

**Roger Cadiergues**

# **LA QUALITÉ DES AMBIANCES**



**(Guide RefCad : nR14.a)**



La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective», et d'autre part que les analyses et courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration «toute reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite».

## TABLE DES MATIÈRES DU GUIDE

Contenu	page
<b>1. L'éclairage et le rayonnement</b>	3
1.1. Le classement des rayonnements	3
1.2. Les rayonnements visibles	3
1.3. L'efficacité visuelle	4
1.4. Les caractéristiques de la vision	4
1.4. Les grandeurs lumineuses	5
1.5. Les rayonnements naturels	5
<b>2. L'air et sa qualité</b>	6
2.1. La composition de l'air	6
2.2. Le modèle de base	6
2.3. La pression atmosphérique	7
2.4. L'humidité	7
2.5. Les contaminants	7
<b>3. L'humidité</b>	8
3.1. L'importance de l'humidité	8
3.2. L'influence indirecte de l'humidité	8

Contenu	page
3.3. Les dégagements types d'humidité	8
3.4. Les condensations : première règle	9
3.5. Les condensations : deuxième règle	10
3.6. Les moisissures	10
	11
<b>4. La qualité thermique des ambiances</b>	11
4.1. Le bilan thermique du corps humain	11
4.2. Le métabolisme	12
4.3. Les échanges thermiques humains	13
4.4. Le confort thermique	13
4.5. L'inconfort thermique	15
<b>5. Les bruits (la qualité acoustique)</b>	15
5.1. Les niveaux acoustiques	15
5.2. Le rôle des fréquences	17
5.3. Les décibels A	17

### LE CADRE DE CE GUIDE

*Ce guide a pour unique objet de fournir les références de base, en particulier celles relatives aux grandeurs et unités de base. Ce guide doit être complété par les guides spécialisés suivants :*

- **nR35** pour l'**éclairage**,
- **nR14** pour la **qualité de l'air**,
- **nR81** pour l'**humidité**,
- **nR91** pour la **qualité thermique** des ambiances
- **nR92** pour la **qualité acoustique**.

## Chapitre 1

# 1. L'ÉCLAIRAGE ET LE RAYONNEMENT

## 1.1. LE CLASSEMENT DES RAYONNEMENTS

### CLASSONS D'ABORD LES RAYONNEMENTS

Chaque **rayonnement** peut être caractérisé par sa **longueur d'onde**, la *longueur d'onde* étant mesurée en **micron**, ou micromètre [ $\mu\text{m}$ ] (parfois en nanomètre). Les rayonnements nous concernant ici sont classés schématiquement comme suit :

catégorie de rayonnement	longueurs d'onde
rayonnements ultraviolets (UV)	0,1 à 0,38 [ $\mu\text{m}$ ]
rayonnements visibles	0,38 à 0,78 [ $\mu\text{m}$ ]
rayonnements infra-rouges (IR)	> 0,78 [ $\mu\text{m}$ ]

1. Le **rayonnement ultraviolet**, qui peut être utilisé pour la stérilisation de l'air, n'est pas pris en compte en éclairage, sauf pour ses effets négatifs.

2. Le **rayonnement visible**, qui joue le rôle central en éclairage, possède des efficacités lumineuses variables selon la longueur d'onde (voir ci-dessous).

3. Le **rayonnement infra-rouge**, qui joue un rôle important dans les échanges thermiques et la qualification des ambiances, n'est pas - non plus - pris en compte en éclairage.

## 1.2. LES RAYONNEMENTS VISIBLES

### LES GRANDEURS LUMINEUSES

En éclairage on utilise les grandeurs dites lumineuses qui tiennent compte de l'influence des longueurs d'onde du rayonnement sur la vision. On distingue traditionnellement deux domaines :

- . le domaine **photopique**, correspondant aux niveaux d'éclairage usuels,
- . et le domaine **scotopique** correspondant aux niveaux d'éclairage très faibles.

**Tout ce qui suit se limite au domaine photopique.**

### GRANDEURS ÉNERGÉTIQUES ET GRANDEURS LUMINEUSES

Pour tenir compte de la variation de l'action visuelle du rayonnement l'éclairage n'utilise qu'accessoirement les grandeurs énergétiques (watt et cetera), et utilise plutôt les **grandeurs lumineuses**. L'action visuelle de chaque rayonnement variant selon sa longueur d'onde, les **grandeurs lumineuses** sont définies en prenant appui sur la courbe, ou plutôt sur la fonction traduisant l'**efficacité visuelle** des rayonnements en fonction de leur longueur d'onde.

### L'EFFICACITÉ VISUELLE

A chaque longueur d'onde visuelle  $\lambda$ , comprise entre 0,38 et 0,78  $\mu\text{m}$ , l'**efficacité visuelle**  $V(\lambda)$  est fournie - dans ce guide :

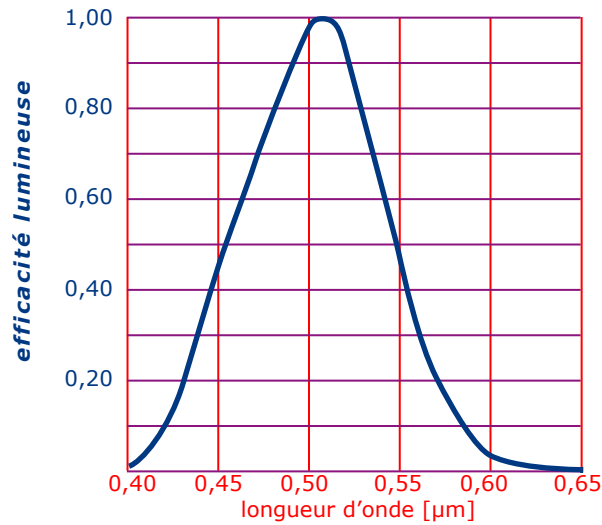
- . soit sous forme graphique,
- . soit sous forme de table.

Vous trouverez ces deux présentations à la page suivante. En fait il ne s'agit que de données de base, données ici à titre d'information. En effet l'efficacité visuelle définie ci-dessus n'est pas utilisée telle qu'elle en éclairage, les conversions éventuelles entre grandeurs énergétiques et grandeurs lumineuses étant basées sur le concept d'**efficacité lumineuse**, telle que définie au chapitre 2.

## 1.3. L'EFFICACITÉ VISUELLE

### LA PRÉSENTATION GRAPHIQUE

L'**efficacité visuelle**  $V(\lambda)$  possède, selon la longueur d'onde du rayonnement, les valeurs suivantes.



### LA PRÉSENTATION TABULÉE

Pour chaque longueur d'onde ( $\lambda$ ) concernée (entre 0,38 et 0,78  $\mu\text{m}$ ), l'**efficacité visuelle**  $V(\lambda)$  est donnée aux tables suivantes.

$\lambda$ [ $\mu\text{m}$ ]	$V(\lambda)$	$\lambda$ [ $\mu\text{m}$ ]	$V(\lambda)$	$\lambda$ [ $\mu\text{m}$ ]	$V(\lambda)$	$\lambda$ [ $\mu\text{m}$ ]	$V(\lambda)$
0,380	0,00004	0,480	0,00004	0,580	0,870	0,680	0,017
0,385	0,00006	0,485	0,00006	0,585	0,816	0,685	0,0119
0,390	0,00012	0,490	0,00012	0,590	0,757	0,690	0,0082
0,395	0,00022	0,495	0,00022	0,595	0,695	0,695	0,0057
0,400	0,0004	0,500	0,0004	0,600	0,631	0,700	0,0041
0,405	0,0006	0,505	0,0006	0,605	0,567	0,705	0,0029
0,410	0,0012	0,510	0,0012	0,610	0,503	0,710	0,0021
0,415	0,0022	0,515	0,0022	0,615	0,441	0,715	0,001483
0,420	0,0040	0,520	0,0040	0,620	0,381	0,720	0,00105
0,425	0,0073	0,525	0,0073	0,625	0,321	0,725	0,00074
0,430	0,0116	0,530	0,0116	0,630	0,265	0,730	0,00052
0,435	0,0168	0,535	0,0168	0,635	0,217	0,735	0,00036
0,440	0,023	0,540	0,023	0,640	0,175	0,740	0,00025
0,445	0,030	0,545	0,030	0,645	0,138	0,745	0,00017
0,450	0,038	0,550	0,038	0,650	0,107	0,750	0,00012
0,455	0,048	0,555	0,048	0,655	0,082	0,755	0,00008
0,460	0,060	0,560	0,060	0,660	0,061	0,760	0,00006
0,465	0,074	0,565	0,074	0,665	0,045	0,765	0,0000
0,470	0,091	0,570	0,091	0,670	0,032	0,770	-
0,475	<b>0,113</b>	0,575	0,113	0,675	0,023	0,775	-

## 1.4. LES CARACTÉRISTIQUES DE LA VISION

### DÉFINITIONS DE BASE

Le **champ de vision** est la partie de l'espace visible par un oeil de place et orientation déterminées. Dans ce champ nous supposons qu'il est possible de définir la **performance visuelle** (sous réserve de préciser comment), et le **confort visuel** traduction du bien-être visuel dans ce champ. Pour y parvenir l'oeil doit ajuster la convergence du cristallin (processus d'**accommodation**), l'oeil modifiant l'état du système visuel selon les stimulus (processus d'**adaptation**).

Il en résulte généralement une plus ou moins forte perception des détails, ce qu'on dénomme l'**acuité visuelle**, qualité pouvant être quantifiée sous réserve de conventions adéquates.

## 1.5. LES GRANDEURS LUMINEUSES

### LES RÉFÉRENCES ÉNERGÉTIQUES (RAPPELS)

Le **flux** énergétique, exprimé en **watt** [W], mesure l'énergie fournie par une source, par exemple un flux de 100 [W] émis par une lampe. Le flux transmis dans une direction, l'**intensité énergétique**, est exprimée en **watt par stéradian** [W/sr]. Le flux surfacique transmis dans une direction (la **radiance**) se mesure en **watt par stéradian et par mètre carré** [W/sr m<sup>2</sup>]. Le flux surfacique reçu par une surface est l'**éclairement énergétique**, qui est mesuré en **watt par mètre carré** [W/m<sup>2</sup>].

### LES GRANDEURS LUMINEUSES

En éclairage, POUR CHAQUE RAYONNEMENT, IL EST POSSIBLE D'ÉVALUER L'ÉQUIVALENT «LUMINEUX» EN UTILISANT LES EFFICACITÉS LUMINEUSES DÉFINIES ULTÉRIEUREMENT. CE QUI CONDUIT AUX GRANDEURS SUIVANTES, ANALYSÉES AU CHAPITRE 2.

1. Le **flux lumineux**, mesuré en **lumens** [lm], caractérise la puissance lumineuse émise par une source, ou manipulée dans les calculs. Son symbole sera ici :  $\Phi$ .
2. L'**efficacité lumineuse**, notée ici  $n$ , mesurée en lumen par watt [lm/W], caractérise la capacité d'une source à transformer de l'énergie (au sens strict : en watt) en énergie lumineuse (en lumen).
3. Le **flux lumineux** émis par une source, dans une direction donnée, est dit **intensité lumineuse** et se mesure en **candela** [cd], la candela équivalant au lumen par stéradian. Son symbole est ici :  $I$ .
4. La **luminance** est l'intensité dans une direction, et se mesure en **candela par mètre carré** [cd/m<sup>2</sup>]. Elle caractérise l'aspect lumineux, dans une direction, d'une source de lumière ou d'une surface éclairée.
5. L'**éclairement** est le flux lumineux [lm] reçu par mètre carré de surface éclairée. Il se mesure en **lux** [lx], et est l'équivalent du lumen par mètre carré.

La plupart des installations d'éclairage sont dimensionnées à partir d'*éclairagements conventionnels* d'un plan conventionnels (le «plan utile»), alors que les sources (lampes et luminaires) sont définies :

- . quantitativement par leur *flux lumineux*,
- . qualitativement (par suite des risques d'éblouissement) par leur *luminance*.

N.B. Il est très rare que l'on ait à décomposer les rayonnements longueur d'onde par longueur d'onde : on se base plutôt sur des mesures directes et globales, avec des instruments pondérant les longueurs d'onde selon les efficacités, mesures fournissant directement les grandeurs lumineuses souhaitées.

## 1.6. LES RAYONNEMENTS NATURELS

Les deux types de rayonnement que nous disons «naturels» sont les suivants.

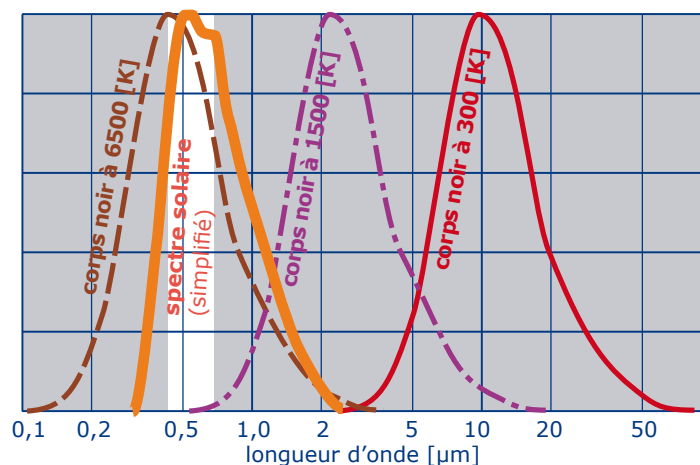
### LE RAYONNEMENT PROPRE

Le *rayonnement propre* est celui d'un corps dit «noir» (terminologie conventionnelle correspondant à un corps d'émissivité égale à un). Dans ce cas l'émittance (le flux en watt émis par unité de surface) varie en fonction de la longueur d'onde comme l'indique le schéma ci-contre, chaque «corps noir» étant caractérisé par sa température mesurée en kelvin [K].

### LE RAYONNEMENT NATUREL PROPREMENT DIT

Le *rayonnement* qu'en général nous appelons ici «naturel» est en fait de l'un des deux types suivants :

- . le *rayonnement direct*, reçu directement du soleil, dont le spectre est un peu plus compliqué que celui d'un simple corps noir (dans la figure nous l'avons même simplifié, en supprimant les effets de certains gaz), mais qui s'en rapproche (température de l'ordre de 5000 [K], valeur très approximative) ;
- . le *rayonnement diffus* qui est celui diffusé par le ciel, et que nous recevons également, mais dans des conditions géométriques différentes.



## Chapitre 2

# 2. L'AIR ET SA QUALITÉ

## 2.1. LA COMPOSITION DE L'AIR

### LES ATOMES EN JEU

Les différents atomes intervenant dans la composition de l'air sont les suivants, indiqués avec leurs masses atomiques  $m_{at}$  :

- . O (oxygène) :  $m_{at} = 15,9994$  ; N (azote) :  $m_{at} = 14,0067$  ; C (carbone) :  $m_{at} = 12,01$  ;
- . H (hydrogène) :  $m_{at} = 1,0080$  ; Ar (argon) :  $m_{at} = 39,95$  ; Ne (néon) :  $m_{at} = 20,179$  ;
- . He (hélium) :  $m_{at} = 4,0026$  ; Kr (krypton) :  $m_{at} = 83,80$  ; Xe (xénon) :  $m_{at} = 131,30$ .

### LES MOLÉCULES PRÉSENTES DANS L'AIR

Les molécules présentes dans l'air, caractérisées par leur **masse molaire**  $m_{mol}$  [kg/kmol], sont :

- Soit des *molécules simples*, constituées d'un ou deux atomes :  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ , Ar, etc., les principales étant les suivantes :  $N_2$  (azote),  $m_{mol} = 28,0134$  ;  $O_2$  (oxygène),  $m_{mol} = 31,9988$  ;
- . Ar (argon),  $m_{mol} = 39,95$  ; les autres étant relativement négligeables ;
- Soit des *molécules composées* qui sont - pour l'essentiel - les suivantes :
  - .  $CO_2$  (dioxyde de carbone),  $m_{mol} = 44,0088$  ;  $CH_4$  (méthane),  $m_{mol} = 16,042$  ;
  - .  $N_2O$  (monoxyde d'azote),  $m_{mol} = 44,1128$  ;  $H_2O$  (vapeur d'eau) :  $m_{mol} = 18,0154$ .

### LA COMPOSITION DE L'AIR

L'air est un *mélange* de différents gaz ou vapeurs qu'il est habituel de classer en deux catégories :

1. les **constituants permanents**) qui sont toujours présents dans l'air, et ce en proportions fixes,
2. les **constituants variables**) présents en proportions variant avec le temps et avec le lieu.

Leurs concentrations types sont indiquées par les tableaux suivants.

CONSTITUANTS PERMANENTS		CONSTITUANTS VARIABLES	
constituant	fraction molaire	constituant	fraction molaire
azote ( $N_2$ )	0,781 10	eau ( $H_2O$ )	(extérieur) de 0 à 0,07
oxygène ( $O_2$ )	0,209 53	dioxyde de carbone ( $CO_2$ )	de 0,001 à 0,0001
argon (Ar)	0,009 34	dioxyde de soufre ( $SO_2$ )	de 0 à 0,000 001
néon (Ne)	0,000 01818	ozone ( $O_3$ )	de 0 à 0,000 000 1
hélium (He)	0,000 00524	dioxyde d'azote ( $NO_2$ )	traces
krypton (Kr)	0,000 00114		
xénon (Xe)	0,000 000 087		
hydrogène ( $H_2$ )	0,000 000 5		
méthane ( $CH_4$ )	0,000 002		
monoxyde d'azote ( $N_2O$ )	0,000 000 5		

## 2.2. LE MODÈLE DE BASE

### LA COMPOSITION TYPE

La modélisation classique consiste à écrire symboliquement :

$$\langle \text{AIR RÉEL} \rangle = \langle \text{AIR SEC} \rangle + \langle \text{HUMIDITÉ} \rangle$$

Ce qui a la significations et les conventions suivantes, l'air étant composé de deux constituants.

1. Le premier constituant est l'**air sec**, un **mélange des constituants permanents** considéré comme un **gaz parfait** dont la *masse molaire équivalente* est égale à **28,960** [kg/kmol].
2. Le deuxième constituant, en **quantité variable**, est l'**humidité**, supposée à l'état de vapeur, une vapeur qui peut se comporter comme un gaz imparfait lorsque sa teneur est forte. Ici, dans ce guide, sauf indication contraire nous le considérerons comme un gaz parfait de masse molaire égale à **18,0154** [kg/kmol].

## 2.3. LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE

La pression de l'air (la pression atmosphérique) varie avec l'altitude comme l'indique la table ci-dessous. Son action sur l'homme est plutôt indirecte, et liée à la pression de l'oxygène dans l'air : ce problème est examiné dans le mémento **nR15**.

Altitude [m]	Pression [Pa]	Altitude [m]	Pression [Pa]	Altitude [m]	Pression [Pa]	Altitude [m]	Pression [Pa]
0	101 325	700	93 194	1400	85 599	2100	78 515
100	100 129	800	92 076	1500	84 556	2200	77 541
200	98 945	900	90 970	1600	83 524	2300	76 580
300	97 773	1000	89 875	1700	82 501	2400	75 626
400	96 611	1100	88 790	1800	81 489	2500	74 684
500	95 461	1200	87 716	1900	80 487	2600	73 749
600	94 322	1300	86 652	2000	79 495	2800	71 910
700	93 194	1400	85 599	2100	78 515	3000	70 108

## 2.4. L'HUMIDITÉ

### LA RÉFÉRENCE DE BASE

L'atmosphère peut être analysé en faisant intervenir la relation suivante :

$$pression\ globale\ (PRESSION\ ATMOSPHÉRIQUE) = PRESSION\ DE\ L'AIR\ SEC + PRESSION\ DE\ LA\ VAPEUR\ D'EAU$$

### L'EXPRESSION COURANTE DE L'HUMIDITÉ

Au lieu de la pression partielle de la vapeur d'eau pour caractériser l'humidité il est habituel de faire intervenir le concept d'**humidité relative**, grandeur normalement exprimée en pourcent, et définie de la manière suivante :

$$HUMIDITÉ\ RELATIVE\ [\%] = 100\ p_v / p_{sat}$$

où  $p_v$  [Pa] est le pression de vapeur, et  $p_{sat}$  [Pa] la pression de vapeur saturante à la température de l'air.

Toutes ces notions reposent sur les calculs et concepts définis au chapitre suivant (chapitre 3), lequel précise les précautions éventuelles à prendre sur le plan de l'**humidité**.

## 2.5. LES CONTAMINANTS

Outre ses composants normaux, l'air peut contenir des **contaminants**, c'est à dire des gaz ou des suspensions plus ou moins parasites, qui jouent un rôle important sur le plan de la **qualité de l'air**. Cet aspect - relativement fondamental sur le plan de la qualité de l'air - est traité au mémento **nR15**.

## Chapitre 3

# 3. L'HUMIDITÉ

## 3.1. L'IMPORTANCE DE L'HUMIDITÉ

### MISE EN GARDE ESSENTIELLE

Ce chapitre ne traite que des effets «néfastes» de l'humidité, essentiellement du rôle négatif que peut jouer l'humidité, que l'on peut classer en deux catégories :

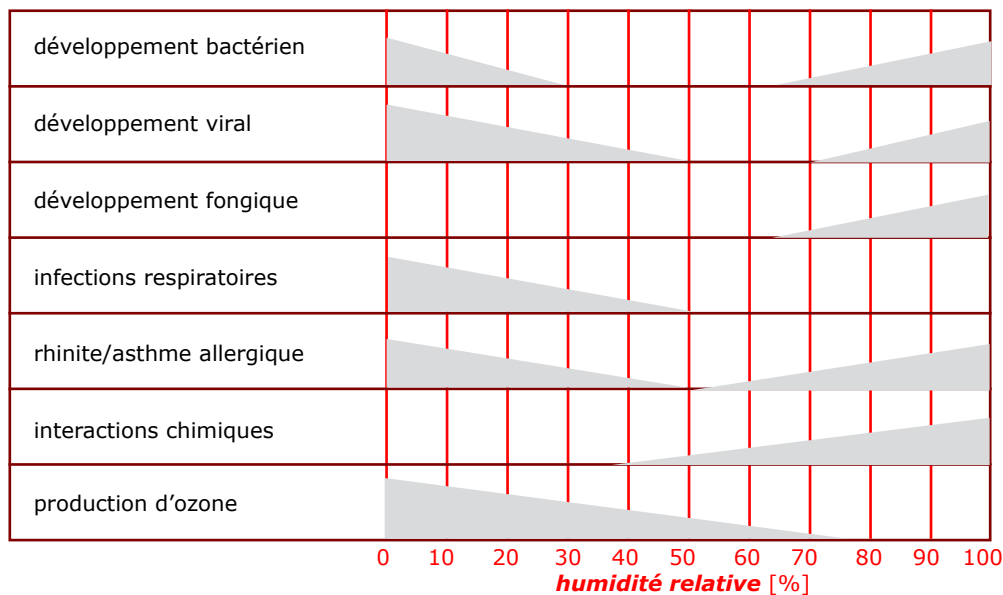
1. les **gênes directes**, essentiellement dues aux **condensations**, objet essentiel de ce chapitre à partir du paragraphe 3.3 ;
2. les **risques indirects**, traités au paragraphe suivant (§ 3.2).

### LA GRANDEUR DE RÉFÉRENCE

La caractéristique ici retenue est la teneur de l'air en humidité, caractérisée par son **humidité relative**, définie au paragraphe 2.4.

## 3.2. L'INFLUENCE INDIRECTE DE L'HUMIDITÉ

Le schéma ci-dessous indique, pour chaque catégorie de phénomène, le rôle joué par l'humidité, les zones grisées (plus ou moins importantes) indiquant les domaines dans lesquels l'humidité joue un rôle négatif.



Dans ce schéma il s'agit, implicitement, de l'humidité de l'air intérieur dont les valeurs sont supposées relativement constantes au cours de l'année.

## 3.3. LES DÉGAGEMENTS TYPES D'HUMIDITÉ

### LES APPAREILS DOMESTIQUES TYPES

On peut compter sur les valeurs types suivantes par kilowatt consommé :

- . plaque de cuisson : 0,000 20 [kg/(s.kW)]
- . cuisinière, machine à laver : 0,000 10 [kg/(s.kW)]
- . machines à café ou analogue : 0,000 04 [kg/(s.kW)]



## LES OCCUPANTS

Vous pouvez compter sur les dégagements types du tableau suivant, par occupant.

DÉGAGEMENTS D'HUMIDITÉ (OCCUPANTS) [kg/s]			
Posture	Activité	Occupation tye	Dégagement d'humidité par occupant [kg/s]
repos	très faible	chambre d'hôpital	0,000 018
repos	faible	chambre d'hôtel	0,000 022
assis		bureau	0,000 026
assis		restaurant	0,000 032
debout		commerce	0,000 052
assis	manuelle	atelier, poste fixe	0,000 084
debout	manuelle	atelier courant	0,000 108
debout	manuelle	manutention, etc.	0,000 140
debout	forte	danse	0,000 160
debout	forte	sport	0,000 200

## 3.4. LES CONDENSATIONS : PREMIÈRE RÈGLE

### LA SITUATION DU PROBLÈME

Les condensations (et les moisissures) apparaissant sur le parois sont dues :

- . à une humidité excessive de l'air intérieur,
- . ou/et à une isolation thermique insuffisante des parois extérieures.

De ce fait le phénomène fait intervenir les échanges thermiques dans les parois de construction, sujet abordé dans le mémento **nR61**.

*Le présent paragraphe ne concerne que le deuxième aspect, le premier étant traité au paragraphe suivant (3.5).*

### LE PHÉNOMÈNE DE BASE

Toute surface donnant sur l'extérieur est caractérisée par son coefficient de transmission thermique :

- . par unité de surface si la paroi est plane,
- . par unité de longueur si la paroi est plutôt linéaire (coins, etc.).

Dans le premier cas (zone de paroi plane) la températures superficielle intérieure  $\theta_s$  [°C] est donnée par la formule :

$$\theta_s = \theta_i - (U/h_i) (\theta_i - \theta_e)$$

$\theta_i$  [°C] étant la température intérieure,  $\theta_e$  [°C] la température extérieure,

$U$  [W/m<sup>2</sup> K] le coefficient de transmission de la paroi et  $h_i$  [W/m<sup>2</sup> K] le coefficient superficiel intérieur (pour plus de détails voir **nR61**).

Dans le second cas (élément de construction non plat, nommé **pont thermique**) la température superficielle intérieure  $\theta_s$  [°C] est donnée - en première approche - par la formule :

$$\theta_s = \theta_i - \{Y/(h_i \cdot l)\} (\theta_i - \theta_e)$$

$\theta_i$  [°C] étant la température intérieure,  $\theta_e$  [°C] la température extérieure,  $Y$  [W/m K] le coefficient linéique de transmission du pont,  $l$  [m] la longueur de ce pont,  $h_i$  [W/m<sup>2</sup> K] le coefficient superficiel intérieur (pour plus de détails voir **nR61**).

### LES CONDENSATIONS DUES AUX ISOLATIONS EXTÉRIEURES INSUFFISANTES

Les condensations et les moisissures apparaissent prioritairement dans les coins, là où le coefficient superficiel de transmission est considérablement réduit, les phénomènes locaux sont essentiels. Ici, nous considérons ces zones particulières (hors parois planes) comme des «**ponts thermiques**», calculés comme indiqué plus haut. La formule est très approchée, car le coefficient superficiel ( $h_i$ ) y est souvent très spécifique, presque nul par exemple dans les coins. Différents examens de cas théoriques et de cas réels nous permettent de proposer, pour ces ponts, de respecter la règle suivante, avec les symboles indiqués plus haut :

$$Y < 4,5 / (\theta_i - \theta_e)$$

## 3.5. LES CONDENSATIONS : DEUXIÈME RÈGLE

### LES PRINCIPES DE CETTE RÈGLE

Alors que la règle adoptée au paragraphe précédent (isolation des parois extérieures) vise à obtenir une température superficielle intérieure de ces parois qui ne soit pas trop basse, la seconde règle est la suivante : veiller à ce que l'air intérieur ne soit pas trop chargé en humidité. Ce qui, dans nos climats, et en hiver, conduit à de introductions d'air extérieur (relativement sec) suffisantes.

### UNE FORMULE SIMPLIFIÉE

Si nous voulons limiter l'humidité relative intérieure à 70 % maximum, il faut insuffler une quantité d'air extérieur  $q_n$  [m<sup>3</sup>/s] donnée par la formule :

$$q_n > 140 q_h$$

$q_h$  [kg/s] étant la quantité (débit-masse) d'humidité dégagée à l'intérieur du local (voir §§ 3.2 et 3.3).

### RÉSERVE IMPORTANTE

La formule précédente s'applique essentiellement aux locaux d'habitation ou d'enseignement courant. Pour les locaux plus complexes, professionnels en particulier, consultez le guide **nX81**.

## 3.6. LES MOISSURES

### LES DIFFÉRENTES FORMES DE CHAMPIGNONS EN LOCAUX HABITABLES

Les champignons qui se développent dans les locaux habitables sont de deux formes :

- les *levures*, organismes mono-cellulaires relativement simples, se développant par bourgeonnement ou mitose,
- les *moisissures* proprement dites, plus complexes et multi-cellulaires, se développant en colonies plus ou moins étendues, se présentant souvent sous forme de filaments micéliens qui peuvent pénétrer les matériaux servant de substrat nutritif.

### LES SPORES

Les moisissures, aussi bien que les levures, peuvent produire des spores nettement plus résistants que les organismes d'origine. Ces spores peuvent facilement se disperser dans l'air, y rester «dormant» pendant un certain temps, puis recommencer à se développer. Les spores et les filaments, ainsi que les gaz volatils éventuellement émis, sont la source d'une véritable pollution de l'air.

L'air intérieur des locaux habités, même sans moisissure sur les parois, contient souvent 3 000 à 10 000 spores par mètre cube, et plus de 30 000 dans les locaux fortement infestés.

Le développement des spores est inhibé par les rayonnements ultra-violets et par les faibles humidités, ce qui souligne le rôle fondamental de la gestion des locaux (ensoleillement et ventilation). A l'inverse la présence d'eau liquide (condensats par exemple) facilite le développement des moisissures.

### LES CONSÉQUENCES SANITAIRES

Sauf situations très spécifiques les spores contenus dans l'air ont peu de répercussions sanitaires sur les occupants. L'élimination des moisissures a donc, surtout, pour objet le maintien de la propreté des locaux.

## Chapitre 4

# 4. LA QUALITE THERMIQUE DES AMBIANCES

## 4.1. LE BILAN THERMIQUE DU CORPS HUMAIN

Le chapitre qui suit est uniquement consacré aux locaux où les choix prédominants sont axés sur la satisfaction des **occupants humains**. L'homme faisant partie des animaux conservant une température à peu près constante, pour conserver cette température, la production et les échanges thermiques du corps humain s'organisent comme suit.

1. Le corps produit une certaine quantité de chaleur dite **métabolisme**, qui dépend - à la fois- de la taille et de l'activité physique du sujet.

2. Le corps, en régime normal (le seul que nous examinerons ici), transmet cette quantité de chaleur vers l'ambiance, assurant ainsi normalement un **équilibre thermique**.

Le métabolisme est étudié au paragraphe suivant (§ 1.2), les échanges thermiques aux paragraphes ultérieurs (§ 1.3 et la suite).

## 4.2. LE MÉTABOLISME

### LA FORMULE DE BASE

Au niveau humain la quantité d'énergie produite par unité de temps est souvent exprimée sous la forme du **métabolisme surfacique** [W/m<sup>2</sup>]. Pour exploiter cette valeur il faut évaluer la surface corporelle. Dans le cas de l'homme, on utilise le plus souvent la formule dite de «DuBois» :

$$A_{Du} = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot h^{0,725}$$

$A_{Du}$  [m<sup>2</sup>] étant la surface corporelle,  $m$  [kg] la masse corporelle et  $h$  [m] la taille (pour un adulte la valeur type de  $A_{Du}$  est de 1,8 [m<sup>2</sup>]).

Dans ces conditions le métabolisme global du corps  $M$  [W] est donné par la formule :

$$M = A_{Du} \cdot M''$$

$M''$  [W/m<sup>2</sup>] étant le métabolisme surfacique.

N.B. Certains documents utilisent, pour unité de métabolisme surfacique le *met* qui vaut 58 [W/m<sup>2</sup>], mais cette tradition, semble se perdre.

### LES VALEURS DU MÉTABOLISME SURFACIQUE

Le **métabolisme surfacique**  $M''$  [W/m<sup>2</sup>] dépend essentiellement de l'activité, les valeurs types étant celles des tableaux ci-dessous.

Activité type	Métabolisme surfacique [W/m <sup>2</sup> ]
sommeil	40
repos	45
assis, lecture	55
assis, écriture	60
assis, ordinateur	65
debout, calme	70
debout, tri	80

Activité type	Métabolisme surfacique [W/m <sup>2</sup> ]
marche intérieure paisible	(100)
activité culinaire	(110)
marche assez lente	120
marche moyenne	150
activité de nettoyage	(160)
marche rapide	(220)
manutention lourde	(250)

## 4.3. LES ÉCHANGES THERMIQUES HUMAINS

### LES RÉFÉRENCES

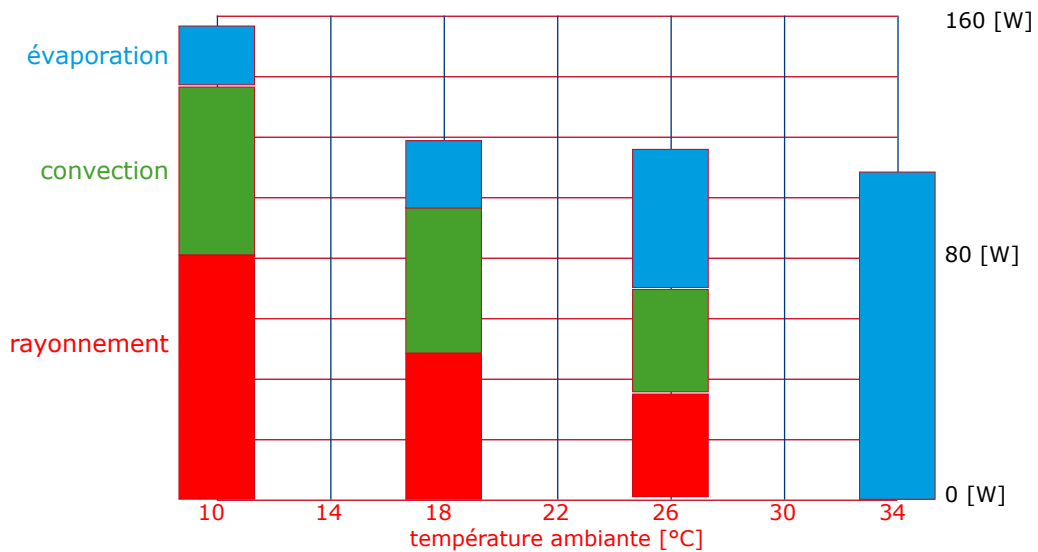
Il existe une abondante littérature sur ce thème des échanges thermiques humains, et ce depuis plus de quarante ans. Les valeurs que nous recommandons d'adopter sont indiquées à la suite. On ne peut cacher qu'il existe parfois de sérieuses divergences entre :

- . les bases plus ou moins classiques que nous adoptons,
- . et les méthodes prônées par Olaf Fanger, non reproduites ici.

Une certaine littérature reprend ces dernières méthodes, mais nous estimons qu'elles manquent de valeur .

### LES PHÉNOMÈNES EN CAUSE

Les échanges thermiques du corps humain avec l'ambiance mettent essentiellement en jeu les phénomènes suivants : le rayonnement, la convection et l'évaporation (de la sueur). Le schéma suivant, qui n'est valable que pour un exemple (sujet au repos, air calme en ambiance) donne une idée de l'importance relative de chacun de ces trois phénomènes.



### LES ÉCHANGES PAR CONVECTION ET PAR RAYONNEMENT

Ces échanges se font entre la surface corporelle et l'environnement, ce dernier pouvant être caractérisé par la **température résultante** (dite parfois, dans les normes, «*température opérative*», néologisme français injustifié). La température résultante, en air calme, est une valeur intermédiaire entre la température de l'air (au voisinage du sujet) et la température moyenne des parois avoisinantes. Dans la plupart des applications pratiques, ces deux paramètres jouent un rôle équivalent, et la température résultante  $\theta_{res}$  [°C] est donnée par la formule :

$$\theta_{res} = (\theta_A + \theta_R) / 2$$

$\theta_A$  [°C] et  $\theta_R$  [°C] étant respectivement la température d'air et la température moyenne des parois.

Cette formulation vaut pour la majorité des systèmes de chauffage et climatisation sauf :

- pour les chauffages par rayonnement à température un peu forte,
- pour les chauffages et climatisations de postes de travail au voisinage de produits très lumineux.

C'est dans ces cas là qu'il faudra faire des corrections (indiquées en temps utile), la formulation simple ci-dessus étant adoptée sauf mise en garde spéciale.

### LES ÉCHANGES HYDRIQUES

Une partie de l'énergie produite par le corps humain est perdue par évaporation de l'eau provenant : soit de la sudation au niveau de la peau ou des glandes sudoripares (ce phénomène jouant normalement le rôle essentiel), soit de la diffusion de la vapeur à travers la peau. Bien qu'on dispose de méthodes valables et simples pour évaluer ces échanges, il n'en est généralement pas tenu compte dans les évaluations sauf pour certains calculs, de charge par exemple en climatisation.

### LES ÉCHANGES RESPIRATOIRES

Une troisième partie des échanges thermiques a lieu, au niveau des poumons, par la respiration. Bien qu'on dispose de méthodes valables et simples pour évaluer ces échanges, il n'en est généralement pas tenu compte dans les évaluations sauf pour certains calculs, de charge par exemple en climatisation.

## 4.4. LE CONFORT THERMIQUE

### LES PRINCIPES DE PRISE EN COMPTE

Sauf dans les cas examinés au paragraphe suivant (§ 4.5) consacré à l'inconfort thermique, l'analyse des installations suppose toujours qu'il s'agit d'ambiances confortables.

### LE CONFORT THERMIQUE

Pour caractériser globalement une ambiance le critère normalement utilisé (c'est celui que nous recommanderons) sera la **température résultante**, sous les deux réserves suivantes :

- la température dont nous parlons est la température résultante dite sèche, pour la distinguer de la température dite «humide», notion qui n'est plus utilisée ;
- nous adopterons des formulations plus complexes dans le cas d'ambiances caractérisées par un champ de rayonnement prédominant, rayonnement dû à l'ambiance industrielle ou à l'utilisation de chauffage par rayonnement haute température.

## 4.5. L'INCONFORT THERMIQUE

Nous distinguerons deux types de situations thermiquement inconfortables :

### 1. celles liées à des **sensations locales** de deux types :

**1A.** une sensation désagréable au niveau des pieds si le **sol est trop froid** ou **trop chaud**,

**1B.** une sensation de **courant d'air** liée à une vitesse d'air trop élevée ;

### 2. celles liées à une températures d'ambiance trop élevée, dues :

**2A.** soit à un **environnement professionnel** chaud,

**2B.** soit aux répercussion du **climat extérieur de plein été**.

### 1A. LES SOLS TROP CHAUDS OU TROP FROIDS

La sensation désagréable au niveau des pieds peut être due :

- à un sol **trop froid**, mal isolé et donnant sur l'extérieur,
  - à un sol **trop chaud** dû à la présence de panneaux de chauffage très chauds, incorporés au sol.
- Ces deux cas sont traités à part, avec la thermique des bâtiments et le calcul des panneaux enrobés.

### 1B. LA SENSATION DE COURANT D'AIR

Cette sensation est normalement liées, dans l'ambiance, à une vitesse d'air excessive. En l'absence de données plus précises (attention à leur valeur) on peut adopter les limites suivantes (vitesse maximale au niveau de l'occupant) :

Vitesse d'air maximale proposée (pour éviter la sensation de courant d'air)								
Température résultante [°C] :	20	21	22	23	24	25	26	27
Vitesse maximale d'air [m/s] :	0,15	0,16	0,18	0,20	0,22	0,25	0,28	0,31

### 2A. LES AMBIANCES PROFESSIONNELLES CHAUDES

Dans ce cas l'expérience montre qu'il faut surtout limiter l'**humidité relative**. Il existe de multiples critères - ce qui démontre qu'il est difficile de fournir des valeurs sûres. En l'absence de données plus complètes vous pouvez utiliser le tableau suivant.

Humidité relative maximale proposée (en ambiance professionnelle)								
Métabolisme surfacique [W/m <sup>2</sup> ]	150		200		250		300	
Agitation de l'ambiance ...	<i>calme</i>	1 [m/s]	<i>calme</i>	1 [m/s]	<i>calme</i>	1 [m/s]	<i>calme</i>	1 [m/s]
	<b>Humidité relative [%] maximale recommandée</b>							
Température ambiante de 40 [°C]	50 %	55 %	40 %	45 %	25 %	35 %	25 %	30 %
Température ambiante de 45 [°C]	30 %	35 %	25 %	30 %	15 %	25 %	12 %	20 %

### 2B. L'INCONFORT ÉVENTUEL D'ÉTÉ

Le critère proposé ci-dessous a simplement pour but de définir des températures intérieures maximales en été, **sans climatisation**. Il est supposé que l'humidité de l'air est voisine de la moyenne. Selon le métabolisme utilisez les valeurs fournies par l'encadré suivant (*page suivante*).

**RECOMMANDATIONS D'ÉTÉ SANS CLIMATISATION (voir texte)**  
**température maximale  $\theta_{\max}$**

- **activité très faible (assis ou mouvements très réduits)**  $M'' = 50$  [W/m<sup>2</sup>] :  $\theta_{\max} = 30,5$  [°C]
- **activité assez faible (faibles déplacements)**  $M'' = 60$  [W/m<sup>2</sup>] :  $\theta_{\max} = 30$  [°C]
- **activité un peu forte (informatique par exemple)**  $M'' = 70$  [W/m<sup>2</sup>] :  $\theta_{\max} = 29,5$  [°C]
- **activité assez forte**  $M'' = 80$  [W/m<sup>2</sup>] :  $\theta_{\max} = 29$  [°C]

## Chapitre 5

# 5. LE BRUIT (LA QUALITÉ ACOUSTIQUE DES AMBIANCES)

## 5.1. LES NIVEAUX ACOUSTIQUES

### LE PRINCIPE DES NIVEAUX

En principe, les niveaux, de nature logarithmique, sont définis par des relations du type suivant :

$$L = 10 \log(X/X_0)$$

$L$  étant le niveau mesuré en décibel [dB],  $X$  la valeur physique en cause,  $X_0$  la valeur de référence.

### LES DEUX NIVEAUX DE BASE

Nous ne retenons ici que les deux niveaux suivants.

- Le **niveau de pression acoustique**  $L_p$  sert à mesurer la pression acoustique en un point :

$$L_p = 10 \log(p/p_0)^2$$

$p$  étant, en un point, la pression acoustique [Pa],  $p_0$  une référence normalisée, purement conventionnelle.

- Le **niveau de puissance acoustique**  $L_w$  sert à mesurer la puissance acoustique d'une source :

$$L_w = 10 \log(P/P_0)$$

$P$  étant la puissance acoustique [W],  $P_0$  une référence normalisée, purement conventionnelle.

Attention : les niveaux étant logarithmiques on ne peut les additionner (voir plus loin).

## 5.2. LE RÔLE DES FRÉQUENCES

### SONS ET BRUITS

On distingue généralement les **sons** et les **bruits**.

. Les **sons** correspondent à une *fréquence déterminée*, ce qui permet de les représenter par des ondes simples, la pression sonore  $p$  [Pa] étant alors fournie par la fonction suivante, pour une fréquence  $f$  [Hz] et le temps  $t$  [s] :

$$p = \sin(f t)$$

Dans ce cas chaque son est caractérisé, outre son niveau, par sa **fréquence**.

. Les **bruits** sont des mélanges de sons de différentes fréquences.

### LES SONS AUDIBLES

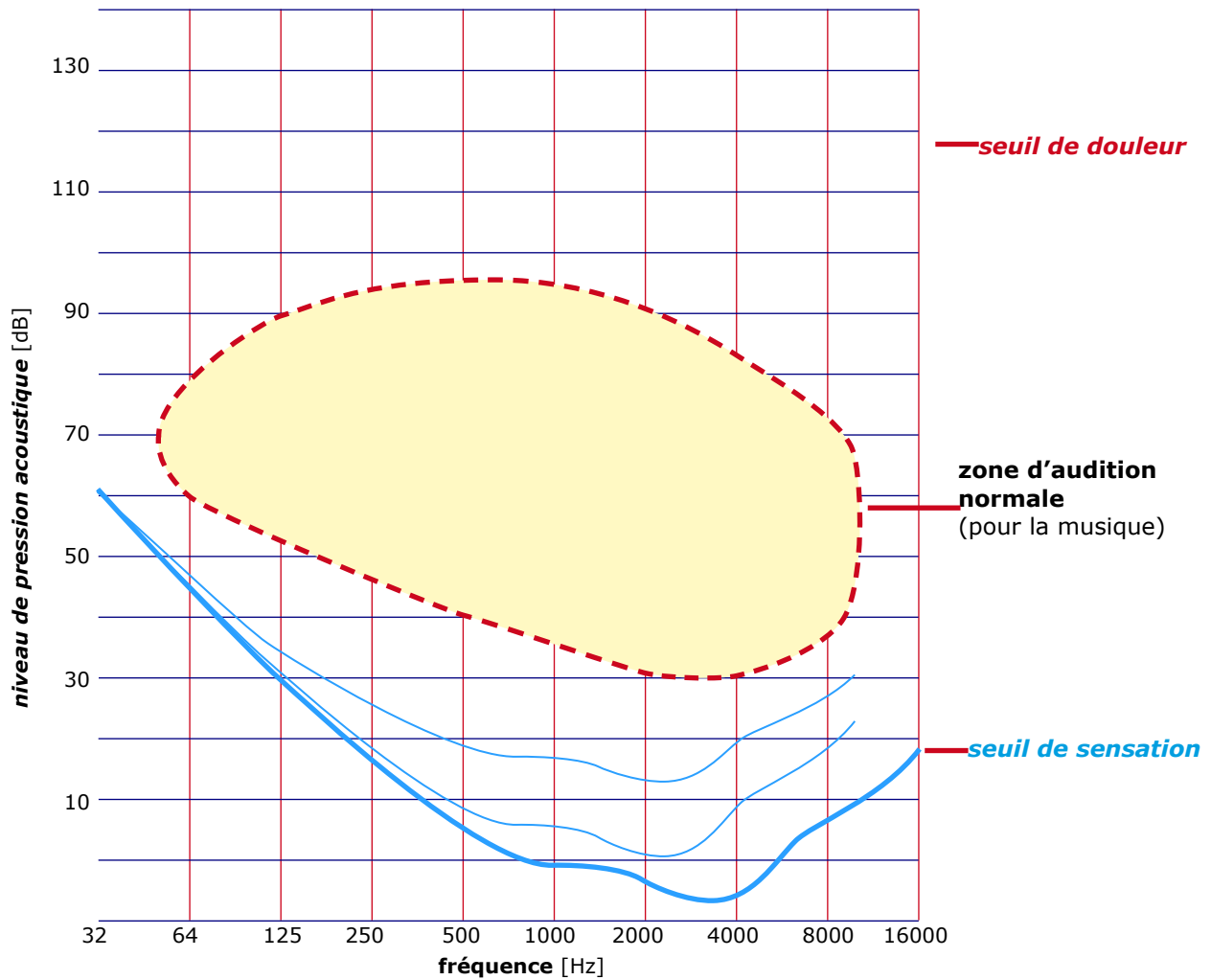
Les sons nous concernant se situent dans les domaines indiqués à la page suivante, représentant les situations principales en matière d'équipement technique. Comme l'indique le schéma précédent les fréquences audibles s'échelonnent de 32 à 10000 [Hz] environ.

Pour des raisons de commodité on opère en analysant les problèmes par bandes spécifiées de fréquence, en fait par bandes dites «**octaves**», définies comme suit: chaque octave couvre une bande de fréquence s'étendant d'une fréquence basse à une fréquence haute, cette dernière étant le double de la fréquence basse. Exemple : octave couvrant les fréquences 90 à 180 [Hz].

### LES OCTAVES NORMALISÉES

Les **octaves normalisées**, caractérisées par leur fréquence moyenne, définies au tableau suivant, la dernière ligne du tableau indiquant la valeur du coefficient  $j$  utilisé par la suite, dans les formules.

TABLE DES OCTAVES NORMALISÉES											
Octave n°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fréquence centrale	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Fréquence basse	11,3	22,4	45	90	180	355	710	1400	2800	5600	11200
Fréquence haute	22,4	45	90	180	355	710	1400	2800	5600	11200	22400
Indice MémoCad $j =$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



### LA DÉSIGNATION COURANTE DES OCTAVES

Au lieu de faire référence aux octaves telles qu'elles sont désignées par leur bande de fréquence il est souvent fait appel à une désignation plus subjective définie par l'échelle suivante.

8	16	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	[Hz]
zone des infrasons	zone des basses fréquences (bruits graves)			zone des moyennes fréquences			zone des hautes fréquences (bruits aigus)			zone des ultrasons

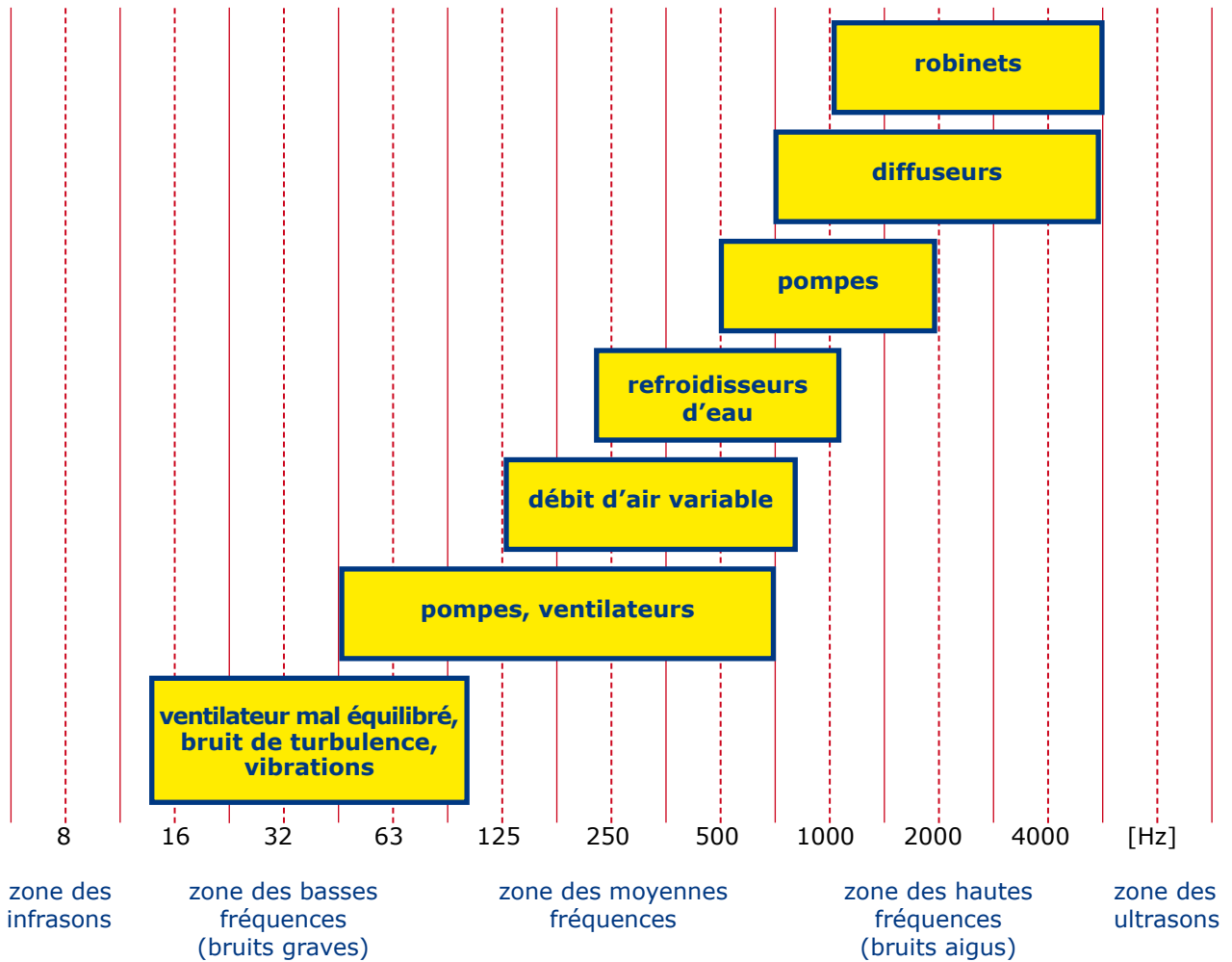
Dans le domaine des conversations les fréquences intervenant dans les conversations s'étendent de 125 à 8000 [Hz], ce qui conduit aux dispositions suivantes.

- Aux **basses fréquences** (BF) les mesures sont délicates, sans importance directe sur la conversation, les bruits étant sourds et souvent assimilables à des ronflements.
- Aux **moyennes fréquences** (MF) correspondent des bruits qui doivent être limités si l'on veut maintenir une bonne intelligibilité de la parole.
- Aux **hautes fréquences** (HF) les bruits sont généralement assimilables à des sifflements, et peuvent interférer avec les échanges oraux courants.

### LES OCTAVES DE NOTRE DOMAINE

Les domaines de fréquence, pour nous les plus importants, qui sont relatifs aux bruits des équipements sont fournis par la schéma de la page suivante.





Le schéma ci-dessus est essentiellement indicatif. En fait chaque bruit doit être caractérisé par son **spectre** fournissant le niveau en fonction de la fréquence. Pour éviter cette complication on fait souvent appel à la notion de «**décibel A**».

### 5.3. LES DÉCIBELS «A»

En vue d'éviter les complexités des bruits comportant un grand nombre de fréquences on pondère souvent les résultats (en décibels physiques) en fonction de la fréquence, les trois valeurs étant dites A, B ou C selon l'importance du bruit. Dans notre cas seule la pondération dite «A» est utilisée. Elle aboutit à la définition des «**décibels A**» [dBA], la courbe de pondération étant la suivante.

