

C

CHAPITRE I

# I. LE CONFORT DANS LE BATIMENT

---

## I INTRODUCTION

**S**elon Olivier Lemaître (2013), les gens passent de 20 à 22 heures dans des espaces clos : logements, lieux de travail ou de loisirs, écoles, transports ou espaces destinés à recevoir du public. Pour cette raison, la conception de l'espace doit répondre aux exigences du confort tels que : garantir le confort thermique en toute saison pour tous les occupants, limiter les nuisances sonores (intérieures ou extérieures au local) et favoriser l'intelligibilité des conversations ou activités sonores nécessaires, assurer la meilleure performance visuelle au moindre coût énergétique et limiter la présence d'odeurs désagréables pour les occupants (quelle que soit l'origine des odeurs).

## INTRODUCTION

**L**e confort hygrothermique est la sensation d'une personne par rapport à la température et à l'humidité ambiantes du local dans lequel elle se trouve. Il peut être défini comme étant une sensation de ni chaud, ni froid, ni humide, ni sec en fonction des conditions climatiques, des caractéristiques de l'utilisateur, de l'homogénéité thermique... Assurer un confort hygrothermique veut dire assurer une température constante en toute saison (entre 18 et 20°C), un taux d'humidité de 40 à 60% et une différence maximale de température entre l'air intérieur et les parois de 3°C.

### 1.1.1. Le métabolisme de l'homme, (M)

Selon American Society of Heating, le métabolisme (M), thermogénèse ou puissance produite est la production de l'homme de la chaleur interne suite aux réactions chimiques de transformation des aliments. Cette chaleur doit être évacuée dans l'environnement afin de maintenir l'équilibre thermique et donc la température interne constante. Il dépend surtout de l'activité et peut varier de 70 à 900 W pour un adulte. Une partie de cette énergie, produite au centre du corps et dans les muscles, peut être transformée en travail mécanique (W). Le reste ou métabolisme net ( $M_{net} = M - W$ ), doit être évacué sous forme de chaleur. Les transferts du centre vers la périphérie du corps se font par conduction à travers les tissus biologiques et par convection sanguine. Pour que l'homme puisse assurer ses fonctions vitales, il doit maintenir sa température interne à  $(37,0 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$  sur une planète dont la température peut varier globalement de  $-50$  à  $+50 ^\circ\text{C}$ .

### 1.1.2. Transfert thermique du corps humain

Les transferts thermiques (ou thermolyse), entre le corps et l'environnement, se font par tous les mécanismes classiques de transferts, au niveau cutané et par les voies respiratoires. Les échanges par évapotranspiration, conduction, convection et rayonnement sont le plus souvent des pertes, mais peuvent devenir des apports en ambiance chaude.

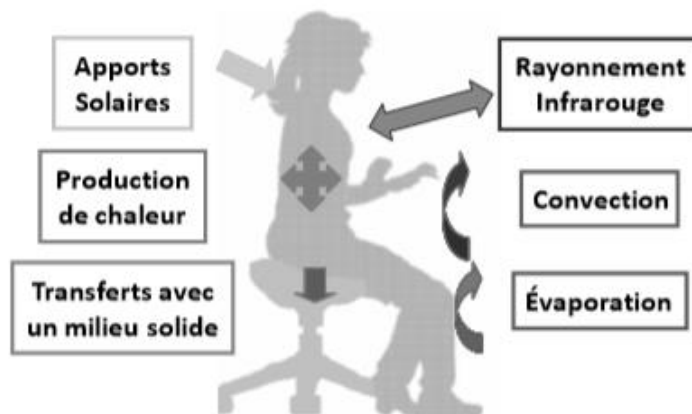


Figure 1. Transferts thermiques du corps humain  
(Thellier et al., 2011)

### 1.1.3. Bilan thermique du corps humain

Le bilan thermique du corps humain peut être calculé par la formule suivante (1) :

$$C_h \frac{dT_h}{dt} = M_{net} + Ray_{sol} - Evap \pm Conv \pm Ray_{ir} \pm Kond \quad (1)$$

Ou :

- Rayonnement Solaire (Raysol).
- Evaporation (Evap) cutanée et respiratoire.
- Convection (Conv) cutanée et respiratoire.
- Rayonnement Infra rouge (RayIR).
- Conduction avec un milieu solide (Kond).

#### 1.1.4. Bilan thermique global d'un habitat/ bâtiment

Le bilan thermique global d'un bâtiment est la somme des apports internes, liés au dégagement de chaleur interne (Pint), de la production des systèmes de génie climatique (Pgc), les transferts à travers l'enveloppe composé de mur, fenêtre, toiture, etc. ( $\Phi_{env}$ )\*, des transferts aérauliques liés au renouvellement d'air ( $\Phi_{air}$ )\* comme infiltration, ventilation, etc et enfin les apports solaires à travers les vitrages ( $\Phi_{sol}$ ). Le bilan thermique global se calcule par la formule (2).

$$C_h \frac{dT_h}{dt} = P_{int} \pm P_{gc} + \Phi_{sol} \pm \Phi_{env} \pm \Phi_{air} \quad (2)$$

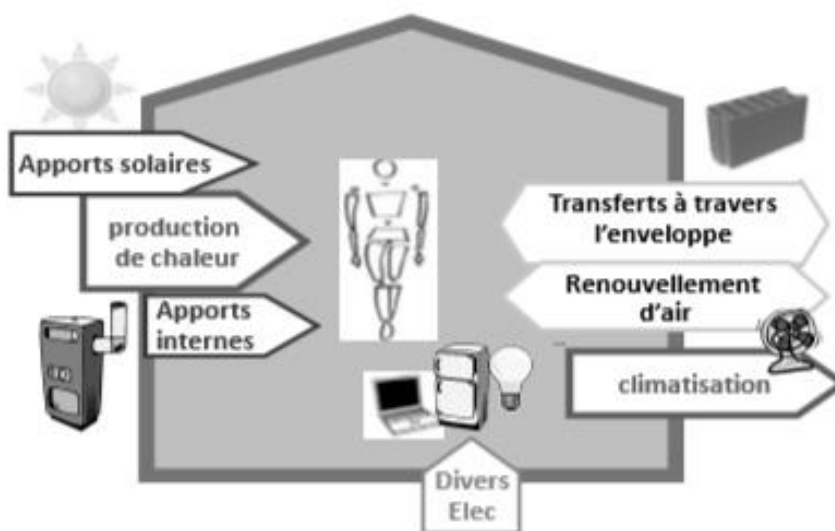


Figure 2. Transferts thermiques dans un bâtiment (Thellier al., 2011)

#### 1.1.5. Bilan thermique global (Homme et Habitat)

Le bilan thermique global est la somme du bilan thermique de l'homme et celui de du bâtiment

et qui se calcul par la formule suivante (3) :  $C_x \frac{dT_h}{dt} = Prod + \Phi_{in} - \Phi_{out} \quad (3)$

Ou : C est la Capacité thermique totale (J/°C), T est la Température moyenne du système (°C), T représente le Temps (s), Prod représente la Puissance produite (W) et  $\Phi$  est le Flux de chaleur échangé (W), in : entrant ; out : sortant.

### 1.1.6. Paramètres influant sur le confort hygrothermique

Différents paramètres et facteurs permettant d'évaluer la sensation d'une personne vis-à-vis l'environnement thermique et plus récemment le confort hygrothermique. Les principaux paramètres sont les suivants : le métabolisme y compris le niveau d'activité physique de la personne, la température de l'air, la température des parois, l'humidité relative, la vitesse du vent ainsi que l'habillement.

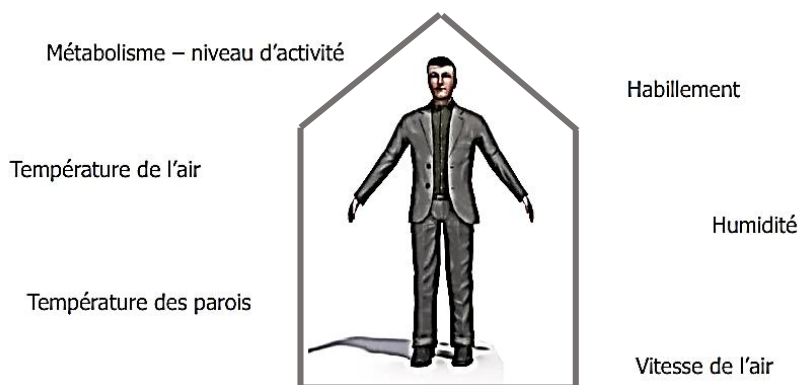


Figure 3. Les paramètres du confort hygrothermique  
(Confort hygrothermique et réduction des consommations d'énergie, 2014)

Le confort hygrothermique permet d'atténuer les réactions physiologiques thermorégulatrices comme les sudations et les frissonnements et les sensations psychologiques de chaud ou de froid. Pour cela, les paramètres suivants sont à prendre en compte : L'isolation thermique de l'enveloppe du bâtiment qui doit être assurée en fonction du rapport au soleil (orientation, dimensions et protections des parois vitrées), de la ventilation et le recours éventuel à un système passif ou actif de refroidissement et par la régulation des systèmes de chauffage et de refroidissement

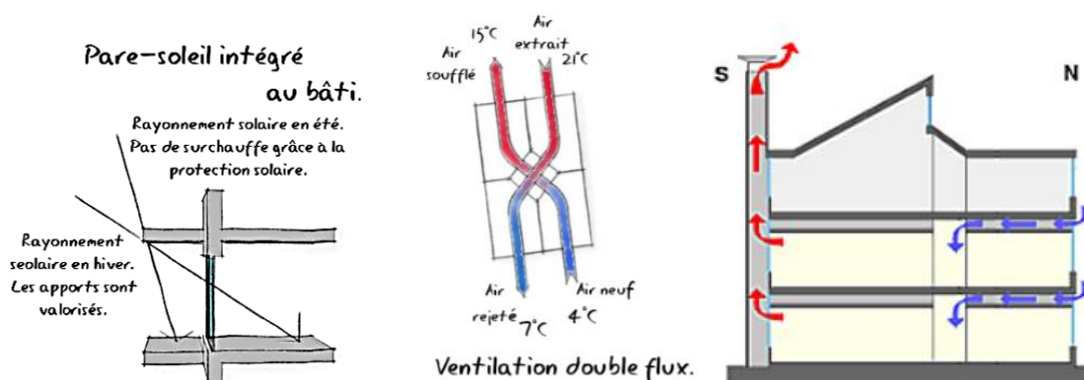


Figure 4. Stratégies pour atténuer le confort hygrothermique  
(Confort hygrothermique et réduction des consommations d'énergie, 2014)

Le confort hygrothermique peut être atteint par une meilleure prise du confort d'été, par une étude des zones de confort et l'homogénéité des ambiances hygrothermiques à l'intérieur du bâtiment et également par le choix des équipements.

### 1.1.6.1. Meilleure prise en compte du confort d'été

Une meilleure prise en compte du confort d'été conduit significativement à éviter la surchauffe et conserver une température agréable dans toutes les pièces d'un bâtiment en période estivale. Cela ne peut être réalisé que par : la réduction du facteur solaire (la prise en compte de l'orientation et le site), les atouts d'un bon isolant, l'inertie thermique en œuvre (plus la pièce aura une masse élevée et plus les transferts de température entre l'extérieur et l'intérieur seront décalés dans le temps), l'utilisation des brises soleil ainsi que par la climatisation (sous conditions).

### 1.1.6.2. Zone de confort hygrothermique

Le diagramme bioclimatique est construit sur un diagramme psychrométrique qui donne une représentation graphique de la zone de confort hygrothermique, de l'extension de la zone de confort hygrothermique due à la ventilation, de la zone des conditions hygrothermiques compensables par l'inertie thermique associée à la protection solaire et à l'utilisation d'enduits clairs, de la zone des conditions hygrothermiques compensables par l'utilisation de systèmes passifs de refroidissement par évaporation. Il représente également la zone des conditions hygrothermiques qui nécessitent l'humidification de l'air ainsi que la zone des conditions hygrothermiques compensables par une conception solaire passive du bâtiment.

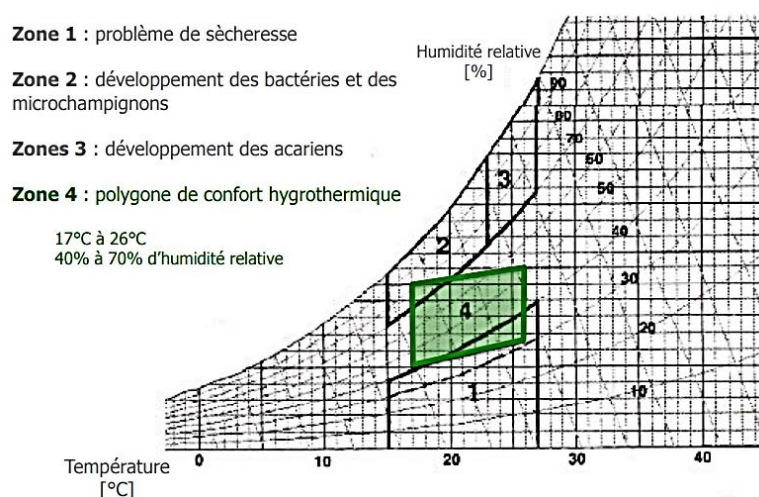


Figure 5. Diagramme bioclimatique  
(Confort hygrothermique et réduction des consommations d'énergie, 2014)

L'homogénéité des ambiances hygrothermiques peut être assurée par l'implantation et l'orientation des vitrages, l'inertie et l'isolation thermique des bâtiments qui favorisent à la fois le bien-être des personnes et les économies d'énergie grâce aux matériaux qui emmagasinent et restituent petit à petit la chaleur ou la fraîcheur, permettant un réchauffement ou un refroidissement progressif. De plus, la sensation de confort en été, en hiver, en mi saison doit être la même, la différence de température de bas en haut du corps et le courant d'air ou effets de paroi froide, ...).

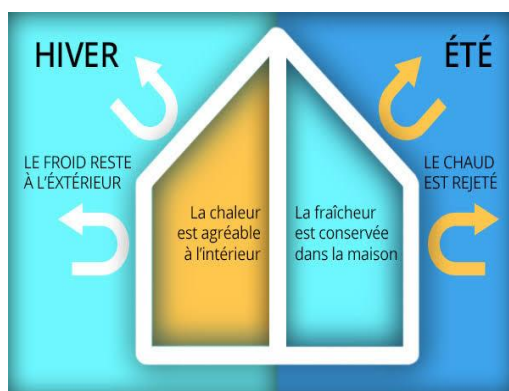


Figure 6. L'homogénéité des ambiances hygrothermiques (<https://www.maison-passive-eco.com>)

### 1.1.6.3. Le choix des équipements

Pour satisfaire les exigences de confort thermique d'hiver, les systèmes de chauffage doivent être choisis en fonction de l'usage et des caractéristiques des locaux : surface, volume, ambiance intérieure, occupation, activité. On préférera, par exemple, un chauffage par rayonnement plutôt que par convection, car la chaleur obtenue se diffuse de façon plus homogène. Ceci permet d'éviter des écarts de température importants entre la tête et les pieds, ces écarts étant considérés comme désagréables par les utilisateurs.

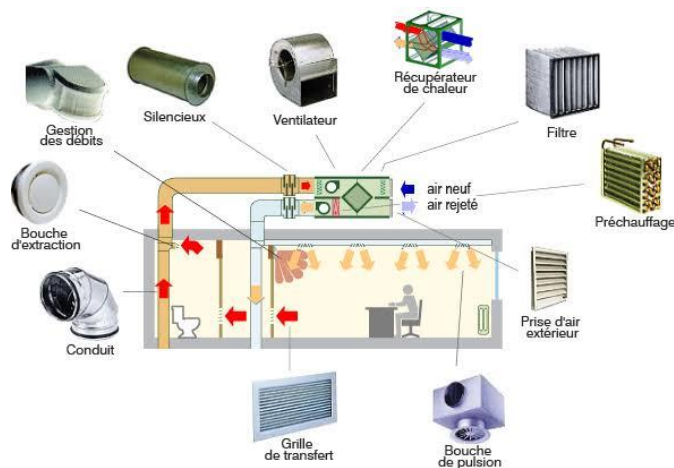


Figure 7. Le choix des équipements (<https://energieplus-lesite.be>)



## 1.2. LE CONFORT VISUEL

### INTRODUCTION

Le confort visuel a plusieurs définitions : c'est une relation visuelle satisfaisante avec l'extérieur ou bien un éclairage naturel optimal en termes de confort et de dépenses énergétiques ; il peut être aussi un éclairage artificiel satisfaisant et un appoint à l'éclairage naturel. De façon générale, le confort visuel est une impression subjective liée à la quantité, à la qualité et à la distribution de la lumière et représente sa satisfaction devant l'environnement visuel qui nous procure une sensation de confort quand nous pouvons voir les objets nettement et sans fatigue, dans une ambiance colorée agréable.

### 1.2.1. La perception de la lumière

Le processus de la vision implique l'interaction quasi-simultanée des deux yeux et du cerveau au travers d'un réseau de neurones, de récepteurs et d'autres cellules spécialisées. La première étape de ce processus est la stimulation des récepteurs de lumière situés dans les yeux, la conversion du stimulus lumineux ou des images en signaux et la transmission de ces signaux électriques contenant l'information de la vision depuis chaque œil vers le nerf optique. Cette information est traitée en plusieurs étapes pour atteindre finalement le cortex visuel du cerveau. La perception visuelle, c'est l'excitation de la matière rétinienne qui met en jeu une réaction photochimique où le couplage se fait par une interaction électrique entre l'onde électromagnétique et le récepteur.

### 1.2.2. Le champ visuel

Le champ visuel est l'espace délimité par la perception spatiale de l'œil, sans bouger la tête. Sachant que le champ visuel est légèrement différent pour chaque individu, la portée verticale des yeux couvre un angle d'environ  $130^\circ$ ; elle est limitée vers le haut par les arcades sourcilières et vers le bas par les joues. Le champ horizontal total des yeux est d'environ  $180^\circ$  lorsqu'ils sont dirigés vers un objet fixe. Chaque œil a un angle de vision d'environ  $150^\circ$ . A l'endroit où les champs visuels se recouvrent, l'homme a une vision binoculaire; ils se superposent dans la zone médiane où un même objet est vu simultanément par les deux yeux mais sous un angle différent.

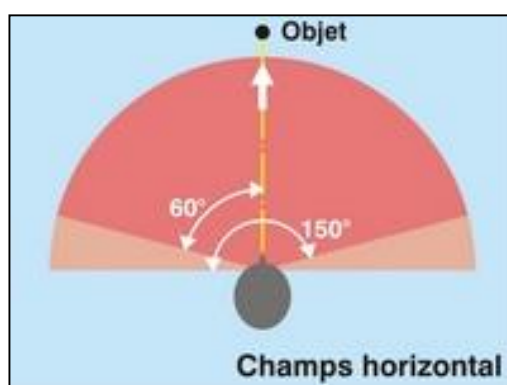


Figure 8. Le champ visuel (Bodart et Deneyer, 2008)

Le champ visuel peut également être défini comme étant la capacité de l'œil à saisir une information visuelle dépend de sa position relative dans le champ visuel. La fovéa : est un champ visuel assez restreint de  $2^\circ$  qui nous permet de percevoir les détails et plus nous nous éloignons de ce champ central, plus les détails sont difficilement perceptibles. L'ergonoma : est un champ visuel de  $30^\circ$  par rapport à l'axe de vue et il nous permet de distinguer les formes. Le panorama : est un champ visuel de  $60^\circ$  par rapport à l'axe de vue qui nous permet de distinguer les mouvements.

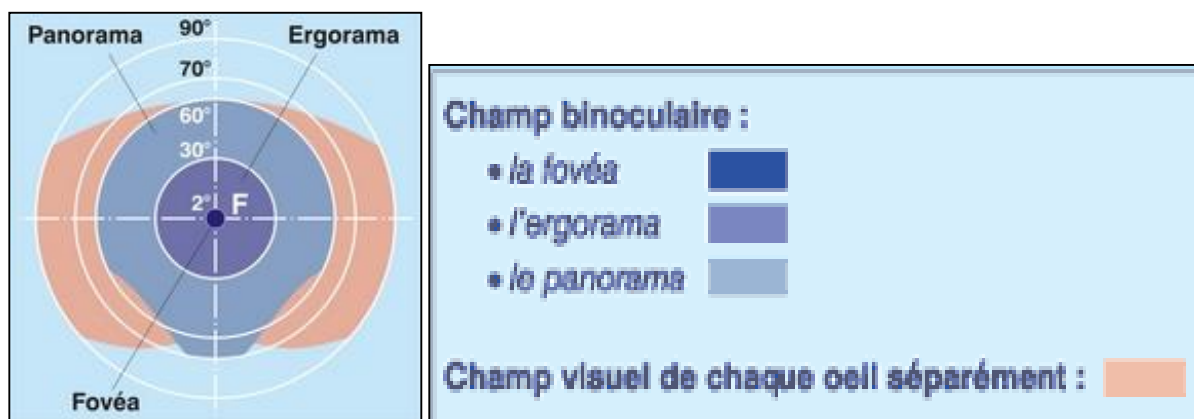


Figure 9. Le champ visuel (Bodart et Deneyer, 2008)

### 1.2.3. La perception des couleurs

La couleur d'un objet dépend de la lumière qui l'éclaire : la couleur bleu est une couleur froide (riche en radiations bleues) tandis la couleur rouge est une couleur chaude (riche en radiations rouges). L'œil voit les couleurs de façon différenciée, nous sommes très sensibles au jaune et voyons mal les bleus et les rouges. Le système récepteur de l'œil (la rétine) est formé d'un ensemble de cônes et de bâtonnets : les premiers étant très sensibles à la lumière sont responsables de la perception des couleurs (bleu, vert, rouge). Les seconds, 100 à 500 fois plus sensibles que les cônes, nous permettent de voir dans des conditions de faible éclairage. La lumière est caractérisée par un facteur de réflexion qui varie d'une couleur à l'autre. Ce facteur est le rapport entre la quantité de lumière  $L$ , tombant sur une surface et la lumière  $l$ , réfléchié par cette surface. Il s'exprime en %.

La nature de la lumière rend les couleurs visibles et elle est décrite par :

- L'indice de rendu des couleurs IRC, exprimé en pourcentage, qui représente la capacité d'une source à rendre fidèlement les couleurs d'un objet (un IRC de 100 indique que la lumière considérée contient 100 % des couleurs existantes).
- La température de couleur, mesurée en degrés Kelvin qui désigne la teinte de la lumière émise par un corps en fonction de sa température (plus elle est élevée, plus la lumière considérée contient de grandes quantités de couleurs).

### 1.2.4. La performance visuelle

La performance visuelle est un taux d'évaluation du système visuel utilisé pour quantifier les aptitudes d'une personne à **détecter, identifier et analyser** les détails entrant dans son champ de

vision en se fondant sur la vitesse, la précision et la qualité de sa perception. Elle dépend entre autre des caractéristiques propres de la tâche à accomplir, de l'acuité visuelle de l'observateur, de la nature de l'arrière-plan, des conditions d'éclairage,...etc. La visibilité du détail dépend de : sa dimension angulaire et de sa forme, sa luminance et sa couleur, son contraste par rapport au fond immédiat, sa position dans le panorama visuel, la luminance d'adaptation, l'âge de l'observateur, le temps d'observation, etc...

### 1.2.5. Les critères du confort visuel

La sensation de confort diffère d'une personne à une autre ; on trouve des personnes qui préfèrent un éclairage naturel, même inconfortable, à certains éclairages artificiels assurés par des sources ayant une caractéristique spectrale qui ne correspond pas à celle de la lumière blanche. La température de couleur est un élément d'appréciation du confort visuel dû à la qualité de l'éclairage. Le diagramme de Kruithof établit les conditions du confort perçu pour différentes combinaisons d'éclairement et de température de couleur. Il montre que dans une ambiance peu éclairée (zone A), le confort est associé à une lumière chaude alors que dans une ambiance fortement éclairée (zone C), le confort est associé à une lumière trop froide. La zone intermédiaire (zone B) est celle du confort.

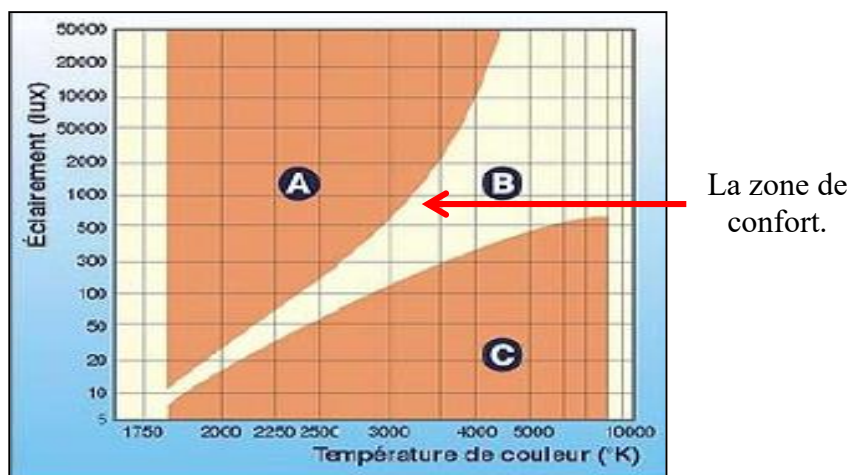


Figure 10. Le diagramme de Kruithof (Suzel Balez, 2008/2009)

Le confort visuel peut néanmoins se mesurer à travers des critères objectifs qui doivent être bien étudiés pour atteindre le seuil du confort : Le site, avec toutes ses contraintes Le nombre d'ouvertures, leur taille, leur orientation. La quantité de lumière naturelle. La qualité de l'éclairage naturel. La qualité de l'éclairage électrique en termes de confort et de dépenses énergétiques. La relation visuelle avec l'extérieur. -La qualité de l'éclairage électrique en termes de confort et de dépenses énergétiques.

### 1.2.6. Les paramètres du confort visuel

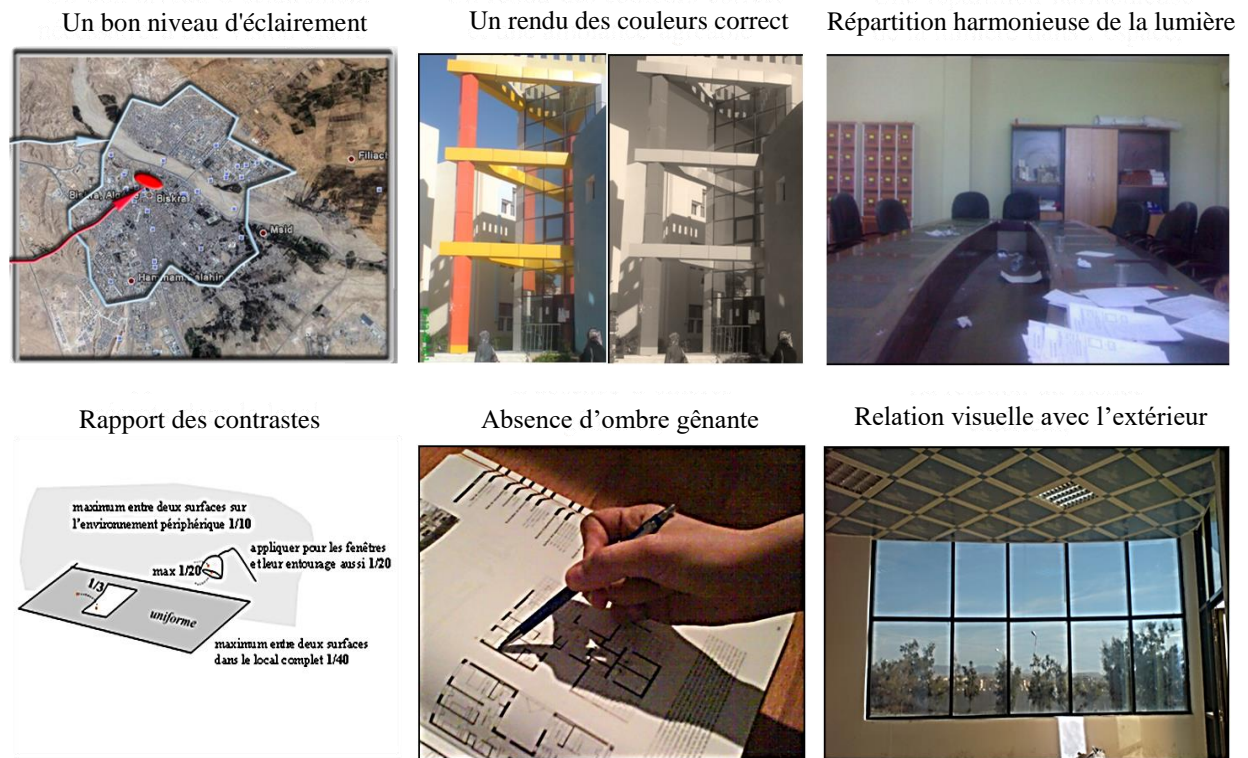


Figure 11. Les paramètres du confort visuel (Daich, 2011)

#### 1.6.2.1. Un bon niveau d'éclairage

Chaque activité nécessite un certain niveau d'éclairage dans la zone où se déroule l'activité. En général, plus la difficulté pour la perception visuelle est importante, plus le niveau moyen d'éclairage devrait être élevé. Un niveau d'éclairage minimum est nécessaire pour une vision claire et sans fatigue. Toutefois, un éclairage trop abondant peut être inconfortable. L'éclairage moyen recommandé est généralement fixé selon la fonctionnalité du local et la précision de la tâche visuelle qui doit y être exercée. Les recommandations sont souvent données en termes d'éclairage plutôt que de luminance pour faciliter sa mesure. Comme la sensation de luminosité est mieux représentée par la luminance, il faut tenir compte du coefficient de réflexion dans le choix de l'éclairage d'une surface. Plus il est faible et sa couleur est foncée, plus la vision s'avère difficile et plus le niveau d'éclairage doit être élevé.

#### 1.6.2.2. Un rendu des couleurs correct et une lumière agréable

Les différentes radiations colorées composant la lumière naturelle apparaissent aisément lors de leur réfraction et réflexion par des gouttes d'eau. Étant donné que l'œil est conçu pour la lumière du jour, la lumière émise par les sources artificielles devrait avoir la même composition spectrale que celle du soleil et du ciel : c'est le seul moyen pour que ne soit pas altérée la vision des

couleurs. Le système visuel regroupe les différentes radiations réfléchies et donne une sensation de couleur. La couleur perçue est intimement dépendante du spectre lumineux émis. Les objets qui ont des couleurs chaudes comme le rouge et l'orange sont plus agréables lorsqu'elles sont éclairées par une lumière chaude plutôt que par une lumière froide. Les couleurs chaudes seront de préférence utilisées dans des locaux de dimensions importantes tandis que les couleurs froides seront choisies pour les petits locaux. Les couleurs donc, peuvent contribuer dans une large mesure à modifier la dimension apparente des surfaces et des volumes.

### **1.6.2.3. Une répartition harmonieuse de la lumière dans l'espace**

Pour permettre à la lumière naturelle de se distribuer le mieux possible dans le local, il est essentiel de placer le mobilier de telle sorte qu'il ne fasse pas écran et de disposer les zones d'activité judicieusement. Les plans de travail seront situés préférentiellement près des ouvertures où la lumière naturelle est bien reçue. L'uniformité de la luminance et la distribution de la lumière dans un espace dépendent de la répartition des sources lumineuses et de la réflexion des parois. Elle est d'autant meilleure que les réflexions de chaque paroi sont élevées et uniformément réparties. L'uniformité de luminance doit être : D'une part, entre le champ visuel en position de travail (le plan de travail) et au repos (les murs) D'autre part, entre les différentes surfaces de référence (éclairage de la zone de travail et de la zone voisine).

### **1.6.2.4. Les rapports de luminance présents dans le local**

La distribution lumineuse d'un espace doit être étudiée de telle façon que les différences excessives de luminance soient évitées pour permettre aux occupants de voir correctement (Des zones extrêmement sombres ou brillantes). Le contraste est la différence de luminosité entre un objet et son environnement ou entre les différentes parties d'un objet, faisant ressortir l'un et l'autre. La perception des détails d'une tâche visuelle est facilitée par les contrastes de luminance et de couleur entre ces détails et l'arrière-fond. Une grande différence de luminance dans le champ visuel conduit à l'inconfort visuel

Les valeurs maximales recommandées pour les rapports de luminances sont les suivantes :

- Arrière-fond de la tâche visuelle/entourage, 1/3.
- Arrière-fond de la tâche visuelle/champ visuel (180°), 1/10.
- Sources lumineuses/surfaces contiguës, 1/20.
- Pour l'ensemble de l'espace intérieur, 1/40.

Il convient donc de ne pas dépasser certaines valeurs de contraste entre les différentes zones du champ visuel

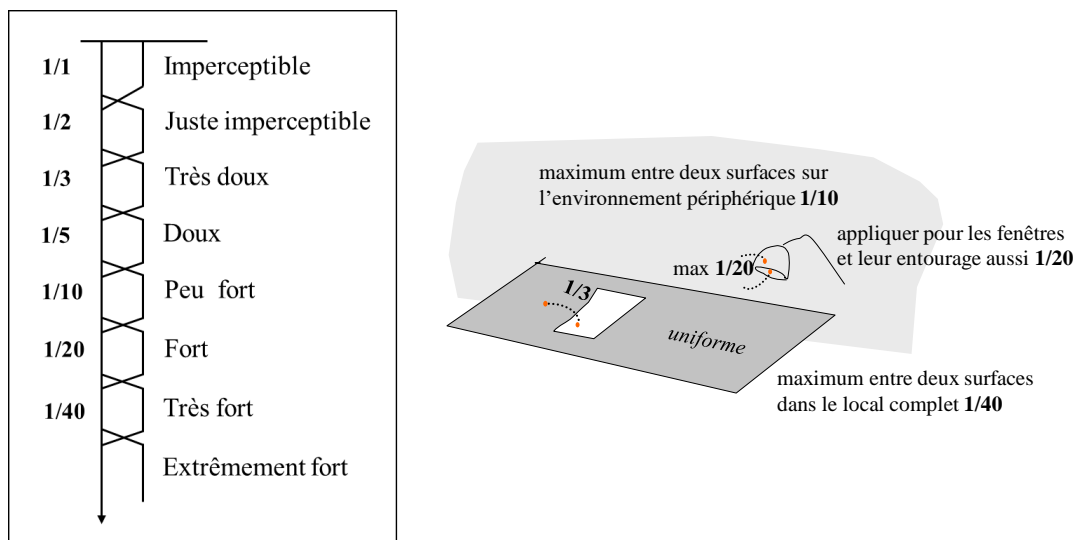


Figure 12. Rapports de luminance présents dans le local : à gauche, Les sensations relatives aux différents niveaux de contraste ; à droite, Valeurs recommandées pour le contraste (Mudri, 2002)

### 1.6.2.5. L'absence d'ombres gênantes

Lorsqu'un objet opaque est éclairé par une source de lumière, certaines zones situées derrière l'objet, ne reçoivent pas de lumière et constituent l'ombre de l'objet. On dit également que l'ombre se produit quand un élément se trouve la source lumineuse. L'ombre portée sur un objet éclairé prend deux zones : La première zone est située à l'opposé de la source lumineuse et elle ne reçoit pas de lumière ; ceci s'appelle l'ombre propre. La deuxième zone est la région d'un écran, d'un mur, etc..., placé derrière l'objet éclairé, qui ne reçoit pas de rayon lumineux (c'est la zone non éclairée de l'écran) ; elle s'appelle l'ombre portée.

### 1.6.2.6. La relation au monde extérieur

Les baies vitrées, par lesquelles la lumière pénètre, offrent le double avantage d'une communication visuelle vers l'extérieur et d'une vue au loin nécessaire au repos de l'œil après une vision rapprochée. Elles jouent aussi un rôle esthétique indéniable car elles font participer les paysages extérieurs à l'ambiance visuelle d'un espace déterminé. C'est l'éclairage naturel et l'accès aux vues qui constituent les aspects les plus importants dans l'atteinte de la satisfaction d'un employé par rapport à son espace de travail.

1.3.

LE CONFORT  
ACOUSTIQUE

## INTRODUCTION

L'acoustique en architecture a pour objectif d'offrir la qualité de son la plus adaptée aux lieux d'écoute que peuvent être des salles de spectacles (opéra, cinéma, théâtre...), mais aussi aux lieux publics que sont les salles dédiées au sport (gymnase, piscine...) ou les halls de transit (gare, aéroport ...). Le confort acoustique c'est d'une part une écoute satisfaisante des sons produits à l'intérieur, et d'autre part une non-gêne par les bruits extérieurs ou les bruits de choc et d'équipements.



### **1.3.1. Rappel des notions de base**

Le son pur est une vibration dans un milieu élastique (air, eau, matière solide) caractérisé par la fréquence (nombre de vibrations par seconde), l'amplitude (niveau sonore ou volume du son) et la durée. A partir de la fréquence, on peut classer les sons en 3 catégories :

- Les sons graves (fréquence inférieure à 100Hz = basse fréquence)
- Les sons moyens (fréquence allant de 100 Hz à 2 kHz = moyenne fréquence)
- Les sons aigus (fréquence supérieure à 2 kHz = haute fréquence)
- Le son se mesure en décibels (dB), unité de mesure logarithmique, ce qui implique que :

L'addition de deux sources sonores identiques entraîne une augmentation de 3 dB (50 dB + 50 dB = 53 dB). Une multiplication par 10 de la puissance acoustique entraîne une augmentation de 10 dB. (50 dB x 10 = 60 dB). Si deux bruits ont des niveaux sonores différents d'au moins 10 dB, le plus élevé masque le plus faible, effet de masque. (50 dB + 60 dB = 60 dB).

### **1.3.2. Définition du bruit**

Le bruit est une vibration de l'air qui se caractérise par sa fréquence, son intensité et sa durée d'émission. C'est un mélange complexe de sons purs à de multiples fréquences et amplitudes différentes. On associe le bruit à toute sensation désagréable, gênante ou non voulu (par exemple : bruit d'avion, de machine, parole, etc.).

### **1.3.3. La propagation du bruit**

C'est le chemin parcouru par les ondes émises par la source sonore pour atteindre notre oreille. La vitesse de propagation dépend du lieu dans lequel est émis le son, elle est dans l'air de 340 m/s. Dans un espace acoustiquement ouvert, un bruit ne rencontre pas d'obstacle et son intensité diminue avec l'éloignement de la source sonore. La propagation se fait en champ libre. Dans un environnement construit, un bruit rencontre de nombreux obstacles qui tantôt l'absorbent et tantôt le réfléchissent. Le niveau sonore est pratiquement le même en tous points. La propagation se fait en champ diffus. Il existe trois types de bruit, on trouve les bruits aériens intérieurs et extérieurs (sons qui naissent et se propagent dans l'air) : voix, musique, voitures, avions, etc, les bruits d'impact (sons qui naissent au contact d'un élément constitutif du bâtiment et se propage au travers de celui-ci) : pas, outils, etc. et les bruits générés par les équipements : ventilation, chaudière, etc.

Une onde acoustique se caractérise par deux grandeurs : son niveau et sa fréquence et qui sont illustres dans la figure ci-dessous (Figure 16).

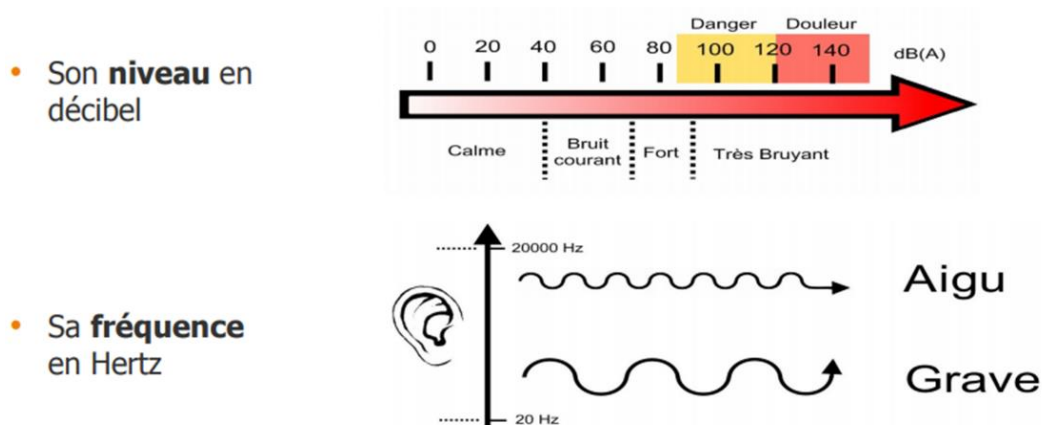


Figure 13. Les caractéristiques d'une onde acoustique (Matthieu, 2016)

### 1.3.4. Solutions contre le gêne acoustique

Des solutions techniques adaptées doivent compenser les éventuelles nuisances sonores, existantes ou prévisibles, en fonction de l'affectation des locaux. Une analyse de bruit dans l'espace est recommandée afin de localiser des sources sonores extérieures ou intérieures, définir leur type, durée, fréquence, niveau...). Les principales solutions sont les suivantes :

- La correction acoustique a pour but de maîtriser dans un local les réverbérations des bruits émis à l'intérieur
- L'isolation acoustique consiste à obtenir un niveau minimal d'isolement acoustique par rapport aux bruits internes du bâtiment et à son environnement.
- Affaiblir les bruits d'impact et d'équipements : Il convient de traiter la source et la transmission de ces bruits en privilégiant l'emploi de matériaux à forte capacité d'absorption, en désolidarisant les planchers de la structure du bâtiment, en prévoyant des tampons anti-vibratiles entre les équipements de plomberie et les parois...
- Mettre en place un zonage acoustique : Traitement différencié des ambiances acoustiques pour répondre à la variété des activités des usagers, organisation des pièces de façon à créer des espaces tampons avec la source de bruit en tenant compte des activités spécifiques aux locaux...

Pour parvenir à un niveau de confort acoustique satisfaisant à l'intérieur d'un bâtiment, il convient de prendre certaines précautions dès la programmation et la conception car les solutions curatives sont beaucoup plus onéreuses : a) protéger le local des bruits extérieurs (transmissions aériennes, vibrations, ...) après avoir fait l'inventaire et qualifié les sources de nuisances et b) protéger le local des bruits internes du bâtiment (réverbérations, transmissions latérales, ...).

#### **1.3.4.1. La protection contre les bruits extérieurs**

L'implantation et l'orientation d'un bâtiment sont les premières mesures de protection contre les bruits extérieurs dont les sources ont été clairement identifiées. Dans le cas d'une opération comptant plusieurs bâtiments, l'une des constructions peut servir d'écran acoustique aux autres. Pour une opération d'un seul bâtiment, ou si la configuration précédente n'est pas possible, la création d'écrans acoustiques naturels ou artificiels peut être envisagée. De plus, on pourra pratiquer un zonage acoustique de l'espace intérieur en fonction de l'usage des locaux. En complément de ces dispositions architecturales, le confort acoustique peut être assuré techniquement par le renforcement des parois opaques et vitrées. L'isolation des parois pleines consiste le plus souvent en un doublage intérieur grâce à des isolants non rigides (laines minérales, PSE dB). L'affaiblissement acoustique d'une fenêtre sera assuré par deux verres d'épaisseurs différentes et par l'étanchéité à l'air des liaisons entre les parois et les menuiseries.

#### **1.3.4.2. La protection contre les bruits internes**

Les bruits peuvent se propager soit par voie aérienne (transmission directe, réverbération) soit par voie solidienne (vibrations). Dans un bâtiment, le niveau de bruit engendré par les équipements ne doit pas dépasser 35 dB dans les pièces principales et 50 dB dans les pièces dites de service. Afin de lutter contre ces nuisances sonores, on devra : Choisir des équipements les moins bruyants possibles et trouver des solutions techniques limitant la propagation des sons et des vibrations (désolidarisation périphérique des parois, chapes flottantes, ...etc.).

#### **1.3.5. La propagation des ondes sonores**

Les ondes sonores émises par une source située dans une salle se propagent dans l'air vers les limites du volume et entrent en contact avec les parois ou les obstacles situés dans la salle. Leur comportement depuis leur émission obéit à des lois dépendant principalement des caractéristiques du signal émis et de l'impédance des matériaux rencontrés. Les principaux facteurs qui interviennent dans la structure du champ rayonné sont : La source sonore, Le milieu de propagation, La nature des parois, La nature des obstacles.

##### **1.3.5.1. La réverbération**

La réponse impulsionnelle de la salle peut alors être modélisée comme une séquence obtenue des réflexions parvenant au récepteur, appelée échogramme. Statistiquement, la densité d'échos parvenant au récepteur varie avec le carré du temps.

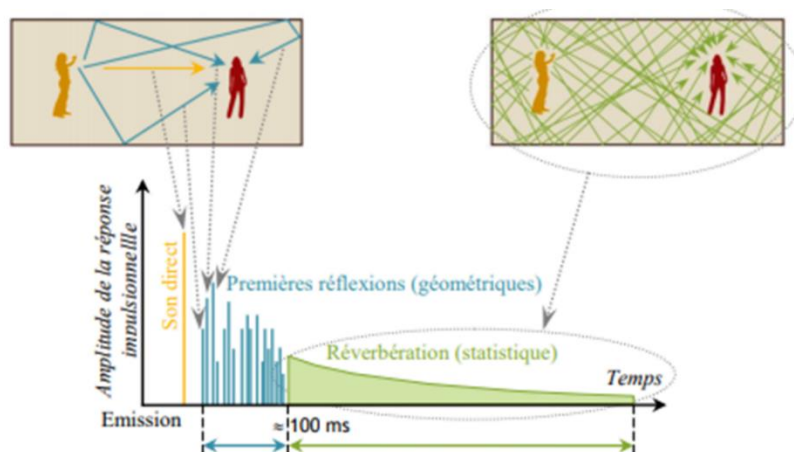


Figure 14. La réverbération dans une salle (Molinaro, 2017)

Une onde sonore lors de sa propagation est soumise à des phénomènes de réflexion, diffraction, diffusion ou absorption par les obstacles rencontrés (sol, murs et plafond, mobilier ...).

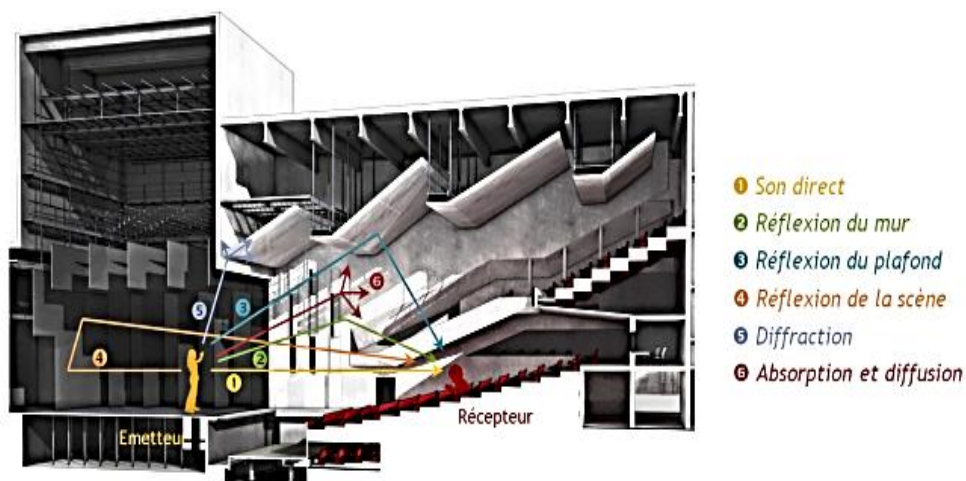


Figure 15. Le comportement physique d'une onde acoustique dans un auditorium (<http://www.uncubemagazine.com>)

L'onde directe et les ondes réfléchies se superposent et contribuent à la qualité du son perçu.

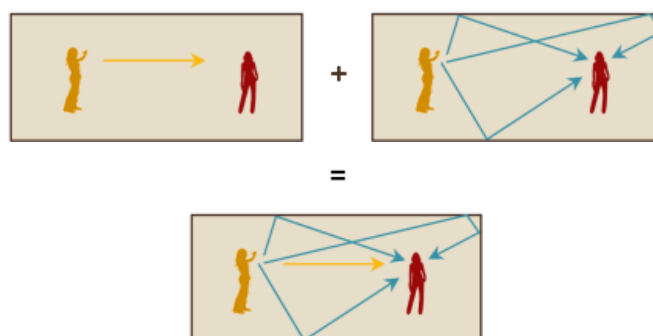


Figure 16. La propagation d'une onde sonore (Molinaro, 2017)

## I.4. LE CONFORT OLFACTIF

### 1.4.1. La gêne olfactive

Les gênes olfactives potentielles proviennent aussi bien de l'extérieur que de l'intérieur des bâtiments. Cette préoccupation est à ce jour rarement prise en compte dans les programmes et les projets. Elle est l'équivalent du bruit pour le son : A l'intérieur : pathologie du bâti comme les moisissures, produits conservés (papiers, alimentaire, déchets, ...) ou fumée de cigarettes. A l'extérieur : présence d'établissements polluants, proximité d'usines ou d'établissements agricoles, trafic automobile, ... Le confort olfactif se traduit soit par l'absence d'odeurs, soit par la diffusion d'odeurs agréables. Il se résume donc en une recherche de la qualité de l'air ambiant par deux moyens : la limitation des polluants à la source, une ventilation appropriée des locaux

#### 1.4.1.1. Réduire les sources d'odeurs désagréables

Les sources d'odeurs jugées désagréables par elles-mêmes ou par leur concentration excessive : Certains produits d'entretien et de maintenance, certains produits de nettoyage, et Les déchets. Les produits de construction et les équipements ne doivent pas être des sources durables d'odeurs désagréables. L'air fourni à chaque local ne doit pas contenir d'odeurs jugées désagréables en concentration excessive. L'emplacement des prises d'air et des bouches d'extraction d'air doit être réfléchi

#### 1.4.1.2. Ventilation permanente

Dans une pièce confinée, la composition de l'air est modifiée par la présence des occupants. L'air finit par devenir impropre à la respiration. Il est donc important de choisir un système de ventilation performant et de le dimensionner en tenant compte au mieux des différents comportements des usagers (modes d'occupation, commande du système de ventilation, ouverture des fenêtres...). S'assurer que les débits d'extraction d'air vicié et les débits d'air à fournir par les équipements techniques à chaque local ne sont pas sous-évalués et sont effectivement assurés. Il peut être difficile de concilier ce besoin de ventilation avec le souci de maîtrise et d'économie d'énergie, car les systèmes de ventilation sont souvent énergivores.