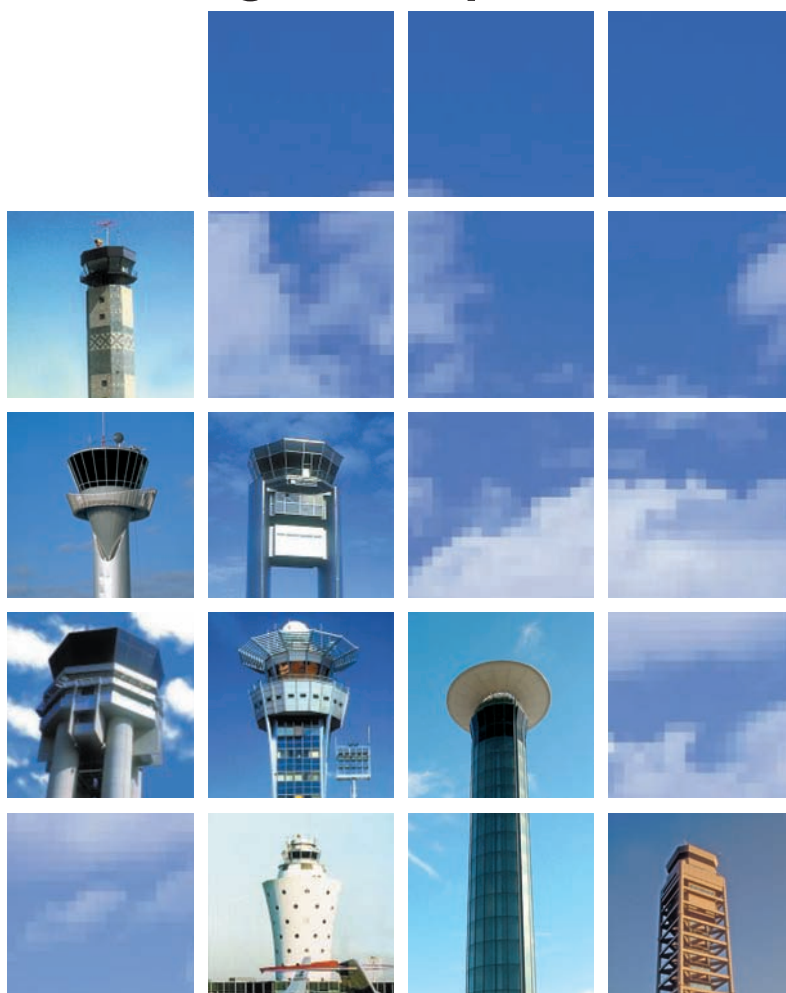


# Les tours de contrôle

## Fascicule 3

### Les exigences qualitatives







# Sommaire

De l'ensemble bloc technique - tour de contrôle, la vigie est la plus délicate à concevoir.

Sa fonction de contrôle en fait un lieu très sensible où les conditions de travail doivent être optimales, l'environnement intérieur influençant le comportement et l'activité des occupants.

C'est pourquoi le concepteur doit respecter certaines exigences qualitatives explicitées dans ce fascicule.

## Fascicule 3

# Les exigences qualitatives

Principes d'ergonomie	7
Organisation de l'espace de travail	8
Détection des signaux	10
Confort visuel	12
Confort thermique	16
Confort acoustique	24
Accessibilité	
Lexique	34

---





# Principes d'ergonomie

**La conception des bâtiments et en particulier d'une vigie passe par le respect de règles ergonomiques dont certaines sont érigées en normes : notamment les champs de vision, le confort thermique, l'ambiance lumineuse et le confort acoustique.**

De par sa fonction, la vigie est la partie de l'ensemble tour de contrôle - bloc technique qui réclame le plus d'exigences. En effet, l'impératif de visibilité de l'activité contrôlée d'aérodrome induit des spécificités de construction, notamment un local très transparent placé en hauteur, avec tous les inconvénients que cela comporte. Le traitement

architectural de la vigie sera lui aussi spécifique, ainsi que l'organisation à l'intérieur du local, l'ergonomie ou le confort des usagers. Les contrôleurs, mais aussi les autres utilisateurs de la vigie, s'attendent à une qualité répondant aux exigences de leur travail, bien que leurs souhaits s'expriment, en général, dans le domaine du subjectif " pas de bruit ", " pas trop chaud ", etc. C'est donc aux programmistes et concepteurs de les rendre cohérents et de les quantifier, en passant par les règles d'ergonomie.

Les principes directeurs de l'ergonomie\* s'articulent autour de la conception de l'espace et des moyens de travail, de l'environnement et des processus de travail. L'espace de travail est le volume assigné à une ou plusieurs personnes dans le système de travail pour accomplir leur tâche. Dans les moyens de travail sont compris les meubles, les installations et autres éléments matériels nécessaires. L'environnement est l'ensemble des éléments physiques, chimiques, biologiques, sociaux et culturels qui entourent une personne à l'intérieur de son espace de travail.

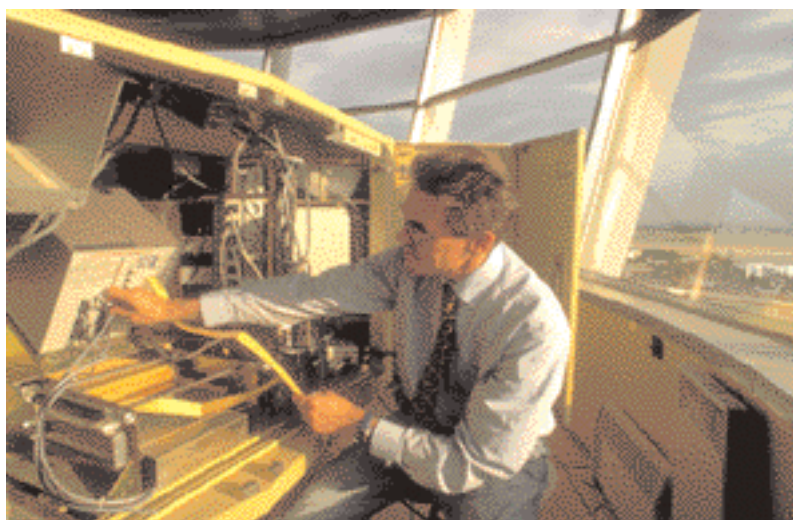
Le processus de travail est la succession dans le temps et dans l'espace de l'action conjointe de l'homme, des moyens de travail, des matériaux, de l'énergie et de l'information dans le système de travail. Ce processus a été illustré, pour le contrôle en vigie, dans le fascicule 1.

L'espace et les moyens de travail doivent être conçus en fonction de l'être humain, et plus exactement en fonction des mensurations corporelles humaines, des postures et des efforts musculaires prévus et des mouvements accomplis. Ainsi, nous prendrons la hauteur de l'œil à 1,60 - 1,62 m en position debout et 1,20 - 1,22 m en position assise. L'environnement de travail, ici l'espace vigie, doit être conçu et maintenu de telle sorte qu'il n'y ait pas d'influence négative sur l'homme, et que sa capacité de travail soit favorisée au maximum. Et l'on tiendra compte aussi bien des phénomènes mesurables que d'appréciations subjectives.

\* voir lexique



# Organisation de l'espace de travail



1 D'autres personnes que les contrôleurs travaillent en vigie. Ici, la maintenance - PARIS-ORLY

**L'organisation interne de la vigie doit permettre une cohabitation de ses différents usagers.**

Comme on l'a vu au précédent chapitre, la fonction principale de la vigie est le contrôle. Après avoir déterminé le nombre de postes nécessaires avec leur fonction particulière (contrôle sol, approche, etc.), il faut placer les pupitres de telle manière que chaque contrôleur ait une vue optimum sur les sec-

teurs qui lui sont attribués. Cette réflexion préalable permet de trouver les dispositions les plus rationnelles possibles pour répondre aux exigences du travail des contrôleurs, la visibilité bien sûr mais aussi la proximité nécessaire entre eux ; car faire atterrir un aéronef est un travail d'équipe. A partir de là, on peut en déduire une certaine forme de vigie ou du moins éliminer celles qui ne sont pas adaptées à la situation.

Tenir compte de différentes fonctions  
Cependant, il faut également intégrer les besoins des autres usagers de la vigie, qui accomplissent les fonctions suivantes :

## **Maintenance**

Cette activité opérationnelle assure le bon fonctionnement des équipements électroniques de navigation aérienne (moyens de télécommunication, aides radios et visuelles,...). Son intervention est donc fréquente en vigie, notamment sur les pupitres de contrôle.

La maintenance intervient pour la remise en route des équipements tombés en panne, mais aussi périodiquement de manière préventive à des fins de mesures, contrôles, réglages, nettoyages ou changements de composants, d'améliorations ou de modifica-

tions. La maintenance peut effectuer ces tâches en vigie ou emporter les matériels en ateliers. La maintenance peut assurer aussi la fonction de bureau d'études des installations de navigation (adaptation, modification).

### **Informatique**

Cette fonction s'occupe uniquement des problèmes liés à l'informatique, (actualisation, modernisation, dépannage) et n'est présente que pour les vigies importantes. Elle n'apparaît pas toujours et est souvent confondue avec celle de maintenance.

### **Commandement**

Il est assuré par le directeur d'aérodrome, qui a la responsabilité de l'aérodrome - notamment des divers organismes de la navigation aérienne - et contrôle toutes les activités aériennes qui lui sont rattachées. Il assure l'administration générale et celle des personnels de la navigation aérienne. Il est chargé de la sécurité de l'aérodrome et de sa protection. Il est responsable des activités de contrôle de la vigie.

### **Bureau de piste - Bureau d'informations aéronautiques**

Le bureau de piste est chargé de recevoir, vérifier et acheminer les plans de vol, vérifier et viser les documents de bord, vérifier l'application des règlements opérationnels pour les pilotes et compagnies éventuelles. Il tient le registre des mouvements.

Le bureau d'informations aéronautiques renseigne les équipages sur l'infrastructure et les équipements aéronautiques utiles à la préparation et au déroulement des vols.

Cette fonction n'est assurée en vigie que pour les petits aérodromes, par souci d'économie de personnel.

Ces deux bureaux reçoivent du public.

### **Entretien**

Cette fonction a pour charge le nettoyage des locaux, notamment les vitrages de la vigie...

Pour les petites vigies (aérodromes de caté-

gorie D), le concepteur devra prévoir un espace suffisamment grand pour que l'agent puisse à la fois effectuer son rôle de contrôle et tenir le bureau de piste, l'information aéronautique et prendre en compte les meubles supplémentaires nécessaires.

La maintenance et l'entretien doivent pouvoir travailler en vigie en même temps que les contrôleurs. Il faut donc organiser ce local de telle manière que les uns et les autres ne se gênent pas.

Plus le nombre de postes est élevé, plus on s'efforcera de séparer les lieux d'intervention des différentes fonctions, par exemple avec des coursives pour la maintenance et l'entretien, autour d'un podium pour les contrôleurs, etc. La fonction commandement d'aérodrome, quant à elle, n'a aucune influence sur la conception de la vigie.

A ce stade, on peut mieux appréhender les dimensions adéquates de la vigie.

### **Espace sous vigie**

Les contrôleurs ont besoin d'un espace pour se reposer à proximité de leurs pupitres afin de pouvoir intervenir rapidement en cas d'urgence.

Par ailleurs, on a vu que la vigie était obligatoirement climatisée. et qu'il fallait pour des raisons techniques trouver un local tout proche pour y installer les appareils de climatisation. De même lorsque la salle technique est trop éloignée, il faut créer un local technique également proche pour y installer les appareils nécessaires.

De plus, sous la vigie, doit être prévu un endroit accessible où arriveront les câbles et d'où ils seront reportés vers les pupitres.

Ces trois fonctions essentielles au fonctionnement humain et à la desserte technique de la vigie conduisent à les grouper à proximité immédiate et à les poster généralement dans un espace situé immédiatement au-dessous d'elle.

Cependant, lorsqu'il faut concevoir des vigies qu'il n'est pas nécessaire de doter d'une vision à 360°, l'angle mort peut être utilisé pour l'aménagement du local vie.

**Pour le bon fonctionnement en vigie, un espace sous vigie est nécessaire. On y trouvera un local technique et un local réservé à la climatisation.**



# Détection des signaux

Les signaux matérialisent un état ou un changement d'état dans le système de travail, c'est une information. Il y en a de 3 sortes : tactiles, auditifs et visuels. Le contrôleur doit les percevoir de façon optimale.

Le signal auditif est constitué de sons, purs ou complexes, de bruits ou de messages parlés qui peuvent varier par leur intensité, leur durée, leur hauteur, leur timbre, les intervalles entre deux émissions sonores, etc. Le signal auditif permet la communication avec un opérateur sans imposer à celui-ci une place précise ; de plus, ce signal peut l'atteindre même s'il est occupé à autre chose.

Les signaux auditifs sont surtout constitués de communications. Ils doivent être détectés dans de bonnes conditions : proximité suffisante, absence de son ou de bruit masquant, émission modulée ou intermittente. Une connaissance précise du système et des instructions claires doivent permettre la mise en œuvre des comportements requis par l'apparition du signal. En plus des messages radio, les signaux d'alerte ou de panne peuvent également être auditifs. Il vaut mieux, dans ce cas, utiliser un signal à deux tons ou plus émis successivement et répétés plutôt qu'un signal à un seul ton, plus difficilement identifiable.

Le signal tactile utilise le relief, l'état de surface, les contours de tout objet pouvant être au contact de la peau, particulièrement au niveau des mains, pour communiquer à l'opérateur, par un moyen autre que le contrôle visuel, des informations sur les objets. Le signal ainsi constitué permet de détecter la présence d'une pièce ou d'un dispositif de commande et de l'identifier par sa forme et sa position dans l'espace ou sa position relative parmi plusieurs autres pièces ou dispositifs de commande ; par exemple, une pédale. Les objets à détecter doivent, bien sûr, être dans la zone d'atteinte du corps. Ils doivent se différencier nettement par leurs formes et leur localisation. La prise en compte de ce type de signal intervient dans la conception des mobiliers en vigie.

Le signal visuel est une source de lumière, un

**Le contrôleur doit pouvoir repérer facilement différents signaux avertisseurs : visuels, auditifs ou tactiles.**

**Les emplacements et écrans à voir impérativement doivent se situer dans la zone dite « bonne » du champ de vision.**

**En position assise, le contrôleur doit avoir une vision signal, c'est-à-dire que son attention doit être attirée par le moindre signal, que ce soit dans son panorama ou son ergorama.**

objet ou un signe éclairés (un clignotant, un avion, un panneau). La bonne détection de ce signal va dépendre de deux facteurs : sa localisation et sa fonction :

a) la localisation du signal dans le champ de vision du contrôleur

On distingue, dans le champ de vision, quatre zones d'efficacité décroissante pour la détection d'un système visuel (voir hors texte 3-1) :

- une zone optimale : le signal est dans la zone optimale s'il est situé dans le plan sagittal\*, sur un axe incliné de 15° par rapport à l'horizontale et qu'il apparaît dans un plan orthogonal à cet axe.

- une zone dite «bonne» formée par l'intérieur d'un cône entourant la zone optimale (cf. schéma 3-1).

- une zone dite «acceptable», formée par un cône enveloppant le précédent.

- une zone à n'utiliser que sous certaines conditions ou zone conditionnelle : tout le reste de l'espace autour de l'opérateur.

b) Le fonctionnement du signal

Il est de deux types :

- l'observateur consulte le signal en se mettant en situation d'observation volontaire. Le signal a alors un rôle indicateur ;

- l'observateur est sollicité par le signal visuel qui se manifeste pour attirer son attention. Le signal a alors un rôle avertisseur.

Le tableau du hors texte 3-1 permet de choisir les zones d'emplacement des signaux visuels par rapport à leur fonction. L'opérateur peut être en permanence dans les conditions lui permettant de détecter un signal ou s'y mettre à l'arrivée de ce dernier. On peut alors attirer son attention en associant au signal visuel un signal auditif ou un signal lumineux intense clignotant. Rien ne doit faire obstacle entre le signal et l'œil dans la position normale. Le signal doit être perçu sans déformation, ni forte atténuation, et les risques d'erreur de parallaxe doivent être évités. Enfin l'éclairage doit assurer de bonnes conditions de vision. On mettra tout en œuvre pour éviter les causes d'éblouissement, comme par exemple les reflets sur les

\* voir lexique



vitres.

L'attention du contrôleur dans la vigie va surtout être attirée par les signaux visuels et auditifs, les signaux tactiles servant plutôt de confirmation d'objets au niveau des pupitres. Il faudra donc veiller à ce que tous les signaux auditifs et notamment les messages radio soient parfaitement audibles. Tous les signaux, qu'ils soient au poste de contrôle ou à l'extérieur (aire à signaux, aéronef atterris-

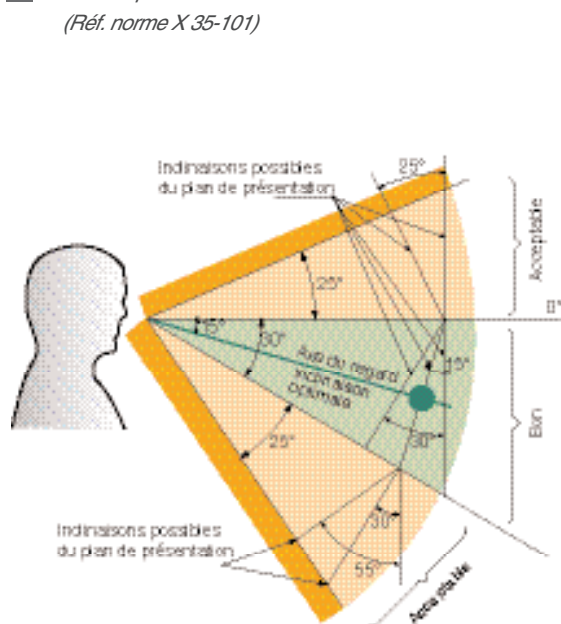
**Tandis qu'en position debout le contrôleur n'a qu'une vision de confirmation.**

sant, au point d'arrêt,...) doivent être parfaitement visibles. Dans la pratique, les zones peuvent subir des modifications. Nous voyons ici l'importance de l'inclinaison optimale de l'axe du regard qui est de 15° en dessous de l'horizontale dans le plan sagittal. Nous en verrons les conséquences sur le mobilier et la géométrie de l'espace intérieur (fascicule 4).

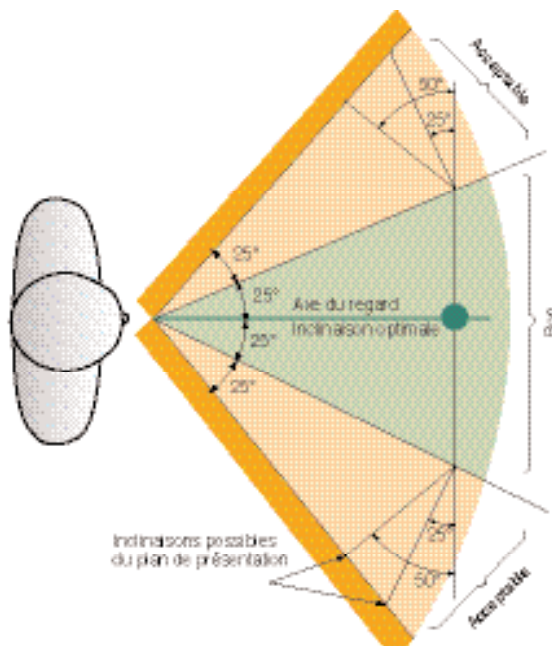
Zones	Signal indicateur (nombre de signaux par heure)			Signal avertisseur	
	Très fréquent > 60	Fréquent de 6 à 60	Rare < 6	Le plus important	Les autres à ne pas manquer
<b>Optimale</b>					
<b>Bonne</b>					
<b>Acceptable</b>					
<b>Conditionnelle</b>					

**Choix des lieux d'implantation des signaux, conformément à leur fonction**

- ☐ zones recommandées
  - ▒ bien que la zone optimale ou bonne soit valable quelle que soit la fréquence, il est inutile d'encombrer le champ de vision de l'opérateur de signaux dont il n'a pas souvent besoin
  - dans ces zones, risques d'omissions importants, si la zone bonne est déjà occupée, utiliser un avertisseur sonore
  - zones à proscrire
- (Réf. norme X 35-101)



Champ de vision - plan sagittal



Champ de vision - plan horizontal

Hors-texte 3-1



## Confort visuel

**Le contrôle aérien est exigeant sur le plan visuel. Il faut donc apporter du confort, éviter toute gêne et réduire la fatigue.**

La visibilité est, nous l'avons vu, primordiale pour le contrôle d'aérodrome au point qu'elle doit déterminer l'emplacement et la hauteur de la vigie. Mais il faut veiller à ce qu'une bonne visibilité théorique se confirme dans la réalité. Pour cela, il faut faire attention aux masques engendrés par la structure de la vigie (allèges, poteaux, faux plafonds,...) mais aussi par les meubles à l'intérieur de celle-ci. Ayons à l'esprit que le premier obstacle visuel pour le contrôleur regardant vers le bas est son propre pupitre. Rien ne sert alors de prévoir des allèges basses pour permettre des angles de visibilité favorable si les pupitres y font écran. La solution ne serait recevable qu'en termes d'esthétique.

Le contrôle aérien est très exigeant sur le plan visuel. Il sollicite l'ensemble des facultés oculaires par phases successives, d'une manière

continue ou par à coup. En conséquence, l'éclairage intérieur doit être bien étudié et une étude spécifique est, pour de grandes opérations, souhaitable. Elle doit représenter l'aboutissement d'un processus d'analyse, qui passe par la définition de l'espace visuel tel qu'il sera vécu par les utilisateurs du local et dont les paramètres fixent les réglages physiologiques fondamentaux :

- niveau de la lumière avec ses deux pôles extrêmes éblouissement et obscurité
- distribution de la lumière
- distances de vision et netteté des divers plans
- absence d'éblouissement et de reflets gênants
- adaptation à la lumière
- couleur
- plages de luminances équilibrées
- contrastes de luminance et couleur

La sensation lumineuse que l'être humain éprouve est due à l'action des seuls rayonnements électromagnétiques de longueurs d'onde comprises entre 0,38  $\mu$  et 0,78  $\mu$  (1  $\mu$  = 1 micron =  $10^{-6}$  m). Ce sont, en effet, ces radiations qui, avec une efficacité variable sur l'œil suivant leur longueur d'onde, permettent le phénomène physiologique de la vision. L'efficacité lumineuse des différentes radiations permet de transformer le flux énergétique émis par une source de rayonnement en flux lumineux. Pour la lumière solaire, il suffit de multiplier la quantité d'énergie présente dans chaque radiation monochromatique par son efficacité lumineuse qui a été normalisée par la Commission internationale de l'éclairage.

Les problèmes visuels concernant la vigie sont de deux ordres.

Le premier est ce qu'on appelle l'ergorama\* qui est constitué par l'intérieur de la vigie et notamment par les pupitres. A ce niveau, l'activité de contrôle entraîne diverses tâches visuelles :

- la détection sur des scopes\* radars, quand ils existent, de signaux clairs sur fond lumineux ;

\* voir lexique

- la lecture d'écrits dont les détails sont foncés sur fonds clairs ou colorés ;
- éventuellement, la saisie d'informations sur écran informatique.

Le second est appelé panorama\* ; il est constitué par les pistes, les parkings et le paysage. A ce niveau, l'acuité visuelle consiste notamment à visualiser :

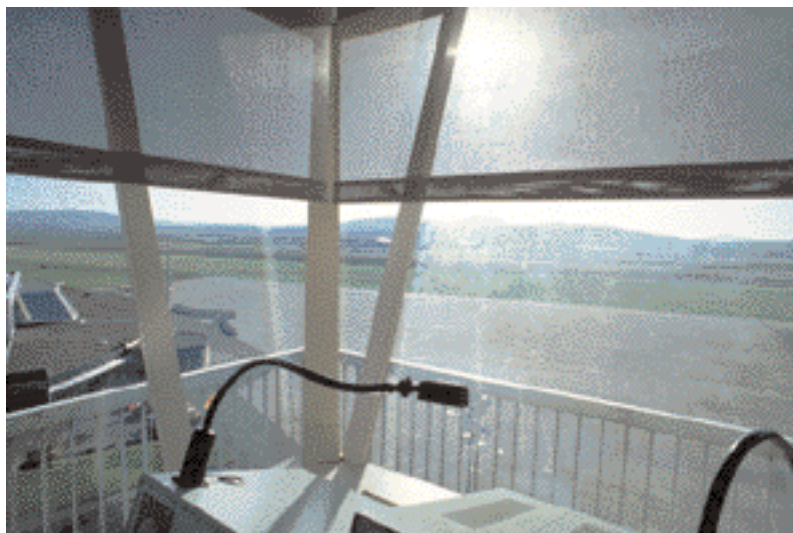
- l'approche (parfois avec des jumelles),
- la piste,
- les voies de circulation,
- les aires de stationnement,
- les tours de piste,
- les différentes autres zones au sol et éloignées (SSIS,...) (cf. fascicule 2).

Nous avons donc en vigie un double problème visuel à traiter, avec deux types de perception visuelle que l'on peut qualifier

- d'échelle tactile pour tout ce qui concerne la perception de l'ergorama,
- d'échelle visuelle pour tout ce qui concerne la perception du panorama.

A l'échelle tactile, l'information visuelle peut être confirmée par le toucher, perception qui sera favorisée dans un environnement matériel complexe, ceci à condition que l'objet à détecter soit dans la zone d'atteinte du corps. A l'échelle visuelle, l'information s'appuie sur des hypothèses probables et le travail de la mémoire visuelle y est plus important. Ces deux modes de perception nécessitent chacun un environnement matérialisé selon leurs caractéristiques. L'intérieur de la vigie, notamment les pupitres, doit être traité comme un habitat matériel, nécessitant un référentiel spatial orthogonal fort, permettant de zoner l'espace et de le fixer dans la mémoire, pour acquérir une plus grande liberté de comportement visuel. L'environnement immédiat, comme l'enveloppe de la vigie, quant à lui, doit favoriser la fluidité du regard par une certaine continuité en déniait pour cela toutes références spatiales.

Le fonctionnement de l'appareil visuel (cf. hors texte 3-2) entraîne l'accommodation du cristallin et l'adaptation de l'écartement pupillaire. Il ne permet pas de passer d'une



2 Vitrage sale à côté d'un vitrage propre

tâche à une autre instantanément. Or, l'ensemble de l'activité de contrôle implique des temps d'adaptation visuelle assez longs alors que les jeux de regard successifs sont souvent rapides. Le champ visuel doit donc être rendu le plus homogène possible. C'est pourquoi il est nécessaire de diminuer, de jour, la luminosité du panorama par des systèmes filtrants et de conserver à l'ergorama un éclairage d'appoint pour en augmenter le cas échéant la luminance\*. En revanche, la nuit, le niveau d'éclairage dans la vigie doit être faible (de l'ordre de 50 lux) pour obtenir les meilleures conditions de perception de ce qui se passe à l'extérieur, c'est-à-dire pour la fonction de contrôle. Encore que, nous aurons besoin de plus d'éclairage pour les autres fonctions, ainsi que sur les plans de travail afin de lire ou écrire.

La fonction contrôle d'aérodrome exige des parois transparentes de très bonne qualité et propres. Il faut donc proscrire tout matériau donnant des doubles images, des distorsions, un mauvais contraste, etc. De plus, les filtres utilisés, vitrages colorés par exemple, ne doivent pas être trop pénalisants en conditions de lumière extérieures faibles (cas d'un pla-

**Le choix du vitrage est un déterminant du confort visuel.**

\* voir lexique



3 Les reflets sont gênants et fatigants pour le contrôleur

fond de nuages bas, crépuscule,...).

Les contrôleurs travaillant sur écran ou scopes\* sont aussi soumis au phénomène de papillotement ressenti comme une gêne et un facteur de fatigue visuelle. Le papillotement est une impression de fluctuation de la luminance ou de la couleur se produisant lorsque la variation du stimulus nerveux se situe entre quelques hertz et la fréquence de fusion des images (50 à 75 Hz). C'est le cas lorsque les fluctuations de la lumière d'une source intermittente ont une fréquentation suffisamment faible.

Il est impératif, avant tout calcul d'éclairage, d'éviter tout reflet sur les parois trans-

**L'existence de baies vitrées est inhérente à la fonction vigie.**

\* voir lexique

parentes, et toute possibilité d'éblouissement. Une bonne position de la tour par rapport au soleil (face au nord dans l'hémisphère nord) et des filtres supplémentaires (films, stores,...) peuvent en atténuer les effets négatifs. En revanche, il faut veiller à ce que les projecteurs éclairant les parkings ou d'autres reflets (du soleil sur les immeubles voisins par exemple) ne viennent éblouir les contrôleurs.

De nuit, les reflets proviennent essentiellement de l'éclairage intérieur de la vigie et sont particulièrement inconfortables, même si l'éclairage général est satisfaisant. Les lampes doivent être mises en place et traitées de telle manière qu'aucune ne crée de reflets. Pour ces mêmes raisons, en aucun cas l'éclairage ne sera réfléchi par le plafond. A l'inverse celui-ci devra être obscur, sombre et mat.



4 Les lampes ne doivent pas se refléter sur les vitrages.

## **Physiologie de la vision**

*La performance visuelle dont la finalité est l'identification d'un signal objet ou d'un signe fait appel à deux processus physiologiques et psychologiques : la sensibilité aux luminances\* et la discrimination des formes.*

*La sensation de clarté, c'est-à-dire le fait qu'une plage soit perçue plus ou moins lumineuse, est la première et la plus simple des sensations visuelles. Cette sensation dépend :*

*- du caractère physique du signal (éclairage produit sur la pupille\*)*

*- de la transmission physique du signal à la rétine\**

*- du traitement du signal par la rétine et le cerveau.*

*L'œil a la faculté de s'adapter aux différents niveaux de luminance mais au prix d'une performance elle-même variable. Le temps d'adaptation n'est pas le même dans le sens de l'augmentation des luminances ou dans le sens décroissant. Dans le premier cas, elle est de quelques dixièmes de seconde ; dans l'autre cas, elle peut atteindre plusieurs dizaines de minutes. En cas de travail en faible luminance (la nuit par exemple), il existe des courbes d'adaptation permettant d'évaluer la durée minimale d'adaptation nécessaire pour ne pas se sentir «aveugle» dans un environnement pouvant présenter des dangers.*

*La discrimination des formes, processus psychologique complexe de reconnaissance visuelle de l'environnement fait appel entre autres à trois fonctions : la vision des contrastes, l'acuité visuelle, la perception des profondeurs et des distances.*

*L'information visuelle existe quand il est possible de détailler le contenu de deux plages contiguës (détail sur fond). Sauf pour les luminances faibles, le seuil de contraste (ou seuil différentiel de luminance) est proportionnel à la luminance du fond. L'acuité visuelle résume en un acte simple des conceptions très complexes sur le sens des formes. Sa valeur dépend à la fois des performances physiologiques de l'appareil de vision et des caractéristiques de l'environnement.*

*Les caractéristiques de l'œil déterminent fondamentalement l'acuité visuelle. Elle dépend notamment : des qualités optiques de l'œil (dimension, sphéricité,...), de facteurs extérieurs, de l'intégrité des voies nerveuses et du cortex. L'environnement peut être caractérisé par la luminance (l'acuité passe par un maximum en fonction de la luminance), le contraste (l'acuité augmente avec le contraste) et l'espace environnant (l'optimum est obtenu lorsque la luminance de l'espace environnant est égale à celle du fond sur lequel est vu le détail).*

*La perception des profondeurs et des distances dépend à la fois de fonctions psychologiques telles que la variation de convergences et de fonctions physiologiques ou intellectuelles telles que le souvenir de*

*la taille et de la forme d'objets communs. L'intégration cérébrale de la perception visuelle est nécessaire à l'évaluation mentale des profondeurs et des distances dans le champ environnant. Les facteurs intervenants sont : la vision binoculaire entraînant une disparité physiologique des images rétinienne droite et gauche et la variation des convergences ; la mémorisation de la dimension approximative d'objets connus ; l'occultation des objets les uns par rapport aux autres ; le mouvement apparent des objets en fonction des mouvements de la tête.*

*La fatigue visuelle est surtout liée à la sollicitation excessive de la musculature de l'œil (accommodation, variations du domaine pupillaire, mouvements du globe oculaire). Dans la vision de près, deux facteurs de fatigue musculaire se combinent : accommodation et convergence des axes visuels (soit l'orientation des axes visuels, axe joignant le fovéa\* au centre optique de l'œil vers un même point). L'accommodation est l'augmentation de la puissance optique de convergence de l'œil, dans la vision rapprochée (moins de 6 m), par diminution du rayon de courbure de la face antérieure du cristallin\*.*

*Dans le champ visuel, on peut distinguer la zone de travail et la zone périphérique sollicitée dans les tâches d'alerte et de vigilance.*

*Des rapports de luminance sont à respecter entre les diverses zones de l'espace environnant pour faciliter la perception de détails. En effets, celle-ci dépend non seulement de la luminance de fond mais aussi des équilibres des luminances dans l'ensemble du champ visuel.*

*L'éblouissement perturbateur ou l'incapacité par éblouissement trouve sa cause dans l'existence d'une source brillante dans le champ visuel (soleil, reflet,...). Cette source agit comme si un voile s'interposait entre l'œil et la tâche visuelle : c'est la luminance de voile, c'est-à-dire un effet de voile produit par des sources ou des surfaces éblouissantes situées dans le champ visuel qui conduit à une réduction du contraste perçu, donc à une diminution de la performance visuelle et de la visibilité. cela provoque une baisse de l'acuité visuelle et de la sensibilité lumineuse. Cette luminance de voile dépend du flux lumineux\* incident sur l'œil et de l'angle que forme la direction de la source avec l'axe visuel. «L'éblouissement inconfortable» n'entraîne pas d'incapacité visuelle mais une simple gêne qui contribue à terme à la fatigue. Le désagrément est un résultat directe de la luminance de la source, de l'angle solide\* sous lequel elle est vue et de son contraste avec le fond et une fonction inverse de l'angle que forme la direction de la source avec l'axe visuel. Cela se produit avec un ciel très clair. <sup>1</sup>*



# Confort thermique

Le confort thermique est une notion subjective difficile à appréhender et qui dépend de chaque individu. Si un groupe de personnes est placé dans un environnement donné, il est peu probable que tous les individus soient satisfaits. Le but sera donc de créer une ambiance intérieure qui satisfasse le plus grand nombre de personnes (au moins 80 % d'après les normes ISO 7730). La prise en compte de cette notion doit intervenir dès la conception du bâtiment car elle implique des choix des systèmes et l'organisation spatiale. Diverses études ont montré que les conditions de confort dépendent essentiellement de 5 paramètres caractérisant l'ambiance (température d'air, température radiante, vitesse relative, humidité et qualité de l'air, sa pureté) ainsi que de 5 paramètres liés à l'individu (notamment le niveau d'activité et le type d'habillement). D'autres paramètres comme le sexe, l'âge, le lieu, la vitesse de l'air excessive localement, un champ radiant asymétrique,...) contribuent également à ce confort, qui peut être obtenu par différentes combinaisons de tous ces paramètres.

## Identification de la notion de confort

Le travail biologique du corps humain (activité cellulaire, fonctionnement des organes et des muscles) génère de la chaleur. La quantité de chaleur produite est variable selon l'in-

**Le confort thermique résulte essentiellement de la température de l'air, de la température radiante, de la vitesse relative de l'air, de son humidité et de sa qualité ainsi que du niveau d'activité et du type d'habillement des occupants du local. Il doit satisfaire au moins 80 % des utilisateurs.**

dividu (une personne âgée réagira différemment d'une jeune personne). Mais le métabolisme\* change surtout en fonction de l'activité de la personne. Il s'exprime en  $W/m^2$  de surface corporelle ou en mets (1 met = 58  $W/m^2$ ). Des éléments de production d'énergie métabolique en fonction de l'activité sont donnés par la norme ISO 7730-1984 (F). Le travail en vigie oscillera pour les contrôleurs entre une activité assise et une activité légère debout de 1,2 met (ou 70  $W/m^2$ ) à 1,6 met (ou 93  $W/m^2$ ) ; cette dernière pouvant atteindre 2,8 mets (765  $W/m^2$ ) pour les personnels de la maintenance déplaçant un objet lourd. Le corps humain est muni de mécanismes thermorégulateurs permettant de s'adapter à certains environnements pendant une durée déterminée. Les réponses physiologiques involontaires ou volontaires à des contraintes thermiques (chaud ou froid) sont : la régulation circulatoire, l'accroissement de la production de chaleur par le frisson ou l'activité musculaire, la réduction d'échanges entre le corps et le milieu extérieur par changement de position, la perte de chaleur par sudation. Dans un régime stationnaire, la neutralité thermique se traduit par un équilibre entre les déperditions et la production interne de chaleur d'origine métabolique. Les différents modes d'échanges entre l'homme et l'environnement sont réalisés soit par chaleur latente telles sudation, perspiration (transfert continu de vapeur d'eau entre un milieu aqueux et poreux vers l'ambiance), expiration d'air chargé d'eau ; soit par chaleur sensible telles radiation, convection, (influence des mouvements de l'air sur le corps), conduction (contact pied-sol), ventilation pulmonaire. Il est possible en théorie d'établir une équation du confort en supposant que le corps soit en équilibre thermodynamique. Cependant, même si nous connaissons un certain nombre des variables de cette équation, d'autres resteront inconnues. C'est pourquoi on a préféré établir des diagrammes désignant les uns des courbes de confort optimum, les autres des zones de confort thermique intégrant la vitesse relative

de l'air, la température radiante des parois et le métabolisme, la résistance thermique entre la peau et l'extérieur (note  $I_{cl}$  dont l'unité est le clo (voir hors texte 3-3). Ces diagrammes donnent des courbes de confort optimum, liées à l'équation du confort, et des diagrammes de zone de confort (exemples fig. 1 à 6). Néanmoins, la sensation de confort thermique ne peut pas seulement se caractériser par des caractères physiologiques, car les données psychologiques influent également sur la perception du confort. Il convient ainsi d'offrir le meilleur profil de qualité d'un environnement pour le maximum possible de

personnes : au moins 80 %. Le respect de l'équation confort signifie que le corps est en parfait équilibre thermique. Cependant, un environnement peut être jugé satisfaisant même si cette équation n'est pas respectée.

## Des conditions du confort

Il est recommandé que le PPD soit inférieur à 10 %, ce qui correspond à un PMV compris entre -0,5 et +0,5 (voir hors-texte 3-3).

Il devient alors possible de définir des zones de confort relatif. Dans une vigie, il est pris

### Estimation de la résistance thermique des tenues vestimentaires

*Le confort thermique dépend également, il va de soi, de la tenue vestimentaire. En effet, nous avons des transferts de chaleur par conduction entre la peau et l'extérieur passant par les vêtements qui font office de résistance thermique comme toute paroi dans un bâtiment. Cette résistance est généralement évaluée en clo. Le clo est mesuré soit à l'aide d'un mannequin chauffé électriquement, soit directement sur des individus en relevant la température de la peau et du vêtement, ainsi que les conditions ambiantes.*

*La résistance thermique du vêtement, elle, dépend essentiellement de l'épaisseur et de la porosité de chaque couche de tissus ainsi que des couches d'air qui s'y trouvent prises. La norme ISO 7730-1984 (F) donne une estimation de la résistance thermique des tenues vestimentaires.*

*Aussi prendra-t-on dans les calculs, comme valeurs extrêmes, des résistances se situant entre 0,3 et 1 clo.*

*Lorsque la tenue vestimentaire est connue en détail, on peut connaître sa résistance totale ( $I_{cl}$ ) en fonction*

*de la résistance thermique estimée de chaque composant. Elle sera égale à :  $I_{cl} = 0,82 \sum I_{cli}$  où  $I_{cli}$  est la résistance du vêtement  $i$ .  $I_{cl}$  s'exprime en  $m^2 \text{ } ^\circ C/W$  ou en clo ( $1 \text{ clo} = 0,155 m^2 \text{ } ^\circ C/W$ ).*

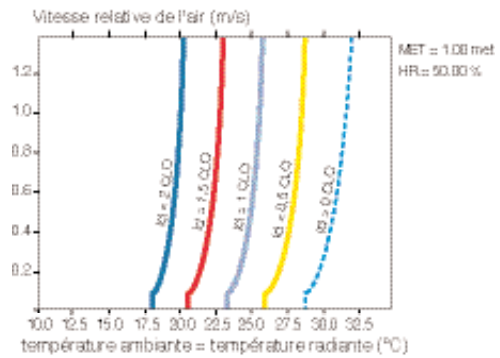
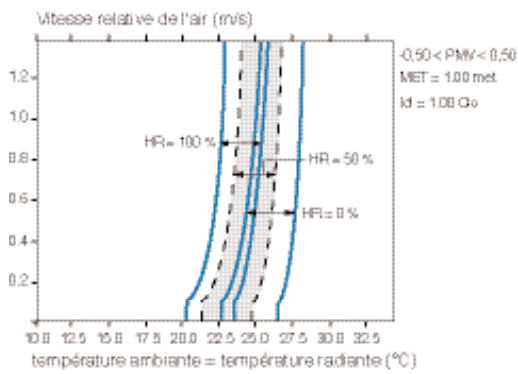
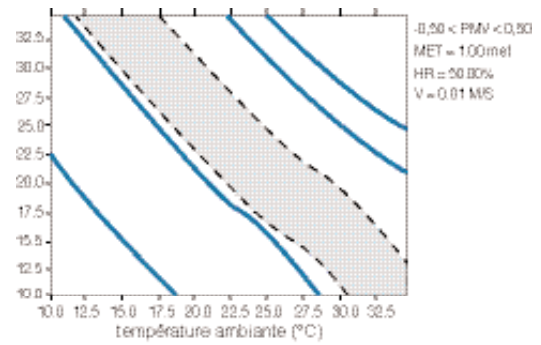
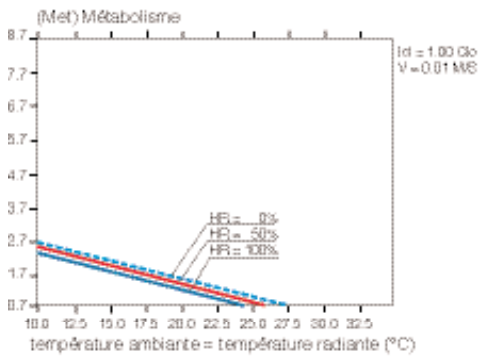
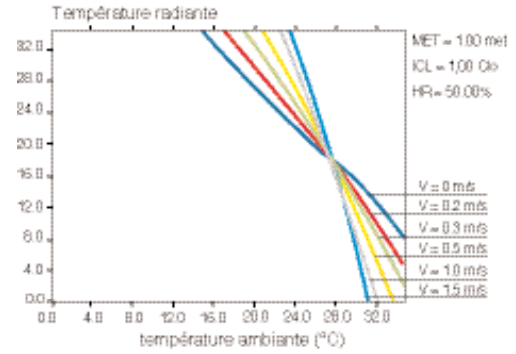
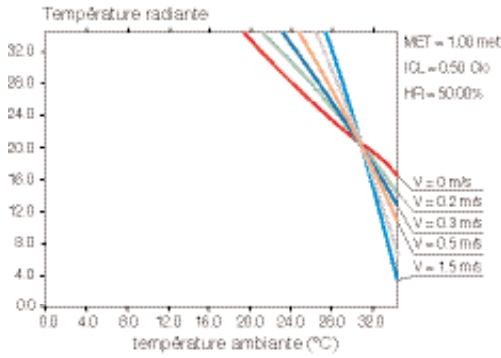
*La tenue du contrôleur dépend de la localisation géographique, de la saison, de la météo et bien évidemment du confort thermique qu'on aura réussi à lui offrir. Mais en tout état de cause l'essentiel est de lui permettre de travailler dans une tenue qui ne l'incommode pas et ne le gêne pas.*

*Aussi la norme internationale précitée permet-elle de spécifier des conditions d'ambiances thermiques acceptables pour le confort en présentant une méthode de prévision de la sensation thermique et du degré d'inconfort (insatisfaction thermique) des personnes placées dans des ambiances thermiques modérées. Elle détermine des indices PMV (vote moyen prévisible), PPD (pourcentage prévisible d'insatisfaits) se référant à une échelle psycho-physique à 7 niveaux (+3 = chaud ; +2 = tiède ; +1 = légèrement tiède ; 0 = neutre ; -1 = légèrement frais ; -2 = frais ; -3 = froid)<sup>11</sup>.*

Tenue vestimentaire	Résistance thermique	
	$m^2 \text{ } ^\circ C/W$	en clo
Nu	0	0
Short	0,015	0,1
Tenue tropicale type	0,045	0,3
Tenue d'été légère	0,08	0,5
Tenue de travail légère	0,11	0,7
Tenue d'intérieur pour l'hiver	0,16	1
Tenue de ville européenne traditionnelle	0,23	1,5

### Hors-texte 3-3

**Courbes de confort optimum : ces courbes sont établies dans le cadre des hypothèses mentionnées à droite de chaque graphique**



**Hors-texte 3-3 (suite)**



comme référence de l'activité physique ou corporelle celle du contrôleur, qui est considérée comme légère et principalement sédentaire. Certes, nous avons vu que d'autres agents travaillent en vigie mais de manière beaucoup plus ponctuelle. Dans les conditions hivernales (période de chauffage), les conditions optimales seront dès lors les suivantes :

- température opérative (prise à l'endroit où se situent les hommes et à hauteur de la tête) comprise entre 20 et 24°C (c'est à dire  $22 \pm 2^\circ \text{C}$ ).
- différence de température de l'air entre la tête et les chevilles inférieure à 3° C.
- température de surface du sol normalement comprise entre 19 et 26° (mais les systèmes de chauffage par le sol peuvent être conçus pour 29°).
- vitesse moyenne de l'air inférieure à 0,15 m/s.
- asymétrie de température de rayonnement des parois inférieure à 10° (par rapport à un petit élément plan vertical à 0,6 m au-dessus du sol).
- asymétrie de température de rayonnement d'un plafond tiède (chauffé) inférieure à 5° (par rapport à un petit élément plan horizontal à 0,6 m au-dessus du sol).

Dans les conditions estivales il est recommandé d'avoir :

- une température opérative entre 23 et 26° C (c'est à dire  $24,5 \pm 1,5^\circ \text{C}$ )
- une différence de température tête et chevilles inférieure à 3° C
- une vitesse moyenne de l'air inférieure à 0,25 m/s.

Ajoutons que, pour des sujets ayant une faible activité physique, on peut limiter la température à 18° en hiver, et que le degré hygrométrique doit toujours être compris entre 40 % et 60 %. Evidemment, les températures peuvent être encore abaissées, si l'activité corporelle croît, pour se fixer à une valeur minimum de 15° (cas des ateliers dans un bloc technique).

En climatisation d'été, on admet un abaissement de température de 6° en moyenne par

**Ainsi est-il possible d'obtenir des courbes de confort thermique optimum faisant intervenir les différents paramètres (température, hygrométrie,...).**

**En périodes estivales ces valeurs seront portées à  $24,5^\circ \pm 1,5^\circ \text{C}$  ;  $3^\circ \text{C}$  et  $0,25 \text{ m/s}$  de mobilité de l'air.**

**En hiver, la température intérieure devra répondre à des conditions précises :  $22^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$ , une différence maximum de  $3^\circ \text{C}$  entre la tête, et les chevilles avec un air quasi-statique ainsi que des températures de rayonnement limitées entre parois opposées.**

rapport à la température extérieure. En cas de forte chaleur, cela peut donner des températures supérieures aux valeurs généralement admises pour le confort (par exemple, une température extérieure de 35° C conduira à tolérer une température de 29° C, elle-même supérieure à 26°), mais cela évitera la sensation désagréable de choc thermique à l'entrée et à la sortie du local. Toutefois, en vigie, les personnes séjournent longuement pour leur travail et l'accès se fait à partir des locaux déjà climatisés, ventilés ou fermés, mais pratiquement jamais directement à partir de l'extérieur (sauf sur le balcon mais c'est de manière spécifique et occasionnelle). On peut donc admettre une différence de température entre l'intérieur et l'extérieur supérieure à 6°, pouvant atteindre 9° à 10° C. Ceci est à considérer en fonction d'un coût de l'installation pratiquement proportionnel à la différence de température que l'on veut obtenir. Il est cependant à noter que le bon fonctionnement d'appareillages électroniques et informatiques dans une vigie appelle des températures intérieures modérées (à partir de 30° C, les appareils souffrent).

Nous avons précédemment indiqué qu'un degré hygrométrique compris entre 40 et 60 % était considéré comme favorable. Bien entendu les facteurs de température et d'hygrométrie étant intimement liés, les conditions de confort seront sensiblement équivalentes si une augmentation de la température est corrélée à une diminution du degré hygrométrique et vice-versa. Par exemple, on peut considérer qu'une ambiance de 23° C et 75 % de HR (humidité relative) procure une sensation de confort équivalente à une ambiance de 27° C avec 25 % de HR.

La vitesse de l'air, nous l'avons vu, a également une influence sensible sur le confort d'un local. Plus elle est élevée, plus l'évaporation à la surface de la peau est active, entraînant une absorption de chaleur empruntée à la peau ; d'où le sentiment d'une température ambiante moins élevée (ce qui est un handicap certain pour le «brassage d'air» par ventilateurs en circuit fermé). Les vitesses

## **Les différents modes de transferts de chaleur**

### **Le rayonnement**

La nature exacte du rayonnement et son mode de transport ne sont pas encore clairement établis. A ce jour, toutefois, le phénomène s'explique de la sorte : lorsqu'on élève la température d'un corps il émet un rayonnement de nature électromagnétique qui transporte de l'énergie et peut se propager en l'absence de tout support matériel au détriment de son énergie calorifique. Un autre corps recevant ce rayonnement peut en absorber une fraction plus ou moins grande qui est transformée en chaleur. Contrairement aux échanges de chaleur par convection et conduction qui dépendent surtout des différences de température et peu de leur niveau, les échanges par rayonnement augmentent rapidement avec celui-ci. C'est en général le mode de transfert prépondérant lorsque les températures sont élevées.

Tous les corps émettent de l'énergie qui se propage dans le milieu qui les entoure supposé transparent et homogène, suivant des rayons rectilignes. Ce rayonnement peut être décomposé en un spectre formé de radiations périodiques simples que l'on caractérise par leur longueur d'onde. La lumière visible entre dans ce même principe mais pour un domaine de longueur d'ondes précis (0,4 à 0,8  $\mu$ ). Le rayonnement thermique se fait entre 0,1  $\mu$  et 100  $\mu$ . En-deçà, nous avons les rayons X (10 Å), ( $10^{-2}$  Å) et cosmiques ( $10^{-4}$  Å) ; au-delà, il y a les macro ondes (1 cm), les ondes radio (1 m), la téléphonie (70 m). Rappelons que Å signifie Angström et que 1 Å =  $10^{-10}$  m ; tandis que 1  $\mu$  =  $10^{-6}$  m).

### **La conduction**

La principale caractéristique de la conduction est que l'énergie se propage par contact direct sans déplacement apparent de la matière. La chaleur se propage de proche en proche, d'une particule à l'autre ou d'une molécule à l'autre des régions les plus chaudes

vers les régions les plus froides. Le mécanisme à l'échelle microscopique est encore mal connu (diffusion des électrons dans les métaux, contact élastique entre les molécules pour les fluides).

L'effet observable est l'égalisation des températures. Cependant, si les températures sont maintenues en différents points par l'apport ou l'évacuation de chaleur, il s'établit un écoulement continu de chaleur de la région chaude vers la région froide. Ce flux sera d'autant plus important que la différence de température sera grande.

Pour chaque matériau, on pourra définir sa conductivité thermique qui est le flux de chaleur par mètre carré traversant 1 mètre d'épaisseur de ce matériau homogène pour une différence de température entre ses deux faces de 1°. Elle est exprimée en Watt par mètre degré Celsius ( $W/m^{\circ}C$ ).

### **La convection**

Les phénomènes de convection se rencontrent essentiellement dans les échanges entre une paroi solide et un fluide ou inversement.

L'étude de la convection est difficile car un nombre important de phénomènes intervient. Il faut savoir que les déplacements en masse du fluide entrent en ligne de compte. Des mouvements s'effectuent au sein de celui-ci. Si ces mouvements sont accélérés par des pompes, des ventilateurs,... la convection est dite forcée.

Le flux de chaleur traversant une paroi est fonction de la conductivité du matériau constituant cette paroi, de son rayonnement et des coefficients d'échanges thermiques des surfaces. On définit alors pour la paroi un coefficient de transmission globale noté K qui caractérisera les propriétés thermiques de cette paroi séparant deux fluides. Il s'exprime en Watt par mètre carré degré celsius ( $W/m^2\ ^{\circ}C$ ).

Dans tout local, les trois modes vont coexister :

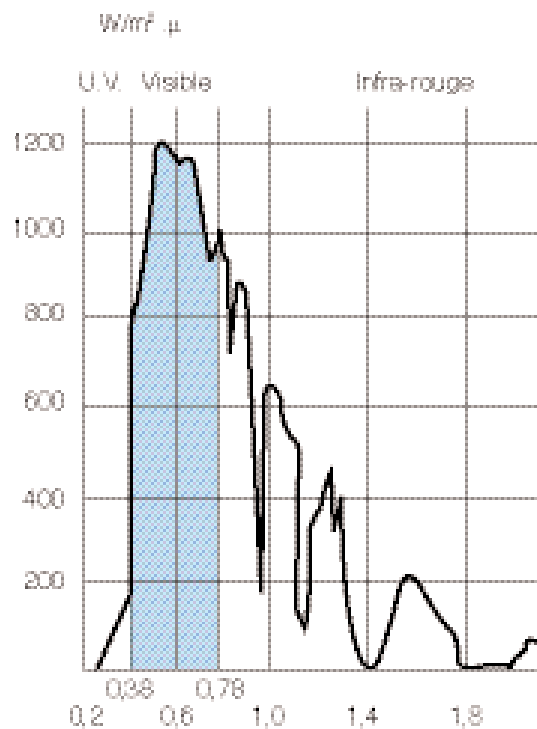
- le local recevra de la chaleur par rayonnement et en restituera de la même manière mais dans des longueurs d'ondes différentes.

- à travers les parois constituant l'enveloppe séparant une ambiance intérieure et une ambiance extérieure des échanges de chaleur vont se faire par transmission, conduction et éventuellement convection de la source la plus chaude vers la source la plus froide.

- à l'intérieur du local, il y aura également transfert de chaleur selon les trois modes<sup>n</sup>.

## Composition du flux solaire

Courbe de Parry-Moon



Hors-texte 3-5

Le rayonnement solaire reçu à la surface de la terre comprend les radiations énergétiques s'étalant sur la gamme de longueur d'ondes comprise entre 0,3 et 2,4 micron (1 micron =  $10^{-6}$  m. S'y trouvent l'ultraviolet (de 0,3 à 0,38  $\mu$ ), le visible (de 0,38 à 0,78  $\mu$ ) et l'infrarouge (de 0,78 à 2,4  $\mu$ ). Les radiations de longueurs d'onde plus grandes (rayonnement calorifique aux températures ordinaires) sont absorbées par l'atmosphère.

La quantité d'énergie transportée par un rayonnement est une fonction inverse de sa longueur d'onde. Elle s'exprime dans la formule  $E = \frac{hc}{\lambda}$

où  $E$  est l'énergie mesurée en joules,  $c$  = la célérité de la lumière :  $3 \times 10^8$  m/s,  $\lambda$  la longueur d'onde du rayonnement en m et  $h$  la constante de Planck :  $6,62 \times 10^{-34}$  j.s.

Cependant, l'énergie solaire incidente dépend également de la distribution des ondes dans le flux solaire. La courbe de Parry-Moon donne la répartition énergétique du rayonnement solaire direct pour une hauteur de  $30^\circ$  par ciel clair (ce qui correspond à approximativement à l'irradiation maximale sous nos latitudes) sur une surface perpendiculaire au rayonnement. Cette courbe montre que la répartition est de 7 % pour l'ultra-violet, 48 % pour le visible, 45 % pour l'infrarouge.

Le flux de chaleur dû à l'insolation\* est provoqué par le rayonnement solaire direct (FD) et le rayonnement diffus (Rd). Le flux incident entrant en contact avec une paroi transparente se partage en :

- flux réfléchi à l'extérieur (1)
- flux absorbé par la paroi et qui en élève la température (2)
- flux traversant la paroi (3)

Ce dernier pénètre dans le local, y heurte différentes surfaces pour se partager à son tour en :

- flux réfléchi, notamment vers la paroi transparente (7)
- flux absorbé (5)
- flux rayonné vers l'intérieur du local par convection (6)

Ce dernier, au contact de la paroi transparente, se partage à nouveau en :

- flux réfléchi vers l'intérieur (8)
- flux rayonné vers l'extérieur (9)
- flux absorbé (10)

La température de la paroi transparente augmente

sous l'action des flux qu'elle a absorbés (2) et (10). Il en résulte des échanges nouveaux par :

- un flux constituant un apport pour le local (radiation)
- un flux constituant soit une perte, soit un apport vers l'extérieur (conduction suivant la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur).

Cette brève étude montre que pour une paroi transparente insolée il est impossible de séparer les apports dus à l'insolation de ceux dus à la conductibilité en fonction des températures extérieures et intérieures.

Les apports calorifiques dans le local représentent donc la somme algébrique :

- du flux (3) dû à la transmission d'une partie du rayonnement solaire global à travers la vitre et agissant par l'intermédiaire des flux (4) (6) et (8), (9) et (5) étant négligés.
- du flux dû aux échanges de la paroi par conduction et par la chaleur absorbée due à (2), (10) étant négligés.

## Le phénomène d'insolation

Hors-texte 3-6

d'air élevées sont donc intolérables dans les locaux qui nous intéressent, et même les faibles vitesses doivent être à peine perceptibles. Les vitesses d'air les meilleures sont comprises entre 0,1 et 0,25 m/s, plus faibles l'hiver que l'été. Toutes ces valeurs sont à respecter dans la seule zone d'occupation de la vigie.

## L'effet de serre

Pour des raisons de visibilité la vigie doit être très transparente, les contrôleurs sont donc soumis au rayonnement solaire de manière intensive. Il faut donc les protéger, sans bien sûr affecter leur visibilité. Par ailleurs, il faut limiter les transferts de chaleur entre l'extérieur et l'intérieur. Ils sont ici de trois types : le rayonnement, la convection et la conduction (hors texte 3-4).

Dans le cas des parois transparentes, pour tenir compte des apports solaires d'une part et des déperditions de chaleur de l'autre, la performance thermique doit être appréciée en terme de bilan. Elle s'exprime par le coefficient kb. Ce coefficient est fonction de cinq éléments :

- le climat,
- l'orientation au soleil,
- l'ensoleillement : facteur traduisant la proportion d'énergie solaire reçue effectivement par la paroi du fait de tous les obstacles au rayonnement solaire de l'environnement (relief, construction,...),
- le facteur solaire (défini en hors texte 3-7),
- le coefficient de transmission global K (voir plus haut).

Le premier type de transfert de chaleur concerne le flux solaire (voir hors texte 3-5) et les rayonnements calorifiques émis par les objets et parois intérieures s'échauffant, provoquant ce qu'on appelle l'effet de serre. L'énergie solaire transmise par rayonnement au travers d'une paroi transparente est absorbée par les objets, meubles et parois intérieures. Ceux-ci s'échauffent et réémettent des rayonnements calorifiques de plus grande

**En raison de l'effet de serre, il fait chaud en vigie par temps ensoleillé, même en hiver, au point qu'une climatisation sera presque toujours utile.**

**La climatisation est un élément indispensable à la vigie, elle doit être prévue et au moins sommairement décrite dès le début du projet**

longueur d'onde situés principalement dans le lointain infrarouge (supérieur à 5 m). Or les parois transparentes (vitres, polymère,...) sont pratiquement opaques à ce type de radiations. L'énergie solaire se trouve ainsi piégée dans le local dont la température intérieure a tendance à s'élever. Pour s'opposer à ce phénomène (décrit dans le hors texte 3-6), il faut choisir les plus faibles facteurs solaires mais conservant un effet de transmission lumineux supérieur à 60 % car de ce coefficient dépend le bon éclairage intérieur, notamment par temps sombre (pour la définition des facteurs voir hors texte 3-7).

## Prévoir la climatisation dès la première phase d'étude

Nous avons vu précédemment que la vigie avait obligatoirement de grandes surfaces transparentes, ce qui la rendait particulièrement sensible aux caprices de la météo et de l'ensoleillement en particulier. Aussi, d'une manière générale, sera-t-on amené plus souvent à combattre les augmentations excessives de température à l'intérieur du local que les baisses. Pour cela, il est très souvent nécessaire d'installer une climatisation. Ainsi faut-il, dès le début de la conception, prévoir l'emplacement, la surface utile, la puissance nécessaire, le passage de l'air pulsé et repris (gaines, plénum,...), les prises d'air, etc. Trop souvent, ces éléments sont pris en compte trop tardivement ou sous-estimés, ce qui entraîne des dysfonctionnements (puissance insuffisante par manque de place, passages de gaines non précisés entraînant des hauteurs sous plafond insuffisantes,...). La climatisation de la vigie doit être assez proche de celle-ci afin d'éviter les pertes de puissance et pour que le cheminement de l'air soit le plus court possible, ceci quel que soit le système retenu. La climatisation doit être conçue de façon à combattre efficacement le manque d'inertie thermique qui caractérise les vigies (toujours à cause des surfaces importantes de parois transparentes). Ce local ne peut être

conçu, en matière de climatisation, comme une construction classique. Les installations de réfrigération comme de chauffage doivent être indépendantes de celles prévues pour le reste du bâtiment, avec des régulations individuelles aisées mais limitées. Pour de petite vigies sous des climats très tempérés, la réfrigération peut ne pas s'imposer, mais il est alors impératif de prévoir une ventilation naturelle de bonne qualité, par des ouvertures en toiture par exemple. Ce qui est toujours préférable à une réfrigération mal étudiée, coûteuse et bruyante.

Le confort dépend de la qualité de l'air, non seulement en termes de thermie comme nous l'avons vu, mais aussi de pureté, c'est-à-dire de présence plus ou moins importante de poussières. Il est donc indispensable de filtrer l'air des installations en plaçant des filtres sur le circuit d'air.

L'absence d'odeur dans l'air est encore un des facteurs primordiaux du confort. Il faut aussi considérer la composition de l'air. La respiration consomme de l'oxygène de l'air et augmente le taux de gaz carbonique. Il est donc nécessaire d'assurer aux occupants un apport constant et suffisant d'oxygène et une évacuation du gaz carbonique et des odeurs

**La vitesse de l'air en vigie n'est pas celle de l'air dans les gaines, cette dernière pour des raisons de bruit ne doit pas dépasser 2 m/s en sortie des bouches d'aération.**

**La qualité de l'air que l'on respire dans une vigie est primordiale pour le confort. Il doit être propre et bien oxygéné donc bien renouvelé et filtré.**

(fumée de cigarettes et autres,...). Il faut donc renouveler l'air. Sans oublier que cette opération nécessite un supplément de puissance frigorifique ou calorifique non négligeable. Le choix du débit par occupant sera fait en fonction de facteurs comme : l'utilisation prolongée du local (dans certains cas H24) ; le nombre de personnes par rapport à son volume ; la présence d'odeurs, de vapeurs... Notons que l'expérience montre qu'un débit de 50 m<sup>3</sup>/h par personne s'avère généralement suffisant. La pression atmosphérique est un facteur de confort beaucoup moins important. Elle diminue déjà en fonction de l'altitude dans une même région, et en fonction des conditions météorologiques. L'influence sur le confort est même beaucoup plus sensible par changement d'altitude que par variation naturelle de pression en un même lieu. Etablir une légère surpression à l'intérieur d'une vigie peut apporter des avantages appréciables (évacuation de l'air chaud intérieur, pas de poussière venant de l'extérieur...) sans apporter de gêne véritable (sauf quand les variations de pression sont très importantes et rapides car elles ont une influence sur certaines maladies cardiaques).

*Lorsqu'un rayonnement frappe une paroi transparente, une partie du flux incident est réfléchi, une autre est transmise et une troisième est absorbée. Cette dernière est rejetée en partie vers l'extérieur et, dans une moindre mesure, vers l'intérieur du local. Les trois premières quantités rapportées au flux incident permettent de définir des nombres sans dimension qui sont les facteurs de réflexion, d'absorption et de transmission. Ce sont des facteurs énergétiques mais aussi lumineux (où l'on se cantonne dans les radiations du domaine du visible). Ils sont fonction de la longueur d'onde du rayonnement incident. Pour tenir compte de l'énergie absorbée passant à l'intérieur du local, on définit le facteur solaire d'une paroi transparente. Celui-ci est le rapport entre l'énergie totale entrant dans le local à travers la paroi et l'énergie*

*solaire incidente. C'est ce facteur qui détermine la qualité d'un vitrage lorsqu'on l'étudie du point de vue énergétique.*

*En revanche, pour les problèmes de lumière, il faut s'intéresser au coefficient de transmission lumineuse.*

*Tous ces coefficients doivent être connus lors d'un choix de paroi transparente. Ils sont calculés ou mesurés en supposant, conventionnellement :*

*- le soleil à 30° au-dessus de l'horizon dans un plan perpendiculaire à la façade ;*

*- les températures ambiantes intérieures et extérieures égales entre elles ;*

*- les coefficients d'échange de la paroi vers l'extérieur et vers l'intérieur fixés à certaines valeurs trouvées expérimentalement et différentes selon la nature de la paroi (verre, polymère,...)<sup>n</sup>*

**Le facteur solaire**

**Hors-texte 3-7**



## Confort acoustique



5 Il est souvent nécessaire d'atténuer les effets du bruit sur les personnels travaillant sur un aéroport

Le bruit est à la fois un phénomène physique et physiologique puisqu'il est perçu par le biais de notre système auditif (oreille, tympan, cochlée\*...) qui possède sa sensibilité propre. Un bruit se caractérise principalement par son intensité, son spectre de fréquence et sa durée. Il résulte d'une vibration qui fait varier dans le temps la pression autour de la pression atmosphérique, qui peut s'écrire sous la forme  $P(t) = P_0 + p(t)$  où  $p(t)$  caractérise la vibration acoustique, appelée pression acoustique, et mesurable. Celle-ci est donc de la forme sinusoïdale et peut s'écrire comme une somme de termes sinusoïdaux de fréquences  $f_i$  distinctes (cf. hors texte 3-8). Les fréquences audibles par l'homme vont de 20 à 20 000 hz environ. Plus le bruit comportera de fréquences basses, plus il sera grave, et plus il y aura de fréquences hautes, plus il sera aigu. Les fré-

\* voir lexique

quences graves vont de 20 à 360 hz, les fréquences moyennes de 360 à 1 400 hz, et les fréquences aiguës de 1 400 à 20 000 hz. En-deçà de 20 hz, c'est le domaine des infrasons, au-delà de 20 000 hz celui des ultrasons (16 et 16 000 hz sur certains documents). La pression acoustique a une valeur efficace. Plus elle est élevée, plus le bruit est fort. Ce qui détermine réellement la force n'est pas la pression mais l'énergie transportée proportionnelle à la pression efficace. Pour un bruit décomposé en sons élémentaires, le carré de la pression efficace résultante est égal à la somme des carrés des pressions efficaces des sons élémentaires. La connaissance des processus efficaces des sons élémentaires, c'est-à-dire par fréquence, permet de déterminer le spectre par fréquences d'un bruit. Pour tenir compte de la sensation physiologique de l'appareil auditif humain qui varie comme le

## Le bruit, phénomène physique

Le bruit est un ensemble de sons sans harmonie. Le son est un ébranlement élastique des éléments du milieu où il se propage, gaz (air), liquide ou solide. Son image est analogue à celle des rides à la surface de l'eau. Dans l'air, la vitesse du son est d'environ 340 m/s. Le son pur est la forme la plus simple du son. Il résulte d'une variation sinusoïdale de la pression sonore. Il est caractérisé par sa fréquence et son intensité. La sensation de hauteur d'un son pur, dans l'échelle grave-aiguë, est liée à sa fréquence ; plus la fréquence est élevée, plus le son paraît aigu. Le domaine de l'audible pour l'homme s'étend de 20 à 20 000 Hz environ ou de 16 à 16000 Hz suivant les documentations. Ce domaine se réduit sensiblement avec l'âge. Le spectre sonore est divisé en plusieurs bandes. De 20 à 360 Hz, ce sont les fréquences graves, de 360 à 1 400 Hz les fréquences aiguës. En deçà de 20 Hz est le domaine des infrasons et au-delà de 20 000 Hz celui des ultrasons. L'étendue des fréquences étant très grande, on utilise une échelle logarithmique pour les repérer. On définit également des intervalles privilégiés : l'octave (intervalle entre les fréquences  $f$  et  $2f$ ) et le tiers d'octave (intervalle entre les fréquences  $f$  et  $\sqrt[3]{2} f$ )

Un son est également caractérisé par son intensité. Lorsqu'une particule d'air, ou volume élémentaire, entre en vibration, sa pression varie dans le temps autour de la pression atmosphérique normale en ce point, notée  $P_0$ . La pression totale au point considéré peut donc s'écrire sous la forme :

$$P = P_0 + p(t)$$

Elle caractérise la vibration acoustique du point et est appelée pression acoustique. Les variations de la pression acoustique instantanée  $p(t)$  autour de sa valeur moyenne nulle (puisque de la forme sinusoïdale :

$$P = P_{\max} \sin(2\pi f t + \theta)$$
 étant extrêmement rapides,

connaître cette fonction présente peu d'intérêt. On définit alors une valeur quadratique moyenne (ou valeur efficace) de la pression :

$$P_{\text{eff}}^2 = \frac{1}{T} \int_0^T P^2(t) dt$$

où  $T$  est l'intervalle de temps de l'étude.

C'est cette valeur efficace que l'on mesure et décrit en général en la désignant, par abus de langage, pression acoustique. Enfin, la fonction  $p(t)$  peut être écrite grâce aux transformées de Fourier comme une série de Fourier  $p(f)$  c'est-à-dire sous forme de somme de termes sinusoïdaux de plusieurs fréquences distinctes ou comme une intégrale de Fourier pour un bruit de spectre continu. Ceci nous permet de caractériser un bruit pendant une période de temps donné par sa composition spectrale et d'établir qu'un bruit peut être la résultante d'une superposition de sons de diverses fréquences. Une telle démarche permet d'analyser le signal sonore à peu près comme le fait l'oreille. La pression est donc donnée en fonction de fréquences  $p = p(f)$ . Cependant, en se propageant, l'onde de pression transporte une énergie. On peut alors définir l'intensité acoustique comme un flux moyen d'énergie traversant un élément de surface unitaire placé perpendiculairement à la direction de propagation par cette unité de temps. Pour une onde plane dans l'air, on démontre qu'en un point de l'espace  $I = \frac{P_{\text{eff}}^2}{\rho c}$  où  $\rho$  est la densité de l'air,  $c$  la célérité du son,  $P_{\text{eff}}$  la valeur efficace définie précédemment.

Il s'exprime en Watt par mètre carré ( $\text{W/m}^2$ ). La sensation de force du son est directement liée à l'intensité. Plus celle-ci est élevée, plus le son paraît fort.

## Hors-texte 3-8

logarithme de l'excitation physique, on utilise les niveaux de pression acoustique.

$$L_p = 20 \log \frac{P_{\text{eff}}}{P_0}$$

$P_0$  étant la pression acoustique de référence choisie par convention, égale à  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa

(voir hors texte 3-9), que l'on appelle aussi niveau sonore.

L'unité est le décibel (dB). En fait, l'unité la plus utilisée pour mesurer ces niveaux est le décibel pondéré A (dB (A)) qui découle d'une pondération ( $\pm n$  dB) en fonction de la fréquence, afin de rendre compte que la sensation d'intensité sonore pour une oreille

humaine n'est pas la même à niveau sonore égal et à fréquence différente. C'est l'unité, retenue dans le domaine du bâtiment, que nous utiliserons. Il est vrai que, dans le domaine de l'aviation, la spécificité du bruit des avions, en particulier des avions à réaction aux fréquences élevées, conduit à utiliser une autre unité, le Perceived Noise Decibel (PNdB) (voir hors texte 3-9). Cependant, le calcul du PNdB est complexe et déconnecté de l'échelle dB(A) dans laquelle sont données toutes les caractéristiques acoustiques des matériaux de construction, à partir d'un

**Le contrôleur travaille beaucoup par messages radio, d'où l'importance d'un bon confort acoustique.**

bruit-type (rose, routier, autoroutier - voir hors texte 3-10). Une étude du STNA menée en 1992 sur divers sites montre que les bruits d'avions s'apparentent plus au bruit rose (énergie par octave constante) qu'aux autres bruits-types utilisés.

Du point de vue physique, il n'y a pas de différence fondamentale entre un son et un bruit qui est une juxtaposition de sons. On qualifie, en définitive, de bruit des sons qui apparaissent comme indésirables ou qui provoquent une sensation désagréable. Ici intervient la part subjective du bruit. La notion de gêne

### **Le bruit, phénomène physiologique et psychologique**

*L'oreille humaine peut percevoir des sons aussi faibles que le tic-tac d'une montre et peut supporter sans détérioration irréversible, pendant un temps court, le bruit d'un réacteur proche. D'après la loi de Weber-Fechner, la sensation physiologique au niveau de l'oreille varie comme le logarithme de l'excitation physique ou, ce qui revient au même, l'oreille a une sensibilité différentielle. En effet, la variation de sensation  $S$  ne dépend que de la variation relative de l'intensité  $\frac{\Delta I}{I}$ , ce qui se traduit par la relation :*

$$\Delta S = \frac{K \Delta I}{I}$$

*Ceci suggère de prendre, pour représenter la sensation de l'oreille, une fonction  $S = K \log \frac{I}{I_0}$  avec  $I_0$  l'intensité de référence (log décimal ici).*

*Il a été choisi pour  $I_0$  le seuil d'audibilité à 1000 Hz pour une oreille moyenne, soit  $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ .*

*Avec  $K = 1$ , la variation  $DS$  est par définition exprimée en bel. Pour la majorité des gens, le minimum d'accroissement perceptible d'un niveau sonore correspond à une augmentation de 25 % de l'intensité acoustique en bel. Cet accroissement a pour valeur 0,097 bel, soit environ un dixième de bel. Pour cette raison, l'unité la plus couramment utilisée est le décibel (dB), par la relation :  $L = 10 \log \frac{I}{I_0}$*

*Lorsqu'on compose  $n$  niveaux sonores  $L_i$ , on obtient le niveau sonore  $L = 10 \log \left( \sum_{i=1}^n \frac{1}{10^{L_i/10}} \right)$ .*

*La composition de deux sons de même niveau sonore est équivalente à un son dont le niveau est supé-*

*rieur de 3 dB à chacun des niveaux sonores initiaux. D'un point de vue physiologique, le son est une sensation et le mouvement vibratoire de l'air est le stimuli qui produit cette sensation. Généralement, le mot bruit en désigne le côté indésirable. L'impression de gêne qu'il produit dépend de nombreux facteurs physiques dont l'intensité sonore, le spectre de fréquence, la durée, la vitesse d'accroissement du niveau lors d'un bruit transitoire,... Mais la gêne ressentie est aussi due à bien d'autres facteurs : facteurs physiologiques (état de santé, anxiété, fragilité,...) ; facteurs psychologiques (état mental, introversion ou extraversion, connaissance, acceptation ou non de l'activité produisant le bruit) ; facteurs sociologiques (milieu socio-culturel, relations affectives avec le voisinage,...) ; etc. La gêne, notion subjective, est ressentie de manière très variable d'un individu à l'autre. En conséquence, aucune échelle de niveau sonore objective, si élaborée soit-elle, ne peut donner une indication absolue de la gêne occasionnée. Une valeur est cependant nette, celle du seuil de la douleur, qui se situe à 120 dB, à partir duquel les tympans éclatent. Des expérimentations effectuées sur un grand nombre de sujets ont permis d'établir la liaison entre la sensation physiologique du niveau sonore, l'intensité sonore et la fréquence. Les résultats sont généralement donnés sous forme d'un réseau de courbes d'égale sensation sonore dans un repère Intensité-Fréquence. Ces courbes ont été normalisées sous le nom de lignes isosoniques. L'interprétation de ces courbes indique, par exemple,*

### **Hors-texte 3-9**



**Tableau de pondération des dB en dB (A)**

Fréquence (hz)	Correction (dB)	Fréquence (hz)	Correction (dB)	Fréquence (hz)	Correction (dB)	Fréquence (hz)	Correction (dB)
10	- 70,4	100	- 19,1	1 000	0	10 000	- 2,5
12,5	- 63,4	125	- 16,1	1 250	0,6	12 500	- 4,3
16	- 56,7	160	- 13,4	1 600	1,0	16 000	- 6,6
20	- 50,5	200	- 10,9	2 000	1,2	20 000	- 9,3
25	- 44,7	250	- 8,6	2 500	1,3		
31,5	- 39,4	315	- 6,6	3 150	1,2		
40	- 34,6	400	- 4,8	4 000	1,0		
50	- 30,2	500	- 3,2	5 000	0,5		
63	- 26,2	630	- 1,9	6 300	- 0,1		
80	- 22,5	800	- 0,8	8 000	- 1,1		

que la sensation d'intensité sonore est la même pour un son pur de niveau 60 dB à 100 hz que pour un son pur de niveau 50 dB à 1 000 hz (on dit alors que ces deux sons représentent la même sensation de 50 phones).

On a donc été conduit à imaginer une échelle subjective qui représente, de la même façon que l'oreille, les différents sons sur la base des courbes d'isotonie. Cette échelle n'est pas réalisable de façon simple car ces courbes se déforment en fonction du niveau sonore. On peut cependant en obtenir une approximation par l'utilisation de filtres qui atténuent ou amplifient les niveaux sonores moyens selon les fréquences, à peu près comme l'oreille le fait. On a ainsi établi des courbes dites de pondération A, B, C. On obtient alors trois échelles dites subjectives notées dB(A), dB(B), dB(C) à partir desquelles on peut avoir une représentation assez bonne de la sensation physiologique d'intensité sonore. Le choix de la pondération A, B ou C devrait être fait en fonction du niveau global faible, moyen ou fort. En fait, le dB(A) est souvent seul utilisé comme mesure de sensation du son. Les chiffres d'isolation acoustique dans le bâtiment sont donnés en dB(A) pour un spectre donné (bruit rose, autoroutier,...).

Le tableau ci-dessus donne les corrections à apporter par rapport au bruit mesuré en dB.

Cependant, il faut aussi distinguer les impressions de force sonore et celles de gêne. C'est ainsi qu'à égalité de niveau en dB(A), le bruit d'un avion à réaction gêne plus que le bruit d'un avion à hélices. La gêne due au bruit résulte aussi de multiples causes non acoustiques.

Des études psychophysiques ont donc été menées pour une analyse plus détaillée. Elles mon-

trrent que les dB(A), dB(B), dB(C) et dB(D) ne rendent pas assez compte de la gêne et qu'une analyse fréquentielle, plus fine, serait nécessaire. Une échelle de niveau de perception désignée par PNdB (Perceived Noise Decibel) a donc été déterminée. Le calcul d'un niveau de bruit en PNdB est complexe et surtout déconnecté de l'échelle couramment utilisée dans le bâtiment qu'est le dB(A).

En fait, le PNdB intervient surtout pour la détermination de l'indice psophique dans l'élaboration des plans d'exposition au bruit (PEB). L'indice psophique (du grec psophos qui signifie bruit) est l'indice utilisé en France pour quantifier l'exposition au bruit autour des aéroports. Il fait intervenir la durée, le trafic de nuit (considéré comme dix fois plus gênant que le trafic de jour). Il est donné par la formule suivante :

$$IP = 10 \log \left( \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_i}{10}} + 10 \sum_{j=1}^p 10^{\frac{L_j}{10}} \right) - 32$$

$L_i$  étant le niveau maximal de bruit en PNdB du  $i$ ème avion,

$n$ , le nombre de mouvements de jour (6h00 - 22h00),  
 $p$ , le nombre de mouvements de nuit (22h00 - 6h00).

Il est déterminé à partir du cumul énergétique du bruit sur une journée moyenne. Un PEB détermine 3 zones A, B, C. Zone A :  $IP > 96$  PNdB ; zone B :  $IP$  entre 96 et 89 PNdB ; zone C : entre 89 et une valeur comprise entre 72 et 84 PNdB suivant le cas.

Le bien fondé de l'indice psophique a été vérifié par des enquêtes. La tour de contrôle sera, à quelques exceptions près, toujours située en zone A, c'est-à-dire la zone la plus touchée par le bruit. Mais l'indice psophique n'est pas suffisant pour dimensionner l'isolation phonique. Pour ce faire, des mesures in-situ doivent être réalisées.

due au bruit peut être distincte de celle d'intensité physiologique. La gêne, effectivement, peut être imputée à son intensité sonore, son spectre, sa durée, la vitesse d'accroissement de son niveau lors d'un bruit transitoire, mais elle est aussi due à bien d'autres causes physiologiques (état de santé, anxiété, fragilité,...), psychologiques (état mental, acceptation ou non de l'activité produisant ce bruit) et sociologiques (milieu socio-culturel, relations affectives avec le voisinage,...). S'agissant des personnes dans les blocs techniques, elles auront tendance à accepter les bruits d'avions (s'ils ne sont pas trop forts) puisqu'elles travaillent pour l'activité aéronautique qui produit ce bruit. Mais une gêne ou une intolérance est parfois manifestée à l'encontre de bruits très faibles, (de niveau inférieur au bruit de fond admis), mais qui se distinguent par leurs caractéristiques fréquentielles, temporelles ou signifiant et révèlent

**Bien que les mesures en dB(A) ne soient pas toujours les plus appropriées, ce sont-elles auxquelles on se référera car elles sont les plus utilisées dans le bâtiment.**

**Le confort acoustique passe par le traitement acoustique et quelques effets psychologiques.**

une activité non tolérée (musique, parole) . Cela peut être le cas avec les bruits de climatiseurs, d'ascenseur,... La mesure du bruit incriminé est alors très délicate, et il faut des analyses fines pour la mettre en évidence. Il est donc bien évident qu'une échelle de niveau sonore, si élaborée soit-elle, ne peut donner qu'une probabilité pour un ensemble de population de caractéristiques générales définies. Notons seulement que le dB est la plus petite variation de niveau sonore perceptible à l'oreille tandis que la sensation subjective fait qu'un bruit paraît deux fois plus bruyant avec une augmentation de 3 dB. L'isolation acoustique est l'ensemble des dispositifs permettant une baisse sonore entre un environnement et un local donné. Le traitement acoustique est l'ensemble des dispositifs permettant d'obtenir l'ambiance sonore la mieux adaptée à la fonction accomplie dans un local donné.

## **Les bruits-types**

*Pour mesurer les caractéristiques acoustiques d'un matériau, d'un local, d'un bâtiment, il convient d'avoir les mêmes bruits de référence. Comme les bruits dépendent de leur répartition spectrale, des spectres types sont choisis suivant l'environnement et ce que l'on veut mesurer.*

*Le bruit dit blanc (par analogie avec la lumière blanche) présente un niveau sonore constant en fonction de la fréquence. On désigne parfois par bruit blanc un spectre continu en fonction de la fréquence. Il est rarement pris comme référence.*

*Le bruit rose présente une répartition d'énergie par hertz décroissante de 3 dB par octave, de sorte que l'énergie par octave (ou dans n'importe quelle bande relative constante) est constante. Une étude du STNA menée en 1992 tend à montrer que les bruits d'avions en façade d'un bâtiment s'apparentent plutôt à un bruit rose ; celui-ci sera donc retenu pour la caractérisation acoustique d'une tour et d'un bloc technique.*

*Les bruits routiers et autoroutiers sont caractéristiques des bruits que l'on trouve aux abords des routes et autoroutes à grande circulation. Ils privilégient certaines fréquences (graves et médium sur-*

*tout) afin de mieux rendre compte des bruits de moteurs, de roulement ... D'une manière générale, il n'y a pas lieu d'utiliser ces types de bruit pour les vigies et blocs techniques, les bruits d'avions étant plus pénalisants et les bâtiments d'aéroports relativement éloignés des routes à forte circulation. Mais ce n'est pas toujours le cas, et il convient de le vérifier.*

*Les bruits sont nuisibles dans toutes les fréquences audibles par l'homme, mais aussi dans les fréquences non audibles. A partir du niveau sonore de 120 dB, les tympans éclatent ; c'est le seuil de la douleur. Sans aller jusque là, le bruit provoque de graves troubles physiologiques (perte de l'audition, fatigue ...) et psychologiques (stress, problèmes de concentration ...), surtout s'il est fréquent. Ainsi, un niveau sonore de 80-85 dB(A) constant, atteignant une durée notable (8 heures/jour), provoque une fatigue auditive qui se manifeste par une perte d'audition, temporaire voire inexorable si répété. Ce niveau correspond au bruit d'une radio très puissante ou aux klaxons d'automobiles. La figure 10 permet de se faire une idée de ce que représentent les niveaux sonores<sup>n</sup>.*

## **Hors-texte 3-10**

**Tableau de typologie des bruits en dB**

<i>Possibilité de conversation</i>	<i>Sensation auditive</i>	<i>Nb de dB</i>	<i>Bruits Intérieurs</i>	<i>Bruits extérieurs</i>	<i>Bruits de véhicules</i>	
<i>A voix chuchotée</i>	<i>Seuil d'audibilité</i>	0	<i>Laboratoire d'acoustique</i>			
	<i>Silence inhabituel</i>		<i>Laboratoire d'acoustique</i>			
	<i>Très calme</i>		10	<i>Studio d'enregistrement</i>		
			15		<i>Feuilles légères agitées par vent doux dans jardin silencieux</i>	
			20	<i>Studio de radio</i>	<i>Jardin tranquille</i>	
	<i>Calme</i>		25	<i>Conversation à voix basse à 1,5 m</i>		
			30	<i>Appartement dans quartier tranquille</i>		
35					<i>Bateau à voile</i>	
<i>A voix normale</i>	<i>Assez calme</i>	40	<i>Bureau tranquille dans quartier calme</i>			
		45	<i>Appartement normal</i>	<i>Bruits de rue minimaux le jour dans la rue</i>	<i>Transatlantique de 1 classe</i>	
<i>Assez forte</i>	<i>Bruits courants</i>	50	<i>Restaurant tranquille</i>	<i>Rue tranquille</i>	<i>Auto silencieuse</i>	
		60	<i>Grands magasins, musique de chambre, conversation normale</i>	<i>Rue tranquille</i>	<i>Bateau à moteur</i>	
	<i>Bruyant mais supportable</i>	65	<i>Appartement bruyant</i>			
		70	<i>Restaurant bruyant, musique</i>	<i>Circulation importante</i>	<i>Wagons-lits modernes</i>	
		75	<i>Atelier dactylo, usine moyenne</i>		<i>Méto sur pneus</i>	
<i>Difficile</i>	<i>Pénible à entendre</i>	85	<i>Radio très puissante, atelier de tournage ajustage</i>	<i>Circulation intense à 1 m</i>	<i>Bruits de méto en marche, klaxons d'autos</i>	
		95	<i>Atelier de forgeage</i>	<i>Rue à trafic intense</i>	<i>Avion de transport à hélice à faible distance</i>	
<i>Obligation de crier pour se faire entendre</i>	<i>Très difficilement supportable</i>	100	<i>Scie à ruban, presse à découper de moyenne puissance.</i>	<i>Marteau piqueur dans une rue à moins de 5 m</i>	<i>Moto sans silencieux à 2 m, wagon de train</i>	
		105	<i>Dégauchisseuse</i>			
		110	<i>Atelier de chaudronnerie</i>	<i>Rivetage à 10 m</i>	<i>Train passant dans une gare</i>	
<i>Impossible</i>	<i>Seuil de douleur</i>	120	<i>Banc d'essai de moteurs</i>		<i>Moteur d'avion à réaction à quelques m</i>	
		<i>Exige protection spéciale</i>	130	<i>Marteau pilon</i>		
			140	<i>Turbo réacteur au banc d'essai</i>		

Pour une vigie, le confort s'obtient par l'atténuation maximum des bruits d'avions et l'élimination des bruits et des vibrations intérieurs, ce qui est aussi valable pour le reste du bloc technique mais avec plus ou moins de rigueur. A cet égard, l'un des critères déterminants sera la bonne intelligibilité, notamment des messages radio. La norme NFS 31047 précise que l'intelligibilité est satisfaisante pour un niveau de compréhension supérieur à 95 %. Ce niveau d'intelligibilité peut même être porté à 98 % dans les locaux comme la vigie et la salle IFR, puisque la radio est le lien essentiel entre le contrôleur et le pilote. Une étude du STNA réalisée à la demande du STBA sur plusieurs sites, met en relation l'intelligibilité, le niveau de bruit ambiant, l'isolation et la satisfaction (n° 201 - avril 1992).

Elle montre que le confort acoustique exige une chaîne radio meilleure que les boules audax actuellement utilisées ; (amplificateur, hauts-parleurs,...), un niveau de bruit ambiant au pupitre pas trop important ; une isolation adéquate vis-à-vis des bruits extérieurs et un traitement acoustique garantissant une bonne qualité d'écoute avec un champ réverbéré suffisant. Un bruit maximum au pupitre de 63 dB(A) est considéré comme acceptable et il est souhaitable de ne pas le dépasser. Il correspond également à un indice NR de 55 recommandé par cette étude. Ce niveau permet une bonne intelligibilité malgré une conversation de voix élevée dans un rayon de 1 m. Moins le bruit au pupitre est élevé meilleur est le résultat.

Le champ réverbéré (distance par rapport à une source de bruit à laquelle la contribution des ondes réfléchies et directes est équivalente) doit être le plus grand possible et d'au moins de 1 m afin que les conversations des différents contrôleurs n'interfèrent pas entre elles.

Les tours de contrôle ne sont pas soumises aux normes concernant les locaux à usage d'habitation. Néanmoins, la circulaire du 19 janvier 1988 relative à l'urbanisme au voisinage des aérodromes, préconise pour les

**Pour une bonne intelligibilité des messages radios, il convient que ni le bruit de 63 dB(A) au pupitre ni la courbe d'indice NR 55 ne soient dépassés.**

locaux à usage de bureaux en zone de bruit A (ce qui est le cas des tours de contrôle de manière générale) un isolement acoustique de 45 dB(A). La structure très vitrée des vigies ne permet que rarement d'obtenir un tel niveau d'isolation. Il faudra s'efforcer d'obtenir la meilleure possible en considérant 35 dB(A) comme un minimum (ce qui revient à respecter la norme pour les constructions à usage d'habitation en zone C). Le plus important est de respecter un niveau de bruit maximum au pupitre (63 dB (A) et un bruit d'ambiance inférieur à 40-45 db(A).

## Les vibrations

Les vibrations entrent tout à fait dans le domaine de l'acoustique mais leur problème est spécifique. L'étude physique et physiologique des vibrations présente plus de difficultés que celle du bruit. Dans un bâtiment, les vibrations sont dues aux bruits aériens de basse fréquence qui font entrer en résonance certaines parois (les vitrages, par exemple) et certains appareils, (généralement ceux qui ont des moteurs comme les machineries d'ascenseurs, les ventilateurs,...). On peut citer les vibrations inhérentes au mode de fonctionnement d'une machine mais également celles liées à des défauts de fonctionnement imputables à l'usure. Les vibrations ont des fréquences principalement entre 8 et 60 hz et sont donc liées à des sons graves. Les vibrations de faible intensité affectent le confort des personnes qui y sont exposées ; ensuite, lorsque le niveau augmente, les capacités de l'homme sont diminuées, ce qui peut nuire à l'exécution de la tâche à accomplir et à la sécurité. Les vibrations de forte intensité sont susceptibles de provoquer, à plus ou moins long terme, des affections pathologiques.

On lutte contre ces nuisances en prévoyant une isolation mécanique des équipements et des parois qui sont susceptibles d'être mis en résonance.



# Accessibilité

L'accessibilité concerne les personnes et les objets devant accéder aux locaux qui nous intéressent.

La difficulté est liée à l'exiguïté des locaux mais aussi à la multiplicité des fonctions et liaisons entre le bloc technique et la tour de contrôle.

Cette notion d'accessibilité concerne principalement les dispositions techniques et le dimensionnement pour les circulations horizontales et verticales. L'objectif est d'avoir des accès aisés non seulement pour le personnel mais aussi pour le mobilier et les divers appareils (sièges, ordinateurs, onduleurs, câbles et tuyauteries...) qui doivent être amenés à l'intérieur du bâtiment. Une réflexion doit être également menée pour le remplacement d'éléments de construction comme faux-planchers, faux-plafonds, vitrages,...

Pour chaque local, devra être déterminé le ou les modes d'accès et leur dimensionnement. De même, les réseaux techniques doivent pouvoir être accessibles sur l'ensemble de leur longueur, pour diverses réparations, améliorations, remplacements,...

Lors de la programmation, sera défini un objet dit critique qui pourra être fictif si nécessaire, afin d'en déduire toutes les cotes déterminantes. D'une manière générale, ce sera l'objet le plus volumineux devant être amené dans le local considéré (ou une enveloppe des deux objets les plus volumineux). Cet objet critique variera en fonction des locaux mais aussi en fonction des modes d'accès. Parmi les objets les plus volumineux dans le local vigie se trouve le pupitre ou une partie de celui-ci (la plaque principale par exemple).

Pour gagner de la place, il y a tout intérêt à trouver des solutions techniques permettant de faire passer les objets très volumineux (vitrages notamment) par d'autres voies que les circulations usuelles, d'autant plus que de tels déplacements sont peu fréquents. On

peut ainsi prévoir des accès à la vigie par l'extérieur mais cela implique que l'on réalise un balcon, une porte donnant sur celui-ci et que les deux soient dimensionnés en conséquence. Dans les circulations sont compris portes, escaliers, coursives, couloirs, ascenseurs, monte-charges,...

Tout accès par ascenseur doit être doublé d'un escalier. Il va de soi que les locaux les plus délicats à traiter du point de vue de l'accessibilité sont ceux du haut de la tour et qu'une attention toute particulière doit leur être portée.

Le problème de l'accessibilité des handicapés doit être également envisagé dès le programme. A ce stade, doit être décidé s'ils auront accès ou non à la vigie. Il y a en général très peu de contrôleurs handicapés et l'adaptabilité entraîne des contraintes supplémentaires importantes. En revanche, il est obligatoire qu'ils aient un accès aisé vers les bureaux (de piste et autres) et diverses salles de réunion et de conférence.

Enfin la toiture de la vigie doit être accessible, car on y pose généralement des antennes destinées à la navigation aérienne puisque c'est a priori le point haut de l'aérodrome.

En définitive, il y a tout intérêt à largement dimensionner les accès.

## Des impératifs de sûreté et de sécurité

Tous les problèmes d'accessibilité doivent inclure les aspects de sûreté et de sécurité qui œuvrent parfois en sens inverse.

La sécurité touche essentiellement les contraintes de construction. Il existe des normes et règles à respecter impérativement. Les principales concernent la sécurité contre les heurts, les chutes, la foudre ainsi que les incendies, ainsi que les exigences mécaniques des matériaux (les vitrages surtout).

La sécurité incendie influe sur les accès puisqu'elle implique des portes coupe-feu et des modes d'évacuation du bâtiment, l'objectif

étant de retarder le plus possible l'extension du sinistre et de permettre l'évacuation la plus rapide possible des personnels.

La sûreté, quant à elle, a pour but d'assurer la protection de ce point névralgique contre tout acte de malveillance empêchant notamment toute intrusion dans tout ou partie du bâtiment. Ces zones seront de 3 sortes :

- accessibles au public,
- réservées au personnel,
- d'accès soumis à autorisation et à contrôle, même pour le personnel de la plate-forme aéroportuaire (zone à accès limité incluse dans la zone précédente).

La vigie entre dans cette dernière zone. Toute personne souhaitant y accéder doit le demander au contrôleur responsable présent dans le local. Ceci afin d'éviter toute occupation intempestive (cas de grève et autres démonstrations) d'un centre vital de l'aérodrome et notamment pour la sécurité à l'intérieur de celui-ci. On pourrait créer plus de trois zones en reprenant, par exemple, les différentes fonctions se trouvant dans le bâtiment, mais, à trop compartimenter ces espaces on entraverait les liaisons entre leurs différentes fonctions.

La sécurité et la sûreté sont deux notions bien distinctes. Néanmoins, il faut veiller à ce que des solutions techniques convenant à la sécurité (incendie principalement) n'entraînent pas de dysfonctionnements du point de vue de la sûreté. Ainsi, les issues de secours ne doivent pas permettre un accès de l'extérieur. De toutes les réglementations de sécurité, celle contre les incendies est de loin la plus complexe : elle dépend du type de construction. Une tour de contrôle et un bloc technique n'entrent pas dans les catégories définies dans les textes. Néanmoins, certains cas de figure peuvent s'y rattacher.

En effet, un bloc technique accueillant des bureaux administratifs peut entrer dans la classe W (administrations, banques, bureaux) du classement des établissements recevant du public (ERP). Il faut entendre ici que seule la partie bureau est classée. Si les parties tech-

niques sont conçues indépendamment, soit dans des constructions à part, soit dans des zones spécifiques du bâtiment, elles n'entrent pas dans le classement. Il n'y a pas lieu, a priori, de respecter les règles ERP pour les zones réservées, mais cela peut se faire par souci d'homogénéité ou par contrainte de construction. Les surfaces éventuellement concernées seront de 5e, 4e, ou exceptionnellement de 3e catégories (voir hors texte 3-11). Outre des moyens d'évacuation sûrs et maintenus en parfait état, il faudra que les occupants puissent s'éloigner du bâtiment sans encombre. D'où des dispositions à prendre autour du bâtiment.

L'avantage de respecter les règles ERP est qu'elles sont les plus au point et les plus efficaces, mais aussi, hélas les plus draconiennes et les plus coûteuses. Aussi un choix devra-t-il être fait assez tôt dans la conception de la part du maître d'ouvrage.

Quant à la tour elle-même, une autre règle peut lui être appliquée, celle des immeubles de grande hauteur. Les articles R122 du code de la construction et de l'habitation en sont les bases. Ces règles s'appliquent aux immeubles (autres qu'à usage d'habitation) dont le plancher bas du dernier niveau est situé à plus de 28 mètres par rapport au niveau du sol le plus haut utilisable par des engins des services publics de secours et de lutte contre l'incendie. Une tour peut-être classée GHW ou GHZ (GHW immeuble à usage de bureau, GHZ immeuble à usage mixte).

Les tours de contrôle et blocs techniques n'entrent pas stricto sensu dans cette nomenclature et l'on est en droit de ne pas les appliquer. Cependant, on y a intérêt, dans la mesure du possible, car ce sont celles qui à l'heure actuelle permettent de mettre en œuvre les moyens de secours les plus efficaces.

Le choix de les appliquer ou non doit être décidé tôt, d'autant qu'il impliquera à son tour des dispositifs particuliers en raison de la présence d'équipements techniques et de câblages.

**Un compromis entre impératifs de sécurité et de sûreté doit être trouvé, et ce à chaque phase de la conception.**

## **Classement éventuel en ERP**

Si l'on s'en tient à la définition donnée par le code de la construction et de l'habitation, la catégorie des établissements recevant du public (ERP) est si large que pratiquement toute réunion dans un lieu fermé aurait pour conséquence de le classer en ERP. En effet, le code stipule que constituent des ERP tous les bâtiments, locaux ou enceintes dans lesquels des personnes sont admises soit librement, soit moyennant une rétribution ou une participation quelconque ou dans lesquels sont tenues des réunions ouvertes à tout public ou sur invitation, payantes ou non. Etant considérées comme public toutes les personnes admises dans l'établissement à quelque titre que ce soit en plus du personnel. La classification vient corriger un peu la rigueur de cette définition en graduant les mesures de sécurité selon l'établissement, ses dangers propres, ses occupants et selon les mesures de contrôle et de surveillance qu'il est souhaitable d'y appliquer.

La réglementation repose en premier lieu sur le code de la construction et de l'habitation (articles R 123.1 à R 123.55, décret du 31 octobre 1973). Ensuite, le règlement de sécurité a fait l'objet de l'arrêté du 25 janvier 1980 et de différents arrêtés pris en application de ce texte.

Les établissements sont classés selon le type d'exploitation (la classe W correspondant aux administrations, banques et bureaux), et l'effectif susceptible d'y être admis ; celui-ci comprenant à la fois le public et le personnel (voir tableau).

<b>Catégorie</b>	<b>Effectif <i>e</i></b> (nombre de personnes)
1	$e > 1\,500$
2	$700 < e < 1\,500$
3	$300 < e < 700$
4	seuil de classement $< e < 300$
5	$e < \text{seuil de classement}$

Les seuils varient en fonction de la classe, selon l'exploitation et la position de l'établissement en rez-de-chaussée, en sous-sol ou en étage, pour tenir compte de la fréquentation et des difficultés d'évacuation. Pour la classe W, ce seuil est de 100 personnes pour les établissements en sous-sol et à l'étage et de 200 personnes pour le total. La zone publique d'un bloc technique peut éventuellement être classée W en catégorie 5. Plus rarement en catégorie 4 et exceptionnellement en catégorie 3.

## **Hors-texte 3-11**



# Lexique

<b>Angle solide</b>	région de l'espace comprise entre plusieurs plans qui se coupent en un point et qui sont limités à leurs intersections.
<b>Choroïde</b>	membrane pigmentée et vascularisée de l'œil se continuant en avant par l'iris.
<b>Cochlée</b>	partie de l'oreille interne où se trouvent les éléments sensoriels de l'ouïe.
<b>Cristallin</b>	élément de l'œil en forme de lentille biconvexe, placé dans le globe oculaire en arrière de la pupille et faisant partie des milieux réfringents qui font converger les rayons lumineux sur la rétine.
<b>Éclairement lumineux</b>	l'éclairement lumineux en un point d'une surface est le quotient du flux lumineux reçu par un élément de surface par l'aire de cet élément; il caractérise la quantité de lumière reçue par unité de surface; son unité est le lux (lx) ou $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm} \cdot \text{m}^2$ .
<b>Ergonomie</b>	science de l'adaptation du travail à l'homme.
<b>Ergorama</b>	zone vue à proximité et à portée de main. Pour un contrôleur en vigie, tout ce qu'il voit à l'intérieur de ce local à partir de sa position de contrôle.
<b>Flux lumineux</b>	quantité de lumière émise par unité de temps par une source. Son unité est le lumen (lm) ; c'est une grandeur dérivée du flux énergétique.



<b>Fovéa</b>	dépression centrale de la rétine sur laquelle la vision se produit le plus nettement
<b>Insolation</b>	action des rayons du soleil qui frappent un objet.
<b>Intensité lumineuse</b>	l'intensité lumineuse d'une source dans une direction donnée est le quotient du flux lumineux quittant la source et se propageant dans un élément d'angle solide contenant la direction, par cet élément d'angle solide; cette grandeur définit l'importance du flux lumineux émis dans une direction donnée par une source ponctuelle; son unité est le candela (cd).
<b>Iris</b>	membrane colorée de l'œil.
<b>Luminance</b>	la luminance en un point d'une surface et dans une direction donnée est le quotient de l'intensité lumineuse dans la direction donnée, d'un élément infiniment petit de la surface entourant le point considéré, par l'aire de la projection orthogonale de cet élément sur un plan perpendiculaire à cette direction; c'est donc une grandeur qui détermine l'aspect lumineux d'une surface éclairée ou d'une source, dans une direction donnée et dont dépend la sensation visuelle de la luminosité ; l'unité est le candela par mètre carré (cd/m <sup>2</sup> ).
<b>Métabolisme</b>	ensemble des transformations subies dans un organisme vivant par les substances qu'il absorbe : réactions de synthèse et réactions de dégradations libérant de l'énergie ; le métabolisme de base est la quantité d'oxygène produite par le corps humain, par heure et par mètre carré de la surface du corps au repos.
<b>PEB</b>	plan d'exposition au bruit
<b>Panorama</b>	vaste étendue que l'on voit d'une hauteur ; pour un contrôleur en vigie, tout ce qu'il voit à l'extérieur de ce local à partir de sa position de contrôle.
<b>Plan sagittal</b>	plan vertical, d'avant en arrière, perpendiculaire au plan vu de face.
<b>Pupille</b>	orifice central de l'iris de l'œil dont l'ouverture détermine la quantité de lumière qui sera admise dans la rétine.
<b>Rétine</b>	membrane sensible de l'œil, située à l'intérieur de la choroïde et formée par l'épanouissement du nerf optique.
<b>Scope</b>	écran radar.
<b>Température radiante</b>	température due aux radiations de corps chauds ou froids ; elle traduit les sensations de parois froides ou chaudes.
<b>Tympan</b>	membrane située au fond du conduit auditif, qui transmet les vibrations de l'air aux osselets de l'oreille moyenne.



Document réalisé par le service technique de l'aviation civile

**Rédaction** : département Bâtiments

**Conception** : département SINA, groupe Documentation et diffusion des connaissances

**Impression** : atelier de reprographie

**Janvier 2007**



direction générale  
de l'Aviation civile

**service technique  
de l'Aviation civile**

31, avenue du Maréchal Leclerc  
94381 Bonneuil-sur-Marne cedex  
téléphone : 01 49 56 80 00  
télécopie : 01 49 56 82 19  
[www.stac.aviation-civile.gouv.fr](http://www.stac.aviation-civile.gouv.fr)

ISBN 978-2-11-096934-7



*Liberté • Égalité • Fraternité*  
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

