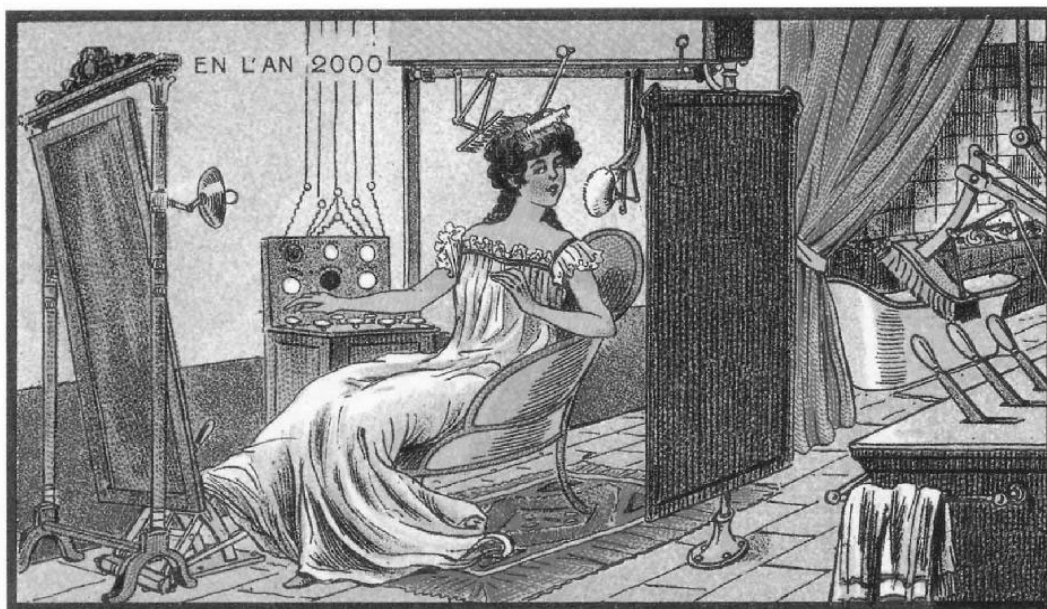




UNIVERSITÉ DE GENÈVE
CENTRE UNIVERSITAIRE D'ÉTUDE
DES PROBLÈMES DE L'ÉNERGIE

HABITAT, CONFORT ET ENERGIE



**Actes
de la 13^{ème} Journée du Cuepe
Colloque du cycle de formation du Cuepe 2002-2003**

édités par
Pierre Hollmuller, Bernard Lachal, Franco Romerio, Willi Weber

Mai 2003

Actes
de la 13^{ème} Journée du Cuepe
Colloque du cycle de formation du Cuepe 2002-2003

HABITAT, CONFORT ET ENERGIE

édités par
Pierre Hollmuller, Bernard Lachal, Franco Romerio, Willi Weber

Mai 2003

Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (CUEPE)
Battelle – Bâtiment A
Route de Drize 7, CH – 1227 Carouge / GE
Tél : 022 379 0661, Fax : 022 379 0639
www.cuepe.ch

TABLE DES MATIERES

Avant propos	1
<i>L'homme dans son environnement climatique : facteurs d'influence, thermorégulation, sensibilité et confort thermiques</i> Victor Candas, CEPA du CNRS, Strasbourg	3
<i>Le confort ou la démocratisation du bien-être en question</i> Lionel Engrand, Ecole d'architecture, Paris-Malaquais	29
<i>Du confort à la notion d'ambiance</i> Jean-François Augoyard, Laboratoire CRESSON, CNRS/Ministère de la Culture, Ecole d'Architecture de Grenoble	33
<i>Confort d'été et énergie : une étude de cas à Genève</i> Bernard Lachal, Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie, Université de Genève	43
<i>Le confort acoustique, étude de cas : une cartographie des ambiances sonores urbaines</i> Blaise Arlaud, Bureau d'ingénieur Gilbert Monay, Lausanne	55
<i>Qualités de l'habitat vécu et motifs de déménagement : enquête à Meyrin</i> Roderick Lawrence, Centre universitaire d'écologie humaine et des sciences de l'environnement, Université de Genève	67
Programme	73
Liste des participants	75

AVANT PROPOS

Le confort à l'intérieur des bâtiments est la synthèse de perceptions multiples (lumineuse, thermique, aéraulique, sonore) qui répondent à la fois aux exigences physiologiques et aux aspects d'usage et de culture. Les normes en définissent les limites (qualité et taux de renouvellement de l'air, température minimum et maximum, niveau d'éclairement) pour préserver la santé des habitants.

Ceci étant, une fois un certain niveau de confort atteint, celui-ci se définit de plus en plus par l'absence d'inconfort et devient ainsi plus exigeant, allant jusqu'à substituer la notion de « standing » à celle de « bien-être ». Ainsi, au niveau du confort thermique, les 15°C pratiqués par ceux qui le pouvaient au début du 20ème siècle, devinrent 18°C, puis 20°C pour habituellement atteindre aujourd'hui 22°C, température que l'on a tendance à revendiquer également en pleine canicule.

Pourtant, il ne faut pas oublier que dans le monde, même si la grande majorité y aspire, seule une minorité de la population a accès aux normes de confort occidentales. Le développement économique et la standardisation des modes de vie vont aboutir tôt ou tard à des normes de confort accrues pour une part grandissante de la population du globe et donc à une demande d'énergie renforcée. Cette évolution va être amplifiée par l'uniformisation des matériaux et des techniques de construction, ainsi que des pratiques architecturales, qui s'éloignent trop souvent des habitudes locales généralement bien adaptées à l'environnement.

Deux approches du problème sont alors possibles. La première consiste à mieux adapter le bâtiment au climat et au mode de vie des occupants, faire progresser l'efficacité énergétique des systèmes de production, de transport et de distribution des flux nécessaires. Mais on peut aussi jouer sur la notion même de confort et essayer de mieux en définir le niveau « acceptable », ainsi que d'élargir la notion de confort à celle d'ambiance. Se pose en particulier la question de savoir si le confort varie selon les individus, les cultures, voire les classes sociales. En d'autres mots, le sentiment de confort dépend-t-il seulement de paramètres physiologiques ou les aspects culturels et psychologiques jouent-ils également un rôle important ?

La journée du CUEPE 2003 voudrait aborder ces différents points, en se concentrant sur le cas des pays industrialisés. La première session de ce colloque sera consacrée à la notion de confort dans l'habitat : après une intervention spécifiquement ciblée sur la composante thermique, premier déterminant de la consommation énergétique, le champs sera élargi par une rétrospective historique de l'évolution du confort, puis étendu au concept « d'ambiance ». La deuxième session illustrera et complètera le propos par quatre études de cas. Le colloque se terminera par une table-ronde qui permettra aux participants d'entamer une discussion avec les orateurs de la journée.

L'homme dans son environnement climatique

Facteurs d'influence, thermorégulation, sensibilité et confort thermiques

Victor Candas
CEPA du CNRS
Strasbourg
e-mail : candas@c-strasbourg.fr

L'ENVIRONNEMENT THERMIQUE

1. Température de l'air

La température de l'air (°C) est simplement la température du fluide qui circule autour d'un individu et qui détermine le flux de chaleur entre l'air et l'individu. En réalité, la température de l'air n'est pas uniforme autour de l'individu, elle est différente à proximité du corps. Par exemple, dans un environnement à 20°C, la température de l'air sera plus élevée à proximité de la peau de l'Homme nu que le sera la température de l'air à proximité du vêtement chez l'Homme vêtu. Mais à l'inverse, la température de l'air entre la peau et le vêtement sera supérieure à celle de l'air extérieur.

2. Température de surface

Les objets qui nous environnent (les murs, les sols...) ont des températures propres qui résultent des effets des paramètres variés, caractéristiques d'un environnement. Le fait de toucher une surface engendre un flux thermique, tout comme le fait d'être exposé à cette surface, même sans la toucher !

3. Température de rayonnement

L'environnement implique un effet de la température de rayonnement (°C) (dans le spectre infra-rouge) qui correspond à la température d'émission des surfaces. Des échanges thermiques existent entre cette température et l'organisme en fonction des puissances quatrièmes de ces températures. Les températures de rayonnement sont parfois hétérogènes : c'est le cas par exemple, des émissions des rayons solaires dans une pièce (par la fenêtre) alors que les autres murs du local auront des températures proches de celle de l'air. On définit alors une température moyenne de rayonnement, qui correspond à une température hypothétique unique qui conduirait au même flux de chaleur que celui actuellement subi, mais qui résulte lui des divers flux se faisant, en réalité, en fonction des diverses températures de rayonnement et des surfaces exposées.

4. Humidité de l'air

L'air ambiant peut contenir plus ou moins de molécules de vapeur d'eau. L'humidité de l'air s'exprime en unité de pression de vapeur d'eau dans l'air (millibar ou hectoPascal, kiloPascal, millimètre de mercure ou Torr) ou plus simplement en gramme d'eau par kilo d'air sec ou aussi en gramme d'eau par mètre cube d'air sec. Si l'air ambiant contient le maximum de vapeur d'eau qu'il peut accepter, on dit que la pression est saturante : il existe des tables de pression de saturation de l'air en fonction de sa température : la relation n'est pas linéaire. Un extrait est donné en Méthodes de mesures. Les valeurs de saturation sont obtenues à la

température de rosée, car par définition la température de rosée correspond à la température pour laquelle la pression existante serait saturante. A ces valeurs de pression, correspond la valeur 100 % d'humidité relative, puisque l'air est saturé. On entrevoit ici que parler d'un niveau de 100 % d'humidité relative n'est pas informatif : il faut connaître la température d'air pour en déduire un contenu en eau ou une pression de vapeur d'eau.

Quand l'air n'est pas saturé -c'est la majeure partie des cas- l'humidité relative peut varier de 0 % (air complètement sec) à 99,9 % : à ce moment la pression existante est dite partielle. La relation qui lie le % d'humidité à la pression de vapeur d'eau est linéaire : c'est ainsi qu'un air à 20°C contenant 50 % d'humidité aura un contenu en eau égal à la moitié d'un air saturé à cette température et la pression partielle de vapeur d'eau y sera égale à la moitié de la pression saturante à 20°C.

Le niveau de pression de vapeur d'eau ambiante est important car il détermine la force avec laquelle une surface mouillée pourra évaporer : elle est donc essentielle dans les processus de refroidissement par évaporation.

5. Vitesse de l'air

La vitesse de l'air (en mètre par seconde) correspond au mouvement de l'air par rapport à un objet : la vitesse de l'air varie dans le temps et l'espace: elle fluctue dans l'espace à trois dimensions. Parfois, on la ressent bien directionnelle (ex : quand on passe la main par la fenêtre d'un véhicule en mouvement) ; en réalité, elle est souvent multidirectionnelle (courant d'air). Son intensité varie, impliquant une fréquence de variation que l'on quantifie par l'écart-type de la vitesse d'air moyenne. On introduit alors un facteur d'intensité de *turbulence*.

L'impact de la vitesse de l'air est important car son effet est associé à celui de la température de l'air (convection) et à celui de l'humidité de l'air (évaporation).

6. Les échanges de chaleur

L'ensemble des production et des échanges thermiques s'écrit :

$$M - W + K + C + R + E = S$$

où tous les termes sont exprimés en Watts par mètre carré de surface corporelle, sachant qu'il existe une relation entre poids-taille et surface corporelle. Ces termes sont :

M = production de chaleur métabolique,

W = travail fourni à l'extérieur (nul sauf dans le cas de la bicyclette ergométrique),

K = échange de chaleur par conduction,

C = échange de chaleur par convection,

R = échange de chaleur par rayonnement,

E = échange de chaleur par évaporation,

S = stockage de chaleur.

M - W est toujours positif.

K, C, R peuvent être positifs ou négatifs.

E est toujours négatif.

S dépend de tous les autres facteurs. Si l'on décide à priori que l'organisme doit être en équilibre thermique, S doit être égal à zéro

LES EFFETS THERMIQUES SUR L'HOMME

L'homme produit et échange de la chaleur. Sa production de chaleur interne se répartit dans sa masse corporelle tandis que ces échanges thermiques externes se font à la surface cutanée (Ad : DuBois Area). La surface cutanée en m² se calcule à partir du poids P (kg) et de la taille T (en m) selon la formule :

$$A_d = 0,2025 \cdot P^{0,425} \cdot T^{0,725}$$

1. Effet conduction

Même si nous échangeons parfois de la chaleur par conduction, seules de petites zones corporelles sont concernées. Quand des parties plus grandes de notre surface sont en contact avec des éléments de mobilier (chaise, fauteuil, canapé, lit) les tissus en contact se mettent rapidement en équilibre et se comportent comme un isolant thermique par rapport à l'ambiance : globalement donc en régime permanent, on néglige donc les températures de surface et les aspects conductifs, en les incluant dans les échanges convectifs.

2. Effet convection

La température de l'air est un paramètre très important parce qu'elle participe activement et de façon permanente (dans nos climats du moins) à notre déperdition calorifique du fait de sa part active dans les échanges convectifs. Son impact est d'autant plus grand que les vitesses d'air et courants sont également influant dans cette modalité d'échange.

Les échanges par convection sont régis par l'équation :

$$C = h_c (T_a - \overline{T}_{sk}) \cdot A_c \cdot F_{cl}$$

où C est le flux convectif global,

h_c le coefficient d'échange par convection, $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$,

\overline{T}_{sk} la température moyenne de peau,

T_a la température de l'air,

A_c la surface cutanée exposée (souvent la surface totale, A_d),

F_{cl} le facteur de prise en compte de l'effet lié à l'isolement vestimentaire (voir le paragraphe 6) : si l'isolement est nul, $F_{cl} = 1$ impliquant 100% des échanges possibles ; si l'isolement est grand F_{cl} tend vers 0 limitant considérablement le flux convectif.

Le coefficient de convection h_c est calculé par :

$$h_c = 3,5 + 5,2 V_{ar} \text{ pour } V_a \leq 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$h_c = 8,7 V_{ar}^{0,6} \text{ pour } V_a > 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Les coefficients de ces relations sont donnés pour h_c exprimé en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ et V_a en $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Définissons ici le coefficient h_{co} d'échange convectif en air calme ($V_a = 0,05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) qui vaut

$$h_{co} = 3,5 + (5,2 \times 0,05) = 3,8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

La vitesse d'air résultante (V_{ar}) tient compte de la vitesse de l'air ambiant (V_a) et des vitesses liées aux déplacements et à l'activité du sujet selon la proposition :

$$V_{ar} = V_a + 0,0052 (M - 58)$$

où M est l'activité métabolique (en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ telle que décrite au paragraphe 5) avec une limitation de sorte que, si $M > 200$ alors $M = 200 \text{ W}$, afin de limiter le second terme du membre droit de l'équation à 0,7.

3. Effet radiation

La température de rayonnement correspond à la température des surfaces avec lesquelles le corps humain échange de la chaleur. Le flux radiatif dépend de la constante de Stefan Boltzmann, de l'émissivité des corps, des différences des puissances quatrièmes de températures des surfaces et des facteurs de forme.

Dans un souci de simplification et par analogie avec l'échange convectif, on utilise une formule simplifiée linéarisée :

$$R = h_r (\bar{T}_r - \bar{T}_{sk}) \cdot A_r \cdot F_{cl}$$

où R est le flux radiatif échangé par le corps humain,

h_r , le coefficient d'échange par rayonnement,

\bar{T}_r , la température moyenne de rayonnement du milieu environnant,

\bar{T}_{sk} , la température moyenne de peau,

A_r , la surface cutanée qui rayonne,

F_{cl} , le facteur lié à l'isolement vestimentaire (voir le paragraphe 2).

Pour cette formule linéaire $h_r = 4 \cdot \sigma \cdot \varepsilon_{sk} \left(\frac{\bar{T}_r + \bar{T}_{sk}}{2} \right)^3$

où σ est la constante de Stefan Boltzmann, ($5,67 \cdot 10^{-8}$ en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$)

ε_{sk} , l'émissivité cutanée (0,97, sans dimension),

\bar{T}_r et \bar{T}_{sk} , respectivement les températures moyennes de rayonnement et de peau (K);

$$\text{soit } h_r = 0,22 \cdot 10^{-8} \left(\frac{\bar{T}_r + \bar{T}_{sk}}{2} \right)^3 \text{ ou } h_r = 0,22 \left(\frac{\bar{T}_r + \bar{T}_{sk}}{200} \right)^3$$

ce qui pour des températures telles celles rencontrées dans le bâti $\bar{T}_r \# 20^\circ\text{C}$, $\bar{T}_{sk} \# 34^\circ\text{C}$ conduit à $h_r \# 6,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

Comme la surface A_r est difficile à déterminer, on écrit :

$$A_r = \frac{A_r}{A_d} \cdot A_d$$

où A_r/A_d , rapport entre la surface cutanée qui rayonne et la surface corporelle totale, joue le rôle d'un coefficient de forme qui vaut :

0,67 pour le sujet accroupi,

0,70 pour le sujet assis,

0,77 pour le sujet debout.

Dans l'exemple ci-dessus, le coefficient d'échange radiant que l'on peut appliquer si on considère le flux en fonction de la surface totale (A_d) devient pour l'homme debout

$$h_r = 0,77 \times 6,00 \# 4,6 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$$

Cette notion est intéressante car elle permet de voir que globalement pour l'Homme le coefficient d'échange radiatif est supérieur au coefficient convectif en air calme.

La température moyenne de rayonnement se déduit des mesures de température de globe noir (T_g), de la température de l'air et de la vitesse d'air selon la formule empirique:

$$\bar{T}_r = \left[(T_g)^4 + 2.5 \cdot 10^8 \cdot V_a^{0.6} (T_g - T_a) \right]^{1/4}$$

Une formule simplifiée (voir Beshir et Ramsey, 1988) a été proposée pour une approximation de la température moyenne de rayonnement à partir des températures d'air (T_a) et de globe noir (T_g) ainsi que de la vitesse de l'air (V_a) :

$$\bar{T}_r = T_g + 1.8 \sqrt{V_a} (T_g - T_a)$$

4. Effet humidité

A priori, l'humidité en elle-même n'a pas beaucoup d'impact sur les échanges thermiques. Elle intervient parce que l'organisme humain a des muqueuses qui par définition sont toujours moites ou mouillées : les lèvres, les yeux, les voies respiratoires. A ce niveau les échanges sont relativement faibles mais la perception des changements est grande. Au niveau cutané par contre, la sudation quand elle se produit, permet une déperdition calorifique évaporatoire importante régie par la loi :

$$E = h_e (P_{a_{H_2O}} - P_{sk_{H_2O}}) \cdot A_e \cdot F_{pcl}$$

où E est le flux évaporatoire en W

$$h_e = K \cdot h_c \text{ avec } K = 2,2 \text{ K} \cdot \text{Torr}^{-1} \text{ ou encore } 16,7 \text{ K} \cdot \text{KPa}^{-1}$$

$P_{a_{H_2O}}$ est la pression partielle de vapeur d'eau ambiante, Kpa

$P_{sk_{H_2O}}$ est la pression saturante de vapeur d'eau à la température cutanée T_{sk} , KPa

h_e le coefficient d'évaporation qui selon l'analogie Nusselt/Sherood est directement proportionnel au coefficient de convection selon la relation de Lewis (analogie entre le transfert de masse et le transfert de chaleur).

A_e est la surface qui évapore et qui vaut :

$$A_e = \frac{A_e}{A_d} \cdot A_d$$

avec, $\frac{A_e}{A_d}$, pourcentage de surface mouillée encore appelé mouillure cutanée : w (pour wettedness en Anglais).

Le facteur F_{pcl} est un facteur qui rend compte des effets de la perméabilité du vêtement. S'il vaut 1, le vêtement est très perméable et tout se passe comme si le sujet était nu. S'il vaut 0, la perméabilité est nulle et l'évaporation possible aussi (le calcul de ce facteur est expliqué en page 13).

Ce concept de mouillure est intéressant car il est représentatif de l'astreinte chaude (Gagge, 1937). A 6% de mouillure, on peut montrer que l'évaporation cutanée correspond à la perspiration insensible, perte minimale associée au confort du quotidien. A 100% de mouillure, on comprend bien que la contrainte est maximale. Des expériences de laboratoire tendent à montrer que dès que la mouillure atteint des valeurs de 30%, l'inconfort grandit pour être atteint définitivement à 50% quand une partie de la sueur commence à ruisseler. Au delà, on a affaire à une contrainte thermique chaude qui croît avec la mouillure. Des niveaux supérieurs à 80% correspondent à des astreintes physiologiques sévères. Bien sûr, le ruissellement se produit d'abord sur la région où l'évaporation est la moins favorisée : il s'agit souvent du tronc qui possède le moins bon coefficient d'évaporation et bénéficie bien souvent du plus grand isolement thermique local.

Certains auteurs préconisent l'utilisation de la mouillure comme critère des risques d'inconfort chaud. Cette approche ne peut être que grossière puisqu'elle ne considère pas les inconforts locaux. Le concept est néanmoins très utile pour quantifier a priori la sévérité d'une condition sachant que la mouillure dépend beaucoup de l'évaporation maximale; les niveaux élevés d'humidité ambiante ou le port de vêtements imperméables y ont des conséquences très marquées.

5. Effet métabolique

La production de chaleur métabolique est le reflet de la vie cellulaire qui résulte de la consommation d'oxygène (M_{O_2}) et dégage du gaz carbonique (M_{CO_2}) dont les quantités varient en fonction du substrat énergétique dégradé (glucides, lipides, protides). En état stable, la quantité de chaleur métabolique produite se déduit de la consommation d'oxygène calculée à partir des débits d'air ventilé et de la différence de concentration entre l'air inspiré et l'air expiré. En conditions normales, lorsque l'organisme est au repos et en équilibre nutritionnel, le quotient respiratoire global $\left(\frac{M_{CO_2}}{M_{O_2}} \right)$ de l'organisme est de 0,83. Pour une telle valeur, la consommation de chaque litre d'oxygène par heure produit en moyenne 5,57 W. Or,

L'Homme au repos consomme 0,31 L d'oxygène à la minute, soit 18,6 L.h-1; il dégage donc 104 Watts (58 W.m-2 pour l'Homme standard de 1.8 m²) : c'est le métabolisme de repos correspondant à la chaleur métabolique puisque aucun travail n'est fourni à l'extérieur du corps humain.

En condition de vie au bureau, au travail, à la maison, on estime parfois le métabolisme non pas à partir de la consommation d'oxygène trop complexe à obtenir, mais à partir des activités de l'individu, de ses mouvements et du type d'activité.

On considère le rendement nul, stipulant que toute l'énergie produite est dégagée sous forme de chaleur à l'intérieur du corps (voir plus loin pour des propositions de détermination quantitative).

6. Effet vestimentaire (le clo)

Les climats des régions de l'hémisphère nord ne nous permettent pas de vivre en équilibre thermique sans protection vestimentaire. En effet, à 21 °C d'air (en moyenne) en air calme et étant donnée une température cutanée moyenne de 33,4°C, soit un écart thermique de 12,4 K. L'équilibre thermique suppose qu'on ne perde pas plus que notre métabolisme de repos, de l'ordre de 44 W.m-2 quand on a déduit des 58 W.m-2 du repos les pertes convective et évaporatoire liées à la respiration. La résistance totale à produire pour ne perdre que ces 44 W.m-2 est donc de $\frac{12,4 \text{ }^{\circ}\text{C}}{44 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}$ soit $0,28 \text{ K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$.

Cet isolement de $0,28 \text{ K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$ correspondant à l'isolement total I_t , est la somme de deux isolements : l'isolement de la couche limite d'air (I_a) et l'isolement vestimentaire (I_{cl}). La poursuite du calcul implique la connaissance des coefficients d'échange de chaleur sensible par convection (voir §.2) et par rayonnement (voir §.3). En air calme le coefficient h_{co} est de $3,8 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^{\circ}\text{C}$ et le coefficient h_r est pour l'homme assis de $4,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$, I_a vaut :

$$I_a = \frac{1}{h_c + h_r} = \frac{1}{3,8 + 4,2} = \frac{1}{8} = 0,125 \text{ }^{\circ}\text{C} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$$

L'équilibre supposant une valeur de $0,284 \text{ K.m}^2.\text{W}^{-1}$, on déduit que l'isolement vestimentaire nécessaire est :

$$I_{cl} = I_t - I_a = 0,28 - 0,125 = 0,155 \text{ K} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$$

Cette valeur particulière I_{clo} a été définie comme valant 1 "clo", isolement nécessaire au maintien de la balance thermique de l'Homme sédentaire à 21 °C en air calme.

Mais bien sûr, si le vêtement a un effet bénéfique sur la déperdition ou sur les gains de chaleur sèche (effet F_{cl} sur la convection et le rayonnement), il a un effet négatif sur l'évaporation possible de la sudation (effet F_{pcl} sur la thermolyse évaporatoire). Comment estimer les valeurs F_{cl} et F_{pcl} ? Pour ce faire, il faut d'abord estimer la valeur de l'isolement vestimentaire I_{cl} . Deux possibilités sont offertes.

6.1. La détermination expérimentale

Pour une bonne mesure, il faut disposer d'un mannequin calorimétrique: il s'agit d'un fluxmètre à l'échelle humaine qui, par un système de régulation des températures de surface,

permet de mesurer l'énergie dissipée par effet Joule. En effet ce mannequin est constitué de multiples zones individualisées (une trentaine, selon les mannequins) dont chacune est équipée :

- d'une sonde de platine (Pt 100) filaire (# 60 cm) collée sur la surface externe de la résine, et parcourant, autant que faire ce peut, la zone locale.
- d'une résistance incluse dans la structure périphérique permettant de porter la zone à la température de surface souhaitée
- De plus, la régulation du mannequin par ordinateur est possible en température ou en flux.

Généralement, on asservit les températures de surface à celles trouvées sur l'homme et on détermine le flux thermique nécessaire à la régulation de ces températures (l'ensemble de 35 flux locaux conduit au flux global).

Pour la détermination de l'isolement thermique vestimentaire, on mesure le flux thermique dans une condition standard pour le mannequin nu qui conduit à la détermination de l'isolement aérien (I_a). Ensuite on habille le mannequin de la tenue à tester et le flux mesuré conduit à l'isolement total (I_t) ; par différence, on obtient l'isolement vestimentaire (I_{cl}).

6.2. L'approche théorique par le calcul

En l'absence de mannequin, il faut se reporter à la norme ISO 9920 qui permet un calcul de I_{cl} à partir des valeurs "clo" des pièces unitaires (valeurs initialement déterminées à l'aide d'un mannequin calorimétrique) ou à partir des exemples de tenues cités dans ladite norme.

Ensuite le facteur F_{cl} (sans dimension) de modulation des effets convectifs et radiants est calculé par :

$$F_{cl} = 1 / \left[1 + 0,155 \left(h_c + h_r \right) I_{cl} \right]$$

avec $h = 1 / I_a$ et I_{cl} en clo.

Le facteur F_{pcl} réducteur des capacités évaporatoires est lui aussi fonction de I_{cl} (en clo) :

$$F_{pcl} = 1 / \left[1 + 0,155 h_e \frac{I_{cl}}{i_m} \right]$$

où h_e est le coefficient d'évaporation et i_m l'indice de perméabilité du vêtement (sans dimension).

La norme ISO 9920 mentionne au sein même de son titre une "détermination de la résistance à l'évaporation" des vêtements mais peu de valeurs sont données. Il appartient donc aux utilisateurs de trouver d'autres valeurs :

- soit dans la base de données américaines (Mac Cullough et al., 1989)
- soit à l'aide de modèles physiques perspirants (skin model ou autre).

Il existe également un facteur appelé f_{cl} qui rend compte de l'augmentation de la surface d'échange thermique des individus vêtus ($A_{d,cl}$) comparativement à celle du sujet nu (A_d), à prendre en considération lors du calcul des échanges de l'Homme vêtu. Sa détermination approximative résultant des mesures de laboratoire est :

$$f_{cl} = \frac{A_{d,cl}}{A_d} = 1,0 + 0,31 I_{cl}$$

avec I_{cl} en clo.

Pour mémoire enfin, rappelons que plusieurs notions d'isolement sont rencontrées dans la littérature spécifique :

- l'isolement *total* qui inclut l'air et le vêtement,
- l'isolement *effectif* qui ne concerne que le vêtement.
- l'isolement *intrinsèque* ou *basique* qui tient compte en plus de l'accroissement de la surface d'échange.
- l'isolement résultant qui tend à considérer les effets soufflet et pompage liés à l'activité humaine de même que les variations de résistance avec la présence de sueur dans les tissus. En effet, il ne faut pas oublier que l'isolement vestimentaire est très affecté par la vitesse de l'air ou les déplacements qui viennent réduire la couche limite à la surface du vêtement : des réductions atteignant 40 à 50% ont été décrites et les conséquences de telles modifications ne sont pas négligeables.

A noter que ces différentes notions ne sont pas clairement définies dans la norme actuelle.

LES REPONSES PHYSIOLOGIQUES

Etre thermiquement neutre sur la base de l'équilibre de la balance thermique globale ne signifie pas forcément la constance locale ou l'équilibre de chaque partie corporelle. La distribution des températures de peau suit un axe cephalo-caudal et dans le cas de la thermoneutralité de l'Homme nu au repos en été, la différentielle thermique atteint 3 à 4°C ; la tête étant la partie la plus chaude, les extrémités étant les plus froides. Cette condition de base correspond à un cas spécial pour lequel l'équilibre thermique est maintenu avec un recrutement minimal des réponses physiologiques (essentiellement absence de frisson ou de sudation). En hiver, dans une tenue d'intérieur adéquate, le tronc sera le plus chaud et les extrémités seront encore plus froide que précédemment : la différentielle pourra atteindre 6°C, voire plus. Ce point est important au quotidien car, au froid, la thermoneutralité ne sera assurée qu'avec de gros isollements vestimentaires, les parties les plus couvertes restant chaudes à l'inverse des parties exposées.

1. L'Homme : machine thermique

L'Homme pour assurer ses fonctions vitales dégrade des substrats énergétiques en permanence en consommant de l'oxygène, et en produisant du CO₂, de l'eau métabolique et en dégageant de l'énergie. Même au repos, une centaine de watts sont produits en permanence et cette énergie dégagée sous forme de chaleur se propage de l'intérieur vers l'extérieur de l'organisme, véhiculée un peu par conduction tissulaire mais surtout par la convection sanguine. La répartition énergétique et les coefficients locaux d'échange de chaleur font que globalement le noyau central est de l'ordre de 37 °C alors que la surface périphérique (peau) est comprise entre 29-30 °C aux pieds et 34-35 °C au niveau de la tête.

2. La genèse des signaux

Notre température interne peut varier entre 36 °C la nuit et 38-39 °C lors de certains efforts prolongés. Des récepteurs internes (dits centraux) informent le système régulateur de ces variations. De même, notre température moyenne de peau est voisine de 34 °C en condition standard. Mais contrairement à la température interne qui varie peu (2 à 3 K), les températures cutanées sont sensibles à l'environnement climatique : les variations de 10 K sont possibles en fonction des conditions externes. Pour informer le système régulateur de nos températures, des millions de capteurs (qui sont en fait des terminaisons nerveuses libres) existent dans la peau. Les fibres sensibles au froid sont plus nombreuses et plus superficielles que celles sensibles au chaud. Ces récepteurs envoient, sous forme d'impulsions et de trains d'impulsions (Hensel, 1973) des informations à l'hypothalamus où se situe le point de contrôle (thermostat central, Hammel et coll., 1963).

3. *L'activité neurosensorielle*

Les récepteurs stimulés par la température de peau ou sa variation donnent naissance à des informations dont la fréquence est proportionnelle à la température. Ainsi un récepteur au froid situé dans une région où la température de peau s'élève, verra son activité électrique diminuer et inversement pour un récepteur au chaud. Mais ces récepteurs sont également sensibles à la vitesse de variation de la température : si donc la température de la peau varie lentement, seule l'information liée à l'aspect statique (niveau absolu de la température) sera transmise. Au contraire, si la température varie plus rapidement (grossièrement $> 0,02$ K/s) les récepteurs font preuve d'une activité dynamique rendant l'individu plus rapidement et plus intensément sensible au changement thermique.

Au quotidien, les récepteurs thermiques sont tous plus ou moins sollicités, car leur stimulation s'étale sur une large plage thermique. En effet, les récepteurs au chaud et au froid sont actifs simultanément dans la plage au voisinage de la thermoneutralité. Quand la température de peau varie, dans un sens ou dans l'autre, certains récepteurs sont alors moins actifs alors que les autres le sont plus. A une certaine température de peau (33-34 °C chez l'Homme), les activités des récepteurs au chaud et au froid sont de même amplitude, ce qui explique la sensation de ni chaud ni froid. En deçà et au-delà, c'est la combinaison de tous les influx qui est interprétée par les centres supérieurs comme un signal chaud ou un signal froid (notons l'existence d'une sensation paradoxale froide pour des températures de peau élevées, du fait de la courbe de réponse des récepteurs sensibles au froid).

Enfin, les thermorécepteurs sont capables d'adaptation, c'est-à-dire que leur activité s'estompe avec le temps alors que le stimulus perdure. Ceci a pour conséquence que la même exposition à un stimulus donné engendrera des activités (donc des sensations) différentes selon la température d'adaptation initiale. Pour s'en convaincre il suffit de plonger la main gauche dans une bassine d'eau à 26 °C et la main droite dans une eau à 38 °C pendant une minute. Ensuite, le fait de plonger simultanément les mains dans une eau à 32 °C procurera, même après la courte phase transitoire, des sensations différentes selon la température initiale (température d'adaptation) de chaque main. Ces phénomènes d'adaptation expliquent pourquoi des jugements différents peuvent être obtenus pour des mêmes niveaux de température cutanée ou inversement. Ce sont ces processus complexes qui "trahissent" l'individu quand il dit (en fonction du fait qu'il vient d'un autre climat) qu'il perçoit quelque chose de plus chaud ou de moins froid, alors qu'en réalité le climat est plutôt neutre. Il n'en reste pas moins vrai que la température reste toujours la grandeur d'entrée du système, mais que son impact sensoriel dépend aussi de la température initiale.

La sensation "neutre" peut être obtenue pour différents niveaux de température de surface en fonction de leur état initial d'adaptation.

L'impact de ces adaptations sensorielles sur l'appréciation perceptive est d'autant plus grand que la surface cutanée exposée est grande, d'où les observations parfois divergentes entre des personnes plus ou moins couvertes.

4. La perception, expression des sensations

A une température donnée, il faut imaginer que l'ensemble de nos capteurs informant l'hypothalamus (aire préoptique) donne naissance à une information globale permettant de rendre compte, en une seule formulation, de l'état thermique de l'individu : c'est dire que l'intégration centrale est complexe (MacIntyre, 1980). Néanmoins, il est possible de différencier l'état interne de l'état externe. Aussi, une personne ayant effectué une activité musculaire assez intense pour avoir augmenté sa température interne sera capable d'éprouver des sensations du type : "j'ai chaud", reflet de l'élévation thermique centrale, mais "l'environnement est froid". De telles expressions sont possibles parce que la différenciation existe entre noyau et périphérie. De même, un individu très chaudement vêtu dans un air à 15 °C pourra dire qu'"il a chaud" dans un environnement qu'il juge "froid" : cela parce que la perception globale naît de l'aspect sensoriel intégré, alors que la perception sur l'ambiance se fait par des moyens moins globaux que sont dans ce cas, les zones découvertes (mains, tête, pieds mais aussi voies respiratoires, muqueuses, Grivel et coll., 1989).

5. Le confort thermique

Quoique l'on entende souvent dire que si les individus s'estiment inconfortables, c'est "purement psychologique" et qu'on ne peut pas faire grand chose pour satisfaire tout le monde, chacun peut se rendre compte que les concepteurs du bâti ne peuvent faire fi (et ils ne le font pas) du confort thermique des occupants ou usagers. Le besoin de "satisfaction thermique" est évident et toutes les structures bâties (secteur habitable) ou construites (secteur des transports) sont équipées de systèmes permettant de réchauffer ou de refroidir le climat intérieur. En donnant l'opportunité à l'utilisateur d'ajuster son climat intérieur, on espère éviter l'insatisfaction donc l'inconfort. Il n'est néanmoins pas évident de considérer que l'absence d'insatisfaction procure le confort. La question de la définition du confort thermique se pose en ces termes. Est-ce que le confort correspond à l'état d'esprit dans lequel l'individu éprouve de la satisfaction à l'égard de son environnement thermique ou celui dans lequel il n'éprouve pas d'insatisfaction...? . Certains diront que les propos sémantiques dépendent des individus et de leur culture. Dans les sociétés telles que les nôtres (pour lesquelles 1/4 à 1/3 de l'énergie consommée sur le pays l'est pour le confort des gens) on peut se poser la question.

Néanmoins on peut admettre que si la satisfaction implique un jugement global, l'insatisfaction trouve souvent son origine localement. Quand l'insatisfaction est globale, l'inconfort est grand.

S'il fallait donc classer les notions de confort, on pourrait se hasarder à la gradation suivante :

- *inconfort* : expression de l'insatisfaction ou du désagrément de façon continue ou répétitive, ne permettant pas à la nuisance de se "faire oublier" ;
- *confort dégradé* : résulte de l'apparition épisodique (temporelle) ou locale (spatiale) d'un certain inconfort non persistant ou ressenti localement mais de façon peu intense (par exemple, avoir légèrement froid aux pieds) ;
- *confort* : peut résulter de 2 possibilités :
 - se déduit de l'absence exprimée de désagrément ou d'insatisfaction (échelle affective),

- se déduit de l'incapacité qu'ont les gens à s'exprimer sur leur état thermique (échelle perceptive) ; cette notion est proche de l'indifférence.
- *confort optimal* : résulte de l'expression de l'agrément du bien être exprimé par l'individu par rapport au climat perçu (l'exemple le plus convaincant est celui de la douche : on ajuste la température de l'eau pour une sensation recherchée d'agrément).
- *confort maximal* peut être celui qui résulte d'une parfaite adéquation entre tous les souhaits de l'individu et son état thermique (le bain à température "parfaite" pour l'individu peut correspondre à cet état). Il n'est pas sûr que ce confort maximal puisse être durable, il correspond souvent à des phases transitoires suivant des inconforts notoires.

Le confort se déduit donc des réponses subjectives.

Il est évident qu'il faille arriver à une possibilité claire de quantifier le confort et il existe diverses façons de décider de la présence ou de l'absence de confort. En réalité (comme nous le verrons plus loin) l'estimation subjective des sensations et du confort est normalisée sur la base de 3 questions essentielles : l'une relative à la sensation, l'autre à l'agrément, la troisième à la préférence : ce sont les combinaisons logiques des réponses aux questions posées qui permettent de décider ou non du confort thermique, l'exemple le plus simple est : je me sens ni chaud - ni froid, je trouve cela légèrement agréable et je ne souhaite rien : trois réponses qui permettent de conclure au confort.

Un exemple plus compliqué peut être : je me sens légèrement chaud, je trouve cela agréable mais je préférerais avoir un peu plus chaud, permettent de dire que le confort est présent certes mais pas de façon optimale. Il n'est néanmoins pas tout à fait sûr qu'en donnant un peu plus de chaleur à l'individu en question, son jugement ne devienne pas alors désagréable du fait qu'il aurait alors un peu trop chaud...

Reste à savoir ce vers quoi il faut tendre dans la conception des milieux bâtis. Le dicton selon lequel "qui peut le plus, peut le moins" n'est pas forcément vrai, car il est plus simple de garantir l'absence d'inconfort que le confort maximal. De plus les mesures prises pour la sauvegarde de l'énergie tendent globalement à limiter les puissances installées, donc à réduire les possibilités d'ajustement maximal.

Lors de l'utilisation de questionnaires, il convient de poser les bonnes questions pour obtenir les réponses souhaitées. Ainsi, demander au sujet ce qu'il ressent (aspect objectif personnel) n'est pas la même chose que de chercher à savoir ce qu'il perçoit (aspect subjectif intégré) : bien sûr que ce qu'il perçoit dépend de ce qu'il ressent mais pas seulement. Par exemple, le retour dans un intérieur chauffé de quelqu'un qui vient d'être exposé de façon prolongée au froid lui donnera une perception de chaud (il fait "bon chaud" ici) mais sa sensation thermique sera toujours froide ou fraîche du fait de son exposition préalable. L'ambiance sera jugée agréable mais pas l'état thermique personnel. Il y a donc lieu d'être très vigilant sur les termes utilisés dans la question, en fonction de ce que l'on cherche à explorer.

6. Sensation ou confort ?

Chez l'Homme de nombreuses études physiologiques ou psychophysiques ont montré des relations entre l'intensité de la sensation et celle du stimulus. La sensation augmente en fonction "puissance" de l'intensité du stimulus, ou de l'écart entre le stimulus et un seuil. L'organisme possédant de multiples voies sensorielles (visuelles, auditives, olfactives, thermiques, nociceptives, pression,...), les réponses dépendent des capteurs mis en jeu, des voies sensitives et des centres nerveux supérieurs spécifiques. Pour les aspects thermiques, la sensation résulte souvent de l'activité concomitante des capteurs au froid et au chaud. Comme

nous le verrons plus loin la sensation globale ainsi générée donne ou non, naissance à l'inconfort. Pour certaines personnes, le confort se situera dans une zone de ni chaud - ni froid, pour d'autres dites "frileuses" dans une zone plutôt chaude et pour le reste, dans une zone un peu fraîche. Si la zone sensorielle de ni chaud - ni froid permet - pour la majeure partie des gens - de garantir l'absence d'inconfort thermique marqué, elle ne peut prétendre garantir le confort. Le confort s'appréhende à partir de réponses à des questions relatives à la satisfaction ou l'agrément vis-à-vis de l'état thermique local et global de l'individu.

Il apparaît donc très important de faire la part entre :

- l'état thermique du sujet qui l'amène à donner à donner une expression de sa sensation personnelle,
- l'état thermique de l'ambiance qui est jugée à travers la perception sensorielle du climat,
- le sentiment de confort ou d'inconfort, exprimé à partir de l'état thermique du sujet, qui peut être très influencé par des perceptions locales désagréables.

La notion de confort restant floue pour de nombreuses personnes, on peut tenter de la mieux décrire en utilisant des termes se référant au bien-être de l'individu. En effet comme on admet une échelle symétrique de part et d'autre du neutre ("ni chaud - ni froid") entre l'extrêmement froid et l'extrêmement chaud, on peut aussi concevoir une symétrie entre l'extrêmement désagréable et l'extrêmement agréable. Pourtant, il faut admettre que la gradation dans le désagrément paraît plus représentative de la réalité que celle concernant l'agrément. On peut donc alors envisager d'utiliser, pour quantifier la qualité de l'ambiance (selon la dilatation de l'échelle souhaitée) une formulation sémantique de type :

-3 : insupportable ou intolérable

-2 : inacceptable

-1 : déplaisante ou désagréable

0 : indifférente

+1 : satisfaisante

+2 : plaisante ou agréable

+3 : excellente, parfaite (?)

On peut ici faire plusieurs remarques :

- l'intolérable ou l'insupportable est quelque chose d'extrêmement pénible, alors que l'extrêmement agréable ne se traduit pas en un seul mot pour l'individu. Les termes excellent ou parfait proposés ici se rapportent à l'ambiance pas à ses conséquences sur l'organisme car il n'existe pas de terme spécifique pour l'échelon +3 qui soit symétrique au -3 qualifié d'inacceptable : donc, les termes d'excellente qualité de l'ambiance ou d'ambiance parfaite peuvent être retenus, faute de mieux. Le terme "jouissif" (qui pourrait paraître abusif) aurait pu être employé ici, car souvent cité par des sujets qui après avoir été exposés à la chaleur humide pendant un certain temps, disent trouver un réel "plaisir" thermique lorsque l'air s'assèche et/ou que la vitesse de l'air augmente considérablement provoquant une impression soudaine de "levée de la contrainte" procurant un bien être immédiat. Cabanac en son temps (1969) parlait déjà de plaisir ou déplaisir thermique.

- alors qu'"inacceptable" correspond à quelque chose très déplaisant à la limite de l'insupportable, le terme "acceptable" ne ferait état que de quelque chose de très moyen, à peine satisfaisant ;
- il en ressort globalement qu'il est quand même plus aisé de déqualifier une ambiance que l'inverse.

7. La régulation thermique humaine

Comment notre système de thermorégulation ?

Les messages thermosensoriels à l'origine de l'activité des récepteurs informent à la fois le centre thermorégulateur hypothalamique où toutes les informations fusionnent et les aires sensibles corticales où les spécificités demeurent. Cette convergence des signaux au niveau hypothalamique permet de comprendre pourquoi on ne réagit pas physiologiquement, uniquement là où le stimulus existe, mais globalement. La projection du signal local dans les aires sensibles permet d'expliquer pourquoi on peut sentir une zone froide ou chaude localement sans pour autant induire une réponse à caractère global. Il est expliqué plus loin comment les réponses sont enclenchées après la détection des écarts de réglage.

En effet, avant de répondre à la question : "que se passe-t-il lorsque les températures corporelles s'écartent de leur point de consigne ?", il y a lieu de comprendre pourquoi, au quotidien, les températures sont susceptibles de varier

- La *température interne* varie essentiellement en fonction de l'activité de l'individu. Les déplacements et les activités musculaires dégagent de la chaleur dans les muscles : cette chaleur est véhiculée par le sang : elle est donc distribuée centralement et retentit sur la température interne.
- La *température de peau* n'est pas affectée par l'activité métabolique (au centre) : elle dépend exclusivement des variations des paramètres extérieurs (dans la plage qui nous intéresse). Tout changement de l'environnement (températures d'air ou de rayonnement, vitesse d'air) ou de l'isolement vestimentaire peut modifier la température cutanée. Dans le cas du travail à la chaleur, l'activité physique et le climat chaud augmentent à la fois la température centrale et la température de peau.

Alors que la température de peau s'élève relativement peu lorsque la température ambiante augmente (le facteur limitant étant la température interne car la différence entre température interne et cutanée doit toujours être positive), la température de peau chute plus avec la baisse de température ambiante : elle est donc la source des informations froides au cerveau. C'est ce qui a poussé (et pousse encore) certains auteurs à considérer la (ou les) température(s) cutanée(s) comme indice(s) de la perception du froid.

Si donc les températures corporelles s'écartent de leur valeur de référence, deux types de réactions sont possibles :

- le système responsable des aspects perceptifs décide de réagir et des adaptations comportementales sont mises en œuvre (exemple : modification de la posture, de l'activité, de la couverture vestimentaire, fermeture de porte...),.
- le signal d'erreur devient plus intense ou persiste, alors la commande végétative est activée et l'intensité de la réponse est proportionnelle à ce signal d'écart de réglage. Les effecteurs sont :
 - la musculature des vaisseaux sanguins qui induit une vasoconstriction pour réduire l'afflux de chaleur du noyau vers l'écorce ou inversement une vasodilatation,

- les muscles qui se contractent (frissons) pour augmenter la production de chaleur interne,
- ou les glandes sudorales pour sécréter la sueur qui refroidit la peau par évaporation, lorsque celle-ci se produit.

Alors que la vasomotricité peut être sollicitée en même temps que les contractions musculaires et l'activité des glandes sudoripares, ces deux dernières fonctions sont exclusives.

8. Conséquences des mécanismes régulateurs

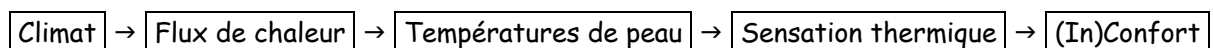
Les *phénomènes vasomoteurs*, à priori paraissent énergétiquement peu coûteux. Néanmoins la variation des résistances périphériques peut générer un surcoût cardiaque. En effet, le maintien d'un débit sanguin correct dans tous les organes sollicités par l'exposition à la chaleur (muscles, peau, poumons, cerveau...) ne peut se faire, à volume sanguin constant, qu'au détriment d'une accélération cardiaque. Certes, le travail ou l'effort nécessite aussi ce type de réponse, mais l'accumulation calorique est génératrice de surcoût (de l'ordre de 35 battements par minute et par °C d'élévation de la température corporelle). Dans les environnements très chauds, même au repos quand la température de la peau s'élève de façon très prononcée, la réduction de l'écart de température entre le noyau et l'écorce, impose une augmentation du débit sanguin pour l'élimination de la chaleur endogène. Le travail à la chaleur impose le cumul de ces réactions.

Les *contractions musculaires*, volontaires ou non, sont productrices d'énergie, essentielle lors d'exposition au froid. Le frisson est sous contrôle hormonal complexe (hormones thyroïdiennes, cortico- et medullo-surrénales, hypophysaires...). Les contractions sont énergétiquement coûteuses puisque des substrats sont oxydés. Les réserves doivent alors être maintenues ou reconstituées. C'est par les processus d'ingestion et d'absorption que ceci est possible.

Les *pertes évaporatoires* sont la conséquence des mécanismes sudoromoteurs qui entraînent des pertes hydriques et électrolytiques : les ions Na⁺, Cl⁻ et K⁺ sont les plus significativement perdus par la sudation. Des mécanismes de rétention d'eau et de sels préservent autant que faire se peut, l'équilibre physiologique grâce à la régulation hormonale (ADH, aldostérone, natriurétique peptide facteur, rénine-angiotensine,...). Néanmoins, les besoins de réhydratation et de remplacement de sels sont la conséquence inévitable de l'exposition à la contrainte.

9. Ce qui est su et ce qu'il l'est moins

Pour résumer, les processus impliqués sont les suivants :



Dans cette série d'évènements, il y a des choses bien connues mais aussi des points encore non résolus.

Climat

Il n'y a pas de problème à estimer précisément les paramètres suivants : température d'air, température des murs (dans les bâtiments), vitesse d'air (lorsqu'elle est faible et homogène) et l'humidité ambiante.

Il subsiste néanmoins des difficultés liées l'estimation du rayonnement solaire lors d'expositions près de fenêtres (moyens de transport et bâtiments). Les environnements hétérogènes, les transitoires thermiques et les courants d'air sont autant de cas problématiques.

Flux de chaleur

Les outils de mesure de flux sont difficiles à manipuler, souvent onéreux (mannequin calorimétriques) mais ils permettent d'estimer les coefficients d'échange de chaleur (locaux ou globaux) ainsi que leur modification dues au vêtement ou aux changements posturaux. Aujourd'hui, les résultats obtenus sur mannequin permettent les déterminations des facteurs clo des tenues vestimentaires, mais aucun index ne les considère vraiment adéquatement.

Il est plus complexe de tenir compte valablement des effets du vent et des courants d'air et de leurs conséquences du fait des mouvements corporels, des phénomènes d'absorption ou de désorption ; les habitudes vestimentaires modulent les échanges et sont difficiles à considérer.

Températures cutanées

Les données physiologiques de température de peau sont nombreuses et ne sont pas controversées, l'existence d'une distribution thermique corporelle n'est pas sujette à polémique.

Ce qui est moins connu, c'est l'impact des paramètres physiques (climat, vêtement) sur les variations thermiques locales, les différences inter-individuelles sont très problématiques (effet de l'âge, du sexe, des caractéristiques anthropométriques et physiologiques, par ex; la vasomotricité). Les effets des transitoires sont également moins connus.

Sensations thermiques

Il est évident que les températures de peau sont les stimuli à la source de la sensation qui a été montrée en partie dépendante de la température interne. Les seuils froid et chaud ont été explorés et les différences de sensations sont connues pour dépendre de l'intensité et la vitesse de stimulation mais aussi de la zone concernée du fait des diverses densités des récepteurs thermiques cutanés..

L'interaction entre température et sensation n'a pas été étudiée en condition de non-uniformité ou de large hétérogénéité. Les relations entre les diverses sensations thermiques et les stimulations locales à différents niveaux d'état thermique global ne sont pas décrites. On ne sait pas encore clairement comment la sensation globale est modifiée par les changements locaux, une condition pourtant souvent rencontrée quand par exemple, les gens modifient localement leur couverture vestimentaire.

Confort

Le risque d'inconfort est minimal lorsqu' aucune sensation spécifique de froid ou de chaud n'est ressentie. Avoir un peu chaud après avoir eu froid ou inversement est généralement apprécié. L'agrément thermique n'est jamais trouvé lorsque le bilan thermique est hors sa plage de neutralité et le confort thermique durable implique un état stable.

La question de la définition du confort thermique proprement dit reste néanmoins posée (sensation, indifférence, agrément, préférence ?). Les sensations ont-elles une action

systématique sur la genèse du confort , L'inconfort peut parfois être rencontré dans des conditions pour lesquelles les sujets ne savent même plus décrire correctement leurs sensations. Des conditions climatiques inhabituelles peuvent ne pas être appréciées en l'absence d'une quelconque sensation thermique franche.

ADAPTATIONS AUX CLIMATS

L'environnement physique par action directe de ses paramètres climatiques représente une *contrainte* thermique. Comme l'organisme humain doit régler sa température (et non pas suivre passivement les écarts induits), la contrainte subie résulte en une certaine *astreinte*. Les mécanismes adaptatifs permettent deux types de rétroaction.

- 1) comportementale: la réponse -volontaire- vient réduire l'impact de l'environnement sur la *contrainte*.
- 2) végétative: la réponse -physiologique- vient diminuer ici l'effet de la *contrainte* sur l'*astreinte*.

Adaptation comportementale

En réponse aux effets perturbant du climat, l'Homme (comme l'Animal, du reste) se protège en s'abritant dans un microclimat : en effet, on se met à l'ombre en été, mais on profite des rayons solaires en hiver. Mais le microclimat peut être plus spécifiquement adapté : se vêtir ou se dévêtir en fonction des fluctuations de l'environnement correspond à la création d'un microclimat plus ou moins propice aux échanges.

Une deuxième possibilité de réaction est le comportement de l'individu : par exemple recroquevillé au froid, étalé au chaud ; ou encore, activité métabolique plus intense au froid (mouvement des bras, sautilllement sur les pieds, etc...), réduction de l'activité au chaud...

Adaptation végétative

L'exposition répétée aux climats hostiles conduit chez l'Homme à la mise en place de mécanismes d'adaptation qui induisent le phénomène dit "d'acclimatement".

1. Acclimatement au froid

Nous avons déjà vu que certains facteurs anthropométriques sont susceptibles de varier : la forme et la taille du corps humain, l'épaisseur du panicle adipeux, la masse musculaire.

Importance du métabolisme Adaptations hormonale et métabolique sont, en fait, étroitement liées. Les variations d'activité de la thyroïde et l'augmentation d'ACTH, d'adrénaline accroissent la capacité de produire de la chaleur métabolique, le métabolisme dit "de sommet" est le plus touché.

Système cardio-vasculaire La vasoconstriction, classiquement observée au froid peut se trouver inhibée au froid. Il se produit une vasodilatation induite par le froid, associée aux ouvertures des anastomoses artério-veineuses. Chez les sujets nés au froid, à l'opposé, la réduction du débit sanguin périphérique est souvent observée.

La complexité résulte du fait qu'il existe plusieurs types d'adaptation au froid :

- *acclimatement métabolique* : augmentation du métabolisme de la température de peau, réduction du frisson-associée à une légère chute du métabolisme : ce type d'adaptation implique que de l'énergie ingérable soit disponible.
- *acclimatement hypothermique* : niveau un peu élevé du métabolisme, maintien de la température de peau, baisse non négligeable de la température du noyau.
- *acclimatement insulatif hypothermique* : absence de frisson, peu de variation du métabolisme et baisse de toutes les températures corporelles.

2. Acclimatement au chaud

Avec l'exposition répétée à la contrainte thermique (exogène et/ou endogène), les élévations de températures corporelles observées initialement sont réduites.

Le délai de déclenchement sudoral diminue, c'est-à-dire que les glandes sudorales deviennent actives plus rapidement, donc, pour une variation de température corporelle moins importante : cet effet provient de l'augmentation d'excitabilité du système régulateur, par baisse de la valeur du point de consigne hypothalamique.

Le débit sudoral, à même température centrale, est plus important et ce phénomène a deux origines :

- augmentation du débit de chaque glande, conséquence de l'accroissement de sensibilité de l'hypothalamus;
- augmentation du nombre de glandes sudoripares fonctionnelles par centimètre carré de peau (il est difficile ici de dire si l'effet est local ou central)

Le débit sudoral maximal est donc plus élevé pour les trois raisons ci-dessus, et en même temps la concentration en électrolytes diminue. Néanmoins, il en résulte globalement une augmentation des pertes en eau et en sels.

Le débit sudoral se réajuste en augmentant plus dans les segments qui évaporent bien (bras, jambes) comparativement aux segments moins efficaces (tronc).

Le phénomène d'économie d'eau, appelé hidroméiose et qui correspond à une réduction de la sueur ruisselante dans les ambiances humides, voit son intensité augmenter.

L'ensemble de ces réactions permet à la vasodilatation de se réduire, économisant ainsi le coût cardiaque.

Dans tous les cas, les températures corporelles, après acclimatement au chaud, se règlent à des niveaux voisins de ceux de l'Homme normal.

METHODES DE MESURES

Il y a lieu de quantifier, certes, les quatre grandeurs physiques essentielles que sont la température d'air, la température moyenne de rayonnement, la vitesse de l'air, l'humidité de l'air. Néanmoins il ne faudrait pas oublier de mesurer les températures de surface (informatives au niveau du contact possible et au plan radiatif), la température de rayonnement plane (s'il y a lieu), la turbulence de l'air mais aussi les grandeurs obtenues à partir d'outils spécifiquement normés, pour une bonne appréhension de la contrainte : la température de globe et la température humide naturelle (ci-dessous).

Les variables *humaines* sont à prendre en considération à savoir le poids, la taille, la production de chaleur métabolique (mesurée directement ou indirectement), l'isolement vestimentaire. Afin de tenter de définir des réactivités individuelles, il faudrait pouvoir considérer les variables physiologiques, telles que les températures internes, les fréquences cardiaques, les volumes et concentrations sanguines...

Variables physiques

1. Température de surface

Les températures de surface se mesurent, soit parce que les intervenants manipulent des objets chauds, soit parce qu'il existe un risque de contact avec des instruments chauds, soit parce qu'on cherche à connaître les températures d'émission par rayonnement infrarouge des objets; Elles s'obtiennent, en °C, au thermomètre de contact ou par thermométrie infrarouge.

2. Température d'air

Ta ou Tdb (dry-bulb en anglais). Elle se mesure en °C grâce à l'utilisation du thermomètre sec à mercure (de préférence) protégé du rayonnement thermique et ventilé par aspiration. Quelques minutes de mesure sont nécessaires, la précision doit être de 0,5°C.

3. Température moyenne de rayonnement

Tr : elle peut se mesurer directement ou se calculer simplement (en °C) dans la mesure où l'environnement est uniforme, c'est-à-dire quand les températures des cloisons environnantes sont voisines de celle de l'air. En cas d'hétérogénéité, on peut mesurer les températures des différentes parois par thermométrie infrarouge ou de contact.

En cas d'homogénéité ou de faible hétérogénéité, on déduit la température moyenne de rayonnement à partir de la température de globe noir (Tg) ; ce globe est une sphère de couleur "noir-mat" au centre de laquelle est placé un capteur de température.

En première approximation, on peut dire que

$$Tr = Tg + 1,8 \text{ va} (Tg - Ta)$$

où va est la vitesse de l'air en mètre par seconde.

Nous reviendrons plus loin sur l'utilisation de la température de globe.

4. Vitesse d'air

va : elle se quantifie en mètre par seconde à l'aide d'un anémomètre. Il existe plusieurs types d'appareils : à ailettes ou à boule chaude.

L'anémomètre à ailettes ne permet que les mesures de vitesse d'air directionnelle d'intensité suffisante. L'anémomètre à boule chaude permet la mesure, toutes directions intégrées. Il existe des appareils électroniques de ce type qui donne la vitesse d'air moyenne sur la minute précédente et son écart-type (déviation-standard) donc sa turbulence.

En effet, si $va = 0,5 \text{ m/s}$ et son écart-type $= 0,1 \text{ m/s}$

la turbulence est $Turb. = 100 \times SD / va$ soit $100 \times 0,1 / 0,5$ donc 20 %

5. Humidité de l'air

Il existe plusieurs façons de déterminer le contenu en eau d'un air, mais pour ce faire, il faut connaître :

- soit, son point de rosée : la température de rosée qui se note Tdp (dew-point en anglais), en °C.
- soit, son humidité relative et Ta : l'humidité relative (en %) peut se déterminer avec des humidimètres ou hygromètres (à cheveu, à ressort, à fil, à sonde au chlorure, à capacitance,... etc)
- soit sa température humide et Ta : la température humide se mesure en °C avec un thermomètre ventilé, comme la température d'air, sauf que la partie réservoir de mercure sera enveloppée d'un manchon mouillé, en coton, permettant en plus l'évaporation : il existe un appareil équipé de 2 thermomètres, un sec et un humide qui permet la mesure simultanée de la température humide (Twb pour wet bulb temperature, en anglais) et de la température d'air, c'est le psychromètre.

De plus, il existe à l'heure actuelle de multiples appareils électroniques qui permettent une détermination automatique des diverses variables

Variables humaines

1. Détermination du métabolisme : M

La mesure peut être directe, par la consommation d'oxygène (VO₂) en faisant la conversion : 1 Litre d'O₂ consommé dégage 4,8 Kcal et 1 Kcal/h vaut 1,16 Watts.

Si VO₂ = 0,3 L d'oxygène à la minute, M vaut 100 Watts.

La détermination peut être indirecte. La méthode la plus simple est sûrement l'utilisation des tables données dans la norme AFNOR X35205. L'alternative aisée est de procéder comme déjà mentionné en page 12 comme suit :

$$M = 43 + M_{\text{posture}} + M_{\text{activité}} \quad \text{en W/m}^2$$

Mposture :	assis	10
	à genoux	20
	debout	25
	perché	30

Mactivité :	Léger	Moyen	Lourd
Mains	10-22	22-34	34-46
1 Bras	25-45	45-65	65-85
2 Bras	55-75	75-95	95-115
Corps entier	95-155	155-230	230-330

Pour le métabolisme global, on multipliera par 1.8 m² pour l'Homme standard et 1,55 m² pour la Femme standard.

2. Détermination de l'isolement thermique vestimentaire : Icl

Le Clo (clothing en anglais) est l'unité correspondant à un isolement de 0,155°C par m² et par Watt. Il permet d'obtenir la thermoneutralité de l'individu effectuant une activité sédentaire à 22°C en air calme (il correspond à la tenue standard de l'employé de "guichet": slip, chaussettes, chemise, gilet, pantalon, veste, chaussures). Le mannequin calorimétrique est l'outil indispensable pour la mesure de l'isolement thermique vestimentaire (voir pages 14 et 15). Les valeurs des tenues d'intérieur varient de 0,4 clo pour un vêtement d'été à 0,9 clo pour une tenue d'hiver "chaude". Les vêtements de protection peuvent atteindre des valeurs supérieures et peuvent également avoir des caractéristiques spécifiques interférant beaucoup avec les processus physiques d'échanges de chaleur : tenues réfléchissant le rayonnement thermique, tenues anti-feu, tenues imperméables, tenues de protection N.B.C., etc.

3. Détermination de la température interne

La plus représentative est sûrement la température oesophagienne, la plus difficile et douloureuse est la température tympanique : elles sont difficiles à prendre sinon qu'en laboratoire. La température auriculaire, protégée par un bouchon de cire et un casque monaural bien isolé est possible.

Il existe de multiples façons de faire. Au travail, le plus simple est de prendre la température sub-linguale (orale) en imposant après la pose du capteur (ou thermomètre) une respiration exclusivement nasale avant de faire la lecture. La mesure de la température rectale n'est pas à exclure, notamment en cas de sujet inconscient.

4. Détermination de la fréquence cardiaque

Déterminée par la méthode du pouls ou de l'électrocardiogramme (simple à réaliser en continu avec les appareils portables de type Sport-tester®), elle permet de décomposer éventuellement (même à posteriori) le surcoût cardiaque en composantes motrice donc métabolique et thermique.

5. Détermination de la sudation

La perte massique du sujet avant et après intervention permet une première approche de la perte sudorale totale. Prise de façon régulière dans le temps et compte tenu des ingesta et egesta (pesés), la variation massique dérivée par rapport au temps, permet une approximation du débit sudoral horaire. De plus, la pesée des vêtements avant et après exposition permet d'en déduire ce qui n'a pas été évaporé. Il devient ainsi possible d'avoir une idée de la perméabilité des tenues et donc de leurs capacités à permettre le refroidissement cutané.

Bases psychophysiologiques et confort thermique

1. Jugements subjectifs (Norme X 35-209)

L'évaluation directe des sensations thermiques et des insatisfactions liées à cet environnement est rendue possible ici par l'approche psychologique déduite de réponses données à des questionnaires dont les spécifications sont présentées et discutées dans la norme. Elle est particulièrement utile en matière de confort ou d'inconfort, elle permet aussi de se rendre compte de la variabilité interindividuelle.

2. PMV-PPD (Norme X 35-203)

Egalement basé sur le calcul complexe du bilan thermique global, l'indice PMV (vote thermique moyen prévisible) permet de donner le jugement moyen que ferait un groupe d'individus donné dans un environnement donné, en considérant tous les paramètres impliqués dans les échanges thermiques. Très utile et fiable dans la plage des environnements proches du confort (vérifié à de multiples reprises), il ne peut néanmoins être considéré comme parfait pour de petits nombres de sujets.

De plus, cet indice implique une relation indissociable symétrique entre le pourcentage de personnes insatisfaites (PPD) et le déséquilibre thermique : or, il n'est pas toujours accepté que le risque d'inconfort soit de même nature et de même intensité au froid qu'au chaud (ce que pourtant présuppose l'indice). PPD est actuellement également très contesté dans les environnements thermiquement hétérogènes. Enfin, la norme n'est pas très performante quand le risque d'inconfort est d'origine locale. La norme, analytique, n'est pas simple d'utilisation : un petit calculateur ou des abaques sont nécessaires puisque, là aussi, certains calculs sont de nature itérative.

Note : toutes les normes sont réexaminées épisodiquement, de même, de nouvelles normes paraissent régulièrement. Le spécialiste doit donc se tenir informé de la teneur des anciennes normes et de la publication des nouvelles.

Normalisation des mesures (nomenclature ISO)

La norme ISO 7726 spécifie les méthodes et *appareils de mesure* des grandeurs physiques de l'ambiance. Elle permet aussi de déterminer les facteurs de forme en condition d'asymétrie de rayonnement.

La norme ISO 9920 permet la détermination des caractéristiques thermiques des *éléments vestimentaires* et/ou des tenues vestimentaires.

La norme ISO 9886 donne toutes les indications pour les *mesures physiologiques* permettant d'estimer la contrainte ou l'astreinte thermique. Elle est relative aux méthodes et à leur interprétation pour l'estimation de la sollicitation de l'organisme face à son environnement thermique.

La norme ISO 8996 est spécifique à la détermination de la production de *chaleur métabolique* et au coût du travail ou des activités physiques ludiques ou sportives.

La norme ISO 10551 spécifie les méthodes de mesure et l'utilisation d'échelles de jugements pour une bonne estimation des *aspects subjectifs* de la perception de l'état thermique de l'individu, de celui de l'environnement et du confort : en effet, l'utilisation de cette norme est indispensable pour tenter de définir les plages de confort.

SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES POUR AMELIORER LES CONDITIONS THERMIQUES

Selon le cas, été ou hiver, se posent les problèmes de chauffage ou de rafraîchissement des locaux ou des intervenants.

Chauffage

Action sur le bâti

Réduire les déperditions vers l'extérieur :

- augmenter l'inertie et/ou l'isolation thermique des parois.
- conserver la chaleur interne, en ajoutant des surfaces rayonnantes vers l'intérieur, réalisant cela avec un espace d'air entre deux.

Chauffer :

- chauffer l'air, soit globalement, soit localement vers les sites froids. En cas de besoin de ventilation, récupérer les calories sur échangeurs.
- rayonner soit globalement vers le sol ou localement vers les sites froids, les individus (plafond rayonnant, plaques radiantes, éléments muraux ...)

Action sur l'individu

Aménager le poste :

- alterner le travail en site froid avec des travaux ou des pauses en milieu plus chaud
- adapter localement le microclimat (chauffage local, cabine, guérite, réduire les courants d'air ...).

Réchauffer l'individu :

- imposer plus de vêtements (équipement multi-couches, proposer des tenues isolantes (contenant plus d'air, à face réfléchissante vers la peau.
- étanchéifier les tenues, éviter les phénomènes de pompage du microclimat)
- fournir des tenues spécialisées à système chauffant intrinsèque (fibres chauffées par effet Joule –ex. structure Gorix ou réchauffement par circulation d'air chaud ou d'eau chaude.)

Rafraichissement

Action sur le bâti

Protection des murs, des toits :

Eviter les apports solaires

- rangées d'arbres ou de haies
- isoler les façades : augmenter l'inertie thermique, réduire la conductibilité thermique des murs, ou réaliser des doubles parois à circulation d'air

Réfléchir le rayonnement

- couvrir ou peindre avec des matériaux adéquats
- augmenter la déperdition vers l'extérieur
- arroser ou ventiler les parois

Protection des vitres :

Eviter les apports solaires

- réaliser des doubles vitrage à circulation d'air
- équiper avec des stores ou éléments orientables (gestion de la lumière)

Réfléchir le rayonnement (ex. avec une feuille incorporée)

Protection contre les apports internes :

Eliminer l'air chaud

- échappement de la colonne d'air par ouvertures hautes
- extraire par ventilation et faire entrer de l'air frais (nord, nord-est)
- placer des hottes au dessus des zones chaudes, puis extraire,
- protéger contre le rayonnement thermique (écran réfléchissant , écran réfrigéré ou plus simplement double panneau vitré ouvert pour ventilation active ou non)

Climatiser (air conditionné)

Ventiler en favorisant les endroits chauds et en veillant à ce que les prises d'air soient fraîches,

Action sur l'individu.

Réduire l'activité métabolique (en mécanisant par ex.)

Réduire les durées d'intervention ou alterner les phases lourdes avec celles plus légères, ou alterner les intervenants)

Ventiler les individus (souvent utile)

Créer des microclimats locaux favorables (cabines, sas, assèchement de l'air humide, climatisation des sites)

Agir sur les tenues

- vêtement réfléchissant
- vêtement moins conducteur
- vêtement refroidi (avec ou sans ventilation, positive pour évaporer)
- air pulsé sur la peau, frais parce que détendu (plus Vortex ?) attention au risque de la ventilation exclusive de la tête
- circulation de fluide (dans les circuits de la combinaison
- veste à poche de glace ou équivalent

- vêtement à micro-bulles incorporées (changement de phase et/ou équipé pour le phénomène "caloduc")

Agir sur l'homme directement

- fournir des tenues fraîches ou "prêtes à évaporer"
- rafraîchir la peau (plonger les mains jusqu'aux avant-bras dans l'eau froide, douche, bain ...).

REFERENCES UTILES

BESHIR (M.Y.), RAMSEY (J.D.).- Heat stress indices: a review paper. Intern. J. Industr. Ergonomics, 1988, 3: p89-102.

CABANAC (M.).- Plaisir ou déplaisir de la sensation thermique et homéothermie. Physiol. Behav., 1969, 4 : p359-364.

CANDAS, V., SARI, H. AND HERRMANN, C. 1998. Assessment of risk of discomfort due to thermal transients based on a computer model of thermoregulation. in Environmental Ergonomics VIII, San Diego, 395-398.

CANDAS, V. Le confort thermique. Techniques de l'Ingénieur, 2000, BE 9 085, 1-15.

CANDAS, V. To be or not to be comfortable : basis and prediction, in. Environmental Ergonomics X, Fukuoka, 2003, 795-800.

CANDAS (V.) and HERRMANN (C.).- Les bases physiologiques de l'inconfort. In. Penot F. et Saulnier J.B. (eds.) La thermique de l'Homme et de son proche environnement 1995, p111-122, (Elsevier, Paris).

CANDAS V., PELLERIN N., SICARD G., GODINOT N., VIGOUROUX M, LAURENTIN C., FONTOYNONT M., RIBERON J., O'KELLY P., COLLARD P., ACHARD G. ET MANGIN J.C. (2000). Le confort global de l'homme en milieu bâti : Impact des principaux facteurs environnementaux. Rapport final GPQA (Groupe Pour la Qualité des Ambiances), 211 pages.

FANGER P.O.- Thermal Comfort, 1973, Mac Graw-Hill Book Company, New York.

GAGGE (A.P.).- A new physiological variable associated with sensible and insensible perspiration. Am. J. Physiol., 1937, 120 : p277-287.

GRIVEL (F.), HOEFT (A.) and CANDAS (V.).- Body temperatures and thermal perception during warm and cool periodic transients : influence of clothing. In Mital A. (ed) Advances in industrial ergonomics and safety I, Cincinnati 1989, p217-224, Taylor and Francis. London, New York, Philadelphia.

HAMMEL (H.T.), JACKSON (D.C.), STOLWIJK (J.A.J.), HARDY (J.D.), STROMME (S.B.).- Temperature regulation by hypothalamic proportional control with an adjustable set-point. J. Appl. Physiol., 1963, 18 : p1146-1154.

HENSEL (H.).- Temperature reception and thermal comfort. In Prévision quantitative des effets physiologiques et psychologiques de l'environnement thermique chez l'Homme (ed. C.N.R.S.), Strasbourg 1973, pA359-370.

INDOOR CLIMATE.- Effects on human comfort, performance and health. Fanger P.O. and Valbjørn (eds), 1978. Danish Building Research Institute.

KENSHALO (D.R.).- Psychophysiological studies of temperature sensitivity. In Neff W.D (ed) Contributions to sensory physiology. Academic Press. London, New York.

MAYER, E.. A new correlation between predicted mean votes (PMV) and predicted percentages of dissatisfied (PPD) – IAQ'97, Washington D.C; 1997, 189-194.

Mc CULLOUGH (E.A.), JONES (B.W.), HUCK (J.).- A comprehensive data base for estimating clothing insulation. ASHRAE Transactions, 1985, 91(2A) : 29-47.

Mc CULLOUGH (E.A.), JONES (B.W.), TAMURA (T.).- A data base for determining the evaporative resistance of clothing. ASHRAE Transactions, 1989, 95(2) : 316-328.

Mc INTYRE (D.A.) Indoor Climate. 1980, Applied Science Publishers Ltd.

PARSONS (K.C.).- Human thermal environment. The effects of hot, moderate and cold environments on human health, comfort and performance. The principles and the practice. 1993, Taylor and Francis.

RECUEIL DE NORMES FRANÇAISES. Ergonomie. – Afnor, 5ème édition, tome 2, Tour Europe, Paris La Défense.

STOLWIJK (J.A.J.).- Mathematical model of thermoregulation. In Hardy .D., Gagge A.P. and Stolwijk J.A.J. (eds) Physiological and behavioral temperature regulation, New Haven, 1970, p703-721, Charles C. Thomas Publisher, Springfield, Illinois.

Le confort ou la démocratisation du bien-être en question

Lionel Engrand

Ecole d'architecture Paris-Malaquais

e-mail : lionel.engrand@wanadoo.fr

En 1842, le *Dictionnaire de l'Académie* officialise l'usage d'un nouveau mot. Confort : "bien-être matériel, aisances de la vie". Précisément, cette acception en remplace une autre, issue de l'ancien français et dotée d'une signification morale, qui associait le terme à l'idée de secours, d'assistance. Au début du XIII^{ème} siècle, le vocable migre dans la langue anglaise et en arrive à désigner les conditions matérielles du bien-être (*comfort*). Six siècles plus tard, l'anglomanie des élites françaises contribue à diffuser ce néologisme, synonyme de modernité et conforme à une vision ethnocentrique du monde, comme l'atteste le *Larousse de la langue française* (1866-1879) : "Le confortable est un progrès tout moderne, né chez les peuples du Nord et aux jours d'une civilisation très avancée (...). En Orient et dans presque toute l'Asie, les mœurs, les habitudes sont, pour ainsi dire, aussi primitives qu'il y a trois mille ans (...). Cette stabilité (...) n'est autre chose que l'indice de la paresse, de l'indolence et du fatalisme religieux".

Une question de classe

Engagée au XVIII^{ème} siècle dans l'aristocratie, la recherche du bien-être se diffuse désormais au-delà du premier cercle de la richesse. Le désir d'intimité et la montée de l'affect familial influent sur la distribution et la décoration des maisons et appartements bourgeois. Dans ces intérieurs moelleux, tapissés et capitonnés, le mobilier se diversifie ; fauteuils et divans accueillent des postures moins tributaires de l'étiquette que du repos du corps. Dans la seconde partie du XIX^{ème} siècle, le confort n'en reste pas moins un luxe, voire un signe de distinction sociale, et nombreux sont ceux qui restent en marge de ce culte de l'espace domestique. Des enquêtes révèlent le dénuement extrême et l'insalubrité des maisons rurales, mais ce sont les taudis urbains qui suscitent les inquiétudes les plus vives. Désignés comme des foyers d'épidémie et de sédition, des menaces pour la santé publique et la paix sociale, les garnis surpeuplés sont du reste peu propices à l'expression de valeurs familiales et morales centrées sur l'espace privé. Menée sous l'étendard du catholicisme social et de la philanthropie, la réforme des classes populaires s'engage sur le terrain de son cadre de vie ; le logement confortable, garant de l'attachement au foyer, est investi de missions civilisatrices. Dans la seconde partie du XIX^{ème} siècle, les initiatives patronales (Godin, Dolfus, Menier, etc.) et les expériences philanthropiques (Rothschild, Lebaudy) dessinent les contours d'un bien-être élémentaire. A bonne distance de l'apparat et des tiédeurs de l'intimité bourgeoise, le confort du logement populaire repose sur des prescriptions hygiénistes (ensoleillement, ventilation) et morales (propreté, séparation des familles et des sexes). Mais ces signes de confort sont encore rares au tournant du siècle. En 1906, le recensement révèle la précarité, l'insalubrité et le surpeuplement des logements d'une majorité de Français.

La démocratisation du bien-être

Après la Grande Guerre s'ouvre l'ère du "confort moderne", défini par le Larousse en 1928 comme "un ensemble de dispositions (...) telles que chauffage central, salle de bain, ascenseurs, électricité, etc." La démocratisation du bien-être peut s'appuyer à présent sur une nouvelle constellation technique, mais l'eau, le gaz et l'électricité à tous les étages restent à l'état de programme. Face à la crise du logement, qui touche désormais les classes moyennes, les avant-gardes "modernes" développent le concept de "logement minimum", un concept bâti sur le postulat de besoins universels et sur le potentiel libérateur de la technologie. La science ménagère et le taylorisme domestique introduisent la notion de temps dans l'espace du logement. Pour Le Corbusier, "la maison c'est d'abord une machine à habiter, c'est à dire une machine destinée à nous fournir une aide efficace pour la rapidité et l'exactitude dans le travail, une machine diligente et prévenante pour satisfaire aux exigences du corps : confort". L'inventaire des objets domestiques et la sphère des mouvements humains permettent d'évaluer, pour chaque pièce, un volume minimum conforme à un rendement maximum : la cuisine de Francfort est un poste de travail taylorisé à l'usage d'une ménagère "libérée". "Moderne", le confort est désormais fondé sur des connaissances objectives (ergonomie, biologie, acoustique, thermique, etc.), des réseaux (eau, gaz, électricité) et des machines - qui font leur entrée dans les foyers avec la naissance des arts ménagers.

Cette objectivation du confort s'impose après la Seconde Guerre mondiale. Le nombre de sans-logis et de mal-logés n'y est pas indifférent : en 1954, le recensement de l'INSEE révèle que seuls 52,4 % des logements disposent d'eau courante, 26,6% de W.-C. intérieurs, 10,4% de baignoire ou douche, et 10,2% d'un chauffage central. L'engagement massif des pouvoirs publics aidant, quelques années suffiront pour inverser la tendance et loger décemment le plus grand nombre. Car les nouveaux immeubles privilégient la mise en œuvre d'un confort minimum - celui que comptabilise l'INSEE, précisément -, dans la continuité des réflexions initiées entre-deux guerres. Dans le même temps, la production industrielle d'équipements ménagers et l'essor du pouvoir d'achat des classes moyennes favorisent l'acquisition de "machines domestiques". En 1957, 70% des ménages ne possèdent ni réfrigérateur, ni machine à laver le linge, ni téléviseur ; ils ne seront plus que 7% en 1973.

Un monde confortable

Le confort est une notion construite, étroitement associée à l'idée de bonheur. Au cours des deux derniers siècles, ses représentations ont été façonnées par l'évolution des techniques et des mentalités, les objectifs de paix sociale et de santé publique, les cycles économiques et les règles du marketing. Lié historiquement à la sphère privée, il s'est diffusé dans tous les domaines de la vie publique (qualité de l'air, transports, etc.) pour devenir une "forme sociale".

Subjectif et réservé à des privilégiés au XIXe siècle, le confort est désormais quantifiable et partagé par le plus grand nombre. A ce titre, le "confort pour tous" est une formidable conquête des "Trente Glorieuses". Mais les options architecturales retenues dans l'urgence des années 50 ont contribué à institutionnaliser un confort exclusivement centré sur une culture technique et une approche quantitative. En 1953, Paul Breton (commissaire du Salon des arts ménagers) ne rappelle-t-il pas que le bien-être domestique peut s'évaluer par le nombre de kilowatts consommés ? Par ailleurs, le principe d'une boîte fonctionnelle, dotée d'un "confort minimal garanti" et conforme à des besoins élémentaires (manger, dormir, se

laver), s'est durablement enraciné dans les modes de conception et de production de l'habitation collective. Et ce jusqu'à nos jours, entre impératifs économiques et routines professionnelles, secteurs privés et publics confondus. Une fois ces besoins élémentaires assouvis, reste à imaginer le confort du XXI^e siècle. Le bilan commercial plus que mitigé des applications domotiques (sécurité, chauffage, etc.) témoigne de la lenteur de diffusion des innovations. En son temps, la servante de Proust refusait bien "d'apprendre le téléphone" et en 1950, un tiers des employés et des cadres n'éprouvaient pas le besoin de se procurer une machine à laver. Mais si la révolution domotique attend son heure - depuis un siècle, en réalité, comme l'attestent les "maisons automatiques" conçues par J. E. Robert-Houdin (1867) et G. Knap (1907) -, peut-être est-ce aussi parce qu'elle reste accessoire face aux désirs du plus grand nombre. Dans un contexte où le progrès technologique a cessé d'être perçu comme le moteur exclusif de la qualité de la vie, de nouvelles aspirations se dessinent. Elles relèvent notamment d'une programmation et d'une conception architecturales qui n'excluent pas systématiquement plaisir et art de vivre, et s'interrogent sur les usages, en relation avec les mutations des temps sociaux (augmentation du travail et des loisirs à domicile), des formes et des cycles familiaux (familles recomposées et mono-parentales, présence prolongée des jeunes adultes au domicile, etc.). Des aspirations étendues à la qualité de l'environnement immédiat (espaces intermédiaires, bruit, voisinage, équipements, services de proximité) et qui, sans être misonéistes, sont en tout cas irréductibles au réapprovisionnement automatique du réfrigérateur, dernier avatar de "l'économie des forces serviles" (Fourastié, 1950).

Repères bibliographiques

Jacques Dreyfus, *La société du confort. Quel enjeu, quelle illusion ?*, L'Harmattan, 1990.

Jean et Françoise Fourastié, *Histoire du confort*, PUF, 1950.

Jean-Pierre Goubert (dir.), *Du luxe au confort*, Belin, 1988.

Olivier Le Goff, *L'invention du confort. Naissance d'une forme sociale*, Presses Universitaires de Lyon, 1994.

Du confort à la notion d'ambiance

Jean-François Augoyard

Laboratoire CRESSON

Ambiances architecturales et urbaines, CNRS/Ministère de la Culture

Ecole d'Architecture de Grenoble

e-mail : Jean-Francois.Augoyard@grenoble.archi.fr

Le confort, une notion indéfinie

Depuis une trentaine d'années, la "maîtrise des ambiances" est devenue une matière d'enseignement classique dans les Ecoles d'Architecture et les Instituts de Génie Civil. Parmi les propriétés de l'environnement architectural et urbain, certaines ont été des matières privilégiées dans l'apprentissage de la construction et du projet. Ainsi les ambiances qu'on propose de "maîtriser" ressortissent essentiellement aux savoirs et savoir-faire de la thermique, de l'aéraulique, de l'acoustique et de l'éclairage. Dans ces techno-sciences qui ont bénéficié d'un effort de recherche parfois fluctuant (effets de la demande sociale) mais souvent intense, un véritable savoir a été sédimenté. Il sert de base aux règlements et normes, inspire des techniques et dispositifs efficaces, induit, enfin, des stratégies d'aménagement du bien-être. Car en définitive, ce n'est pas d'ambiance qu'il s'agit au sens de la qualité particulière d'une atmosphère localisée mais bien de confort. En ce premier sens, le confort est la traduction technique de normes générales appliquées à l'habitat. Les solutions des problèmes d'inconfort doivent donc être fiables, éprouvées, standard et universalisables.

Le confort désigne, on le sait, à la fois un état psychophysiologique favorable à l'épanouissement d'un être humain mais aussi un ensemble de dispositifs, d'équipements et de commodités qui répondent à l'attente d'une population donnée. C'est la première dimension relative du confort. Les trois niveaux de confort distingués aujourd'hui par nombre d'auteurs, le confort de commodité (ou fonctionnel ou élémentaire), le confort de maîtrise (capacité de régler et maîtriser le niveau de confort) et le confort de réserve (avoir plus que le nécessaire et le commode, luxe) ne sont pas également à la portée de toute l'humanité. Tant s'en faut. Par ailleurs - deuxième difficulté de la notion -, si les techniques d'intervention doivent leur fiabilité et leur efficacité à leurs fondements quantifiables, la connaissance de l'attente et des besoins doit bien plus au champ du qualitatif. Depuis le XVIII^e ou elle apparaît sous sa forme moderne, la notion de confort est évolutive, étroitement liée à l'histoire des cultures et des représentations sociales. Le confort n'est pas un donné de civilisation immuable ; il y a une perpétuelle « invention du confort » comme dit Olivier Legoff¹. Ainsi, étant de la plus grande utilité pratique, l'idée même de confort suppose des conciliations difficiles entre quantité et qualité, science et opinion, phénomènes physiques et représentations sociales. Son efficacité pratique indéniable suppose donc une mise à l'horizon des problèmes théoriques de fond. Pourtant ce consensus spéculatif apparent se dissout rapidement lorsqu'au cours d'une opération d'aménagement ou d'architecture, chaque partenaire commence à justifier son parti ou ses contraintes en tirant le mot magique de son côté, parce que les modèles de rationalisation et d'opérativité ne sont pas les mêmes selon les acteurs.

¹ Thèse de doctorat en Sciences sociales, Lyon, 1992.

En y regardant de plus près, la thématique du confort engage une attitude cognitive et une logique d'action qui tiennent de la réponse en porte-à-faux et de la réparation boiteuse. D'abord, tout processus de mise en confort est pensé comme une lutte contre l'inconfort. Devenu habituel, un confort qui était nouveau peut devenir insuffisamment commode et engendre de nouveaux besoins, comme on le constate tous les jours, par exemple, dans l'escalade des équipements de la bureautique et de la domotique. Ensuite, la logique d'action est de répondre en termes techniques à une demande psychologique et sociale (pour les deux niveaux « supérieurs » de confort). Attente et solution étant hétérogènes, la satisfaction ne peut être que provisoire. Enfin, dernier travers si répandu dans le domaine bâti qu'on ne le remarque plus, le confort est toujours pensé comme un ensemble de circonstances contingentes affectées à une enveloppe spatiale posée a-priori comme nécessaire. Sans doute le cahier des charges, impose d'emblée le normatif et le réglementaire exigé mais dans l'invention morphologique, c'est-à-dire dans la conception proprement architecturale, les éléments de confort s'adaptent à la forme générale du bâtiment. On ne voit guère appliqué ce que la modélisation déclarative ou inverse développe théoriquement : étant donné telles contraintes de confort, quelle sera la forme du bâtiment ?

En somme, l'usage linguistique courant traduit bien l'état indéfini de la notion. En pratique, le singulier du terme « le confort » est fictif. D'un côté il n'y a pas un confort pour tous, autrement il n'y aurait jamais de plaintes émanant d'un habitat aux normes. D'un autre côté, qu'est ce qu'un confort satisfaisant à toutes les qualités attendues - ce qu'on appelle aussi un « confort global »- ? Mettons nous du côté de la conception du bâtiment. Quelle que soit sa compétence en la matière, le maître d'œuvre produit inmanquablement un certain style de confort ou d'ambiance que l'utilisateur trouvera bon ou moins bon. Or, le savoir ne propose pas aujourd'hui de modèles multisensoriels et multicritères vraiment performants. Le concepteur ne peut que juxtaposer des éléments d'ambiances, l'une thermique, l'autre acoustique etc., ressortissant à des champs spécialisés et étanches. Sorti des spécialités de laboratoire et appliqué à l'architecture opératoire, le champ de recherche sur le confort ou les ambiances paraît donc confronté aujourd'hui à un double problème, celui de l'ouverture à la complexité qui est justement dans l'essence du projet, et celui de l'unité, ou au moins de la connexion des savoirs sectoriels en jeu permettant de penser *un* confort.

La tâche actuelle est donc de penser la pratique synthétique intuitive exercée par le concepteur et le maître d'œuvre dans le projet. Et ce travail d'analyse raisonnée porte sur deux mises en connexion l'une transversale, l'autre interdisciplinaire. C'est d'une part, le rapport entre les divers facteurs d'ambiance (lumière, son, chaleur etc.), d'autre part la liaison fécondante entre les dimensions qu'implique nécessairement toute forme architecturée concrète : du quantitatif et du qualitatif, du physique et de l'humain, du conçu et du vécu, du théorique et du pratique.

La piste de l'ambiance

Le recours à la notion d'ambiance architecturale et urbaine que notre laboratoire a adopté depuis une douzaine d'années ne règle pas tous les problèmes que je viens de mentionner. Mais il ouvre un nouveau champ de réflexion, déplace les raisonnements bloqués et incite à trouver de nouveaux outils que je présenterai rapidement.

Comme pour le confort, la notion d'ambiance est beaucoup plus précise au pluriel qu'au singulier. Le domaine de la « maîtrise des ambiances » montre clairement que l'efficacité actuelle des savoirs et techniques se fait au prix d'une forte spécialisation. Rien à voir entre un décibel, un lux et un décipol. Parfois les dispositifs sont convergents (thermique et

acoustique) mais parfois contradictoires (masque acoustique et niveau d'éclairement). La vraie question se pose donc au singulier. Chacun de nous peut ressentir parfaitement la qualité d'une ambiance, de l'atmosphère d'un lieu, et en être profondément affecté. Les éléments physiques, affectifs, sociaux parfois, entrent dans une coalescence telle qu'on ne sait pas par quoi commencer la description de la situation. On trouve là une différence notable avec le confort qui est la constatation d'un état de satisfaction évaluable, comparable avec quelque référence, alors que l'ambiance nomme un processus vécu, une modalité d'être "en prise" avec le milieu, toujours singulière. Le problème n'est donc pas exactement celui de la possibilité d'une ambiance *une*, puisque les concepteurs en produisent constamment et que les usagers la ressentent quotidiennement. C'est la difficulté à raisonner de façon discursive (ou cartésienne) ce qui fait la nature de telle atmosphère résultant, en fait, d'une synthèse passive, d'un travail du schématisme, et donc de l'imagination.

Quand elle définit l'ambiance comme *l'atmosphère matérielle et morale qui environne un lieu...*), la sagesse lexicale traditionnelle a trouvé une définition escamotée mais justement fidèle puisqu'elle nous renvoie autant à l'ouverture (objectif/subjectif) qu'à l'unité paradoxale. Cette définition élémentaire est un défi car toute la difficulté tient à la compréhension de la conjonction « et ». Devant notre incapacité actuelle à comprendre et maîtriser *une* ambiance pourtant vécue tous les jours, il devient nécessaire d'engager une réflexion fondamentale.

Le premier pas à faire est de sortir du laboratoire et de se placer *in situ*, là où les problèmes de confort et d'ambiance sont posés concrètement dans le bâti et engagent l'ensemble des facteurs en présence. La définition de l'ambiance devient alors plus précise. Nous pouvons retenir qu'un ensemble de phénomènes localisés peut exister comme une ambiance lorsqu'il répond à quatre conditions :

- 1) les signaux physiques de la situation sont repérables et décomposables ;
- 2) ces signaux interagissent avec :
 - a- la perception, les émotions et l'action des sujets,
 - b- les représentations sociales et culturelles ;
- 3) ces phénomènes composent une organisation spatiale construite (construction architectonique et/ou construction perceptive) ;
- 4) le complexe [signaux/percepts/représentations] est exprimable (possibilité d'accéder à la représentation experte et/ou usagère).

Pour être bref, ici, je mentionne de suite que cette définition postule la possibilité de passer d'un champ de recherche pluriel et disparate sur *les ambiances* à une théorie générale de l'ambiance architecturale et urbaine. Dans cette direction, les deux principaux thèmes de recherche à développer me paraissent être :

- 1) la recherche de modèles d'intelligibilité capables d'intégrer les diverses ambiances (lumière, son, chaleur, odeur...) et d'intégrer les dimensions qualitatives et les dimensions quantitatives ;
- 2) le développement des secteurs d'analyse les moins travaillés jusqu'à présents : principalement la méthodologie interdisciplinaire, la perception "in situ", l'intersensorialité, les représentations sociales de l'ambiance, la gestion urbaine et l'évolution techno-économique de la maîtrise des ambiances.

Une approche écologique de l'espace construit visant à saisir les phénomènes perceptibles situés suppose, en fait, une mutation des modèles d'intelligibilité. Certains caractères de ce changement en cours peuvent être aujourd'hui identifiés. Notons d'abord que la nécessaire prise en compte de la dimension anthropologique engage une double confrontation. En face du sujet-type de laboratoire, cible des stimuli, se dessine le citoyen concret, pénétré de son histoire individuelle, de son imaginaire, des interactions singulières qu'il entretient avec son réseau de sociabilité, mais aussi acteur de son environnement, producteur de signaux, voire de nuisances. Par ailleurs, en face des populations statistiques, vivent groupes et communautés reliés à l'environnement par la médiation d'une interaction indissoluble entre le sensible et le social qui s'instrumentent mutuellement. Les chaînes causales entre les différentes composantes du phénomène étudié ne sont donc plus univoques et linéaires. Il y a, d'une part, convergence entre différents systèmes de causes et de conditions pour définir la nature et l'existence du phénomène localisé et, d'autre part, interdépendance des facteurs en action.

Le second caractère remarquable commence à faire partie des évidences, sinon des pratiques effectives : c'est l'interdisciplinarité. Cette attitude faisant interagir diverses compétences dans une parité de droit ne va pas de soi. La recherche sur le confort et les nuisances a souvent pratiqué une pluridisciplinarité du dernier recours. Autrement dit, non seulement l'interdisciplinarité, entendue comme l'échange et la subsomption de chaque spécialité sous des concepts communs et des méthodes intégratives, n'a pas eu lieu mais l'ouverture du modèle physique sur d'autres paradigmes de compréhension se produit seulement lorsque la démarche bute sur l'inconnaissable. La "boîte noire" serait alors qualifiée par d'hypothétiques variables sociales et culturelles qui viendraient brouiller la clarté du rapport causal entre le signal physique et ses effets physiologiques. Dans cet état d'esprit, les indices permettant de repérer ces variables ne bénéficient évidemment d'aucune autonomie sémantique. Ils renvoient seulement aux dégradations occasionnelles des lois causales fondées sur le modèle unilinéaire allant du plus connu, c'est à dire du plus quantifiable, au plus incertain. L'histoire de la recherche sur la gêne sonore évoquée plus haut donne un excellent exemple de cette fausse pluridisciplinarité.

Voici bientôt trente ans, Pierre Schaeffer, dans son *Traité des objets musicaux*² faisait la critique argumentée de l'extrapolation du modèle physique pratiquée sans discernement en musicologie, en psychologie de la musique, mais aussi dans le discours plus commun des musiciens, des pédagogues, des auditeurs éclairés. Pourtant, la construction de l'intelligibilité des phénomènes sonores à partir du signal ne vaut que dans les limites du champ expérimental qui fonde ce type de connaissance. D'autres accès premiers à la compréhension de l'écoute: la perception l'interprétation, la connotation culturelle, l'action en cours. Tout dépend de l'angle selon lequel le phénomène est observé. On ne peut pas toujours dire : "au début, était le signal".

Ce renversement épistémologique ouvre la porte au pluralisme des modèles d'intellection dont la distinction n'est plus que formelle (du point de vue de tel savoir, de telle discipline) et dont l'exploration d'ensemble aboutit à la définition d'un objet central qui n'est plus le signal mais le phénomène. Un phénomène d'ambiance situé s'incorpore en six modes complémentaires (figure 1) : il est signal physique, forme spatio-temporelle, perçoit, représentation, élément d'un code ou d'une norme, instrument d'interaction sociale. Chacun des modes requiert des techniques d'investigations, des méthodes d'analyse et des langages spécialisés, non équivalents. Mais ce déploiement d'approches convergentes ne reste-t-il pas simplement pluridisciplinaire, ne cultive-t-il pas le voisinage des savoirs à de seules fins spéculatives?

² Paris, Editions du Seuil, 1966.

La figure 2 tente de représenter comment la diversité de deux approches, parmi les plus connues et très souvent opposées, trouve une complémentarité opératoire et donc interdisciplinaire. Dans la démarche, la spécificité des paradigmes et plans d'observation ou d'expérimentation est respectée. L'interaction a lieu en cinq points de contacts : sur le site, dans la récolte des résultats, dans la production de concepts transversaux, dans le développement de modèles d'intelligibilité, dans l'application des outils interdisciplinaires.

Sur le site commun, l'interaction est manifeste par l'enrichissement de la liste des objets observables en fonction des émergences électives : telle mesure surprenante appellera tel examen morphologique et telle question d'enquête non prévue dans le protocole initial; telle remarque d'un usager invitera à faire ou à diversifier telle mesure.

La comparaison interdisciplinaire des résultats est d'autant plus utile si elle intervient à chaque phase de la recherche et permet ainsi un affinement ou une rectification progressive des hypothèses.

La production de concepts transversaux n'est jamais facile, ni rapide. La première intuition appelle de longues vérifications de l'extension et de la compréhension du terme qui, parfois, n'accède pas au statut de concept. Il est tout aussi long de valider les modalités d'application du concept dans toutes les disciplines concernées et dans tous les genres de situations où il serait applicable.

Le développement des *modèles d'intelligibilité intégrateurs* peut prendre des formes diverses : théorie interdisciplinaire, modélisations procédurales ou déclaratives, vérification critique de modèles importables, conception de démarches méthodologiques-types.

Enfin, l'épreuve de *l'application des outils interdisciplinaires* sur le site est particulièrement idoine dans la méthodologie de la conception architecturale et urbaine. Dans ce domaine, en effet, le lien entre société et recherche est patent. Si le champ des savoir et savoir-faire urbains et architecturaux est une mine abondante de questions posées à la recherche interdisciplinaire, en retour, la valorisation pratique des outils est à considérer non seulement comme un devoir social mais aussi comme une chance de progresser dans une saisie des phénomènes non seulement attentive à la facticité mais aussi à l'opérativité.

Un exemple d'outil interdisciplinaire et théorico-pratique : l'effet sonore

Est-il nécessaire de préciser que la seule perspective d'analyse est insuffisante, quand on se préoccupe d'architecture et d'urbanisme. Est-il vraiment utile de proposer un modèle explicatif de plus alors même que l'urgence est moins de développer des spécialités divergentes que de comprendre ce qui fait, ce qui produit l'unité d'une ambiance ?

Plusieurs nouvelles notions théorico-pratiques ont été mises en chantier depuis une douzaine d'années. L'architecte Tschumi a tenté la voie des transcripts, sorte de story-board pour le projet. Nos collègues du CERMA de Nantes oeuvrent sur la notion d'ambiants. Au CRESSON, nous avons patiemment creusé la piste des "effets", des motifs, des figures, des formants. A titre d'exemple remarquable – c'est le plus ancien et le plus travaillé - je voudrais présenter brièvement l'effet sonore.

Origine

Depuis le début des années 80, le laboratoire s'est interrogé sur cette carence d'outils qui répondraient à trois critères: la transversalité interdisciplinaire, l'adéquation à l'échelle des situations urbaines à observer, la capacité à travailler sur d'autres dimensions que la

dimension esthétique. La notion finalement retenue et mise au centre de notre démarche est celle d'effet sonore qui a été rendue peu à peu nécessaire dans les trois champs où elle est particulièrement opérante.

C'est d'abord dans le domaine des sciences humaines que l'effet sonore a été utilisé. Nos travaux sur les perceptions et pratiques sonores quotidiennes dès 1978 ont dégagé l'existence de quatre processus psychosociologiques importants : le marquage sonore de l'espace habité ou fréquenté, l'encodage sonore des relations interpersonnelles, la fréquente production de sens et de valeur symbolique liée aux perceptions et actions sonores quotidiennes, enfin l'interaction entre sons entendus et sons produits. Or, ces quatre processus sont communs non seulement à tous les vécus sonores ordinaires et non spécialisés, mais aussi à ceux qui se déroulent dans le bruit gênant ou la musique. Nous étions donc en présence de phénomènes qui ne pouvaient être décrits ni comme de simples réactions à des stimuli, ni comme de simples impressions subjectives mais qui ressemblaient à des opérations d'ordre esthétique, c'est-à-dire à des mises en forme, à des configurations localisées et particularisées du donné sonore physique. Les informations recueillies dans les enquêtes étaient analysables comme des effets au sens de phénomènes relatifs à un contexte et à une organisation locale. Les propos eux-même des habitants interrogés expriment presque directement certains effets comme la coupure, le créneau, le masque, la réverbération (appelée "écho").

De ce premier point de vue, l'environnement sonore peut donc être considéré comme un réservoir de possibilités sonores utilisé non seulement dans un but hédonique ou, au contraire, néfaste (les nuisances) mais plus largement pour donner matière et forme aux relations humaines et à la gestion quotidienne de l'espace urbain. A chacune de ces opérations sonores, il y a "effet", c'est-à-dire par rapport au signal physique, déformation perceptive, sélection d'informations et de significations qui vont dépendre des aptitudes neuro-physiologiques de l'auditeur, de sa psychologie personnelle, de sa culture et de son appartenance sociale.

Le deuxième champ est constitué par l'aménagement et les formes générales de cet instrumentarium sonore qu'est la ville. C'est le champ commandé par les savoir de l'architecture et de l'urbanisme parce que l'espace construit façonne directement de nombreux effets sonores. Nos enquêtes psycho-sociologiques appellent des observations directes et des relevés susceptibles de confirmer ou de relativiser les informations données par les habitants. Pouvait-on observer concrètement un effet sonore, le mesurer, analyser les conditions spatiales de sa manifestation ? Quelques effets sont absolument indépendants des facteurs de propagation comme les effets liés à la mémoire (effet de rémanence, effet de phonmnèse) ou les effets sémantiques. Mais la plupart des effets sonores majeurs dépendent directement du contexte spatial. Sans telle organisation et telle morphologie de l'espace, il n'y a, par exemple, ni réverbération, ni résonance, ni coupure sonore, ni ubiquité, ni filtrage naturel. L'acoustique appliquée montre comment le champ, le volume, la forme, le matériau. conditionnent la propagation des sons. Mais le zonage urbain, la trame des voiries, les plans de circulation, la distribution des activités socio-économiques offrent aux habitants des villes des possibilités d'information sonore ou d'interprétation perceptive dont la causalité technique est moins immédiate mais tout aussi efficace. C'est la combinaison entre les capacités acoustiques passives et les sources ou actions sonores particulières qui produit les effets caractéristiques du milieu urbain comme la résonance, la coupure, l'ubiquité.

Le troisième champ, celui de l'acoustique ne se limite pas à produire la définition des signaux sonores, comme si ce premier état physique des phénomènes sonores n'était que la référence à partir de laquelle les déformations dues à l'audition produisent des effets. Depuis longtemps, l'acoustique utilise elle-même la notion d'effet. Les plus connus font même partie de la culture générale (effet Döppler, effet Haas, effet de masque, sans compter les effets électro-

acoustiques liés à la lutherie contemporaine et bien connus de la jeunesse rock). La physique moderne fait une place à ces phénomènes de nature modale, circonstancielle. L'"effet Döppler", comme l'"effet cocktail" ou l'"effet Lombard" renvoient, à l'ensemble des conditions entourant l'existence de l'objet et à son mode d'apparaître en telle situation. En tant que perceptible, le son est alors lié immédiatement à une cause circonstancielle, c'est-à-dire, lié aux caractères propres de l'environnement construisent et aux conditions de l'audition et de l'écoute (filtrages, anamorphoses, place relative de l'auditeur etc.).).De nouveau, le terme d'"effet" semble particulièrement adéquat pour désigner les éléments physiques d'un environnement sonore saisis par leur dimension événementielle et située.

En résumé, souvent mesurable, très souvent lié aux caractères physiques du lieu, l'effet sonore n'est réductible ni à une donnée exclusivement objective, ni à une donnée exclusivement subjective. Il désigne l'interaction entre le paysage sonore physique, "objectif", le paysage sonore d'une communauté socioculturelle et le "paysage sonore interne" à chaque individu.

Un exemple d'effet sonore : l'effet de coupure

Pour inviter le lecteur à faire en raccourci le chemin qui fut le nôtre et illustrer ce qu'est l'effet sonore, voici un exemple. Dès les premiers entretiens réalisés en 1975 et qui visaient à approcher l'expérience sonore quotidienne sans valoriser la dimension bruyante ou la dimension musicale, un type d'expression apparaissait assez fréquemment dans les récits recueillis dans les entretiens psycho-sociologiques. Certaines situations sonores étaient décrites comme des "chutes", des "ruptures", des "coupures". La structure qualitative et temporelle de ces situations évoquées était toujours la même : le passage rapide d'une intensité forte et durable à une intensité faible. Il a fallu très vite reconnaître que, plus que d'autres, cette configuration trouve une fonction remarquable dans la perception de l'environnement sonore urbain. Élément très structurant, douée de fonction disjonctive, elle favorise le sentiment d'un changement d'espace, marque la distinction des lieux, accomplit la césure entre différentes séquences temporelles. Avant tout départage entre part objective et part subjective du phénomène, nous tenions là ce qui se pouvait assez commodément appeler : effet de coupure.

Pour illustrer l'effet, tout en analysant ses composantes principales, prenons quelques illustrations qui mêleront précisément ce que notre tradition culturelle sépare soigneusement. On peut écouter d'abord une machine dont l'intensité est assez prononcée mais surtout maintenue, une machine d'imprimerie, une moto-pompe par exemple. Le moment où elle s'arrête brusquement produit dans notre perception comme un silence qui ne correspond pas à une absence réelle de sons mais qui résulte du contraste d'intensité. Cette expérience est très fréquente dans l'univers urbain peuplé de machines. Nous retrouverons pourtant facilement des perceptions analogues dans l'univers musical qui cultive à loisir ce type de contraste. Parmi tant d'innombrables exemples, citons la première minute de l'ouverture du *Macbeth* de Verdi. Creusant de sombres silences, l'effet de coupure y est systématiquement utilisé pour créer d'emblée une tension dramatique. Comme dans le premier exemple, son efficace résulte alors essentiellement du brutal contraste d'intensité. L'évocation de variétés plus nuancées va permettre d'affiner la nature du phénomène.

Première remarque, l'intensité n'est pas toujours la seule et exclusive composante sonore qui vient instrumenter l'effet de coupure. Les nets changements de temps de réverbération, de timbre, de tonalité, l'arrêt brutal de rythmes obsédants, en ville comme au concert, peuvent être associés avec efficacité à la variation quantitative et parfois y suppléer. Quand les ruissellements aigus d'une fontaine publique s'absentent soudain du paysage sonore urbain parce que je viens de tourner le coin de la rue, quand le compositeur Albert Roussel mimant

les irrptions et les jeux ironiques du Dionysos de Bacchus et Ariane trame sournoisement des changements de tonalité propres à égarer les habitudes de l'oreille, c'est une analogue expérience de la rupture ou de la coupure qui est faite.

La seconde remarque touche à la fonction rhétorique, proprement dite, de l'effet de coupure, c'est-à-dire, à ce que cet effet est capable de configurer et de mettre en jeu. Évoquons une entrée à double porte dans un hall d'immeuble bordant un boulevard très passant. La chute d'intensité considérable, une fois passée la seconde porte du sas d'entrée, devient un élément important dans l'organisation perceptive de ce milieu. En tant que perception, ce rare et subit espace de silence va prendre une importance mémorielle et symbolique considérable dans la configuration du territoire familial des habitants : il marque le domiciliaire. L'importance de cette marque sonore découle de deux caractères remarquables. Par le premier, l'organisation, l'agencement temporel de l'espace sonore sont irréversibles ; l'effet de coupure n'est jamais susceptible de réversion, de symétrie. Passer brusquement d'une intensité faible à une intensité forte correspond à une expérience très différente, à un effet non comparable. Notons ensuite qu'au contraste d'intensité, s'adjoint celui de la qualité de la propagation. La réverbération prononcée qu'on trouve assez souvent dans les halls d'immeubles des années 50-60 renforce sans aucun doute ce sentiment de vide qu'expriment nos interviewés et qui prend pour eux, une connotation rassurante. Les diverses expressions que ceux-ci emploient pour approcher le phénomène vécu commencent alors à trouver cohérence.

La transformation d'une différence temporelle -la coupure entre un avant et un après- en une relation spatiale et verticale, répond à l'intégration d'un schème moteur de chute. Il est sans doute difficile d'expliquer le mécanisme de cette corrélation mais cette expérience aussi ordinaire que peu rationalisable est reproduite consciemment et avec abondance dans le discours musical. On en trouvera des exemples fort divers et à classer, me semble-t-il, en deux genres. Soit la matière sonore chute brusquement en intensité mais sans s'interrompre, c'est alors la dimension horizontale qui prédomine. Ainsi, dans l'écriture musicale en écho cultivée à plaisir à partir de la Renaissance, l'affaiblissement subit de l'intensité du motif répété est entendu à la fois comme un équivalent de la distance et un équivalent de la réverbération, deux éléments cumulatifs dans l'expérience perceptive du lointain. Soit le silence plus ou moins long succède à des sons de nuance forte ou mezzo forte, la dimension verticale s'impose alors, et ceci d'autant plus que le procédé est répété. Ainsi, on pourra écouter comparativement des musiques qui par-delà d'extrêmes différences esthétiques cultivent avec prédilection le suspens sonore : les arrêts très francs pratiqués après chaque séquence en répons par les ensembles de flûtes mélanésien, la technique très particulière de l'aède-musicologue Fawzi Sayeb qui instaure entre chaque strophe du champ un silence d'une étonnante régularité, ou encore les scansions du *Sacre du Printemps* de Stravinsky .

À travers les deux formes principales évoquées plus haut, l'effet de coupure inclut deux dimensions dont la psychologie clinique a montré le rôle fondateur dans l'organisation de notre expérience spatio-temporelle. Ce sont elles, extrêmement présentes, qu'on retrouve en alternance dans l'œuvre de Claudio Monteverdi. Ainsi dans les madrigaux *Altri canti di Marte* et *Gira il nemico insidioso*, le jeu sonore du proche et du lointain répond au sens même du texte; il traduit l'expérience de la menace. Mesures après mesures, celle-ci va s'intérioriser peu à peu tandis que les effets de coupure deviennent de plus en plus verticaux. Techniquement, bien que la plage des écarts d'intensité possibles soit limitée aux capacités vocales, c'est la netteté des arrêts répétés où la voix reste suspendue et la qualité du silence consécutif qui vont provoquer le sentiment de trous d'air, de chutes avec rebonds.

En bref, on apercevra facilement qu'un effet comme celui que nous venons de cerner est susceptible de traitements fort divers. et complémentaires. Il est mesurable : c'est le rapport de la variation d'intensité en fonction de la durée du phénomène. Il est repérable dans l'environnement construit, les caractères morphologiques de l'espace où il se propage étant des composantes essentielles de sa structure audible. Perceptible, il invite à de plus amples investigations en physiologie et en psychologie de la perception. Élément structurant de la perception des territoires, il invite à aborder sous un jour nouveau la question des formes de sociabilité. Instrument universel, enfin, de la composition musicale, il appelle soit à de nouvelles orientations dans l'analyse comparée, soit à l'ouverture de l'esthétique strictement musicale sur une plus large esthétique de l'expérience sonore en général.

Définition et utilité de l'effet sonore

Si la transdisciplinarité de la notion d'effet sonore n'est guère contestable, ce que la centaine d'effets sonores déjà repérés et analysés ne dément pas, un dernier éclaircissement reste nécessaire. Quelle est exactement la nature de ce concept opératoire qui rend possible un aller-retour cohérent entre le donné sonore et l'interprété?

L'effet sonore ne doit pas être pris pour un concept au sens rigoureux de ce terme. L'exemple récent de l'idée de paysage sonore érigée prématurément en concept dans le milieu des professionnels de l'aménagement et de la création artistique nous est une indication précieuse en ce sens. Cet empressement à saisir le son comme un objet parmi d'autres et à user d'un mot-clé qui masque en fait la carence de nos connaissances en matière de vécu sonore est largement responsable du flou qui persiste autour d'un terme doté pourtant d'un sens particulier et précis chez quelques auteurs.

L'effet sonore a pour nous valeur de paradigme. Idée à mi-chemin entre l'universel et le singulier, à la fois modèle et guide, elle permet un discours général sur les sons, mais elle ne peut se passer d'exemples. Plutôt que de s'attacher à définir de manière close des objets, elle désigne une classe de phénomènes en donnant des indices précis sur leur nature et en décrivant leur dimension modale ou instrumentale. Grâce à ces caractères, elle peut enfin traverser des champs de savoir ou d'expérience différents, transit par lequel elle s'enrichira progressivement.

En quoi ce genre d'outil actuellement en cours d'application dans les domaines de la lumière, de l'olfaction, et du thermo-aérolitique est-il utile pour expliquer l'organisation d'une ambiance ?

1- Aide à la mesure. À la micro-échelle, les mesures actuelles sont trop variables et, in situ, il est extrêmement difficile d'avoir la répétition du phénomène. L'analyse de la situation à partir des effets donne un ensemble d'indications et de descripteurs susceptible de mieux orienter le choix et l'usage des outils métrologiques.

2- Outil pluridisciplinaire d'analyse des situations complexes. Les situations qui mêlent étroitement des facteurs hétérogènes, comme les situations de bruit de voisinage, par exemple, ne peuvent pas facilement être analysées par la seule confrontation entre une batterie de mesures, la connaissance des règlements et la connaissance des faits au premier degré. L'analyse par les effets offre un accès qui respecte la complexité des phénomènes in situ et qui valoriser la dimension interactive de leurs composantes. Le véritable progrès dans cette direction est de cumuler des effets concernant des sensorialités différentes : effets audiovisuels, effets visio-kinésiques, par exemple.

3- Outil de représentation. Pour être plus justes, les représentations graphiques des phénomènes d'ambiance doivent intégrer des données qualitatives comme la nature de la source, la fonction, l'occurrence, la périodicité etc. Plusieurs essais concluants ont été tentés et sont en cours de développement aujourd'hui en particulier dans la cartographie numérisée.

4- Outil d'intervention. La description précise et pluridisciplinaire des effets spatialisés doit permettre une certaine prédictibilité. Nos premières observations montrent que l'effet d'ubiquité est prévisible en fonction du tissu urbain (avec ses caractéristiques acoustiques) et du type d'usage de l'espace (types de sources). L'effet sonore "Beaubourg" est de même prévisible, y compris dans ses cycles, en fonction de la morphologie de l'espace public et du type d'usage social. Cette connaissance prospective aide à définir quelques composantes de l'identité d'un lieu projeté, mais aussi à assister la planification urbaine et la décision.

5-- Outil pédagogique. Au niveau d'une formation aux ambiances, l'effet permet d'aborder et de manipuler avec commodité les interactions entre l'espace concret et la matière sensorielle. Il favorise aussi les comparaisons et les allers-retours entre d'une part l'expérience naïve ou intuitive des phénomènes ambiantaux et, d'autre part les savoir sectoriels et les pratiques techniques spécialisées.

Repères bibliographiques

Augoyard Jean-François. (1989) Contribution à une théorie générale de l'expérience sonore : le concept d'effet sonore. *Revue de Musicothérapie*. 198, Vol. IX, n° 3, pp 18-36. Association Française de Musicothérapie, Paris. ISSN 0248-9023.

Augoyard Jean-François. (1991) Les qualités sonores de la territorialité humaine, *Architecture et comportement/Architecture and Behaviour*. 1991, Vol.7, No 1, La qualification des espaces urbains, pp 13-23. ISSN 037-8585.

Augoyard Jean-François. (1991) La vue est-elle souveraine dans l'esthétique paysagère? *Le Débat*. Mai-août 1991, no 65, pp 51-59. Paris, Gallimard, ISSN 0246-2346.

Augoyard Jean-François. (1998) Eléments pour une théorie des ambiances architecturales et urbaines. *Les Cahiers de la Recherche Architecturale*. Automne 1998, n° 42/43, pp 7-23. Ed. Parenthèses/PUF.

Augoyard Jean-François. (2000). Du bruit à l'environnement sonore urbain. Evolution de la recherche française depuis 1970. In Pumain Denise, Mattei Marie-Flore (eds). *Données urbaines N°3*. Paris: Ed.Anthropos, 2000. pp.397-409. ISBN 2-7178-4071-0.

Augoyard Jean-François, Torgue Henri (Eds) (1995) *A l'écoute de l'environnement. Répertoire des effets sonores*. Marseille : Ed Parenthèses. (Traduction italienne à paraître, traduction anglaise en cours).

Confort d'été et énergie : une étude de cas à Genève

Bernard Lachal
Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (CUEPE)
Université de Genève
e-mail : bernard.lachal@cuepe.unige.ch

1. Confort d'été et énergie : introduction

En condition chaude, les standards usuels de confort, souvent limités à une température (23°C par exemple) et à une gamme d'humidité (40 – 60%), ne font pas l'unanimité. Ces normes sont souvent issues de tests en laboratoire et oublient des influences complexes comme le passé thermique récent, le futur thermique attendu et d'autres effets.

Des travaux récents sur ces aspects convergent -en les précisant- vers des connaissances collectives et intuitives déjà anciennes (voir par exemple Gail et al, 1998, Busch, 1992, Prins, 1992, Dreyfuss, 1960).

Les acclimations observées sont de trois ordres :

- L'ajustement des comportements (habillement, horaire et rythme de travail,...),
- L'acclimation physiologique,
- L'acceptation psychologique.

En ambiance chaude, il faut noter aussi l'importance des mouvements d'air et des échanges radiatifs.

En Suisse, la recommandation SIA V382/1 fixe les exigences auxquelles doit satisfaire la température de l'air ambiant, pour les conditions estivales, en définissant une température ambiante ainsi que les autres caractéristiques du confort :

« On dimensionne l'installation en fixant une température de 26°C, pouvant fluctuer en exploitation entre 22 et 28 °C. La température de l'air ambiant peut dépasser 28°C pendant les heures d'occupation des jours de grande chaleur ($T_{extmax} > 30^{\circ}\text{C}$). Pour ces situations exceptionnelles, il n'y a pas de garantir à fournir. »

En introduisant un domaine de fluctuation de température, cette recommandation tient compte des phénomènes d'acclimation et donne une marge de manœuvre certaine quant à la conception du bâtiment et des systèmes passifs ou actifs chargés de maintenir un confort acceptable en été.

Une interprétation de cette recommandation – qui a valeur de norme dans certains cantons – est qu'une installation de rafraîchissement n'est envisageable que si la température intérieure dépasse 28°C lorsque la température extérieure a atteint 30°C durant la journée. Voir aussi les recommandations SIA 382/2 et 382/3, qui traitent aussi de la climatisation des bâtiments.

La figure 1 ci-dessous montre la courbe de dimensionnement et les limites du domaine de fluctuation. On s'aperçoit que des fluctuations thermiques jusqu'à 6°C lors d'une même journée sont possibles, ce qui tient compte à la fois des possibilités d'adaptation des occupants et de la capacité de la masse des bâtiments à absorber une partie des charges thermiques.

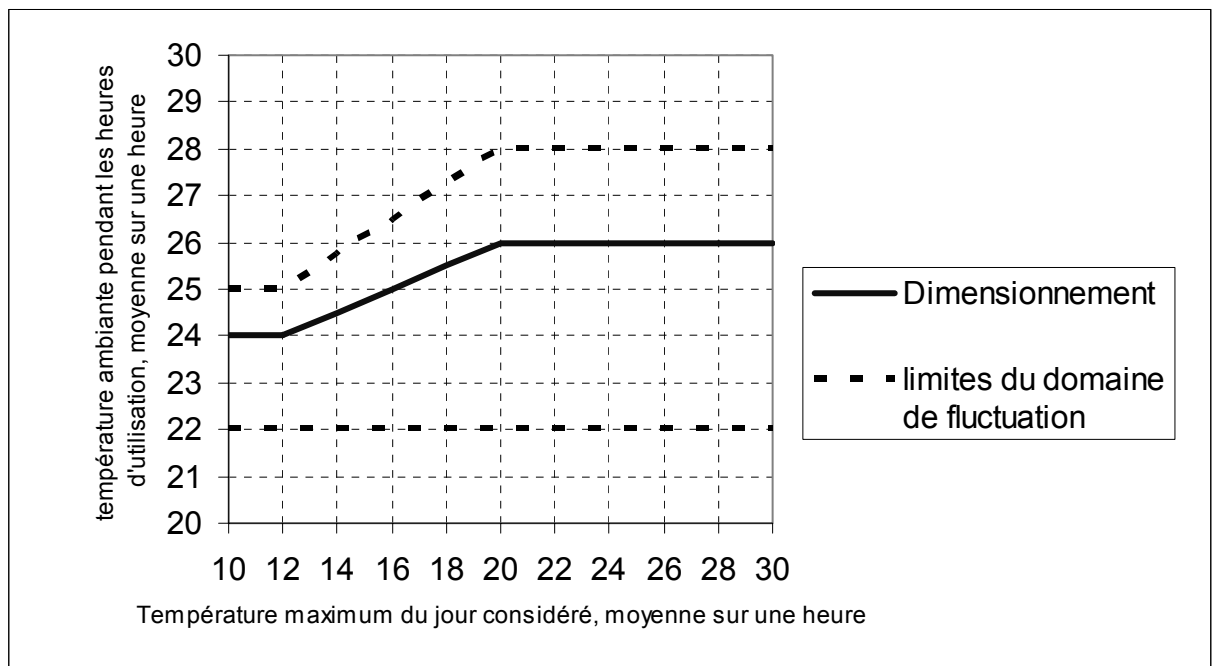


Figure 1 : Courbe de dimensionnement et limites de fluctuation, recommandation SIA 382/1.

Par rapport au bâtiment, la hiérarchie des actions possibles est la suivante :

- importance d'une bonne conception du bâtiment : protections solaires efficaces, inertie thermique suffisante, ventilation naturelle, charge interne électrique faible,
- si cela ne suffit pas, utilisation de systèmes de rafraîchissement passif,
- en cas de nécessité (qui reste à définir), importance des normes de qualité énergétiques pour les appareils de froid ainsi qu'un bon concept énergétique pour les systèmes centralisés.

Si on utilise un système actif de climatisation, on doit transférer de l'énergie du local considéré vers une source plus chaude ; ceci ne se fait pas spontanément et nécessite une machine thermique s'apparentant aux pompes à chaleur. Il y a des limites thermodynamiques pour le COP (COefficient de Performance, défini comme le rapport entre l'énergie soustraite et l'énergie payante utilisée) :

- si on utilise une source d'énergie noble (électricité, travail mécanique), le COP vaut environ 2 (c'est-à-dire que pour extraire 2 kWh d'un local, il faut dépenser 1 kWh d'électricité),
- si on utilise de la chaleur (groupe à absorption), le COP doit tenir compte du rendement de Carnot, ce qui aboutit à des valeurs beaucoup plus basses : environ 1 pour une source de chaleur à 110°C, et 0.5 si cette source chaude est à 70°C. Un avantage de cette solution est que l'énergie utilisée peut être des rejets de chaleur de peu de valeur.

Techniquement, on distingue deux grands types de systèmes de climatisation :

1. les systèmes centralisés pour les bâtiments importants, avec l'intervention de bureaux d'ingénieurs. Ces interventions peuvent être contrôlées et réglementées et sont sujettes à une « certaine » rationalité,

2. les petits systèmes individuels dans les bâtiments ou, de plus en plus, dans les véhicules. On entre ici dans le règne de l'individualisme et de la société de consommation.

Si les problèmes posés par ces deux catégories sont très différents, il faut noter dans les deux cas une forte augmentation du nombre d'installations et donc de l'énergie nécessaire. Par exemple, en France, si 14% de la surface du tertiaire (96 millions de m²) était climatisée en 1995, 22 % l'était en 2002 (190 millions de m²). De même, toutes les études (Jeanneret 2000, EERAC 1999) montrent une explosion des ventes des climatiseurs individuels. On prévoit ainsi pour 2020 une pointe de puissance électrique due à ces petits appareils autour de 19 heures de :

- 35 GW en été pour l'Europe, contre 20 GW au milieu de l'après-midi,
- en Espagne, un chiffre 15 GW est annoncé (15 tranches nucléaires).

Finalement, on voit que les enjeux énergétiques liés au confort estival à l'intérieur des bâtiments se jouent principalement sur la notion de « nécessité » ou de « besoin » de confort. Si, en Suisse, la preuve du besoin a été bien définie (plus de 28°C ambiant lors d'une journée où la température extérieure a atteint 30°C), il n'en n'est pas de même en Europe, où seule des normes pour le chauffage existent pour le moment. Or, ceux-ci aboutissent bien souvent à des bâtiments très vitrés et bien isolés, deux facteurs qui peuvent être aggravants pour le confort d'été s'ils sont mal maîtrisés.

Nous allons illustrer le rapport confort – énergie – bâtiment par une étude de cas.

2. Une étude de cas à Genève

2.1. Un problème typique d'inconfort estival et une réponse inappropriée

Il s'agit d'un bâtiment de bureau de 7 niveaux, d'une surface de 6'000 m², construit dans les années 60 et situé au centre de Genève. Il est propriété de la Fédération Internationale des Syndicats de la Métallurgie, qui en occupe un étage. Le reste est loué à diverses sociétés.

Les façades rideaux, fortement vitrées, sont constituées de fenêtres basculantes avec un double verre et un store à lamelle intégré en sandwich.

Tous les occupants se plaignent de conditions de travail difficiles en été, avec des températures estivales qui dépassent largement les 30°C durant toute la période estivale.

Face à ce problème, un bureau d'ingénieurs de la place a proposé la climatisation intégrale du bâtiment. Trois variantes ont été développées, dont les coûts étaient devisés entre 3'500'000 et 4'500'000 CHF. La puissance de réfrigération nécessaire était de 300 kW. Une telle solution avait déjà été appliquée au bâtiment adjacent souffrant des mêmes maux.

Cette proposition a été jugée par les propriétaires comme peu satisfaisante :

- elle est coûteuse à l'investissement,
- elle est chère à l'entretien,
- elle consomme beaucoup d'électricité,
- elle inspire beaucoup de méfiance de la part de certains occupants.

Avant de déposer la demande d'autorisation cantonale obligatoire pour l'installation d'une climatisation, les propriétaires ont contacté l'Office cantonal de l'énergie. Devant une telle situation, cet Office leur a conseillé de faire faire une étude plus complète,

avec un diagnostic et des propositions globales d'amélioration, comme indiqué dans la législation.

2.2. Le diagnostic : un problème d'enveloppe

Notre Centre a reçu mandat pour une étude approfondie du confort estival dans ces bureaux et la détermination de l'installation la plus convenable permettant éventuellement de palier à des situations d'inconfort.

Une campagne de mesure complète (relevé des températures et des flux d'énergie dans plusieurs bureaux situés à deux étages différents) durant l'été 1998 complétée par de nombreuses simulations numériques nous ont conduits aux conclusions suivantes :

les bureaux "sud" et "ouest" peuvent être considérés comme nettement trop chauds, avec des températures dépassant les 30°C pour 30°C extérieur, approchant même 35°C cet été là en raison de la forte canicule. Ces températures sont supérieures à celles admises dans la norme SIA V 382/3 "preuve des besoins pour les installations de ventilation et de climatisation", qui fixe la température admissible à 28°C par 30 °C extérieur (voir figure 1).

L'observation des températures relevées pendant l'été 1998 a fait apparaître un dépassement systématique de la valeur limite déjà pour des températures extérieures maximales de 24 °C (figure 2).

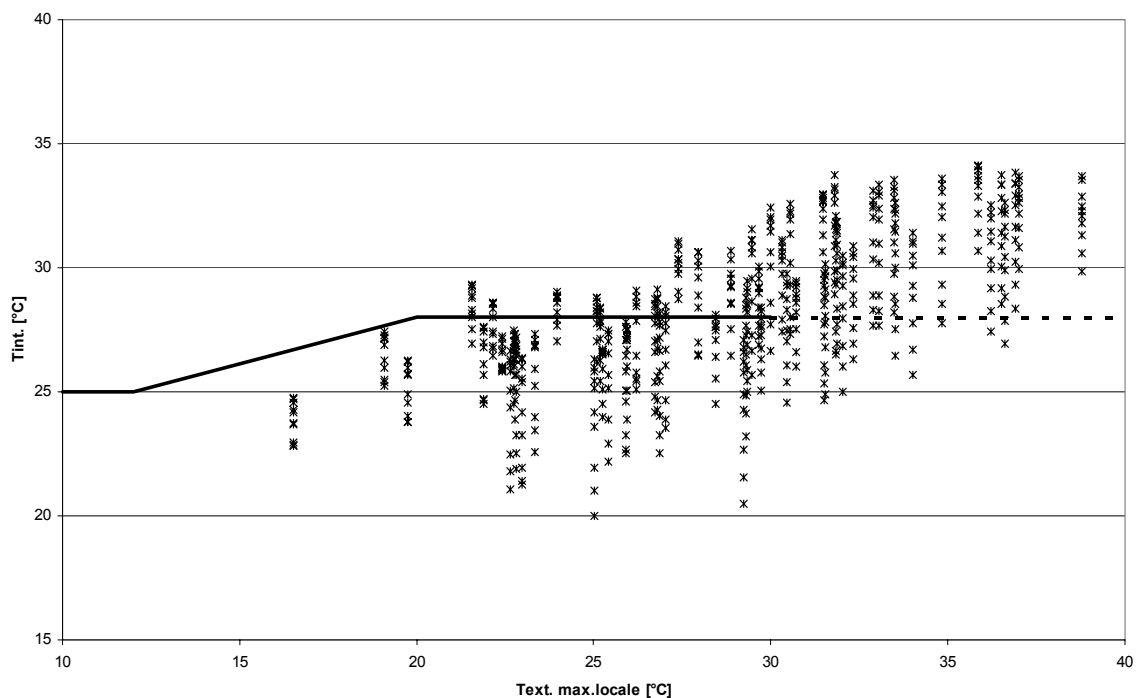


Figure 2 : Températures observées dans un bureau sud-est, été 1998.

Pour des températures maximales représentant des valeurs moyennes pour juillet et août (27°C), on dépassait largement les 30°C. Les autres remarques sont :

- les jours de grande chaleur, on atteignait les 34°C dans le bureau,
- les bureaux placés au nord ouest et bénéficiant de l'ombre du bâtiment central sont juste au dessus de la norme (température dépassant légèrement les 28°C pour les jours où la température extérieure atteint 28 à 30°C),
- il n'y a pas de différence notable entre le 3^e étage et le 5^e,

- les températures de vitrages intérieures atteignent ou dépassent 45°C pendant plusieurs heures par jours, rendant la place de travail proche très inconfortable, (figure 3).

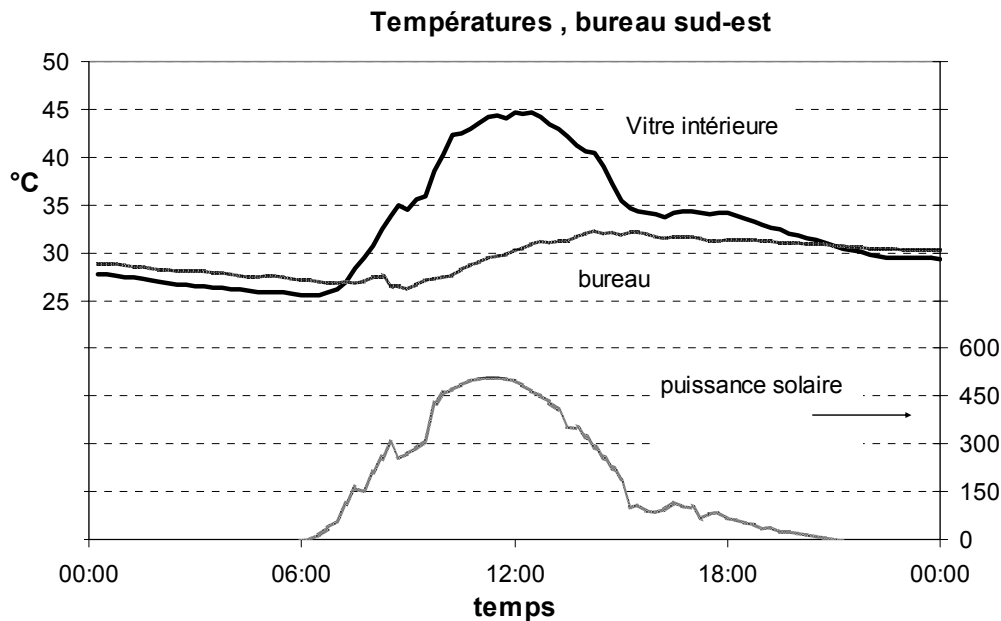


Figure 3 : Conditions intérieures bureau sud-est, 25 juillet 1998, température extérieure maximum : 35 °

Des simulations détaillées effectuées avec le logiciel SUNREL (version suisse du logiciel américain SERIRES) ont montré que:

- l'apport principal de chaleur se fait par les fenêtres, où la protection solaire existante - composée d'un store à lamelle entre les deux vitrages - est très insuffisante. Elle est inférieure à la norme suisse précitée SIA V 382/3 (p 23), qui recommande une protection d'au moins 85% (ce qui signifie que moins de 15% d'énergie solaire doit pénétrer à l'intérieur). Dans le bâtiment en question, on a environ 1/3 de la chaleur solaire qui pénètre avec, condition aggravante, une forte surface vitrée (4m² de vitrage pour un bureau d'une surface de 17m²),
- les contrecœurs, même s'ils sont mal isolés, n'apportent que peu de chaleur en été, du fait des hautes températures intérieures et de l'inertie des composants,
- les gains de chaleur internes sont faibles : pas d'éclairage, souvent une personne par bureau, peu d'appareillage, excepté dans le local de la photocopieuse et la réception (éclairage puissant et peu efficace).

2.3. La deuxième approche : agir à la source

Sur cette base, le bureau d'architecte Zufferey¹ a été mandaté pour développer un projet de stores extérieurs occultant 90% du rayonnement solaire. Diverses solutions ont été étudiées, que nous avons simulées numériquement pour vérifier l'effet sur la température estivale. La solution retenue, très astucieuse, est représentée sur la figure 4.

¹ Atelier Zufferey, messieurs Zufferey et Millourd, 8 chemin Rieu, 1208 Genève

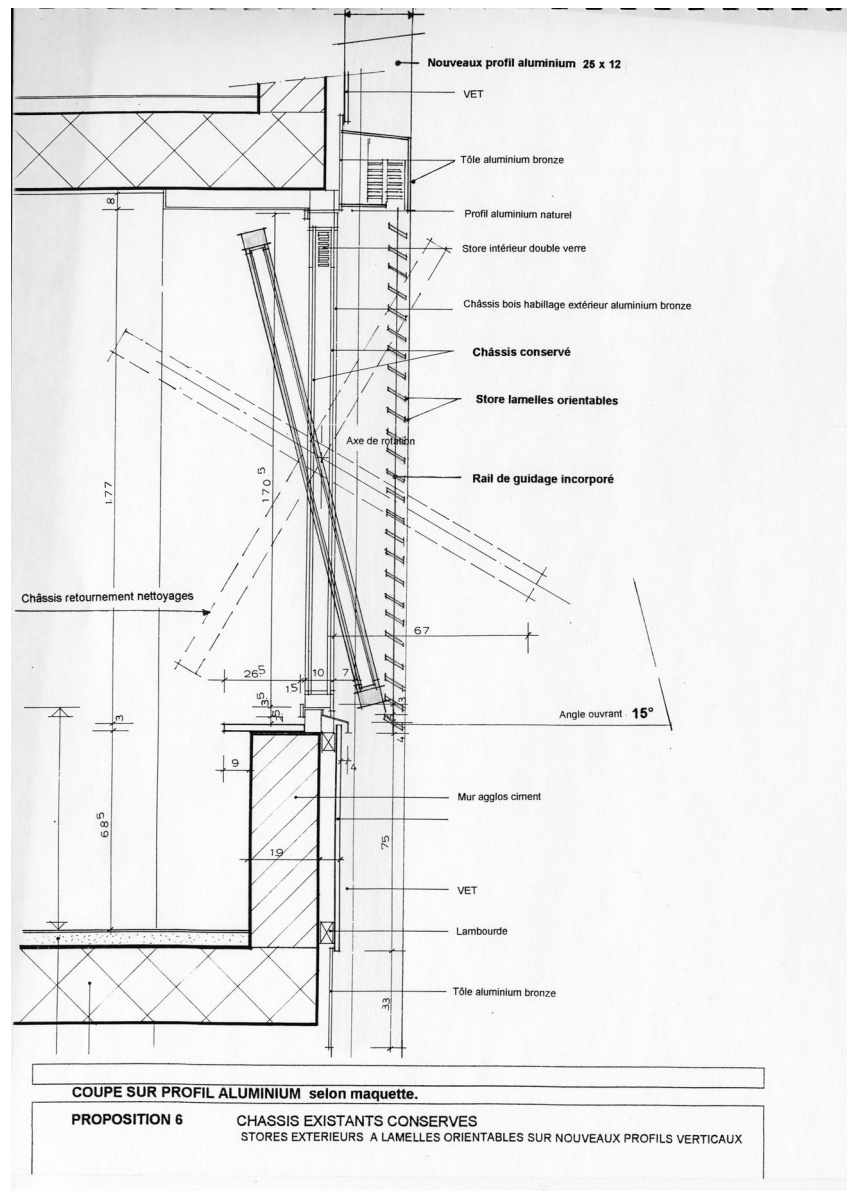


Figure 4 : Solution retenue

Ses caractéristiques sont :

- châssis existants conservés,
- pose de stores à lamelles orientables en extérieur, sur rail de guidage aluminium intégré sur des montants verticaux existants,
- commandes électriques centralisées et individuelles,
- alimentation électrique par l'extérieur, dans les profils,
- possibilité de passage d'autres alimentations (en particulier informatiques) dans les profils (face extérieure démontable),
- possibilité de ventilation nocturne conservée,
- intervention uniquement sur extérieur,
- respect des servitudes architecturales existantes,
- coût réduit.

Le total (incluant aussi la programmation centralisée de la fermeture et l'inclinaison des stores) a été de 1'600'000 CHF (TTC). De plus, avec les charges solaires ainsi réduites,

un éventuel système de climatisation peut-être réalisé à coût restreint en utilisant le système de distribution du chauffage existant, soit de façon centralisée soit de façon localisée par étage.

Ainsi, la solution offerte revient près de 3 fois moins chère à l'investissement que le système de climatisation prévu, elle économise de plus entre 50'000 et 100'000 kWh d'électricité par année selon la température ambiante choisie, le comportement des occupants (ouverture des fenêtres, fermeture des stores) et les systèmes techniques adoptés.

2.4. Les résultats obtenus: une nette amélioration

Les travaux ont été réalisés durant le printemps 2000, les coûts étant fidèles au devis initiale.

Les valeurs mesurées en été 2000, après la pose des stores extérieurs, montrent que la température des bureaux est en dessous de 27°C jusqu'à une température extérieure de 30°C (fig. 5). Seul un lundi (le 18 août) et dans un seul bureau, après un week-end très chaud pendant lequel les fenêtres étaient fermées, les températures ont dépassé 29°C.

Les jours de grande chaleur, la température est montée jusqu'à 30°C dans certains bureaux pour des températures extérieures dépassant 34°C.

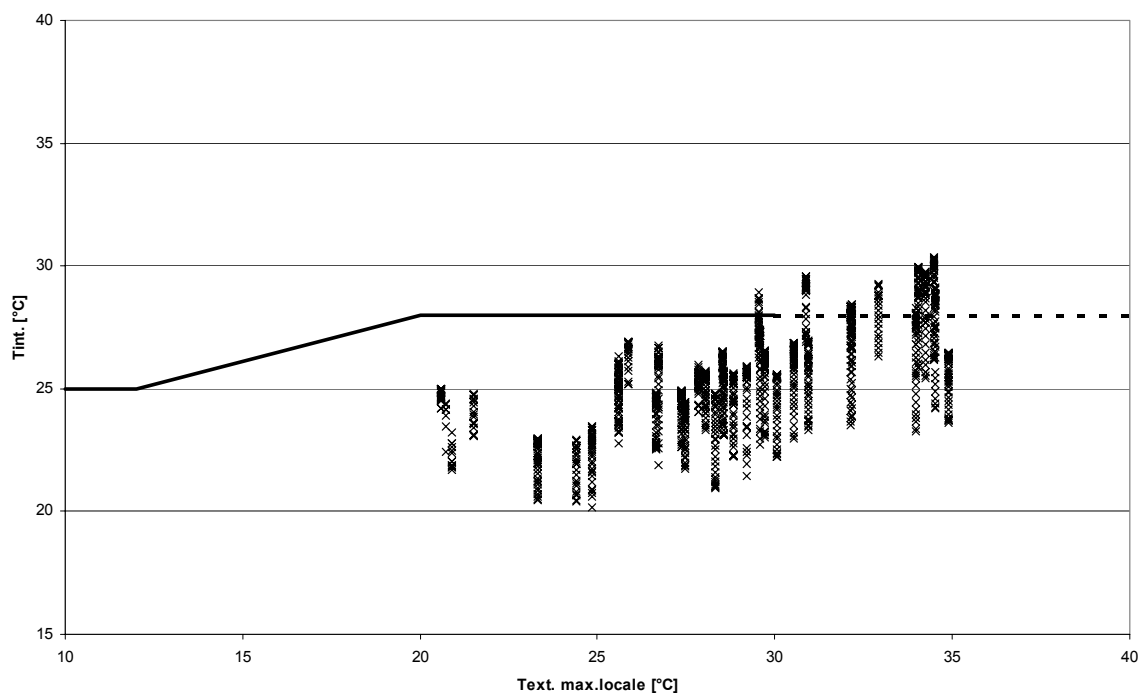


Figure 5 : Valeurs mesurées en été 2000, même bureau que figure 2.

Sur le graphique de la figure 6, on a superposé les valeurs mesurées en été 2000 sur celles de 1998. On remarque une baisse de température systématique comprise entre 3°C et 5°C pendant toute la période, y compris les jours de canicule.

Mis à part les valeurs un peu élevées du lundi précité, les valeurs mesurées en été 2000 correspondent bien aux prédictions qui avaient été faites avant les travaux (fig. 7).

Les simulations, calées sur les mesures de 1998, ont donc permis de faire les recommandations adéquates, ce que les mesures de l'été 2000 confirment.

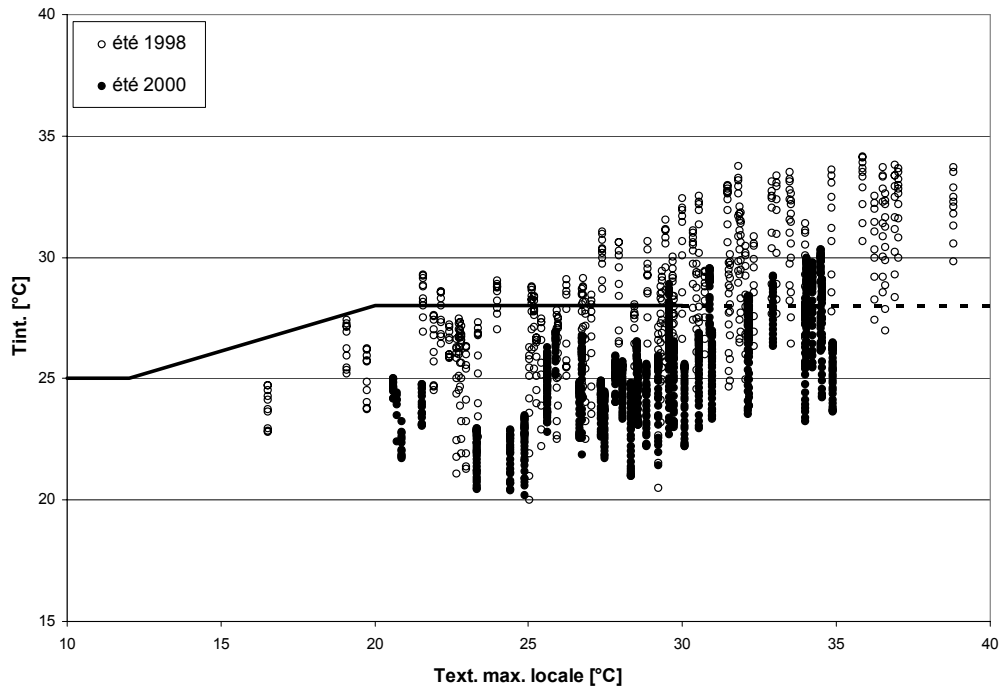


Figure 6 : superposition des valeurs mesurées les étés 98 et 2000

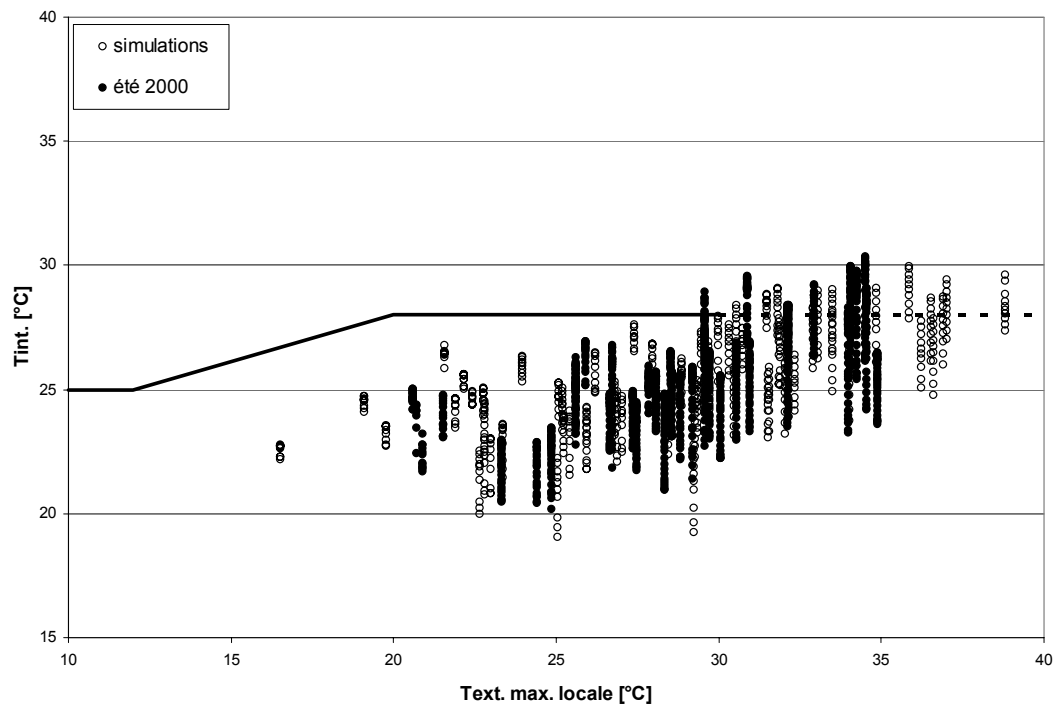


Figure 7 : Superposition des valeurs simulées et des valeurs mesurées en été 2000

On présente trois journées typiques (fig. 8 page suivante) :

- 1 jour pas trop chaud (Tmax. 26°C)
- 1 jour chaud (Tmax. 30°C)
- 1 jour de grande chaleur (Tmax. 35°C)

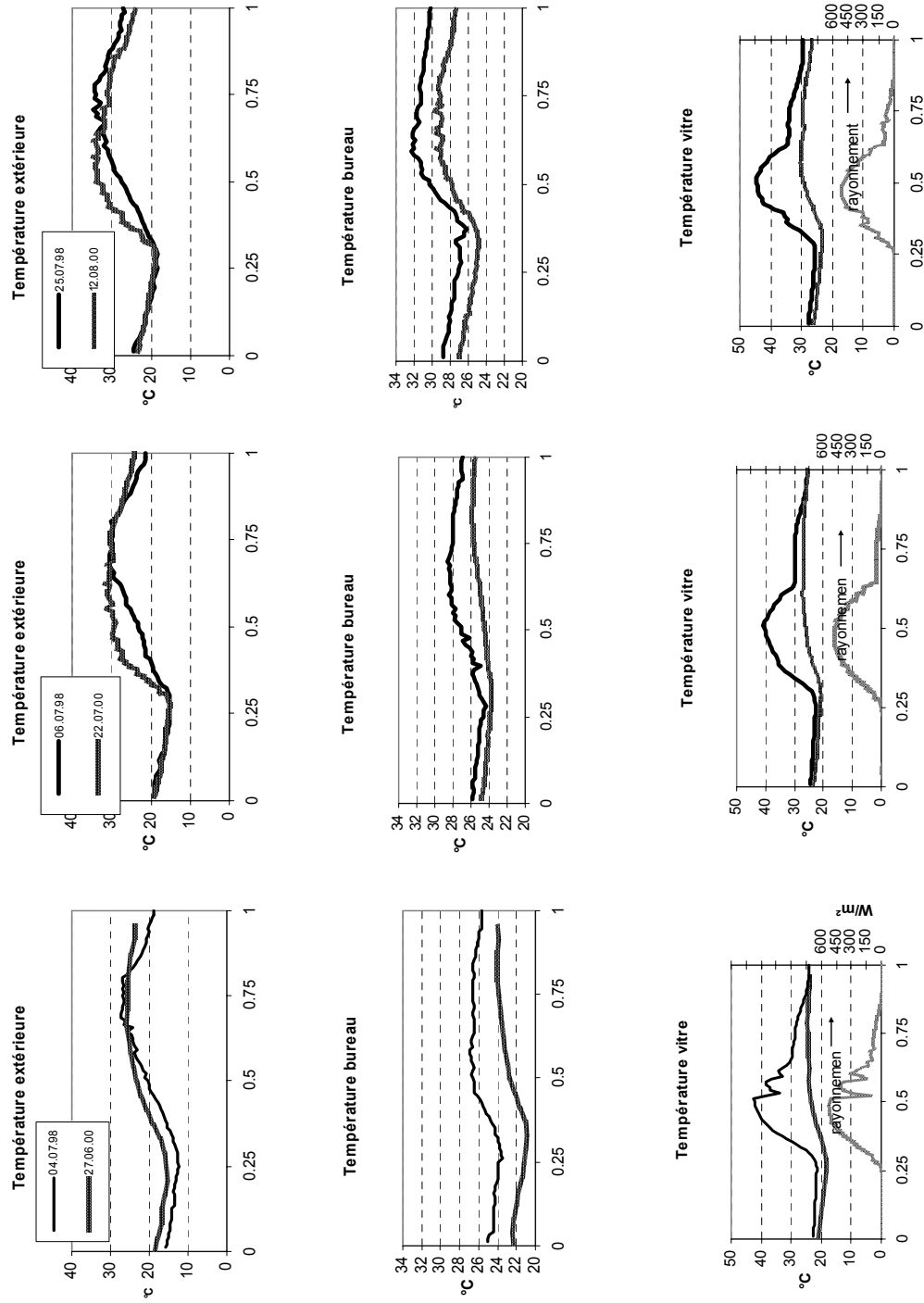


Figure 8 : Comparaison du confort avant (1998) et après (2000) pose des protections solaires.

Pour chaque graphique, on a pris des valeurs mesurées en 1998 et en 2000 présentant les mêmes valeurs extrêmes de température extérieures et un temps clair.

Pour des conditions similaires, la température du bureau a baissée systématiquement de 3 à 5°C grâce aux protections solaires et surtout, la température des vitrages intérieures a été fortement réduite, se situant entre les températures extérieure et intérieure. Cette réduction du rayonnement infrarouge directement sur l'occupant apporte un confort que la climatisation intégrale du bâtiment sans correction des mauvaises protections solaires n'aurait pas atteint.

3. Conclusions

L'augmentation importante de la consommation énergétique, principalement électrique, due à la climatisation et au rafraîchissement des bâtiments semble difficile à maîtriser, que ce soit en terme d'énergie ou d'appel de puissance. Pourtant, de nombreuses solutions existent, qui permettraient de réduire fortement cette nouvelle demande. Par ordre d'importance :

- Une bonne conception du bâtiment est capitale : protections solaires efficaces, inertie thermique suffisante, ventilation naturelle, charge interne électrique faible,...
- Si cela ne suffit pas, utilisation de systèmes de rafraîchissement passif,
- En cas de nécessité (qui reste à définir), importance des normes de qualité énergétiques pour les appareils de froid ainsi qu'un bon concept énergétique pour les systèmes centralisés.

Finalement, le point décisif est la décision de climatiser ou non un bâtiment. Comme on l'a vu dans l'étude de cas présentée, une approche purement « *end of pipe* » : *il fait trop chaud, on rajoute au bâtiment un système de froid* est souvent une mauvaise solution. Des points de vue du confort, de l'économie et de l'énergie, une approche globale du problème, en remontant et en corrigeant la source du mal, s'est révélée infiniment plus judicieuse : elle est moins coûteuse et moins problématique à l'installation, à l'entretien et au fonctionnement, elle permet d'économiser une quantité appréciable d'électricité (une production équivalente de 50 à 100 kWp photovoltaïque), elle fournit un confort supérieur et individualisé.

Un tel cas est loin d'être unique à Genève.

4. Remerciements

Nous remercions la Fédération Internationale des syndicats de la Metallurgie, spécialement Madame Arnaud, Administratrice et Monsieur Malentacchi, Secrétaire général, ainsi que les architectes Zufferey et Milourd, de l'Atelier Zufferey.

Bibliographie

Busch John F., « A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and naturally ventilated offices in Thailand », *Energy and Buildings*, 18, 235-249, 1992.

Dreyfuss Jacques, « Le confort dans l'habitat tropical », Editions Eyrolles, 1960.

EERAC Group, « Energy Efficiency of room air conditioners », Study for the DGXVII CEC, 1999.

Gail S. Brager, Richard J. de Dear, "Thermal adaptation in the built environment : a literature review", *Energy and Buildings*, 27, 83 – 96, 1998.

Jeanneret Cédric, « Comportement et efficacité énergétique : quelle marge de manœuvre pour le consommateur et quel potentiel pour le pays », travail de diplôme post grade en énergie, EPFL, 2000.

Prins Gwyn, « On condis and Coolth », *Energy and Buildings*, 18, 251-258, 1992.

Recommandations :

SIA V382/1 : Performances techniques requises pour les installations de ventilation et de climatisation, 1992.

SIA V382/2 : Puissance de réfrigération à installer dans le bâtiment, 1992.

SIA 382/3 : Preuve du besoin pour les installations de ventilation et de climatisation, 1992.

Société suisse des ingénieurs et architectes, CP, CH – 8039 Zurich.

Le confort acoustique, étude de cas : une cartographie des ambiances sonores urbaines

Blaise Arlaud
Bureau d'ingénieur Gilbert Monay
Lausanne
e-mail : blaise.arlaud@monay.ch

Introduction

Lorsque l'on parle du confort acoustique, on s'appuie généralement sur des critères de qualité sonore (principalement le niveau de bruit) et on se réfère aux normes et réglementations qui déterminent les conditions limites pour assurer la protection ou le bien-être de la population.

Cependant, chacun s'accorde à dire que le sentiment de confort ou de bien-être sonore ne peut pas être limité au seul respect d'une valeur limite. Il dépend en effet de multiples facteurs qui ne se rapportent pas uniquement à des caractéristiques acoustiques, mais aussi à des aspects plus sensibles tels que par exemple les actions et perceptions différenciées des individus (activité en cours, contenu sémantique des sons, sensibilité propre, etc.).

Pour aborder le confort sonore dans toute sa complexité, il faut donc dépasser la simple notion de gêne et s'intéresser aux multiples facteurs susceptibles de déterminer la qualité, voir l'ambiance sonore d'un lieu.

Dans ce sens, cet article présente succinctement une étude doctorale, menée sur la base de l'analyse des ambiances sonores, dans le but de représenter les qualités sonores d'un espace urbain sur une carte¹. Par la présentation du cadre théorique proposé et des principaux facteurs qui ont été retenus à cette occasion pour qualifier l'espace sonore urbain, nous pouvons ainsi appréhender les principaux aspects de la complexité de l'espace sonore qualitatif et par conséquent les multiples facettes susceptibles d'intervenir sur notre appréciation du confort.

Cartographier les qualités sonores urbaines

Le but de cette étude était de tenter de fournir aux architectes, urbanistes et aménageurs urbains, des outils susceptibles de les aider à mieux appréhender la dimension sonore qualitative et à l'intégrer dans leurs démarches projectuelles. La carte et les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) étant les supports privilégiés des professionnels de l'aménagement et de la construction, ils se sont donc rapidement imposés comme les modes de médiation les plus appropriés pour dépasser la simple représentation des niveaux de bruit et aborder de nouvelles notions dans un objectif à la fois plus participatif et plus opérationnel.

La dimension sonore et la carte

L'enjeu d'une telle démarche imposait la cohabitation de deux disciplines différentes : la dimension sonore qualitative et la cartographie. Or l'espace de la carte, fondé sur des critères

¹ ARLAUD Blaise : *Vers une infographie de l'ambiance sonore urbaine*, Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes, UMR 1563, Laboratoire CRESSON, Ecole d'architecture de Grenoble, 2001, 2 vol. 241 et 148 p.

cartésiens, s'oppose point par point aux qualités fondamentales de l'espace sonore : la temporalité, la discrétion et la métabole (c.f. J.F. Augoyard, 1991). En effet, si les sons ne peuvent exister qu'en fonction du temps qui passe, la carte ne peut représenter qu'un temps arrêté. La fixité de l'image impose la représentation d'une situation en un instant "t" ou durant une période considérée (situation moyenne). De plus, si l'espace sonore est "discret" (qui peut comporter aussi bien des sons émis dans l'espace considéré que des sons provenant d'un autre lieu), l'espace de la carte, par les deux dimensions du plan, impose de représenter les éléments à l'intérieur d'un espace géographique fini. Enfin, si l'espace sonore est "métabolique" (sons en perpétuelles transitions les uns avec les autres dans le temps et dans l'espace), la carte, qui ne peut représenter ni le temps qui passe, ni le "ici et ailleurs" de la "discrétion", paraît peu adaptée pour aborder cette notion.

Par ailleurs, si la recherche sur la dimension sonore qualitative a déjà pu mettre en évidence de nombreux outils d'analyse théoriques et méthodologiques (cf. bibliographie), elle est actuellement toujours en cours. Elle prend de plus en plus de facteurs en compte et ne sait plus où s'arrêter. Il n'existe donc pas un indice unique de la qualité sonore, mais une multitude toujours croissante de concepts et de méthodes qui permettent chacun d'aborder certains aspects de la dimension sonore qualitative, en fonction de différents points de vue.

Une démarche exploratoire

Nous ne connaissons par conséquent ni les critères sonores qualitatifs, ni les modes de représentation les plus appropriés pour rendre compte au mieux de la qualité sonore sur une carte. Il ne pouvait donc pas y avoir de carte solution et seule des explorations méthodologiques finalisées paraissaient à même de tester la faisabilité et l'opérationalité de cartes sonores qualitatives.

Nous présentons donc ci-dessous les principaux résultats des deux démarches réalisées dans ce but et exposerons ensuite le cadre méthodologique issu de ces expériences.

Une cartographie des qualités sonores environnementales sur support papier

Le premier essai de carte sonore qualitative que nous présentons ici a été réalisé sur le quartier du Garet, à Lyon, 1er arrondissement. Il s'inspire des critères de qualité sonore environnementaux définis par Pascal Amphoux (1993) et propose des modes de représentation permettant de les visualiser sur une carte papier, tout en les mettant en relation avec les variations temporelles du fond sonore de la circulation automobile. La figure n°1 montre ainsi l'effet de masque du bruit de la circulation (trame "temporelle" en gris) sur les qualités sonores existantes ou potentielles du lieu (indiquées en couleur).

Cette première démarche a permis de montrer qu'il est possible, sur un même support cartographique papier (composé de couches successives), de représenter de nombreuses particularités de l'environnement sonore par le regroupement de diverses caractéristiques

- quantitatives (niveaux de bruit de la circulation),
- normatives (façades pour lesquelles les exigences ne sont pas respectées),
- qualitatives (fonds, signaux et caractéristiques sonores),
- liées à l'espace (réverbération, connexions, etc.) ;

...tout en intégrant certains aspects

- de la temporalité (trame "temporelle" permettant de rendre compte des variations du niveau de bruit de la circulation dans le temps, découpage jour-nuit),
- de la discrétion (points et flèches pour situer les émissions sonores, trames pour indiquer les zones de perception),
- de la métabole (indication du rapport figure/fond par superposition de la trame temporelle sur les signaux sonores).



Le SIG "Chaos" intégrant des données sonores qualitatives

Notre deuxième approche a été menée en collaboration avec le Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes d'Information (LISI) sur le quartier du Romarin à Lyon, 1er arrondissement. Elle s'est inscrite dans la continuité d'une étude précédente sur les indicateurs de l'identité sonore d'un quartier et a permis - par l'utilisation du système d'information géographique MapInfo[®] et de certains apports multimédias - de montrer qu'il est possible de reporter, sur un même support infographique, l'ensemble des informations récoltées lors d'une analyse détaillée de l'espace sonore humain soit (voir exemples figures n° 2 à 7) :

- des caractéristiques spatiales (type, forme et matérialité de l'espace),
- des caractéristiques "sociales" issues de données extérieures (densité de population, affectations, plaintes, etc.),
- des caractéristiques sonores
- connues (fonds, signaux et caractéristiques sonores objectivables),
- vécues (relations fusionnelles entre la population et l'espace sonore),
- sensibles (perceptions esthétiques de l'espace sonore),
- des caractéristiques issues d'analyses transversales (types spatio-acoustiques, types de sociabilité, territoires sonores) ;

...tout en intégrant certains aspects

- de la temporalité (animations des signaux sonores et de la densité de la circulation),
- de la discrétion (symboles pour les émissions sonores, espaces de références pour les perceptions et caractéristiques diverses),
- de la métabole (proposition d'animations simultanées et superposées des sources sonores et des niveaux de bruit de la circulation) ;

...et en permettant toutes sortes de recherches multi-critères :

- par comparaison visuelle de données différenciées sur la carte (affichage simultané de données complémentaires, associées à des objets graphiques différents),
- par croisement de données associées aux mêmes objets graphiques (affichage des objets graphiques comportant telle ou telle combinaison de données),
- par requête multiple utilisant les liens entre les différents objets graphiques (affichage de telle ou telle combinaison de données, associées à différents objets graphiques, et pouvant être visualisées sur les objets de notre choix).

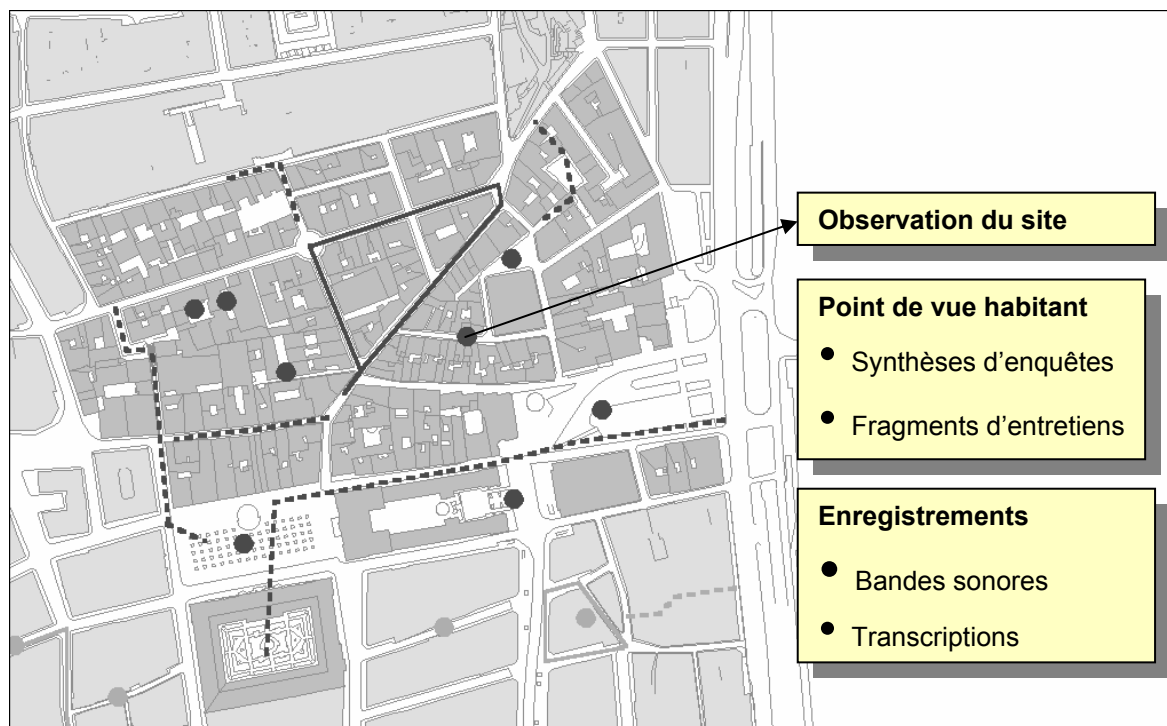


Figure 2 : Carte du patrimoine sonore. Cette carte présente les principaux espaces et itinéraires sonores identitaires du quartier, avec liens vers bandes son révélatrices et textes explicatifs (observation du site et point de vue habitant).

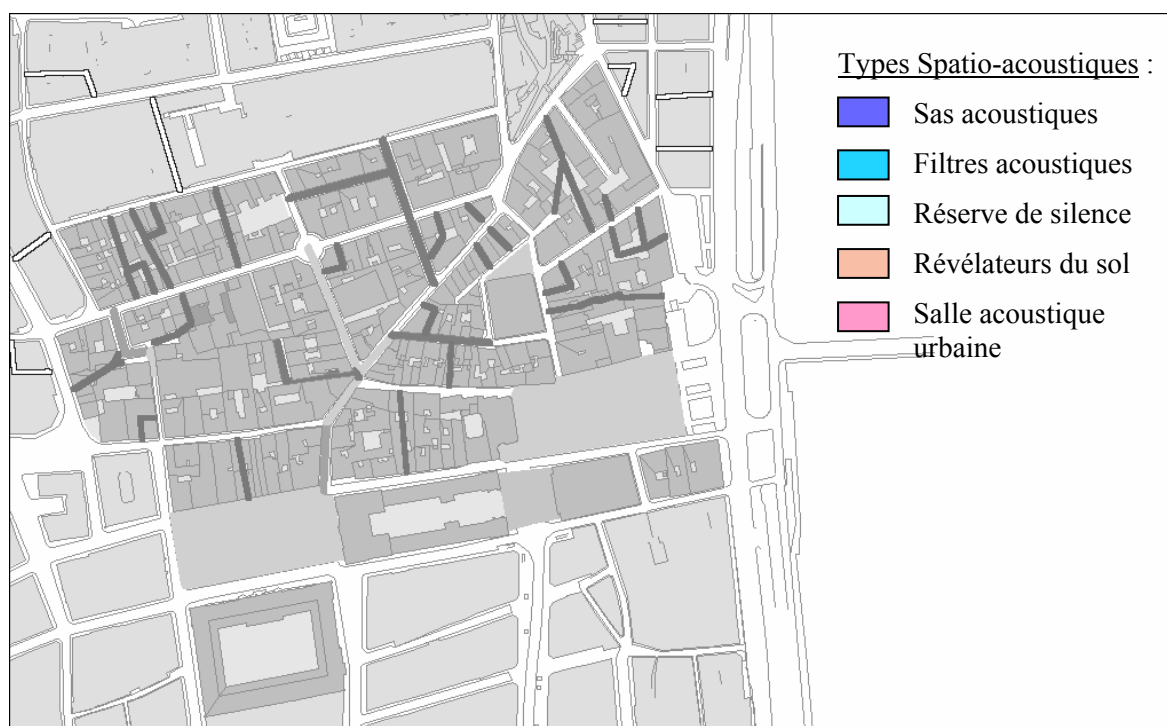


Figure 3 : Carte des Types Spatio-Acoustiques. Cette carte regroupe les données relatives aux caractéristiques sonores qualifiées par la forme et la matérialité de l'espace.

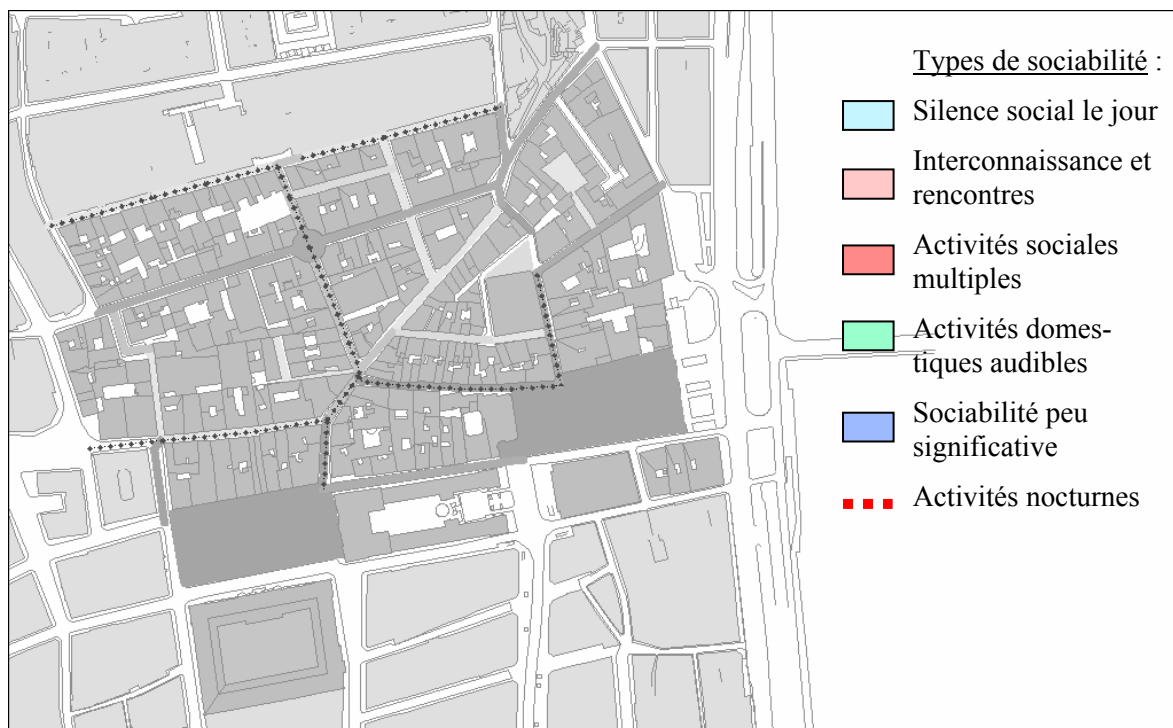


Figure 4 : Carte des Types de Sociabilité. Cette carte regroupe les données relatives aux diverses formes sociales que revêtent les sons humains perceptibles.

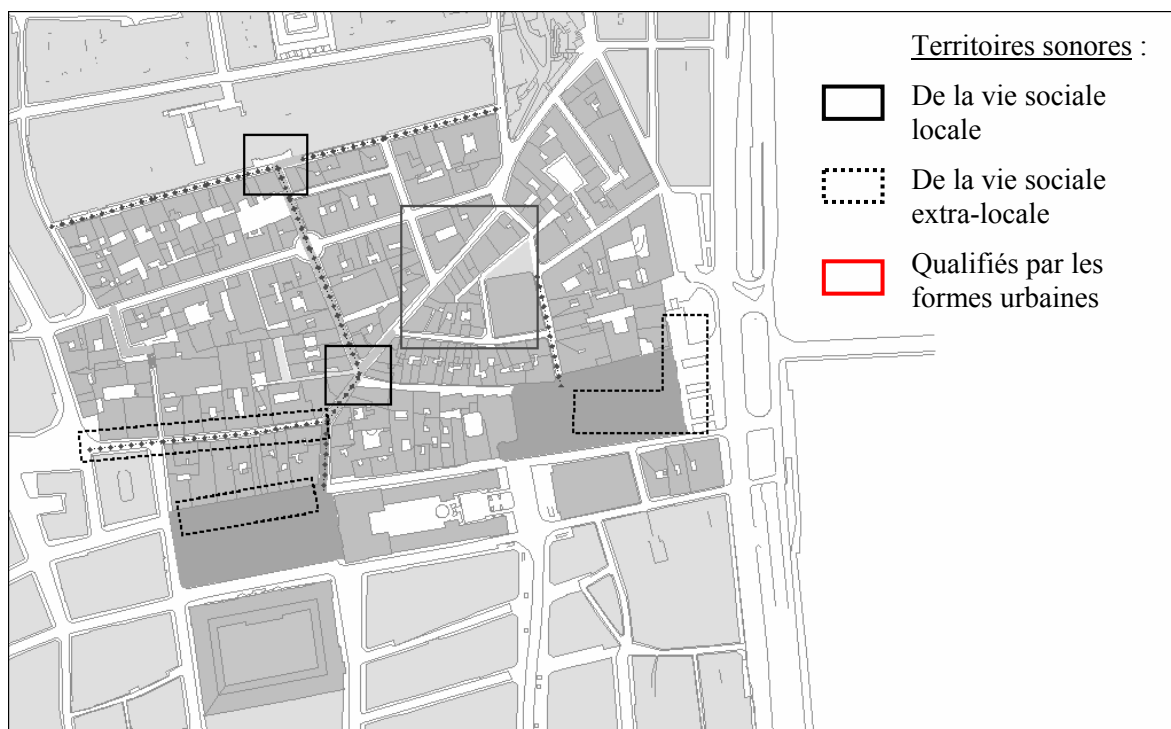


Figure 5 : Carte des Territoires sonores. Cette carte situe approximativement des territoires mis en évidence par un sentiment de localisation d'une atmosphère sonore particulière.



Figure 6 : Carte des Fonds sonores dominants. Cette carte reporte simplement le type de fond sonore attribué à chaque espace en fonction du découpage : humain, naturel, technologique ou calme.

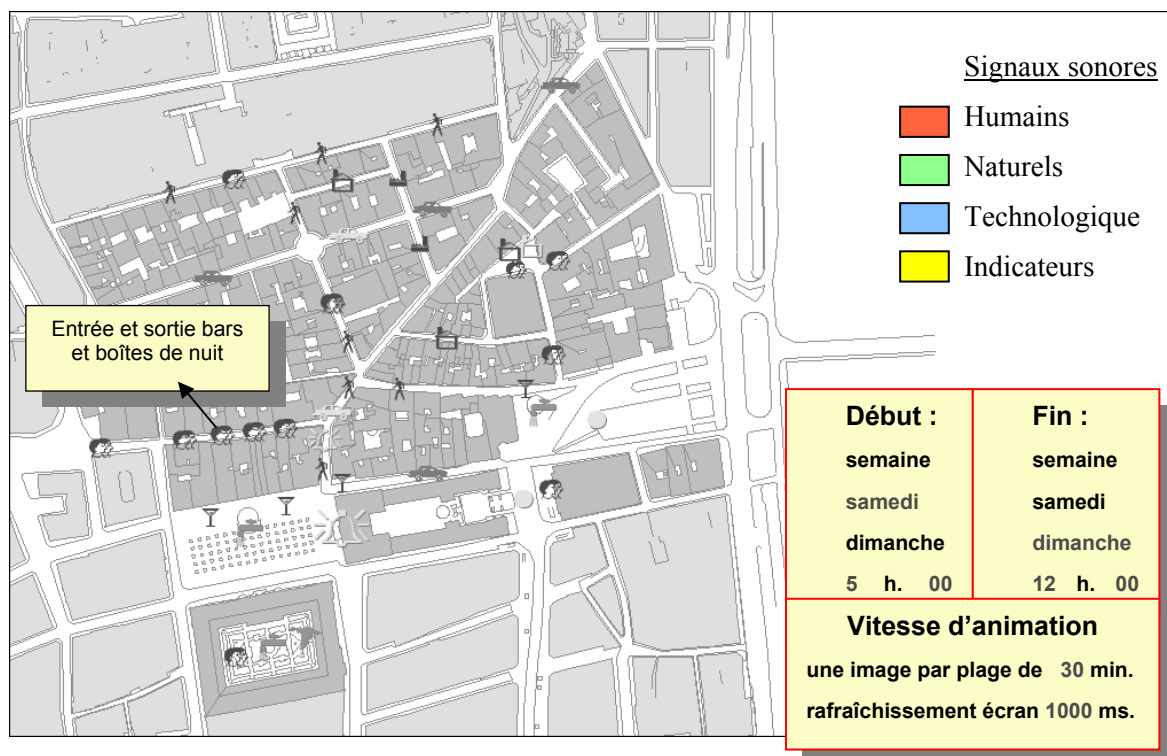


Figure 7 : Carte des Signatures sonores remarquables (avec animation). Cette carte regroupe les données relatives aux différents sons repérés (liens vers détails textuels) et à leurs périodes d'apparition. Elle peut donc être animée grâce un interface spécialement conçu.

La proposition d'un cadre théorique et méthodologique

Par un regroupement systématique des problèmes rencontrés, des résultats obtenus et des démarches entrevues tout au long de ces études, ce travail a également permis de proposer un premier cadre théorique et méthodologique pour la représentation des qualités de l'espace sonore humain. Nous présentons ci-dessous la première grille analytique qui indique les types d'informations à représenter en fonction des principales caractéristiques de l'espace sonore humain (découpage typologique élaboré sur la base des recherches actuelles sur les ambiances et de l'expérience pratique accumulée). D'autres tableaux plus détaillés reprennent ensuite chacune des notions abordées et proposent de multiples pistes de recherches quant aux éléments à représenter et à la manière de la faire pour rendre compte au mieux des informations sur la carte.

Tableau 1 : Organisation de la problématique relative à la cartographie de l'espace sonore humain.

	SON Signaux, fonds et critères sonores	ESPACE Formes, matérialités et espaces sonores	SOCIETE Faits, actions et perceptions
CARACTERISTIQUES			
PHYSIQUES	Mesures et/ou calculs acoustiques	Configurations géographiques	Informations statistiques
SEMANTIQUES	Signification des sons	Significations sonores de l'espace	Actions et perceptions sonores significatives
TEMPORELLES	Evolution des sons dans le temps	Evolution de l'espace dans le temps	Evolution temporelle des caractéristiques sociales
DE DISTRIBUTION	Situation des sons dans l'espace	Situation espace sonore / espace géographique	Situations spatiales des caractéristiques sociales
DE COMPOSITION	Organisation des sons entre eux	Organisation des espaces sonores entre eux	Organisation des caract. sociales entre elles

La complexité du tableau ci-dessus montre bien à quel point notre perception de la qualité sonore d'un site dépend de nombreux facteurs interdépendants les uns des autres. On remarque ainsi que notre jugement peut être influencé non seulement par des caractéristiques physiques (telles que le niveau de bruit, la fréquence, le temps de réverbération, etc.), mais aussi par des caractéristiques sémantiques telles que la signification des sons perçus (oiseaux ou sifflement d'un ivrogne), l'image mentale que l'on se fait de l'espace sonore concerné (parc ou carrefour), l'action que l'on est en train d'effectuer (repos ou préparation du repas), la sensibilité propre des individus (tolérance plus ou moins grande à tel ou tel contenu sémantique), etc. La temporalité joue naturellement aussi un rôle déterminant. Ceci non seulement en ce qui concerne l'évolution des sons dans le temps (moment d'émission, succession des séquences sonores, etc.), mais aussi en ce qui concerne l'évolution historique de l'espace et les modifications de sensibilité de la population (mémoire de la situation sonore précédente et remise dans ou hors contexte). Les caractéristiques de distribution permettent ensuite de situer les facteurs retenus dans l'espace et sur la carte, et celles de composition permettent de les organiser entre eux.

Conclusion

Ces recherches cartographiques ont permis d'aborder de nombreux aspects de la dimension sonore et de proposer de multiples modes de représentation novateurs permettant de traiter une grande partie des questions posées : intégration de la temporalité par codes graphiques et animation des cartes, ajout d'informations complémentaires par insertion de textes et de bandes son, croisement automatique de données différenciées et complémentaires par automatisations des cartes, etc.

Les cartes proposées ne doivent cependant pas être considérées comme des solutions définitives. Elles ne sont que des exemples destinés à faire avancer la recherche et sont naturellement susceptibles d'évoluer en fonction de la demande et des progrès. Le tableau théorique présenté ci-dessus constitue cependant un premier regroupement systématique de l'ensemble des problèmes rencontrés lors de la cartographie d'un espace sonore. Il permet ainsi non seulement de situer l'ensemble des cartes sonores réalisées à ce jour sur une problématique globale², mais surtout, par son développement méthodologique, il donne de nombreuses pistes et solutions pour aborder chacun des problèmes et pour les mettre en relation les uns avec les autres.

On voit dès lors l'intérêt que peut avoir un tel outil pour aborder la notion de confort sonore, celle-ci ne pouvant être appréhendée pleinement qu'au travers d'une analyse fine des qualités sonores du lieu considéré.

Bibliographie sommaire

ADOLPHE Luc (Dir.) : Ambiances architecturales et urbaines, Les cahiers de la recherche architecturale 42/43, Editions Parenthèses, Marseille, 1998, 251 p.

AMPHOUX Pascal : L'identité sonore des villes européennes, guide méthodologique, CRESSON, Ecole d'Architecture de Grenoble, et IREC, rapport n°117, EPFL, Lausanne, 1993, 2 vol.: 45 & 38 p.

ARLAUD Blaise : Vers une cartographie qualitative de l'environnement sonore urbain, Le quartier du Garet à Lyon, DEA, Université de Nantes, UMR 1563, CRESSON, Grenoble, 1996, 111 p.

ARLAUD Blaise : Vers une infographie de l'ambiance sonore urbaine, Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique de l'Université de Nantes, UMR 1563, CRESSON, Grenoble, 2001, 2 vol. 241 et 148 p., 2001

AUGOYARD Jean-François : Les qualités sonores de la territorialité humaine, Architecture et comportement, Vol 7, n°1, 1991, pp.13-24,

AUGOYARD Jean-François : L'environnement sensible et les ambiances architecturales, L'espace géographique n°4, Paris, 1995, pp. 302-318

AUGOYARD Jean-François, TORGUE Henry (Dir.) : Répertoire des effets sonores, Ed. Parenthèses, Marseille, 1995, 174 p.

² On voit par exemple que les cartes de bruit actuelles ne s'intéressent bien souvent qu'à deux des quinze aspects répertoriés (mesure et calcul acoustique ; situation des sons dans l'espace), alors que le SIG "Chaos" en aborde plus des trois quarts.

BALAYŸ Olivier et al. : Les indicateurs de l'identité sonore d'un quartier, contribution au fonctionnement d'un observatoire de l'environnement sonore à Lyon, Convention INGUL n° 95 03 046, CRESSON, Grenoble, INRETS, Lyon, 1997, 2 vol. : 109 & 122 p.

BALAYŸ Olivier et al. : La représentation de l'environnement sonore urbain à l'aide d'un Système d'Information Géographique, CRESSON, Grenoble, LISI, Lyon, 1999, 42 p.

BALAYŸ Olivier et ARLAUD Blaise : A Geographical Information System of the Qualitative Sound Environment, The GIS "Chaos", Proceedings Inter-Noise 2000, Nice, August 2000, , 4 p. (Published in abstracts and in CD-Rom by IN)

CHELKOFF Grégoire coord. : Bien être sonore à domicile, CRESSON, Grenoble, 1991, 213 p.

GROSJEAN Michèle, THIBAUD Jean-Paul (Dir.). : L'espace urbain en méthode, Ed. Parenthèses, Marseille, 2001, 266 p.

LEROUX Martine : Enquête auprès des municipalités sur la cartographie sonore, ML consultant, Paris, 1996, 54 p.

SCHAEFFER Pierre : Traité des objets musicaux, Ed. du Seuil, nouvelle éd., Paris, 1966, 703 p.

SCHAFER R. Murray : Le paysage sonore, Ed. J.C. Lattès, Fondation de France, 1979, 388 p.

Qualités de l'habitat vécu et motifs de déménagement : enquête à Meyrin

Roderick Lawrence et Frédéric Jacot-Guillarmod
Centre universitaire d'écologie humaine et des sciences de l'environnement
Université de Genève
e-mail : Roderick.Lawrence@cueh.unige.ch

Introduction

Qu'est-ce qui incite un habitant de Meyrin à quitter son logement ou, au contraire, à y rester? La diversité de choix de logements dans cette commune correspond-elle à la demande actuelle? Pour répondre à ces questions une étude a identifié et évalué les composantes qualitatives de l'habitat et les motifs de déménagement des habitants. L'enquête pilote menée à Meyrin a posé des questions ciblées afin de mieux comprendre les fondements de la mobilité résidentielle : par exemple

"Dans quelle mesure le souhait de déménager est-il lié à la qualité du milieu de vie, à la localisation du lieu de travail, aux taux d'imposition appliqués par les Cantons de Genève et Vaud ou à d'autres facteurs?"

La prise en compte de la mobilité résidentielle - notamment le parcours résidentiel et les motifs de déménagement des ménages et des individus - permet d'identifier le sens profond qui influence les stratégies en matière de déménagement. Cette démarche permet une réponse à des questions qui intéressent particulièrement les autorités de Meyrin à savoir:

"Quelles sont les caractéristiques socio-démographiques de la population enquêtée qui influencent le souhait de déménager?"

"Quelles sont les caractéristiques architecturales et urbanistique de la commune qui influencent le souhait de déménager?"

"Quels sont les problèmes cités par les habitants qui souhaitent déménager ?"

"Quels sont les aménagements souhaités par les habitants de Meyrin?"

Ce document présente les résultats de cette étude qui prend en compte les dimensions qualitatives de l'environnement local et de l'habitat selon les appréciations de la population résidente y compris le rapport qualité/prix, la localisation du logement par rapport au lieu de travail, les prestations de la commune et l'adéquation du logement aux niveaux et styles de vie de plus en plus diversifiés.

Méthode de l'étude

Une enquête a été réalisée selon un plan de sondage qui se base sur des données statistiques relatives au parc immobilier résidentiel et à la population de Meyrin de décembre 1998, fournies par l'Office cantonal de statistique de Genève. L'échantillon a été constitué de façon "semi-aléatoire" afin d'obtenir une bonne adéquation à la population résidente et au parc de logements de Meyrin.

Un questionnaire (avec des questions fermées et ouvertes) a été rempli soit au domicile des enquêtés, soit dans une salle mise à disposition par la Commune de Meyrin. L'analyse des

questionnaires a été réalisée au moyen d'un logiciel statistique et les données ont par ailleurs été reliées au fichier d'adresses du Système d'information du territoire genevois (SITG) afin de réaliser des représentations et des analyses cartographiques.

Des 510 personnes contactées, 205 ont répondu au questionnaire ce qui représente un taux de non-participation de près de 60%. Soulignons que plus d'un quart de non-participation est dû au fait que les personnes n'ont pas pu être contactées et que plus de 20% avaient déménagé. En conséquence, le taux de refus s'élève à 31% des personnes contactées et le motif le plus souvent invoqué est le manque de temps.

Cette enquête est donc limitée à un échantillon de 205 habitants. Le principal inconvénient d'un échantillon de si petite taille est le manque de représentativité mis en évidence lors de l'analyse des sous-populations car les résultats les concernant sont statistiquement peu significatifs. De ce fait, il est nécessaire de concevoir cette enquête comme un essai méthodologique afin d'établir si la démarche peut être ultérieurement appliquée à un échantillon plus large de la Commune de Meyrin ou à l'ensemble du Canton de Genève.

Résultats

Les résultats de l'enquête traduisent une satisfaction générale de l'habitant supérieure à 90%. Cependant, le souhait de déménager est exprimé par 26.8% des enquêtés.

Notons que parmi les 205 enquêtés, 46% habitaient déjà à Meyrin mais dans un autre logement. En outre, 75.5% de ceux qui désirent déménager mentionnent la commune de Meyrin comme destination souhaitée.

Les motifs incitant au déménagement sont multiples notamment :

- + 57.4% mentionnent les caractéristiques du logement
- + 32.2% citent le rapport qualité/prix de leur logement
- + 31.5% mentionnent les caractéristiques de l'immeuble
- + 29.6% critiquent la gérance et l'entretien de l'immeuble
- + 14.8% mentionnent les caractéristiques du quartier
- + 11.1% mentionnent les raisons de santé

tandis que l'imposition fiscale (5.6%), la fin d'une subvention personnelle (3.7%), la fin du statut de l'immeuble (1.9% et l'obligation de quitter le logement (.9%) sont beaucoup moins pertinents comme motifs de déménagement.

L'enquête montre que les habitants insatisfaits de leur logement, de leur immeuble ou de la Commune de Meyrin ont plus tendance à vouloir déménager et que parmi eux personne ne désire déménager dans le même immeuble.

Les jeunes (20-35 ans) ont nettement plus tendance à vouloir déménager que les plus âgés. Les personnes habitant depuis moins de 10 ans à Meyrin ou dans leur logement ont plus tendance à vouloir déménager, c'est surtout le cas pour ceux qui y résident de 2 à 5 ans.

Les propriétaires de résidences secondaires ont moins tendance à vouloir déménager que les autres.

Les étrangers ont plus tendance à vouloir déménager de même que les enquêtés ayant habité en ville.

Le temps de déplacement et le taux d'occupation ne sont pas discriminants.

Notons qu'on souhaite déménager plus souvent lorsqu'on habite un 2 pièces ou un 4 pièces, ou lorsque l'on ne possède pas de jardin ou de garage; lorsqu'on a moins de 2 pièces par personne ou lorsqu'on habite dans un appartement non-traversant également.

Les immeubles locatifs incitent plus au déménagement et le désir de déménagement est légèrement plus élevé chez les interviewés habitant des logements construits entre 1945 et 1969.

Les problèmes d'éloignement du centre ville, de bruit des voisins, des alentours de l'immeuble incitent au déménagement.

En outre, le vandalisme, l'esthétique de l'immeuble peuvent inciter au déménagement.

Parmi les 146 enquêtés ne désirant pas déménager plusieurs motifs sont indiqués :

- + 70.5% mentionnent leur attachement à Meyrin
- + 67.8% évoquent la bonne localisation de leur logement
- + 50% mentionnent le rapport qualité-prix
- + 45.1% expriment leur attachement affectif au logement
- + 21.2% se réfèrent à leurs parents habitant la commune de Meyrin
- + 10.3% ne trouvent pas d'autre logement adéquat disponible.

L'enquête montre que 79% des enquêtés mentionnent au moins un problème dans leur logement notamment des problèmes d'aménagements intérieurs (manque de placards et cuisines mal agencées dans plus de 40% des cas), suivis par des problèmes de bruit (de l'extérieur de l'immeuble et du voisinage, environ 30% des cas).

La satisfaction du logement est proportionnelle au nombre de pièces du logement.

La satisfaction est proportionnelle au nombre de façades du logement, à la possession d'un garage et d'un jardin.

La satisfaction est inversement proportionnelle à l'étage habité.

La rénovation, le fait d'avoir un balcon ainsi que la densité d'occupation n'ont pas d'incidence sur l'appréciation du logement.

La taille insuffisante, le loyer trop cher, la cuisine mal agencée, la salle de bains inadéquate, les problèmes d'aération, le rapport qualité/prix, le balcon non-utilisable et le manque d'armoires influencent fortement l'appréciation du logement, tandis que le manque de vue et le bruit des voisins l'influencent légèrement de même que le chauffage inadéquat; par contre le bruit à l'extérieur n'influence pas du tout l'appréciation du logement.

Les habitants des villas, fermes, maisons mitoyennes et appartements en copropriété sont nettement plus satisfaits de leur logement que les locataires habitant les grands immeubles. Notons que la satisfaction de l'immeuble est inversement proportionnelle au nombre d'étages de l'immeuble.

Les habitants peu ou pas satisfaits de leur logement mentionnent plus souvent des problèmes de parking, des alentours de l'immeuble, d'éloignement du centre ville, d'accès aux services médicaux, de vandalisme, de bruit des voisins, d'esthétique de l'immeuble et de pollution atmosphérique.

L'enquête montre que 84% des enquêtés mentionnent au moins un problème dans leur immeuble ou leur quartier. Près de la moitié de ceux-ci mentionnent des problèmes de bruit extérieur, viennent ensuite le vandalisme (30%) et la pollution atmosphérique (22%).

Les personnes âgées de plus de 50 ans ont tendance à être soit très satisfaites ou alors insatisfaites tandis que celles de moins de 50 ans sont plutôt satisfaites.

Le bruit de l'extérieur n'influence pas significativement l'indice de satisfaction de l'immeuble ou du quartier tandis que le vandalisme l'influence fortement. Il en va de même des problèmes de parking, de l'esthétique de l'immeuble, des alentours de l'immeuble, du sentiment d'insécurité, du bruit des voisins et du manque de contact.

En ce qui concerne l'appréciation de la commune notons que le bruit de l'extérieur, le manque de contact, le sentiment d'insécurité et la pollution atmosphérique ont une forte incidence sur le niveau d'appréciation de Meyrin. Soulignons ici que la nationalité, le statut professionnel et le temps de déplacement sont indépendants de l'appréciation de la Commune de Meyrin.

Synthèse et recommandations

Les résultats de l'enquête mettent en évidence les principes et faits suivants qui sont accompagnés de recommandations:

1. La qualité du milieu de vie (le logement, l'immeuble et ses alentours et la commune) joue un rôle fondamental dans l'appréciation des enquêtés et dans l'évocation des motifs de déménagement. En principe, la qualité du milieu de vie est un facteur déterminant qui l'emporte nettement sur les préoccupations fiscales. De ce fait, ***il est nécessaire d'intégrer des questions de qualité de l'habitat et de l'environnement local dans les politiques d'aménagement et de gestion de la commune.***

2. La persistance du taux d'inoccupation dans certains immeubles locatifs contribue à un manque à gagner pour les propriétaires et pour la commune. Le marché du logement genevois ne résoudra pas le problème des appartements vides dans certains immeubles construits à Meyrin entre 1960 et 1970. ***Il y a nécessité donc pour la Commune de Meyrin d'engager de nouvelles méthodes de "marketing" afin d'inciter les propriétaires d'immeubles à investir et les nouveaux habitants (les jeunes ménages surtout) à domicilier dans la commune.***

3. Il y a des liens étroits entre les types d'immeubles locatifs résidentiels, la gestion et l'entretien de ceux-ci et de leurs alentours, la présence d'un concierge habitant sur place et les dégradations avec des tags. Les dégradations des immeubles locatifs causées par les actes de vandalisme et le manque d'entretien représentent une perte en capital et contribuent au sentiment d'insécurité en réduisant l'appartenance au quartier. ***De ce fait, les politiques et projets immobiliers devraient être élaborés par des partenariats public-privé pour favoriser les investissements pour la rénovation et l'entretien du parc immobilier existant.***

4. La politique du logement mise en oeuvre à Genève a (involontairement) favorisé la concentration des ménages les plus économiquement vulnérables dans quelques grands immeubles locatifs. En conséquence certains immeubles locatifs ont progressivement été occupés par les populations étrangères les plus démunies. Cette tendance à Meyrin a été constatée et critiquée par les enquêtes. ***La Commune de Meyrin devrait lutter pour le maintien de la mixité sociale et culturelle dans les immeubles locatifs et contribuer ainsi à préserver la cohésion sociale de beaucoup de nationalités et le sentiment d'appartenance à la commune.***

Suite à ces principes directeurs nous recommandons la mise en oeuvre de certaines actions spécifiques par la commune de Meyrin afin d'améliorer la qualité du milieu de vie, notamment :

- Améliorer les aménagements des espaces externes autour des immeubles locatifs et intégrer les plantations entre les immeubles dépourvus d'éléments végétaux.
- Améliorer le système de parking afin de réduire les parkings "sauvages" autour des immeubles locatifs.
- Inciter la rénovation du parc immobilier locatif.
- Mener des campagnes contre le vandalisme et les tags sur les murs des immeubles.
- Améliorer la collecte de déchets et objets encombrants.
- Favoriser le maintien de la mixité sociale dans les immeubles locatifs.
- Encourager le maintien des commerces et services collectifs au village de Meyrin.
- Aider les associations de la commune à mettre en place les animations et les services pour les personnes âgées et les adolescents.

Indicateurs de l'habitat

Une série d'indicateurs quantitatifs et qualitatifs du parc immobilier résidentiel, de l'habitat et de la population de Meyrin peut être particulièrement utile pour l'identification des tendances et le repérage à temps des éventuelles tendances négatives (p.ex. vieillissement de la population, nombre d'immeubles avec plusieurs logements vacants sur la longue durée).

A cet égard nous proposons la formulation d'indicateurs selon les sujets-clés suivants:

- classes d'âge de la population
- durée d'habitation de la population
- parcours résidentiel de la population
- taille et composition du ménage
- taux d'occupation du logement
- type d'appartement (traversant, non traversant, 3 façades de jour)
- prolongements du logement (balcon, terrasse, jardin, parking, garage)
- manque de vue depuis l'intérieur du logement
- rapport qualité/prix du logement

- écarts entre les loyers dans un immeuble spécifique
- type d'immeuble (statut de propriété)
- taille d'immeuble (nombre de logements)
- mixité sociale de la population résidante des immeubles
- gestion et entretien d'immeuble et des alentours
- incidence de vandalisme
- esthétique d'immeuble et aménagement des environs
- bruit interne et externe perçu
- appréciation des services, commerces locaux
- animations pour les classes d'âge spécifiques
- aménagement routiers, infrastructures et transports
- lien centre-ville - commune (distances et temps de parcours)
- appréciation de la commune (changement au cours du temps)
- accès à une résidence secondaire.

Conclusion

L'enquête pilote à Meyrin nous révèle que l'appréciation et l'utilisation de l'habitat urbain sont complexes. Les données recueillies confirment que la qualité de l'habitat ne se réduit pas à la seule addition de l'appréciation de caractéristiques architecturales, urbanistiques et techniques de l'appartement, de l'immeuble résidentiel et du quartier. Il est nécessaire de prendre en compte des caractéristiques spécifiques de la population (notamment âge, catégorie socio-professionnelle, structure de ménage, cycles de vie, durée d'habitation et biographie résidentielle).

L'enquête confirme qu'il est temps de reconsidérer la manière de concevoir et de gérer les bâtiments résidentiels et leurs alentours. L'environnement construit sert de cadre pour des pratiques, des valeurs et des styles de vie de ménages et d'individus, qui font partie intégrante des aspects qualitatifs de l'habitat et des motifs de déménagement. Dans ce sens il est nécessaire aujourd'hui d'élargir le champ de référence utilisé couramment à Genève pour définir et étudier la notion de la demande qualitative du logement ainsi que les motifs de déménagement.

Etant donné que les résultats préliminaires sont intéressants, nous suggérons que notre démarche soit reproduite avec un échantillon plus large et représentatif, soit à l'échelle du canton, soit dans d'autres communes genevoises.

Note

Le contenu de ce rapport est issu d'une enquête effectuée par le Centre universitaire d'écologie humaine et des sciences de l'environnement de l'Université de Genève (CUEH) sur mandat de l'Office cantonal du logement du Canton de Genève et avec la participation de la Commune de Meyrin.

PROGRAMME

8h 45 *Bienvenue*, Willi Weber, directeur du CUEPE

I. Confort et Habitat

9h.00 *L'homme dans son environnement climatique, facteurs d'influence, thermorégulation, sensibilité et confort thermique*
Victor Candas, CEPA, CNRS, Strasbourg

9h.45 *Le confort ou la démocratisation du bien-être en question*
Lionel Engrand, Ecole d'architecture, Paris-Malaquais

10h.30 Pause

11h.00 *Du confort à la notion d'ambiance*,
Jean-François Augoyard, Laboratoire CRESSON, CNRS, Ecole d'architecture de Grenoble

11h.45 Questions

12h.15 Repas

II. Etudes de cas

14h.00 *La qualité de l'air intérieur à Genève, 10 ans d'expérience*,
Félix Dalang, Service cantonal de toxicologie, Genève

14h.30 *Confort d'été et énergie: une étude de cas à Genève*
B. Lachal, CUEPE, Université de Genève

15h *Le confort acoustique, étude de cas: une cartographie des ambiances sonores urbaines*
B. Arlaud, bureau G. Monay, Lausanne

15h.30 ***Pause***

15h.50 *Qualité de l'habitat vécu et motifs de déménagement: enquête à Meyrin*,
R. Lawrence, Université de Genève

III. Table ronde

16h.20 Avec la participation des orateurs et du public

17h.15 Vin d'honneur

LISTE DES PARTICIPANTS

ABOUBACAR	Fofana	Etudiant, IAUG	1227 Carouge	
AGGUERABI	Bachir	Etudiant, IAUG	1227 Carouge	
AMALDI	Paolo	IAUG	1227 Carouge	paolo.amaldi@archi.unige.ch
ANCAY	Camille	Service des bâtiments de l'Etat du Valais	1950 Sion	camille.ancay@admin.vs.ch
ANDRE	Séverine	Etudiante	1226 Thônex	severine_andre@hotmail.com
ARLAUD	Blaise	Bureau G. Monay	Lausanne	blaise.arlaud@monay.ch
AUGOYARD	Jean-François	Ecole d'architecture de Grenoble	F-38036 Grenoble	jean-francois.augoyard@grenoble.archi.fr
BARDE	Olivier	Tracés	1227 Carouge	
BASTIDE	Joan	Etudiante	1201 Genève	bastide0@etu.unige.ch
BAUMGARDT	Daniel		F-74270 Minzier	db@buss444.ch
BENMILOUD	Jhisane	Etudiant, IAUG	1227 Carouge	
BERTHOLET	Jean-Luc	CUEPE	1227 Carouge	jean-luc.bertholet@cuepe.unige.ch
BONVIN	Michel	Haute Ecole Valaisanne	1950 Sion	michel.bonvin@hevs.ch
BOSSON	Pierre	CIA	1211 Genève 8	pbosson@cia.ch
CALAME	Boris		1207 Genève	boris.calame@iprolink.ch
CALIMAN	Yannick	Etudiant	1202 Genève	ycaliman@bluewin.ch
CANDAS	Victor	CEPA du CNRS	F-67087 Strasbourg	victor.candas@c-strasbourg.fr
CASTRO	José	NAEF & Cie S.A.	1211 Genève 25	agnes.guyomar@naef.ch
CÊTRE	Jean-Pierre	IAUG	1227 Carouge	jean-pierre.cetre@archi.unige.ch
CHAPPAZ	Jacky	Office cantonal du logement	1211 Genève 3	jacky.chappaz@etat.ge.ch
CHUARD	Dominique	Sorane S.A.	1000 Lausanne	
COMPAGNON	Raphaël	Ecole d'ing. & d'arch. de Fribourg	1705 Fribourg	raphael.compagnon@eif.ch
DALANG	Félix	Service cantonal de toxicologie industrielle	1211 Genève 8	felix.dalang@etat.ge.ch
DOTTI	Cheryl	CUEPE	1227 Carouge	cheryl.dotti@cuepe.unige.ch
DUBOST	Jean-Max	DAEL - Direction des bâtiments	1211 Genève 8	jean-max.dubost@etat.ge.ch
ENGRAND	Lionel	Ecole d'architecture Paris-Malaquais	Paris, France	lionel.engrand@wanadoo.fr
FACCINI	Oreste	Office cantonal du logement	1211 Genève 3	oreste.faccini@etat.ge.ch

FAVRE	Michel		1018 Lausanne	
GARBELY	Myriam	CUEPE	1227 Carouge	myriam.garbely@cuepe.unige.ch
GENOUD	Stéphane	SwissElectricity.Com S.A.	1227 Genève	
GENTAZ	Claude	CUEPE	1227 Carouge	claud.gentaz@cuepe.unige.ch
HAEFELI	Peter	CUEPE	1227 Carouge	peter.haefeli@cuepe.unige.ch
HOLLMULLER	Pierre	CUEPE	1227 Carouge	pierre.hollmuller@cuepe.unige.ch
INEICHEN	Pierre	CUEPE	1227 Carouge	pierre.ineichen@cuepe.unige.ch
JAKOB	Martin	CEPE - Centre Energy Policy & Economics	8092 Zürich	martin.jakob@cepe.mavt.ethz.ch
JEANNERET	Cédric	Etudiant	1201 Genève	
JUVET	Daniel	Office cantonal du logement	1211 Genève 3	djuvet@infomaniak.ch
LACHAL	Bernard	CUEPE	1227 Carouge	bernard.lachal@cuepe.unige.ch
LAWRENCE	Roderick	CUEH	1211 Genève 4	roderick.lawrence@cueh.unige.ch
MAYER	Philippe	SIG, Maîtrise de l'énergie	1211 Genève 2	philippe.mayer@sig-ge.ch
MERMOUD	André	CUEPE	1227 Carouge	andre.mermoud@cuepe.unige.ch
NGUYEN	Cam-Lai	CUEPE	1227 Carouge	camlai.nguyen@cuepe.unige.ch
OTTET	Fabien	NAEF & Cie S.A.	1211 Genève 25	agnes.guyomar@naef.ch
PAMPALONI	Eric	CUEPE	1227 Carouge	eric.pampaloni@cuepe.unige.ch
PENUELAS	Laura		1227 Carouge	adasilva@perso.ch
RICHARD	Gil	SERISA Télébat S.A.	1170 Aubonne	sensa@swissonline.ch
ROL	Camille		1201 Genève	c.rol@bluewin.ch
ROYER	Jacques	CUEPE	1227 Carouge	jacques.royer@cuepe.unige.ch
SCHAFFTER	Marius		1201 Genève	nouhlys@freesurf.ch
SCHMID	Gérard	Eau Secours	1216 Cointrin	
WANG	Guodong	Etudiant, IAUG	1227 Carouge	
WEBER	Willi	CUEPE	1227 Carouge	willi.weber@cuepe.unige.ch
ZGRAGGEN	Jean-Marc	CUEPE	1227 Carouge	jmzgraggen@bluewin.ch