du poste et au type d'activité.

CHAPITRE IV AMBIANCES CHIMIQUES (POLLUTION)

Introduction :

Dans les sociétés modernes, où les progrès technologiques et les évolutions sociologiques ont modifié le mode de vie de l'homme, et des espaces qui l'entourent, le respect de l'environnement est devenu l'une des préoccupations majeures.

Toutefois, on ne peut lutter efficacement pour la qualité et la sécurité de l'environnement sans avoir défini ce qu'est l'environnement, et sans disposer d'une vue d'ensemble sur ses différentes composantes et leurs relations complexes.

Aussi, avant de considérer plus précisément les diverses formes de pollutions et leurs aspects réglementaires, est-il souhaitable de préciser quelques notions sur l'environnement et la pollution. C'est l'objectif de ce cours.

IV. Généralités sur l'environnement

IV.1. Définitions

L'environnement correspond au milieu dans lequel les êtres vivants se développent.

L'écologie, science des écosystèmes, étudie le rapport des êtres vivants entre eux et avec leur milieu.

L'écosystème est un système fonctionnel qui comprend une communauté d'êtres vivants et l'environnement qui lui est associé.

On peut diviser l'environnement en deux parties :

- L'environnement abiotique, physique et chimique, qui inclut le matériel non vivant : sol, eau, air, et les forces : radiations, gravité, champs magnétiques, etc....
- L'environnement biotique qui comprend l'ensemble des êtres vivants de l'écosystème considéré, l'écosystème est en fait le dernier niveau des matériaux biologiques.

IV.2. Ces différents niveaux d'intégration sont :

- a. Cellules
- b. Individus
- c. Populations
- d. Communautés
- e. Écosystème

La définition de chaque niveau d'intégration ainsi que ses caractéristiques sont indiquées, *d'après* : [12]

IV.2.1. La cellule

Elle est la plus petite unité biologique fonctionnelle. C'est l'élément de base de tous les êtres vivants.

IV.2.2. L'individu

C'est un système biologique fonctionnel formé, dans les cas les plus simple, d'une seule cellule.

Il est caractérisé par son anatomophysiologie et son métabolisme (ensemble des échanges de matière avec milieu extérieure). A un moment déterminé, il possède une biomasse déterminée.

IV.2.3. La Population

Elle correspond à un système biologique formé d'un groupe collectif d'individus de la même, espèce occupant un territoire déterminé à un moment déterminé. Parmi ses caractéristiques, on trouve le nombre d'individus, la densité, la biomasse, les taux de natalité, de mortalité et de croissance.

IV.2.4. La communauté ou la biocénose

C'est l'ensemble des populations peuplant un biotope donné (aire géographique présentant des conditions de milieu déterminées, à un moment déterminé). On peut subdiviser la biocénose en phytocénose (ensemble des populations végétales), et zoocénose (ensemble des populations animales), la communauté est organisée en niveau trophiques : producteurs consommateurs de première ordre, consommateurs de deuxième ordre, décomposeur, ...

La communauté est aussi caractérisée par sa structure, et sa dynamique (évolution dans le temps et l'espace).

IV.2.5. L'écosystème

Il associe :

- ✓ Le biotope : ensemble des facteurs du milieu conditionnant l'existence des êtres vivants, c'est à dire :
- ✓ Le climatope qui correspond aux données climatologiques du milieu (température, ensoleillement hydrométrie...);
- ✓ L'édaphotope qui correspond à l'ensemble des facteurs externes liés au sol et ayant une influence sur la répartition des êtres vivants ;
- ✓ L'hydrotape qui correspond aux données hydrologiques du milieu ; et les biocénoses qui se développent dans ce biotope.

IV.3. La circulation des différents éléments dans les écosystèmes.

Dans un écosystème, les acteurs sont liés entre eux par un certain nombre de relations qui régissent l'équilibre de l'ensemble.

Du fait de ces relations, les éléments chimiques transitent dans les différents compartiments de l'environnement en passant par les états successifs. Ils réalisent ainsi des cycles.

Il s'établit ensuite un certain nombre d'équilibres. Ceux-ci peuvent être localement momentanément perturbés si les quantités de déchets à métaboliser dépassent le pouvoir épurateur du milieu.

Passé un certain seuil, il y a perturbation permanente du milieu. Ce dernier devient hostile à ses habitants naturels. Il y a donc pollution.

IV.3.1. La pollution : définitions

La pollution consiste en l'introduction, dans les milieux, de trop grandes quantités d'agents chimiques, physiques ou biologiques entraînant une altération de l'environnement, de nature à mettre en danger la santé humaine, à endommager les sources alimentaires, biologiques et les écosystèmes ou encore à détériorer les biens matériels.

Il existe des pollutions naturelles et des pollutions dues à l'homme.

On peut également distinguer les pollutions accidentelles et les pollutions chroniques.

Le rejet d'un polluant dans un milieu peut être suivi de phénomènes de contamination et de bioaccumulation.

On peut citer comme pollutions naturelles :

- Des marécages putrides qui favorisent la prolifération de vecteurs de maladies (moustiques)
- L'éruption d'un volcan qui disperse des quantités très importantes de poussières (l'Etna Italie, répand 3740 tonnes de SO₂ par jour) provoquant :
 - Une contribution à l'effet de serre.
 - Une limitation du rendement de la photosynthèse du fait de l'absorption de l'énergie solaire.

L'activité humaine peut engendrer des pollutions par :

- La génération des déchets qui s'accumulent
- Le déversement de produits en quantités telles que le pouvoir autoépuration du milieu est dépassé ;
- La modification des facteurs écologiques : température, salinité, pH, ...
- Le bouleversement des équilibres énergétiques.

IV.4. Une pollution chronique

Elle, correspond à un rejet permanent de faibles doses de polluants dans le milieu (d'eau résiduelle urbain, dans les rivières, par exemple). A long terme, ce type de pollution peut avoir de graves conséquences sur l'écosystème récepteur, comme les pluies acides.

Une fois dans l'environnement, le polluant peut passer d'un milieu à un autre (air <=> eau, eau <=> sédiments,) ou, dans le milieu, d'un objet ou corps, à un autre. Ce phénomène est appelé contamination.

Les polluants peuvent aussi pénétrer dans les organismes par absorption ou adsorption, et s'y accumuler. En effet, beaucoup d'organismes sont capables d'accumuler dans leur tissu des substances diverses (naturelles ou synthétiques). Ce phénomène est désigné sous le terme de bioaccumulation.

La propriété du bio-accumulateur des organismes va se répercuter à chaque niveau trophique. On parle alors de bio magnification. Ainsi insecticide voisin du DDT répandu sur un lac pour en éliminer les larves de mouches aura différentes répercussions sur le milieu :

- Eau : 0,014 ppm
- Phytoplancton : 5ppm
- Poissons plancton : 7 à 9 ppm

IV.4.1. Les mesures de la pollution

Les valeurs mesurées

Les pollutions d'un établissement industriel sont évaluées à l'aide du flux, qui a pour expression :

$$f = Q * C$$

avec : Q, le débit et C, la concentration.

La concentration est le paramètre qui permet d'évaluer les effets d'un polluant dans le milieu récepteur.

Mais la gravité d'une pollution ne se traduit pas uniquement par ces paramètres. Il faut aussi tenir compte de la durée de l'exposition du milieu aux polluants.

La détermination d'un flux polluants résulte de la connaissance du débit du flux porteur de la pollution et de la concentration en éléments polluants de l'effluent. Pour évaluer ces paramètres, il existe souvent des méthodes de mesure ou de détermination analytique. Celle-ci ne sont pas toujours faciles à mettre en œuvre

et peuvent comporter des erreurs, mais elles donnent des résultats lorsque les opérations sont correctement conduites.

IV.4.2. La mesure du débit

Mesurer le débit revient à mesurer la vitesse d'un liquide ou d'un gaz circulant dans un tuyau ou un canal ou une cheminée dont on connaît la section de passage (Figure IV : 1)

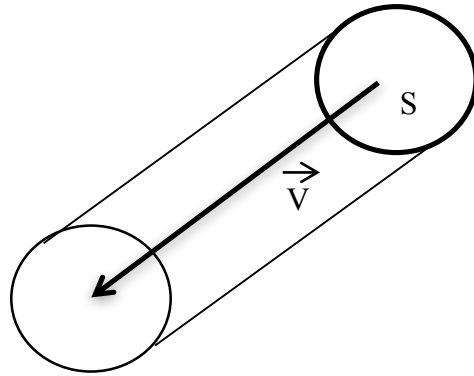


Figure IV.1 : Mesure de débit.

Le débit a pour expression : $Q = v * S$

Avec : Q, le débit (m³/h),
v, la vitesse (m/h) et S, la section (m²).

Pour la mesure des vitesses, plusieurs techniques existent :

- Des mesures directes : moulinets, hélices ou repère flottants
- Des mesures indirectes :
 - Par détermination du dénivellement en amont d'une contraction de la veine (seuils calibrés par barrage ou par contraction latérale ou horizontale)
 - Par injection à débit constant d'un traceur et détermination de sa concentration dans le flot.

Comme en général les débits ne sont pas constants, il faut évaluer leurs fluctuations pour avoir les limites entre lesquelles se situe la pollution rejetée et surtout les "pointes".

IV.5. La mesure de la concentration

Ce n'est pas tant la quantité absolue de tel ou tel toxique qui influe sur la vie, mais bien la concentration dans la zone considérée, ainsi que le temps durant lequel les organismes seront exposés aux toxines.

IV.5.1 La concentration de fond

Elle est appelée aussi bruit de fond, la valeur permanente de la concentration en polluants, mesurée sur un site éloigné de toute source humaine et protégé de tout transfert. Cette concentration correspond donc au niveau de pollution due aux phénomènes naturels.

IV.5.2. La concentration de pointe,

C'est la valeur maximale de la concentration en polluants, valeur mesurée pour une période donnée en un endroit déterminé.

La détermination des concentrations se pratique en général au laboratoire et nécessite deux opérations :

- Le prélèvement d'un échantillon « représentatif ».
- L'analyse d'élément ou de grandeur spécifique.

Remarque !

La précision et la qualité de l'analyse seront toujours dépendantes de la représentativité de l'échantillon (une analyse aussi bonne soit-elle ne voudra rien dire si l'échantillon n'est pas représentatif).

Il faut bien faire attention à ne pas confondre échantillonnage et prélèvement. Prélever un échantillon représentatif exige une grande rigueur et nécessite souvent de faire appel à des spécialistes.

En aucun cas, ces prélèvements ne doivent être faits au hasard.

IV.6. La lutte contre la pollution

IV.6.1. Des moyens technologiques

La méthode la plus efficace pour lutter contre la pollution est d'agir à la source en développant des procédés permettant de maintenir le niveau de production, tout en assurant un rejet minimal de polluants. C'est l'objectif des technologies propres.

La mise en place de ces dernières correspond plus à des systèmes d'antipollution qu'à des systèmes de dépollution.

Le terme de technologie propre recouvre un large ensemble de mesures :

- Remise en ordre des ateliers de production : recyclage des sous produits, séparation des fluides, limitation des pertes de matières premières, ...,
- Modification des procédés de séparation : réutilisation en fabrication de matières autrefois perdues, séparation et valorisation de sous produits, ...,
- Utilisation de procédés propres où la nature même des procédés de production est radicalement changée.

Les technologies propres peuvent absorber les variations de capacité de production. De plus, la pollution est limitée puisque l'on agit avant les mélanges potentiels avec d'autres polluants.

IV.6.2. Les retombées économiques de ces technologies sont multiples :

- Réduction de la pollution, donc du coût des dépenses pour la lutte antipollution.
- Gain de productivité
- Diminution des redevances de pollution.
- Valorisation des déchets.
- Réduction des risques d'accidents
- Amélioration des conditions de travail.
- Économie sur la consommation.

Les pollutions résiduelles doivent être traitées par les technologies les plus adaptées et leur impact doit être évalué après épuration.

Agir sur les rejets de polluants, c'est donc aussi connaître les dangers qu'ils peuvent induire.

Les dangers des rejets de polluants pour les êtres vivants dépendent à la fois des effets de ces polluants (connus pour les produits par les études toxicologiques et écotoxicologiques), et de l'exposition à laquelle les êtres vivants sont soumis (Déterminée par l'étude du devenir des produits).

IV.7. Les produits dans l'environnement

Introduction :

Estimer les dangers qu'un produit représente pour l'environnement, ce n'est pas seulement connaître les effets de ce produit sur les êtres vivants, c'est aussi apprécier l'exposition à laquelle ces êtres vivants peuvent être soumis.

L'étude du devenir des produits et de leur écotoxicité amène respectivement :

- à savoir ce que devient un produit en cours et après son utilisation, en termes de répartition, de concentration et de durée de vie dans l'environnement, et à estimer (à partir de l'expérimentation et de modèles mathématique) le comportement de ce produit ;
- à mettre en évidence l'interaction des polluants avec les facteurs écologiques et à préciser leurs effets sur les êtres vivants.

Ces disciplines permettent donc d'apporter toutes les recommandations nécessaires à l'utilisation d'un produit dans le respect de l'environnement.

IV.7.1. L'évaluation de l'impact des produits sur l'environnement.

- L'impact dépend des effets et de l'exposition.
- Les effets peuvent être directs ou indirects.
- L'exposition doit être appréciée en termes de niveau et de durée.

Les produits chimiques peuvent avoir un impact sur l'environnement, dont l'intensité dépendra des propriétés propres du produit (ses effets) et de l'exposition à laquelle l'environnement sera soumis.

- Les effets peuvent être directs ;

C'est le cas :

- Des effets toxiques aigus (CL 50, DL 50) (concentration Létale, Dose Létale) ou chroniques (Synergie/antagonisme)
- Des effets "esthétiques" (coloration, odeur, par exemple)

- On peut citer comme exemples d'effets indirects :

- La diminution de la teneur en oxygène dans un lac lors d'un déversement de produits organiques biodégradables,
- La diminution de la luminosité du fait de la présence de matières en suspension solides,
- Les déséquilibres inter-espèces, comme la croissance excessive d'algues,

a) Le niveau d'exposition

Il correspond à la concentration d'un produit dans le milieu considéré (le cas échéant, dans chacun des compartiments) ou à la dose intégrée selon le cas.

b) La durée d'exposition

Cette dernière correspond au temps pendant lequel les êtres vivants sont exposés à cette concentration (il peut exister des lois complexes de variation du niveau d'exposition avec le temps)

Par ailleurs, dans le cas d'événements intermittents de courte durée, ou susceptibles de se répéter, une notion de probabilité, et par suite de risque, peut être introduite.

IV.7.2. Méthodes d'évaluations des dangers et l'impacts sur l'environnement

Deux types de méthodes sont couramment utilisés pour évaluer les dangers et les impacts sur l'environnement :

La méthode dite de « Scores » et la méthode dite du « facteur de sécurité »

La question qui se pose est de savoir comment, à partir des données de toxicité et d'exposition, il est possible de les combiner pour aboutir à une évaluation des dangers causés par le produit. [13]

La méthode dite de « score » et la méthode dite du « facteur de sécurité » sont des outils d'aide à la décision permettant de répondre à des questions telles-que :

- Le produit est-il dangereux ou non ?
- Peut-il être introduit ou maintenu sur le marché ?
- Doit-on en limiter l'emploi, voire l'interdire ?

Ces deux méthodes sont comparées dans le tableau IV.1

Tableau IV.1: Principe avantage et inconvénients des méthodes dites de « score » et du « facteur de risque »

	Méthode dite de « score »	Méthode dite du « facteur de sécurité »
Principe	On considère un certain nombre de tests et de mesures (toxicité, biodégradation, photo-dégradation,)	On détermine et on compare les niveaux d'exposition réels sur diverses espèces aquatiques ou terrestres (par analyse) et les niveaux d'exposition sans effet (par mesure en laboratoire ou sur terrain) Le facteur de sécurité est le rapport entre ces deux niveaux. plus le rapport (concentration réelle/concentration sans effet) est grand, plus le risque pour l'environnement est fort.
Avantages	Mises-en œuvre aisée. Concentration des produits entre eux facilitées.	A pour support des bases scientifiques mieux établies.
Inconvénients	Méthode plus subjective ; on se heurte à des questions du type : - Quels tests retenir ? - Comment pondérer des mesures de photo-dégradation ou de toxicité ? - quelle loi de combinaison choisir ?	Mise en œuvre difficile car la méthode requiert la connaissance de nombreuses données concernant la produit et l'environnement réel.

IV.8. L'éco chimie : le devenir des produits

IV.8.1. L'étude du devenir des produits :

L'étude du devenir des produits a pour but de répondre aux questions suivantes :

- Que devient un produit après son utilisation ?
- Quelle est la relation liant le tonnage rejeté dans un écosystème à l'exposition ?

L'exposition peut être appréciée grâce à des analyses et/ou à des techniques de modélisation.

L'éco chimie permet d'évaluer l'exposition en termes de répartition entre les différents compartiments de l'environnement (air, eau, sol, sédiment et organismes vivants), de niveau et de durée d'exposition dans ces compartiments.

Exemple : type de questions pratiques

- 1000 tonnes d'un produit pour la protection des plantes «x » sont utilisées chaque année sur le territoire « y ». Quelles pourront être les concentrations moyennes dans les eaux, l'air, les sols, ... ?
- 50 tonnes d'un produit ont été rejetées accidentellement en 15 minutes dans une rivière. Quelle sera la concentration maximale 15 kilomètres en aval ?

Pour les produits que l'on souhaite introduire sur le marché (ou les produits déjà présents dont on veut confirmer l'évolution) il est nécessaire d'utiliser des méthodes prédictives : c'est la modélisation.

Les modèles doivent prendre en compte l'ensemble des phénomènes pouvant affecter le devenir du produit dans l'environnement.

IV.9. Les phénomènes de transferts et de dégradations

IV.9.1. L'étude des phénomènes de transferts

Les transferts peuvent être intra-compartiment ou inter-compartiment. Dans un même compartiment, les produits peuvent être transportés par convection et par dispersion. Les différents compartiments, ainsi que les transferts des produits entre ces derniers.

Les phénomènes de transferts entre deux compartiments sont régis par les propriétés physicochimiques de la substance :

- Les phénomènes de volatilisation (transfert eau-air) dépendent du rapport entre la tension de vapeur et la solubilité dans l'eau. Il est de même pour les transferts entre le sol et l'air.
- Les phénomènes d'adsorption entre l'eau et les solides (sol, sédiments) sont inversement corrélés à la stabilité dans l'eau : plus les produits sont insolubles, plus leur adsorption est grande

IV.9.2. L'étude des phénomènes de dégradations

Les diverses dégradations et/ou transformations que l'on observe le plus souvent sont :

- a. La biodégradation
- b. La photo dégradation, la photo transformation
- c. L'hydrolyse
- d. L'oxydation, la réduction
- e. La formation de complexe

En général, dans l'atmosphère, ce sont les phénomènes de photo dégradation qui sont prépondérants. Pour les autres compartiments, hormis le cas de quelques molécules très photosensibles ou hydrolysables, ce sont les phénomènes de biodégradation qui sont prépondérants.

Remarque :

On parle de dégradation ou plutôt de minéralisation lorsque le composé est entièrement transformé en substances minérales simples (H_2O , CO_2 , N_2 ...), et de transformation lorsque ce n'est pas le cas (la molécule est transformée en une autre, plus simple ou plus complexe).

On peut étudier la biodégradabilité des produits solubles ou insolubles, selon le principe suivant :

- On donne, dans les conditions normalisées, le produit étudié comme seule source de carbone alimentaire à des micro-organismes (bactérie aérobie ou anaérobie).

- Le suivi de la biodégradation aérobie se fait sur une période de 28 jours par mesure de CO₂ dégagé, de l'O₂ consommé, du carbone organique dissous, ou de la concentration de la molécule elle-même et de ses produits de dégradation.

On peut classer les produits d'après leur biodégradabilité (Fig.IV.2)

- Produit peu biodégradables (*nobiodegradability*),
- Produit potentiellement biodégradables (*potential biodégradability*)
- Produit facilement biodégradables (*ready biodegradability*)

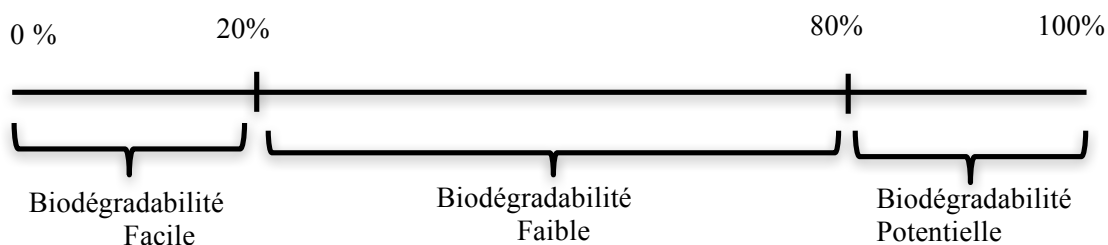


Figure IV.2: Classement des produits rapporté au pourcentage de biodégradabilité

IV.10. L'étude d'écotoxicité

Définitions

L'écotoxicité est l'étude de l'effet des produits chimiques sur l'environnement.

On distingue les études mono spécifiques (en général en laboratoire) des plurispécifiques (en laboratoire ou à l'extérieur).

L'écotoxicité se propose de déterminer les effets des produits et, par suite, d'évaluer les risques que présentent pour les espèces vivantes, homme exclu, les modifications que l'humanité impose au milieu naturel.

- ✓ **Les études mono spécifiques**, consistent à déterminer l'écotoxicité des produits sur quelques individus d'espèces pris isolément.
- ✓ **Les études plurispécifiques**, quant à elles, consistent à étudier les effets des produits sur des systèmes complexes comportant plusieurs espèces.

IV.11. Les polluants atmosphériques

Introduction

L'air est un milieu nécessaire au développement de nombreux organismes vivants qui trouvent nécessaire à leur métabolisme dans l'oxygène. Toute fois, certains êtres vivants peuvent puiser ailleurs leur énergie et vivre sans oxygène (en anaérobiose).

La composition de l'air peut être modifiée sous l'action de phénomènes naturels ou par les activités humaines. Cette modification est susceptible d'avoir des répercussions sur la vie des organismes aérobies et sur la santé humaine.

Il est à noter que la pollution atmosphérique affecte un fluide dont les mouvements ne sont pas orientés selon un axe unidirectionnel, mais dans le champ de l'espace. Elle peut donc concerner de très étendues et contaminer d'autres milieux.

IV.11.1. L'atmosphère terrestre

L'atmosphère terrestre est formée d'air et de vapeur d'eau.

L'atmosphère est une enveloppe gazeuse relativement peu épaisse (1000 km) par rapport aux dimensions de la terre (6400 km de rayon).

L'atmosphère, telle que nous la connaissons, s'est constituée il y a environ trois milliards d'années par suite du dégagement d'oxygène sous l'action des premiers êtres vivants photosynthétiques.

Le pourcentage des différents constituants de l'atmosphère est indiqué au tableau ci-dessous :
L'atmosphère est définie par les quatre paramètres suivants :

- La pression,
- La température,
- L'humidité,
- La composition.

Tableau IV.2 : Pourcentage des constituants de l'atmosphère. [14]

Composition de l'air sec		
Constituants	% en volume	% en masse
Azote	78,01	75,53
Oxygène	20,95	23,14
Argon	0,93	1,28
Anhydride carbonique	0,032	0,046
Néon	$1,810^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-3}$
Hélium	$5,24 \cdot 10^{-4}$	$7,24 \cdot 10^{-5}$
Méthane	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$7,75 \cdot 10^{-5}$
Krypton	$1,14 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$
Protoxyde d'azote	$5 \cdot 10^{-5}$	$7,6 \cdot 10^{-5}$

IV.11.2. Les Polluants atmosphériques

Les sources de pollution atmosphérique

Les sources de pollution atmosphérique peuvent avoir une origine naturelle ou humaine, être fixes ou mobiles.

Les diverses sources de pollution atmosphérique sont recensées dans le tableau VI.2

On peut citer comme exemples :

- De sources fixes : les volcans, les foyers urbains, les sites industriels, ...
- De sources mobiles : les automobiles, les avions, ...

Tableau IV.3 : Les différentes sources de pollution atmosphériques.

Sources naturelles	<ul style="list-style-type: none"> - Bactéries du sol - Végétation (pollen, ...) - Éruptions volcaniques, orages, transports de poussières par les vents, ...
Sources Technologiques	<ul style="list-style-type: none"> - Installation de combustion : chaudières industrielles, foyers domestiques, centrales thermiques, ... - Circulation automobile. - Procèdes industriels : cimenterie, verreries, raffineries, usines chimiques, sidérurgies, ...

IV.11.3. Les polluants atmosphériques particulaires

a) Les aérosols

Les aérosols sont des suspensions dans l'air gazeux, de particules solides ou liquides, de dimensions micrométriques.

Les aérosols se forment par :

- Condensation de noyaux moléculaires,
- Réaction de composés gazeux (oxydes d'azote, hydrocarbures) en présence d'anhydride sulfureux ou sous l'influence de rayons ultraviolets,
- Dispersion de particules solides dans l'air.

Ils ont pour conséquence de diminuer la visibilité (mais cet effet dépend du taux d'humidité).

Il existe des aérosols naturels et d'autres dus à l'activité humaine. De même, ils peuvent être formés à partir d'une source fixe ou mobile.

Les aérosols peuvent être :

✓ Solides telles :

- Les poussières, particules de tailles supérieures à 1µm d'origine extra-terrestre (la terre en reçoit 100 tonnes par jour), naturelle terrestre (volcans), et provenant d'activités humaines industrielles (sidérurgie, métallurgie, fonderie, par exemple) ou domestiques (automobile, incinération des ordures ménagères,);
- Les fumées particules de taille à 1µm qui absorbent et diffusent la lumière en prenant des teintes et intensités variables, selon leur propre nature et l'incidence du rayonnement solaire ;

✓ Liquides, tels :

- Les brouillards, gouttelettes liquides en suspension dans l'air, dont le diamètre est supérieur à 10 µm ;
- Les brumes, gouttelettes liquides en suspension dans l'air, dont le diamètre est inférieur à 10 µm.

La structure d'un aérosol est donnée par la figure III.1. Suivante :

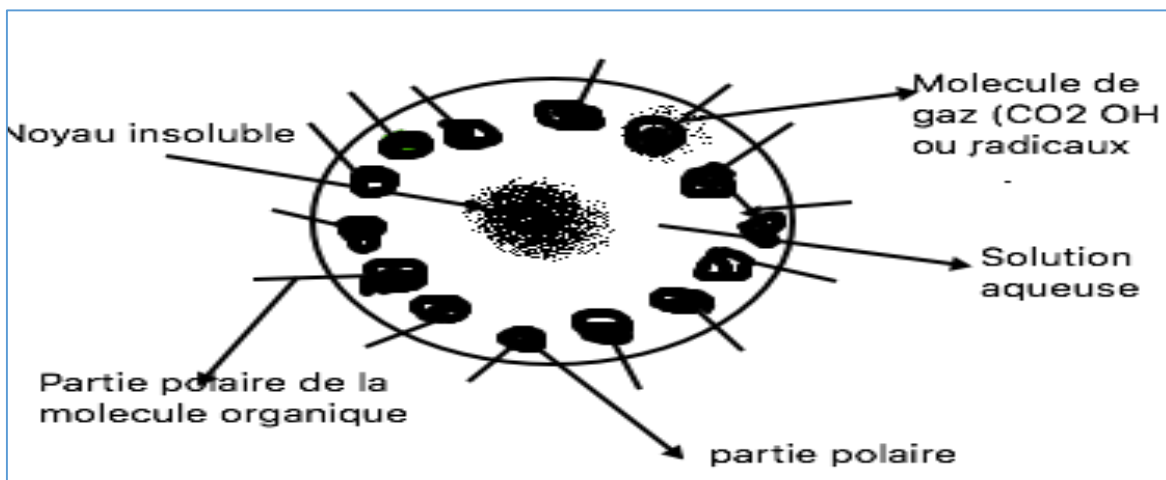


Figure IV.3 : Structure schématique d'une particule d'aérosol atmosphérique âgée. [14]

IV.11.6. Les poussières et fumées noires

Les poussières et fumées noires correspondent aux particules solides en suspensions dans l'air.

Les poussières et fumées noires proviennent :

- Essentiellement d'une mauvaise combustion ou de certains procédés industriels (cimenteries, engrais, par exemple),
- Également, en zone urbaine, de la circulation automobile.

Si elles sont inhalées en concentration élevées, elles peuvent être responsables de deux types de manifestations pathologiques : des manifestations fibrosantes et cancéreuses.

Dans l'environnement, les concentrations de ces polluants sont relativement faibles, mais il peut exister un effet d'entraînement par adsorption d'autres polluants organiques ou minéraux sur les particules en suspension.

IV.12. Les polluants atmosphériques gazeux

IV.12.1. Le dioxyde de soufre SO₂

Le dioxyde de soufre SO₂ est un polluant le plus caractéristique des agglomérations industrialisées.

Les émissions de dioxyde de soufre proviennent :

- ✓ Dans leur grande majorité, de la formation des fuels et des combustibles solides : chauffages individuels ou collectifs, chaufferies industrielles, centrales thermiques. etc. ...
- ✓ Dans une proportion d'environ 10%, des rejets des moteurs diesels source : CITEPA centre interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique.)

En brûlant, le soufre contenu dans les combustibles (dans une proportion de 1 à 5%) est oxydé par l'oxygène de l'air pour former du dioxyde de soufre.

Ce polluant est le principal responsable des affections respiratoires en milieu urbain en hiver. Il augmente la fréquence des crises chez les asthmatiques.

Remarque

Les valeurs limites pour le dioxyde de soufre dépendent étroitement de la concentration des particules en suspension dans l'air.

IV.12.2. Les oxydes d'azote (NO_x)

Les oxydes d'azote NO_x résultent principalement de la réaction de l'oxygène et de l'azote de l'air sous l'effet de la température de combustion. Ils proviennent aussi de la combustion de produits azotés.

Les oxydes d'azote sont produits :

- Pour les trois quarts par la circulation automobile,
- Pour un quart par des sources fixes de combustion

A fortes doses, ils provoquent des lésions respiratoires. A moindres doses, chez les fumeurs, ces polluants sont responsables de maladies respiratoires chroniques.

Les NO_x interviennent dans le processus de formation d'ozone dans la basse atmosphère. Ils contribuent également au phénomène des retombées acides.

IV.12.3. Le monoxyde de carbone (CO).

Le monoxyde de carbone CO peut provoquer la mort en cas d'intoxication aigue.
Le monoxyde de carbone résulte essentiellement de la combustion dans les véhicules à moteur à explosion.

Il représente 4 à 6 % des gaz d'échappement d'un véhicule. [15]

Une intoxication chronique par ce polluant peut être responsable de nombreux troubles tels que des céphalées, des vertiges, des asthénies, ou des troubles sensoriels. De plus il favorise l'accumulation de lipides dans le sang susceptible de provoquer des thromboses des artères coronaires.

IV.12.4. Les dioxydes de carbone (CO₂).

Le dioxyde de carbone CO₂ n'est pas un polluant au sens strict.
Il est émis principalement par les êtres vivants et les combinaisons dues à l'activité humaine.
C'est un gaz à effet de serre, d'où sa prise en compte dans les polluants atmosphériques.

IV.12.5. L'ozone (O₃).

L'ozone est naturellement présent dans l'air.
L'ozone peut atteindre des teneurs toxiques dans les brouillards oxydants et être à l'origine de troubles respiratoires et d'irritations du système rhinopharyngé. De plus, c'est un gaz à effet de serre.

IV.12.6. Les composés organiques volatils (COV).

Les composés organiques volatils (COV) sont fortement impliqués dans les phénomènes perturbateurs des équilibres terrestres. [16] [17]
Les composés organiques volatils sont des molécules organiques, constituées principalement d'atomes de carbones et d'hydrogènes, mais aussi d'atomes d'oxygène, de chlores, d'azotes, de soufres, de phosphores, ou de fluor. Ces molécules présentent des tensions de vapeur élevées. A température ambiante, ces substances sont à l'état de vapeur.

IV.13. L'origine des composés organiques volatils

Les composés organiques volatils sont à la fois d'origines naturelles et humaines.
Les émissions naturelles de COV sont liées à l'activité biologique des sols, des océans, et de la végétation.
Elles comportent :

- Du méthane (composé organique le plus abondant dans l'air),
- Des alcanes (C_nH_{2n+2})
- De l'isoprène
- Des terpènes

Les émissions humaines sont nombreuses. Les plus importantes sont :

- La circulation automobile,
- L'utilisation des solvants,
- L'industrie chimique,
- Les installations de combustion,
- Les activités domestiques et l'agriculture.

Ces émissions sont formées :

- D'hydrocarbures saturés et insaturés, linéaires et cycliques,
- D'aldéhydes, de cétones,
- D'acides et leurs dérivés.

Remarque

Le méthane (CH₄) est principalement rejeté par les sources naturelles ou semi-naturelles (fermentation, élevage, riziculture, par exemple), sa concentration dans l'air ambiant est relativement élevée (1 à 2 ppm, soit 600 à 1200 µg/m³). Comme le méthane n'est pas toxique et qu'il est pratiquement inerte du point de vue photochimique, il n'est généralement pas compté dans les inventaires d'émission.

- Les taux d'émission
A l'échelle mondiale, 95% des émissions totales annuelles de COV seraient d'origine naturelle. Les émissions naturelles totales de COV seraient, dans le monde, de l'ordre de 2 milliards de tonnes par an contre 90 millions de tonnes par an pour les activités humaines. 1 million de tonnes par an, seraient essentiellement dues à la végétation et aux feux de forêts.
- En fait, la composition et la concentration des COV sont très variables dans le temps et dans l'espace. Par exemple, il existe une dominance des émissions liées aux activités humaines dans les zones industrielles et urbaines, avec une concentration supérieure au niveau naturel.

IV.13.1. Les effets des composés organiques volatils

Les COV peuvent avoir des effets directs du fait des substances elles mêmes.

Sur les lieux de travail, où il y a utilisation de composés organiques, des valeurs limites de concentration sont à respecter. Ces dernières sont définies en fonction du pouvoir irritant et cancérigène des produits.

Les effets d'un certain nombre de produits sont assez bien connus selon [18] :

- Les alcanes, alcènes et alcynes sont en général peu toxiques.
- Les hydrocarbures aromatiques et les oléfines irritent les yeux et sont parfois cancérigènes.
- De nombreux hydrocarbures halogénés sont toxiques.
- Les aldéhydes ont de puissants irritants des muqueuses.

En revanche, les effets de synergie entre polluants sont peu connus.

De même, les données sur l'exposition des populations aux substances organiques sont peu nombreuses.

Certains COV peuvent aussi être à l'origine de gênes odorantes.

Des COV ont également des effets indirects du fait de leurs produits de transformation.

Les COV jouent un rôle important dans la chimie de l'atmosphère où, suivant leur activité chimique dans l'air, ils sont plus ou moins rapidement transformés

Les COV participent aussi à l'effet de serre. En effet, certains d'entre eux comme le méthane et les CFC (Chlorofluorocarbones) sont des gaz à effet de serre. Il en est de même pour l'ozone de la basse atmosphère, formé en partie sous l'action des COV.

IV.13.2. La mesure des composés organiques volatils

La mesure des COV à l'émission des installations se fait principalement par :

- Un détecteur à ionisation de flamme, une combinaison absorption et détection par ionisation de flamme.
- La chromatographie en phase gazeuse et la spectrométrie de masse (voir cours chromatographie et spectrométrie).

IV.14. Les autres polluants atmosphériques

Il existe d'autres polluants atmosphériques :

- Des métaux tels que le plomb, ...
- Des polluants inorganiques tels que le sulfure d'hydrogène, l'ammoniac, le chlore, l'acide fluorhydrique,

- Des polluants organiques tels que les aldéhydes et cétones les alcools, les hydrocarbures chlorés, fluorés, les mercaptans, les sulfures. etc. ...

Parmi les autres polluants de l'air, on peut retenir :

❖ Le Plomb :

Le plomb (Pb) provient principalement de la circulation automobile.

On trouve le plomb dans l'essence car il entre dans la composition d'un additif (plomb tétra éthyle anti détonant). Il provient aussi dans la combustion du charbon et du grillage de minerais.

La toxicité de ce métal est bien connue. Les enfants sont particulièrement exposés du fait de leur système en plein développement. De plus leur taille les place à la hauteur des pots d'échappement. Le plomb perturbe la synthèse de l'hémoglobine et peut être responsable d'anémie.

❖ L'acide chlorhydrique :

L'acide chlorhydrique (HCl) est le résultat de l'incinération des déchets ménagers contenant du PVC.

❖ Le fluor :

Le fluor (F) provient essentiellement de l'industrie de l'aluminium. Mais il peut aussi être émis durant la fabrication des engrais, du verre et lors de la combustion du charbon

❖ Le sulfure d'hydrogène :

Le sulfure d'hydrogène (H₂S) est un gaz très odorant lié à certaines activités industrielles dont la fabrication de la pâte papier et le raffinage du pétrole. il n'est pas toxique.

IV.15. Les phases de transfert et de transformation des polluants chimiques dans l'atmosphère.

Les notions d'émission se définissent aussi lorsqu'un agent polluant est dégagé dans l'atmosphère, on parle d'émission. [19] [20]

a) La diffusion

C'est l'éloignement de proche en proche de particules solides, liquides ou gazeuses, sous l'action de certaines forces, et aboutissement à une répartition ordonnée.

b) La dispersion

C'est l'éloignement désordonné de particules solides, liquides, ou gazeuses, sous l'action de certaines forces et aboutissant à une répartition non uniforme.

La dispersion est favorisée par les mouvements horizontaux et verticaux dans l'atmosphère au voisinage du sol (vents et ascendants).

La transformation de certains polluants primaires en polluants secondaires peut être favorisée par certaines conditions d'humidité, d'ensoleillement ou d'adsorption en phase solide (poussière). Ces transformations seront alors le résultat de réactions complexes d'oxydation, d'hydrolyse, de photo transformation....

Autour du point d'émission d'un polluant, si aucun facteur ne perturbe le déroulement du phénomène, on observe le passage de molécule d'une zone concentrée à une zone qui l'est moins ; ce phénomène concourt à la formation de zones sphériques concentriques, caractérisées par des concentrations décroissantes du polluant.

Le phénomène fait intervenir un coefficient de diffusion qui dépend du polluant qui diffuse et du gaz dans lequel s'opère la diffusion.

Le cas exposé ci-après est un cas théorique :

- À faible altitude, les couches sphériques à partir d'un rayon égal à l'altitude du point d'émission, touchent la terre et se superposent alors au processus de réflexion.
- Le vent n'est jamais complètement nul, et, même à vitesse faible, il perturbe la diffusion par un phénomène de transport.

On aboutit alors à une dispersion (on peut traiter mathématiquement ce phénomène de dispersion si le vent est inférieure à 2m/s, le pouvoir de dispersion des vents est pratiquement nul.

Au cours des phénomènes d'ascendance, de vastes masses d'air sont entraînées verticalement en se refroidissant. Ce phénomène induit alors une sursaturation de vapeur d'eau. Si les masses ascendantes ont entraîné des particules jouant le rôle de noyaux de condensation, la sursaturation sèche et des nuages se forment.

Ce phénomène contribue ainsi au transfert à longue distance des polluants emprisonnés dans les nuages, et convoyés par le vent.

Une fois dans l'atmosphère, les polluants provoquent des pollutions locales et des pollutions à longues distances.

La concentration des polluants dans l'atmosphère varie selon :

- Les conditions d'émission : vitesse et température des gaz au moment du rejet, hauteur de la cheminée
- Les conditions météorologiques

Selon ces dernières, le panache peut évoluer de différentes façons :

- Dans des conditions normales, dans la couche basse de l'atmosphère, la température de l'air décroît avec l'altitude. Dans ce cas, les polluants émis dans le gaz chaud montent d'autant plus haut que l'air qu'ils rencontrent dans leur ascension est froid. L'évolution du panache dans ces conditions est montrée par la figure suivante. On est dans un système dit " instable "

- Le cas d'inversion de température correspond à des conditions particulières où la température à quelques centaines de mètres est supérieure à celle du sol.

Dans cette situation, les polluants s'élèvent jusqu'au niveau de l'inversion de température et là sont bloqué par la couche d'inversion qui agit comme un bouclier thermique. Si a ce moment, le vent est nul, les polluants s'accumulent et leurs concentrations augmentent dans des proportions importantes. Ce phénomène est décrit par la figure suivante. On est dans un système dit " stable "

Remarque :

La liste et les liens pour accéder au sites des organismes de normalisation du monde entier sont visibles dans la rubrique « contact » du site AFNOR (<http://www.afnor.fr/contact.htm>)

Références Bibliographiques

- [1] Brüel & Kjaer, 'Bruit de l'environnement' (2000))
- [2] Techniques de réduction du bruit en entreprise : quelles solutions, comment choisir. INRS, ED 962, Septembre 2006
- [3] Julien MOREL, Caractérisation physique et perceptive du bruit routier urbain pour la définition d'indicateurs de gêne sonore en situation de mono-exposition et de multi-exposition en présence de bruit industriel. Thèse pour le doctorat en Acoustique. Université Claude Bernard-Lyon 1, France, 2012.
- [4] Série Stratégie SOBANE. Vibrations de l'ensemble du corps, gestion des risques professionnels - Bruxelles : SPF Emploi, Travail et Concertation sociale, 2005 - 80 p. (Disponible sur le site <http://www.meta.fgov.be>)
- [5] Série Stratégie SOBANE Vibrations mains-bras : gestion des risques professionnels - Bruxelles : SPF Emploi, Travail et Concertation sociale, 2004 - 70 p. (Disponible sur le site <http://www.meta.fgov.be>)
- [6] BARBIER J.-P. – BAUD J.-P. – GUCEVE G. – PEGUIN G. – POIRIER A. – DIEUDONNE G. – DONATI P.- Main-bras, affections provoquées par les vibrations des machines. - Fiche de Sécurité H2F2201 - Boulogne-Billancourt : OPPBTP, nov. 2002- 12 p
- [7] DUBRE J.-Y.- Quand mains et bras vibrent - Boulogne-Billancourt : OPPBTP, Sauvegarde des Chantiers n° 6/1995 - pp. 23-26
- [8] Bodart, M., De Herde, A. (1999). Guide d'aide à l'utilisation de l'éclairage artificiel en complément à l'éclairage naturel, pour un meilleur confort visuel et de substantielles économies d'énergie. DGTRE Directorate General for Technologies, Research and Energy. Belgique.
- [9] Scartezzini, J.-L. (1991). L'éclairage naturel dans le bâtiment. Proceedings CISBAT'91, 10- 11/10/91, EPFL, Lausanne, 9 pages.
- [10] Paule, B. (2003). Éclairagisme, éléments de base. École polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse.
- [11] Benharkat, S. (2006). Impact de l'éclairage naturel zénithal sur le confort visuel dans les salles de classe. Mémoire de magister. Université de Constantine.
- [12] La Toison, M. (1979). Confort visuel et psychologie expérimentale. in Lux, la revue de l'éclairage. Octobre 1979 n°104, p259.
- [13] « Dun et Bradstreet (D&B) Canada, société financière d'évaluation du risque ». <[Http://www.dnb.ca/FR/default.htm](http://www.dnb.ca/FR/default.htm)>.
- [14] Zetzsch, C. « *Simulation expérimentale de l'influence des aérosols sur la chimie atmosphérique* » *Pollution atmosphérique, Paris, 1991.*)
- [15] Ramada, F. élément d'écologie- Écologie appliquée Edi science international, Paris, 1989)
- [16] CITEPA : « centre interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique.)
- [17] Luchetta, L. et Torres, L. Emission des principaux composés organiques volatils biogéniques en France. Pollution atmosphérique. 2000, n°167, pp.387-412.

[18] CSHPF. Avis relatif à l'information des utilisateurs sur les émissions de composés organiques volatils par les produits de construction. Mars 2002, 4 p.

[19] Massman, W. J. 1998. A review of the molecular diffusivities of H₂O, CO₂, CH₄, CO, O-3, SO₂, NH₃, N₂O, NO, AND NO₂ in air, O-2 AND N-2 near STP. Atmospheric Environment, 32:1111-1127.

[20] Organisation mondiale de la sante, Choix de méthodes pour la mesure des polluants de l'air, 1976, WHO Offset Publication N0 24

Quelques cites et liens consultés :

Nuisances sonores aux postes de travail.

https://www.sapp1.suva.ch/sap/public/bc/its/mimes/zwaswo/99/pdf/66058_f.pdf

http://pagespersorange.fr/fabrice.sincere/cm_acoustique/cours%20acoustique/cours%20acoustique%20Ondes%20elastiques.pdf

http://www.bruit.fr/docs/A1_decibel_bruit.pdf

http://www.grenoble.archi.fr/enseignement/cours/atienza/RA02-champ_libre.pdf

<http://www.bruit.fr/FR/info/Ecrans%20acoustiques/0207>

http://www.infobruit.com/articles/ecrans_acoustiques.pdf

http://docinsa2.insa-lyon.fr/these/2007/le_nost/these.pdf

http://www.cnebm.jussieu.fr/enseignement/biophysiqueneurosensorielle/cours_acoustique/index.htm

http://www.headacoustics.de/downloads/fr/Application_Notes/ArtemiS/Analyses_Psychoacoustiques_I_04_09f.pdf

de/downloads/fr/Application_Notes/ArtemiS/Analyses_Psychoacoustiques_I_04_09f.pdf
Bruit en milieu de travail - Notions de base :

Bruit en milieu de travail - Notions de base :

http://www.cchst.ca/oshanswers/phys_agents/noise_basic.html

Lexique : http://www.inrp.fr/Access/JIPSP/phymus/m_lexiq/lexbc1.htm

Décibel : <http://fr.wikipedia.org/wiki/D%C3%A9cibel>

Acoustique : Propagation en champ libre :

http://www.grenoble.archi.fr/enseignement/cours/atienza/RA02-champ_libre.pdf

Le décibel et le bruit les unités acoustiques

http://www.bruit.fr/docs/A1_decibel_bruit.pdf

Éclairage des locaux de travail » TJ13

www.inrs.fr

« Éclairage artificiel au poste de travail » ED85

www.inrs.fr

<http://www.syndicat-eclairage.com/>

« Éclairage ergonomique- Évaluation et solutions »

http://www.cchst.ca/oshanswers/ergonomics/lighting_survey.html

[Évaluation du risque éclairage - Document Ancey Santé au Travail \(Pdf - 289 Ko\)](#)

[L'évaluation des risques professionnels. Aide à l'élaboration du Document Unique \(DU\) - Source AST74 - Edition 2014 \(Pdf - 806 Ko\)](#)

Faure, D. Éclairage artificiel. Article publié dans « Envirobat » [en ligne], URL :

http://www.enviroboite.net/spip.php?page=document&id_document=77

Cours de Grégoire Chelkoff. (2009). [En ligne], URL :

www.grenoble.archi.fr/cours-enligne/chelkoff/L3C2-01-intro.pdf, université de Grenoble.

<http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/%C3%A9blouissement/27252>,

Les ambiances thermiques

Institut Universitaire de Médecine du Travail, Rennes, 10 juin 1999.

Stratégie d'évaluation et de prévention / amélioration des risques liés aux ambiances thermiques de travail

Professeur J.Malchaire, Université Catholique de Louvain, 1999

Documentation INRS : Prévention des risques professionnels « Les ambiances thermiques »

Cours « Ambiance thermique »

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

B.Metz, Laboratoire de Physiologie appliquée, Faculté de Médecine, Université Louis Pasteur, STRASBOURG. Cours « Ambiance thermique »

J-P.Libert, Directeur URAPC, Faculté de médecine, Université de Picardie Jules Verne, 2000 - 2001

Site Internet sur le secourisme : www.distrimed.com

Agence Nationale pour l'Amélioration des Conditions de Travail : www.anact.fr

Site répertoriant toute la législation : www.legifrance.fr

Institut Nationale de la Recherche Scientifique : www.inrs.fr

Exposé 1

Mesure du bruit sur les lieux de travail (IMSI)

Pourquoi mesurer le bruit sur les lieux de travail ?

La mesure des niveaux sonores et des bruits auxquels les travailleurs sont exposés est la partie la plus importante d'un programme de préservation de l'ouïe et de lutte contre le bruit. La mesure du bruit permet de découvrir quels sont les postes de travail où le bruit est excessif, qui sont les employés exposés et quelles sont les autres mesures de bruit qui doivent être prises.

Qu'est-ce qu'une enquête sur le bruit ?

L'enquête sur le bruit consiste à prendre des mesures de niveaux sonores dans toutes les parties d'une entreprise ou d'un secteur de travail à la recherche des sources de bruit et de renseignements utiles qui permettront de cerner :

- Les zones où les travailleurs risquent d'être exposés à des niveaux de bruit nuisibles et où il convient de mesurer les doses d'exposition personnelle
- Les machines et équipements qui produisent des niveaux sonores nuisibles
- L'exposition à des niveaux sonores inacceptables
- Les mesures de lutte contre le bruit capable de réduire l'exposition des travailleurs

L'enquête se fait ordinairement à l'aide d'un sonomètre et d'une carte permettant d'indiquer avec une exactitude raisonnable les endroits où les travailleurs sont exposés à des sources de bruit ainsi que la nature de ces bruits. Les mesures prises en divers points de la zone bruyante s'écrivent sur la carte. Plus les points de mesure sont nombreux, plus les résultats de l'enquête seront exacts. Une carte sonore pourra alors être dessinée. Les cartes de relevé du bruit, et donnent de l'information très utile en indiquant clairement quelles sont les zones où le bruit présente un danger.

Plan de l'exposé

1. Introduction
2. Établir les mesures de bruits au niveau de la salle de mécanique de l'institut avec un sonomètre
3. En mettant en marche les divers machines (tour, fraiseuse, scieuse. etc....)
4. Établir la carte de bruit (en faisant abstraction au seuil demandé par la législation > à 90db (A))
5. Conclusion
6. Bibliographie

Exposé 2

Projet d'éclairage d'une salle de classe à l'institut « IMSI »

Plan de l'exposé

1 Problématique

La norme recommande des niveaux d'éclairage minimum à garantir afin d'offrir un confort visuel en accord avec le travail à effectuer. Nous allons étudier l'éclairage d'une salle de classe afin d'être conforme à ces recommandations. Pour mener à bien ce projet, nous utiliserons les documents ressource suivants : • « comment choisir un luminaire » • « l'étude d'éclairage simplifiée »

2. Étude

- a) Caractéristiques de la salle.
- b) Mesurez sur le plan de la salle
- c) La longueur et la largeur sur le plan (faire le plan).

3. Nature de l'activité

Relevez les niveaux d'éclairage E recommandés pour une salle d'enseignement spécialisé.
(L'activité dans cette salle est l'enseignement, la hauteur hpt des tables sur lesquelles vous travaillez est de 80 cm.)

4. Calcule de l'indice de la salle

La hauteur utile h_u entre le plan de travail et le plafond en appliquant la formule suivante (les luminaires sont fixés directement au plafond donc :

$$h' = 0, \quad h_{pt} \text{ est la hauteur des plans de travail donnée.})$$
$$h_u = H - h - h_{pt}$$

5. Flux lumineux total à installer.

Calculez le flux lumineux total à installer F pour obtenir un niveau d'éclairage E de 500 lux.

6. Nombre de luminaires à installer.

Calculez le nombre de luminaire à installer (n est le nombre de lampes dans un luminaire).

7. Confirmation de l'éclairage moyen.

Vérifiez si l'éclairage moyen en service est conforme à la demande en prenant en compte le nombre de luminaires réellement installés.

8. plan de la salle de cours

(Pour simplifier l'étude, nous prendrons en compte le rectangle de la salle de cours avec deux entrée pour calculer les dimensions de la salle)

Voir site : <http://www.meleec.org/>

Exposé 3

POLLUTION ATMOSPHERIQUE METHODOLOGIE D'ETUDE EN VUE DE L'INSTALLATION D'UN RESEAU DE MESURE « ETUDE D'UN CAS »

I. OBJECTIF DE L'ETUDE

L'intérêt d'une telle consiste à mettre en œuvre une méthodologie d'approche à un problème de pollution atmosphérique qui passe par l'étude préliminaire. La mise en place du réseau de surveillance et enfin le traitement et analyse des données pour aboutir à :

- ✓ Une évaluation des niveaux de pollutions atteints.
- ✓ L'impact de cette pollution sur la matière vivante.
- ✓ Prévoir les phases de pollutions aigus, ...
- ✓ Disposer des éléments indispensables à l'orientation des actions de préventions à mettre en œuvre.

II. ORGANISATION DE L'ETUDE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

L'organisation de l'étude de la pollution de l'air doit être réalisé suivant des descriptions scientifiques auxquels contribuent :

Le secteur industriel pour préciser les caractéristiques des sources, et les secteurs sanitaires, agricoles, météorologiques, pour établir le degré d'extension des mécanismes et des effets de la pollution à l'extérieur des centres générateurs de pollutions et dans les zones très peuplées, ainsi que pour évaluer les effets nocifs provoqués par la pollution.

L'étude de la pollution atmosphérique passe par les différentes phases qui seront développés ci-dessous :

III. ENQUETE PRELIMINAIRE

L'enquête préliminaire sera composée de 02 phases :

- L'enquête IN-SITU (en Usine)
- L'enquête hors usine

A. Enquête IN-SITU

L'objectif de cette enquête vise à collecter les informations suivantes :

(Se référer au questionnaire que vous établissez lors de votre stage pratique)

- Description de la source de pollution.
- Description du process.
- Paramètres physiques caractérisant cette source.
- Informations relatives aux installations anti-pollution.

B. Enquête hors usine

Cette enquête consiste à collecter les informations relatives à l'urbanisation à la climatologie de la région. Elle se fera en 2 phases :

IV. MISE-EN ŒUVRE D'UN RESEAU DE SURVEILLANCE

L'action combinée des paramètres topographiques et climatiques ayant fait l'objet de l'enquête préliminaire doit aboutir à l'établissement de la zone des pollutions.

Le réseau de mesure sera implanté en fonction de l'influence des rejets conditionnés par le régime des vents. En effet, les régions situées sous les vents dominants balayant les sources pourrait être considéré comme plus exposé et les risques devront être effectués dans ce sens.

Le type de stations mono ou multi-polluants dépend du nombre de polluants mis en évidence lors de l'enquête.

1. Les différents types de stations de mesures :

- Stations automatique équipé d'analyseurs et de capteurs couplées.
- Stations type rustique composé d'une pompe à vide, d'un compteur et d'un port filtre.
- Station semi automatique munie d'une unité programmable.

2. Moyens à mettre en œuvre

- a. Moyens matériels**
- b. Moyens humains**
- c. Documents d'accompagnement**

V. TRAITEMENT DES DONNÉES ET GESTION DU RÉSEAU

Les méthodes d'analyses de traitement de données sont multiples, nous retiendrons en l'occurrence le traitement statistique en effet, l'intérêt d'un tel traitement permet de mieux visualiser les données acquises, on peut aussi :

- Établir un histogramme de pollution, de direction de vents, qui permettent l'établissement des distributions des fréquences de ces paramètres.
- Le tracé des chroniques de pollutions et de certains paramètres météorologiques qui mettent en évidence le lien entre ces différentes données qui constitue une 1ère approche des inter et auto corrélation.

- Faire ressortir des fréquences d'occurrence de valeurs limites de pollutions.
- Établir des indices d'alertes de pollution.
- L'analyse multidimensionnelle pour l'ensemble des mesures (pollutions, données climatiques) permet de mettre en évidence certaines causalités dans l'apparition des phénomènes de pollutions.
- De même l'établissement d'auto et d'inter corrélation destiné à mettre en évidence l'inertie des phénomènes de pollution ainsi que l'étude de dépassement des seuils et l'établissement des phénomènes « persistance importance » devraient être d'un secours utile

La gestion du réseau de surveillance de la pollution atmosphérique doit permettre progressivement :

- De connaître les principales composantes de la pollution (source, zone les plus polluées, effets de la climatologie.)
- De surveiller en continu la qualité de l'air sur chaque site de façon à réduire rapidement certaines sources de pollutions tout en prenant compte des contraintes techniques et économiques de productions.
- De maîtriser une situation de crise (accidents majeurs) grâce à des études de simulations de risques qui auront pu être faites avec les résultats de données du réseau et des mesures météorologiques.
- La mesure des émissions de polluants est une composante fondamentale des stations de préventions des pollutions industrielles. Elle permet en effet le dimensionnement des installations des traitements des effluents.

NB ! Cette étude ne pourra se réaliser que si une convention conjointement industrie /université doit être signée.

ANNEXE 1

Normes de qualité de l'air conformément aux Directives 2008/50/CE et 2004/107/CE et au Décret n° 2010-1250 du 21 octobre 2010 qui transpose ces Directives.

Les normes (valeurs limites, valeurs cibles, objectifs de qualité sur le long terme) relatives à la qualité de l'air ambiant sont établies en Europe dans deux textes de référence :

- La [Directive 2008/50/CE](#) du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air et un air pur pour l'Europe
- La [Directive 2004/107/CE](#) du 15 décembre 2004 concernant le cadmium, l'arsenic, le mercure, le nickel et les hydrocarbures aromatiques polycycliques

Ces textes ont été transposés par la France par le [décret 2010-1250](#) du 21 octobre 2010 relatif à la qualité de l'air

NB : Les normes inscrites dans le décret en plus des seuils fixés par la directive ou qui, dans le décret, sont plus strictes que dans la directive, sont marquées d'un astérisque.

Polluant	Cible à protéger	Objectif environnemental	Période d'agrégation	Statistique considérée	Valeur de l'objectif
NO ₂	Santé humaine	VL	Une heure	Moyenne horaire	200 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de 18 fois par année civile
		VL	Une année civile	Moyenne annuelle	40 µg/m ³
		OQLT *			
		SIR *	Une heure	Moyenne horaire	200 µg/m ³ *
		SA	Une heure	Moyenne horaire	400 µg/m ³ pendant trois heures consécutives
	200 µg/m ³ en cas de persistance *				
NO _x	Végétation	NC	Une année civile	Moyenne annuelle	30 µg/m ³
PM ₁₀	Santé humaine	VL	Un jour	Moyenne journalière	50 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de 35 fois par année civile
		VL	Un jour	Centile 90,4 des moyennes journalières,	50 µg/m ³
				uniquement applicable dans le cas de mesures	

Polluant	Cible à protéger	Objectif environnemental	Période d'agrégation	Statistique considérée	Valeur de l'objectif
				discontinues (Annexe I de la Directive 2008/50/CE)	
		VL	Une année civile	Moyenne annuelle	40 µg/m ³
		OQLT *	Une année civile	Moyenne annuelle	30 µg/m ³ *
		SIR *	Un jour	Moyenne journalière	50 µg/m ³ selon les modalités définies par arrêté ministériel*
		SA *	Un jour	Moyenne journalière	80 µg/m ³ selon les modalités définies par arrêté ministériel*
PM _{2,5}	Santé humaine	OCRE	Trois années civiles consécutives, en moyenne glissante	Indicateur d'exposition moyenne (IEM), voir l'annexe XIV de la Directive 2008/50/CE	20 µg/m ³
		ONRE	-	Pourcentage de réduction de l'IEM à atteindre en 2020	Fonction de la valeur initiale de l'IEM Pour la France : 15% par rapport à l'IEM ₂₀₀₉₋₂₀₁₀₋₂₀₁₁
		VL	Une année civile	Moyenne annuelle	25 µg/m ³ en 2015 26 µg/m ³ en 2013 et 2014
		VC	Une année civile	Moyenne annuelle	20 µg/m ³ * (25 µg/m ³ , Dir. 2008/50/CE)
		OQLT *	Une année civile	Moyenne annuelle	10 µg/m ³ *
SO ₂	Santé humaine	VL	Une heure	Moyenne horaire	350 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de 24 fois par année civile

Polluant	Cible à protéger	Objectif environnemental	Période d'agrégation	Statistique considérée	Valeur de l'objectif
			Un jour	Moyenne journalière	125 µg/m ³ , à ne pas dépasser plus de 3 fois par année civile
		OQLT	Une année civile	Moyenne annuelle	50 µg/m ³ *
		SIR	Une heure	Moyenne horaire	300 µg/m ³ *
		SA	Une heure	Moyenne horaire	500 µg/m ³ pendant trois heures consécutives
	Végétation	NC	Une année civile *	Moyenne annuelle	20 µg/m ³
			Hiver (du 1 ^{er} octobre de l'année x-1 au 31 mars de l'année x)	Moyenne hivernale	20 µg/m ³
O ₃	Santé humaine	VC	Huit heures en moyenne glissante	Maximum journalier de la moyenne glissante sur huit heures	120 µg/m ³ , à ne pas dépasser, en moyenne sur 3 ans ^a , plus de 25 fois par année civile
		OLT	Huit heures en moyenne glissante	Maximum journalier de la moyenne glissante sur huit heures	120 µg/m ³
		SIR	Une heure	Moyenne horaire	180 µg/m ³
		SA	Une heure	Moyenne horaire	240 µg/m ³
		SA pour la mise en œuvre progressive de mesures d'urgence *	Une heure	Moyenne horaire	1) 240 µg/m ³ pendant trois heures consécutives*
	2) 300 µg/m ³ pendant trois heures consécutives*				
			3) 360 µg/m ³ pendant une heure *		

Polluant	Cible à protéger	Objectif environnemental	Période d'agrégation	Statistique considérée	Valeur de l'objectif
	Végétation	VC	Du 1er mai au 31 juillet, entre 8h et 20h CET	AOT40 (annexe VII de la Directive 2008/50/CE), en moyenne sur 5 ans ^b	18000 µg/m ³ ·h
		OLT	Du 1er mai au 31 juillet, entre 8h et 20h CET	AOT40 (annexe VII de la Directive 2008/50/CE)	6000 µg/m ³ ·h
CO	Santé humaine	VL	Huit heures en moyenne glissante	Maximum journalier de la moyenne glissante sur huit heures	10 mg/m ³
C ₆ H ₆	Santé humaine	VL	Une année civile	Moyenne annuelle	5 µg/m ³
		OQLT *	Une année civile	Moyenne annuelle	2 µg/m ³ *
Pb	Santé humaine	VL	Une année civile	Moyenne annuelle	0,5 µg/m ³
		OQLT *	Une année civile	Moyenne annuelle	0,25 µg/m ³ *
Cd	Santé humaine	VC	Une année civile	Moyenne annuelle	5 ng/m ³
As	Santé humaine	VC	Une année civile	Moyenne annuelle	6 ng/m ³
Ni	Santé humaine	VC	Une année civile	Moyenne annuelle	20 ng/m ³
B(a)P	Santé humaine	VC	Une année civile	Moyenne annuelle	1 ng/m ³

a : sur trois ans ou, à défaut d'une série complète et continue de données annuelles sur cette période, calculée sur des données valides relevées pendant au moins un an

b : sur cinq ans ou, à défaut d'une série complète et continue de données annuelles sur cette période, calculée sur des données valides relevées pendant au moins trois ans

Annexe 2 :

Loi n°83-03 du 5 février 1983 relative à la protection de l'environnement.

PROTECTION CONTRE LES NUISANCES

Article 119 : Les immeubles, les établissements industriels, artisanaux ou agricoles et autres édifices, les animaux, les véhicules et autres objets mobiliers possédés, exploités ou détenus par toute personne physique ou morale sont construits, exploités ou utilisés de manière à satisfaire aux dispositions prises en application de la présente loi afin d'éviter l'émission de bruits susceptibles de causer un gêne excessif de nature à incommoder la population ou à nuire à sa santé.

Article 120 : Lorsque les émissions de bruits sont susceptibles de constituer un gêne excessif pour la population ou de nuire à sa santé, les personnes visées à l'article 119 doivent mettre en œuvre toutes les dispositions utiles pour les supprimer.

Article 121 : Les prescriptions visées aux articles 119 et 120 font l'objet de décrets qui déterminent notamment:

1. les cas et conditions dans lesquels doit être interdite ou réglementée l'émission des bruits;
2. les délais dans lesquels il doit être satisfait à ces dispositions pour les immeubles, établissements, autres édifices, animaux, véhicules et autres objets mobiliers existants à la date de publication de chaque décret;
3. les cas et conditions dans lesquels le ministre chargé de l'environnement doit, avant l'intervention de la décision judiciaire, prendre, en raison de l'urgence, toutes les mesures exécutoires destinées d'office à faire cesser le trouble.

Décret exécutif n° 93-184 du 27 juillet 1993 réglementant l'émission des bruits.

Article 1er. - Le présent décret a pour objet de réglementer l'émission des bruits et ce en application de l'article 121 de la loi n°83-03 du 5 février 1983, susvisée.

Art. 2. - Les niveaux sonores maximums admis dans les zones d'habitation et dans les voies et lieux publics ou privés sont de 70 décibels (70 DB) en période diurne (6 heures à 22 heures) et de 45 décibels (45 DB) en période nocturne (22 heures à 6 heures).

Art. 3. - Les niveaux sonores maximums admis au voisinage immédiat des établissements hospitaliers ou d'enseignement et dans les aires de repos et de détente ainsi que dans leur enceinte sont de 45 décibels (DB) en période diurne (6 heures à 22 heures) et de 40 décibels (DB) en période nocturne (22 h à 6 h).

Ar. 4. - Sont considérés comme une atteinte à la quiétude du voisinage, une gêne excessive, une nuisance à la santé et une compromission de la tranquillité de la population toutes les émissions sonores supérieures aux valeurs limites indiquées aux articles 2 et 3 ci-dessus. '

Art. 5. - Les méthodes de caractérisation et de mesurage des bruits sont effectuées conformément aux normes algériennes en vigueur.

Art. 6. - Toute personne physique ou morale exploitant des activités exigeant l'emploi de moteurs, d'outils, de machines, d'équipements ou d'appareils générateurs de bruits de niveaux supérieurs aux valeurs limites telles que définies par le présent décret est tenue de mettre en place des dispositifs

d'insonorisation ou des aménagements appropriés de nature à éviter d'incommoder la population ou de nuire à sa santé.

Art. 7. - Les infrastructures sont construites, réalisées et exploitées en tenant compte des bruits aériens émis par leurs activités.

Art. 8. - Les constructions à usage d'habitation ou à usage professionnel sont conçues et réalisées en tenant compte de la qualité acoustique des murs et planchers.

Un arrêté conjoint du ministre chargé de l'habitat et du ministre chargé de l'environnement définit les modalités d'application du présent article.

Art. 9. - Les engins de chantier dotés de moteurs à explosion ou à combustion interne, les brises béton, les marteaux piqueur, les groupes électrogènes de puissance, les groupes moto-compresseurs, les compresseurs et les surpresseurs doivent être munis d'un dispositif d'insonorisation ou d'atténuation de bruit lorsqu'ils sont utilisés à moins de 50 m des locaux à usage d'habitation ou des lieux de travail.

Un arrêté conjoint du ministre chargé de la normalisation et du ministre chargé de l'environnement précisera les limites des niveaux sonores émis par chaque type de matériel et d'équipement.

Art. 10. - Sont interdites les réparations et mises au point des véhicules à moteurs et motocyclettes sur tous les lieux publics ou privés lorsqu'elles sont de nature à gêner ou à nuire à la santé du voisinage.

Art. 11. - Est interdit tout bruit d'animal susceptible de troubler la tranquillité du voisinage lorsqu'il est causé entre 22 h et 06 h 00. Les propriétaires et possesseurs d'animaux sont responsables du bruit que ces animaux peuvent causer.

Art. 12. - Les dispositions prévues aux articles 6, 7, 8, 9 et 10 ci-dessus doivent être satisfaites au plus tard, deux années à compter de la date de publication du présent décret au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

Art. 13. - Toutes infractions au présent décret sont sanctionnées conformément aux dispositions de l'article 129 de la loi n°83-03 du 5 février 1983 susvisée.

Art. 14. - Le présent décret sera publié au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

Loi n° 03-10 du 19 correspondant au 19 juillet 2003 relative à la protection de l'environnement dans le cadre du développement durable.

Des prescriptions de protection contre les nuisances acoustiques

Article 72 — Les prescriptions de protection contre les nuisances acoustiques ont pour objet, de prévenir, supprimer ou limiter l'émission ou la propagation des bruits ou des vibrations de nature à présenter des dangers nuisibles à la santé des personnes, à leur causer un trouble excessif ou à porter atteinte à l'environnement.

Article 73 — Sans préjudice des dispositions législatives en vigueur, les activités bruyantes exercées dans les entreprises, les établissements, les centres d'activités ou les installations publiques ou privées établis à titre permanent ou temporaire et ne figurant pas dans la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement, ainsi que les activités bruyantes sportives et de plein air susceptibles de causer des nuisances sonores, sont soumises à des prescriptions générales.

Article 74 — Lorsque les activités visées à l'article 73 ci-dessus sont susceptibles, par le bruit qu'elles provoquent, de présenter les dangers ou causer les troubles mentionnés à l'article 72 ci-dessus, elles sont soumises à autorisation.

La délivrance de cette autorisation est soumise à la réalisation de l'étude d'impact et de la consultation du public conformément aux conditions déterminées.

Sont fixées par voie réglementaire la liste des activités soumises à autorisation, les modalités de délivrance de l'autorisation, les prescriptions générales de protection, les prescriptions imposées à ces activités, les mesures de prévention, d'aménagement et d'isolation phonique, les conditions d'éloignement de ces activités des habitations ainsi que les méthodes selon lesquelles sont effectués les contrôles.

Article 75 — Les dispositions de l'article 74 ci-dessus ne sont pas applicables aux activités et installations relevant de la défense nationale, des services publics de protection civile et de lutte contre l'incendie, ainsi qu'aux aménagements et infrastructures de transports terrestres soumis aux dispositions de textes législatifs spécifiques.

Arrêté du 5 Safar 1425 correspondant au 27 mars 2004 portant approbation du document technique réglementaire DTR C 3.1.1 intitulé “isolation acoustique des parois aux bruits aériens règles de calcul”

Article 1er. — Est approuvé le document technique réglementaire DTR C 3.1.1 intitulé “isolation acoustique des parois aux bruits aériens – règles de calcul” annexé à l'original du présent arrêté.

Art. 2. — Les dispositions du document technique réglementaire, visé à l'article 1er ci-dessus, sont applicables à toute nouvelle étude, trois (3) mois après la date de publication du présent arrêté au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

Art. 3. — Les maîtres d'ouvrage, les maîtres d'œuvre, les entreprises de réalisation, les organismes de contrôle et d'expertise sont tenus de respecter les dispositions du document technique réglementaire suscitée.

Art. 4. — Le centre national d'études et de recherches intégrées du bâtiment (CNERIB) est chargé de l'édition et de la diffusion du document technique réglementaire, objet du présent arrêté.

Art. 5. — Le présent arrêté sera publié au Journal officiel de la République algérienne démocratique et populaire.

AFFECTIONS PROFESSIONNELLES PROVOQUES PAR LES BRUITS

TABLEAU N°42

DESIGNATION DES MALADIES	DELAIS DE PRISE EN CHARGE	LISTE LIMITATIVE DES TRAVAUX SUSCEPTIBLES DE PROVOQUER CES MALADIES
<p>Déficit audiométrique, bilatéral, par lésion cochléaire, irréversible et ne s'aggravant plus après cessation de l'exposition au risque.</p> <p>Ce déficit sera confirmé par une nouvelle audiométrie effectuée de trois semaines à un an après cessation de l'exposition aux bruits lésionnels.</p> <p>Cette audiométrie doit faire apparaître au minimum sur la meilleure oreille un déficit moyen de 35 décibels calculé en divisant par 10 la somme des déficits mesurés sur les fréquences 500, 1000, 2000 et 4000 hertz, pondérés respectivement par les coefficients 2, 4, 3 et 1.</p>	<p>1 an</p> <p>(sous réserve d'une durée d'exposition au risque de 1 an, réduite à 30 jours en ce qui concerne la mise au point des propulseurs, réacteurs et moteurs à pistons)</p>	<p>Travaux exposant aux bruits provoqués par :</p> <ul style="list-style-type: none"> - les travaux sur métaux par percussion, abrasion, ou projection, tels que : <ul style="list-style-type: none"> * Le décolletage, l'emboutissage, l'estampage, le broyage, le fraisage, le martelage, le burinage, le rivetage, le laminage, l'étirage, le tréfilage, le découpage, le sciage, le cisailage, le tronçonnage. * L'ébarbage, le meulage, le polissage, le gougeage par procédé arc-air, la métallisation, - le câblage, le toronnage et le bobinage de fils d'acier, - l'utilisation de marteaux et perforateurs pneumatiques, - la manutention mécanisée de récipients métalliques, - les travaux de verrerie à proximité de fours, machines de fabrication, broyeurs et concasseurs, l'embouteillage, - le tissage sur métiers à navette battante, - la mise au point, les essais et l'utilisation des propulseurs, réacteurs, moteurs thermiques ou électriques, groupes électrogènes, groupes hydrauliques, installations de compression ou de détente fonctionnement à des pressions différentes de la pression atmosphérique, - l'emploi ou la destruction de munitions ou d'explosifs, - l'utilisation de pistolets de scellement, - le broyage, le concassage, le criblage, le sciage et l'usinage de pierres et de produits minéraux, - les procédés industriels de séchage de matière organique par ventilation, - l'abattage et le tronçonnage des arbres, - l'emploi des machines à bois en atelier, - l'utilisation d'engins de chantier : bouteurs, décapeurs, chargeuses, moutons, chariots de manutention tous terrains, pelles mécaniques, - le broyage, l'injection et l'usinage des matières plastiques et du caoutchouc, - le travail sur les rotatives dans l'industrie graphique, - la fabrication et le conditionnement mécanisé du papier et du carton, - l'emploi de matériel vibrant pour l'élaboration de produits en béton, - les essais et la réparation en milieu industriel des appareils de sonorisation, - les travaux effectués sur les pistes d'aéroports.

Le déficit moyen sur la meilleure oreille doit être supérieur ou égal à 35 dB.

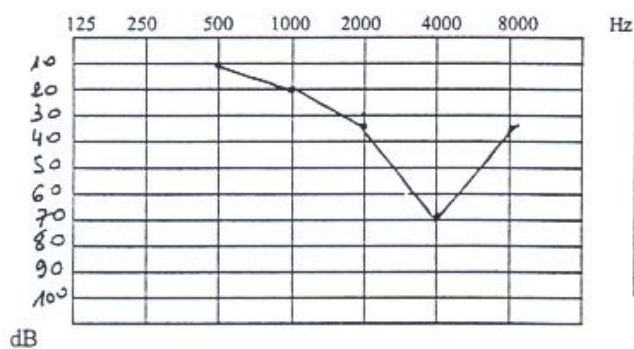
$$D_m = \frac{(2 \times d_{500}) + (4 \times d_{1000}) + (3 \times d_{2000}) + (1 \times d_{4000})}{10} \geq 35 \text{ dB}$$

10

$$D_m = \frac{(d_{500}) + (d_{1000}) + (d_{2000}) + (d_{4000})}{4} \geq 35 \text{ dB}$$

4

Ce déficit doit être confirmé par une audiométrie tonale (CA, CO) et vocale réalisée trois semaines à un an après la cessation de l'exposition aux bruits lésionnels.

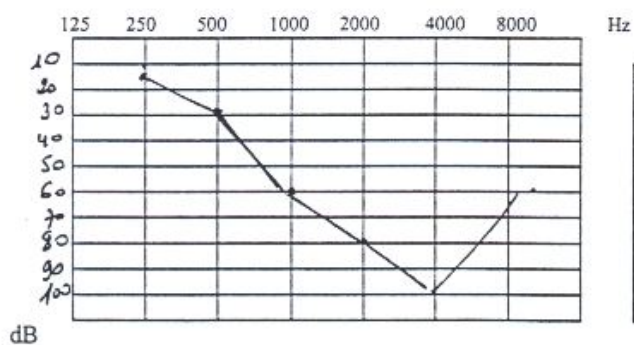


1er Cas :

- Calcul du déficit selon la formule réglementaire :

$$\frac{(2 \times 10) + (4 \times 20) + (3 \times 35) + (1 \times 70)}{10} = 27,5$$

Dans ce cas la S.P. ne sera pas reconnue comme MP.



2ème Cas :

- Calcul du déficit selon la formule réglementaire :

$$\frac{(2 \times 30) + (4 \times 60) + (3 \times 80) + (1 \times 100)}{10} = 58$$

dans ce cas la S.P. sera reconnue comme MP

Aucune évolution de la surdité ne peut être prise en compte après la fin de l'exposition au bruit, il n'y a en effet pas d'aggravation reconnue de celle-ci après arrêt de cette exposition.