

# Economie d'énergie et confort thermique dans l'habitat en zone tropicale

Y. Jannot et T. Djiako

Département Energies pour le Développement Rural, Ecole Inter-Etats d'Ingénieurs, de l'Équipement Rural (E.I.E.R.), 03 BP. 7023 Ouagadougou 03, Burkina Faso

Reçu le 16 juin 1992; révisé le 8 février 1993

Une étude du confort thermique permet de définir des conditions d'ambiance acceptables par un sujet vivant en zone tropicale. On donne des recommandations architecturales et on préconise les matériaux de construction les mieux adaptés à chaque type de climat. On montre les limites de ces réponses et on dresse un inventaire des moyens de refroidissement complémentaires à utiliser dans certains cas: types d'appareils, coûts d'acquisition et de fonctionnement en zone tropicale. On souligne l'intérêt économique et écologique d'équipements simples tels que le ventilo-humidificateur.

(Mots clés: confort; pays chaud; équipement; économie d'énergie)

## Energy saving and thermal comfort for habitations in a tropical climate

A study of thermal comfort shows the climatic conditions acceptable by a subject living in the tropical zone. For each climatic group of that zone, architectural recommendations and the best local materials of construction are given. The limits of those solutions are described and an exhaustive list of complementary active equipment which can be used is given: equipment, acquisition price, maintenance costs and working cost in tropical zone. The economic and ecologic utilities of a single piece of equipment as the direct evaporative cooler are underlined.

(Keywords: comfort; hot country; equipment; energy saving)

La construction de locaux d'habitation représente une préoccupation importante pour l'économie des jeunes nations, particulièrement pour les pays du Tiers-Monde où des milliers de maisons individuelles ou collectives sont construites chaque année. Beaucoup de ces pays sont situés dans la zone intertropicale, cette dernière étant caractérisée par un fort ensoleillement, d'où leurs climats chauds et humides ou secs.

Le présent article a deux objectifs:

1. définir les critères fondamentaux à prendre en considération au niveau de la construction pour réduire les apports de chaleur dans l'habitat en zone tropicale;
2. donner des recommandations orientant le choix des équipements les mieux adaptés aux contraintes géoclimatiques et socio-culturelles locales.

### Le confort thermique

#### Les paramètres

Le confort thermique est une notion complexe dépendant de nombreux paramètres. Il peut être défini de la façon suivante: un individu est en situation de confort thermique lorsqu'il ne ressent de sensation ni de chaud ni de froid. Comme on parle d'un 'silence physiologique' lorsqu'on ne ressent pas le fonctionnement de nos

organes, on peut parler d'un 'silence climatique'.

Le confort thermique d'un individu dans une certaine ambiance dépend principalement des paramètres suivants:

$\theta$  = température de l'air

$e$  = humidité relative de l'air

$v$  = vitesse relative air/sujet

$\theta_r$  = température radiante moyenne (= moyenne de la température des parois)

$M$  = métabolisme (en W)

$R_v$  = résistance thermique du vêtement

où

(a) le métabolisme  $M$  (en W) d'un individu est l'énergie produite par son corps par unité de temps. On trouvera dans le *Tableau 1* quelques valeurs de  $M$  pour des activités courantes;

(b)  $R_v$  est la résistance thermique moyenne des vêtements dont on trouvera des valeurs moyennes dans le *Tableau 2*.

#### Evaluation de la qualité thermique d'une ambiance

Le problème est de déterminer la sensation thermique d'un individu de caractéristiques ( $M_{th}$ ,  $R_v$ ) dans une ambiance donnée ( $\theta$ ,  $\theta_r$ ,  $v$  et  $e$ ).

Les travaux menés par Fanger<sup>1</sup> permettent d'estimer la sensation thermique résultant des valeurs de ces six

**Tableau 1** Valeur de métabolisme pour quelques activités

Table 1 *Metabolism value for certain activities*

Activité	$M_{th}$ (W)
Sommeil	75
Assis au repos	110
Debout relax	130
Assis écriture	125
Vendeur debout	210

**Tableau 2** Valeur de la résistance thermique des vêtements

Table 2 *Thermal resistance value of clothes*

Tenue vestimentaire	$R_v$ ( $m^2 \text{ } ^\circ\text{C W}^{-1}$ )
Nu	0
Short	0,016
Tenue tropicale	0,047
Tenue d'été	0,078
Tenue de travail légère	0,124
Tenue d'intérieur d'hiver	0,155
Tenue de ville européenne	0,233

paramètres. Cette sensation s'exprime par le PMV (predicted mean vote - vote moyen prévisible):

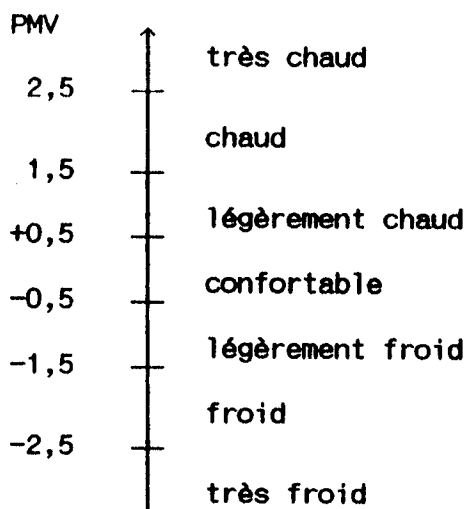
$$PMV = f(M_{th}, R_v, \theta, \theta_r, e, v)$$

dont la valeur permet d'évaluer la sensation thermique du sujet selon la correspondance indiquée dans *Figure 1* et reconnue internationalement.

Pour déterminer le PMV, connaissant les caractéristiques de l'ambiance et de l'individu, nous avons écrit<sup>2</sup> un programme 'Evaluation qualité thermique' figurant en annexe.

#### Phénomène d'acclimatation

L'expression de  $PMV = f(M_{th}, R_v, \theta, \theta_r, e, V)$  a été établie par Fanger à travers des expérimentations sur des individus habitués à vivre sous un climat tempéré ou



**Figure 1** Correspondance PMV/sensation thermique, d'après Fanger<sup>1</sup>

Figure 1 *PMV (predicted mean vote)/thermal feeling correspondence, according to Fanger<sup>1</sup>*

froid. Un sujet habitué à vivre dans des ambiances chaudes peut trouver supportables des niveaux de température plus élevés, comme l'a prouvé le travail de Lawson<sup>3</sup>. Nous considérons qu'un sujet acclimaté en zone tropicale peut trouver acceptable une ambiance correspondant à un PMV inférieur à 1,5 (compte tenu du niveau des températures en zone tropicale, nous ne nous intéressons qu'à la limite supérieure).

#### Influence relative des différents paramètres

A partir d'une situation de base: individu assis effectuant un travail de bureau ( $M_{th} = 125$  W), habillé en tenue d'été (pantalon + chemisette:  $R_v = 0,078$   $m^2 \text{ } ^\circ\text{C W}^{-1}$ ) dans l'ambiance suivante:  $\theta = 32$   $^\circ\text{C}$ ;  $\theta_r = 32$   $^\circ\text{C}$ ;  $e = 50\%$  et  $v = 0,5$   $m \text{ s}^{-1}$  conduisant à un PMV = 2,2 (chaud), nous allons faire varier successivement chacun des paramètres pour évaluer leur influence sur la sensation thermique.

#### Température

$\theta$ ( $^\circ\text{C}$ )	24	26	28	30	32	34	36
PMV	0,2	0,7	1,2	1,7	2,2	2,7	3,2

#### Température radiante

$\theta_r$ ( $^\circ\text{C}$ )	24	26	28	30	32	34	36
PMV	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6

Notons qu'un écart supérieur à 3  $^\circ\text{C}$  entre  $\theta$  et  $\theta_r$  peut conduire à une situation d'inconfort (cas des plafonds en période de fort ensoleillement).

#### Vitesse de l'air

$V$ ( $m \text{ s}^{-1}$ )	0	0,1	0,3	1	1,5
PMV	2,4	2,3	2,2	2,1	2,1

La vitesse de l'air doit être limitée à 1,5  $m \text{ s}^{-1}$ . Une vitesse supérieure à 0,5  $m \text{ s}^{-1}$  peut provoquer une gêne (les feuilles s'envolent).

#### Humidité relative de l'air

$e$ (%)	5	20	40	50	60	80	100
PMV	1,7	1,8	2,1	2,2	2,3	2,5	2,8

L'humidité relative doit être comprise entre 30% et 80%: en-dessous de 30% (cas de Ouagadougou en saison sèche), il se produit une irritation des muqueuses et au-dessus de 80% on peut observer une gêne respiratoire.

#### Résistance du vêtement

$R_v$ ( $m^2 \text{ } ^\circ\text{C W}^{-1}$ )	0,016	0,047	0,078	0,124	0,155
PMV	1,8	2,04	2,2	2,3	2,4

Métabolisme

$M_{th}$ (W)	75	110	125	130	210
PMV	2,1	2,2	2,2	2,2	2,4

Conclusion

Les résultats obtenus nous permettent de dégager les conclusions suivantes:

1. Le paramètre sur lequel il faut agir prioritairement est la température de l'air: il faut donc limiter les apports de chaleur à travers les murs et le toit des habitations, mais à partir d'une certaine température extérieure, l'utilisation d'un moyen actif de refroidissement (évaporation d'eau ou climatisation) sera nécessaire à certaines heures de la journée.
2. Il est également possible d'agir sur la température radiante moyenne en isolant le plafond qui est un véritable radiateur en période chaude.
3. L'utilisation d'un ventilateur pour augmenter la vitesse de l'air réduit la contrainte thermique sans permettre d'atteindre le confort si  $\theta > 32^\circ\text{C}$ .
4. L'augmentation de l'humidité de l'air conduit à un inconfort accru, ce qui est sensible en saison humide.
5. La diminution de la résistance du vêtement et du métabolisme est insuffisante pour atteindre le confort si  $\theta > 32^\circ\text{C}$ .

Nous retiendrons de cette étude que la température de l'air et des murs ne devra pas dépasser  $32^\circ\text{C}$  en période sèche et  $30^\circ\text{C}$  en saison humide. Au-delà de ces limites, la simple ventilation ne suffit plus pour assurer le confort. On cherchera également à maintenir l'humidité relative entre 30% et 80%.

Construire avec le climat

Les climats tropicaux

Dans la zone intertropicale, on distingue essentiellement deux types de climats: le climat tropical sec et le climat tropical humide (Figure 2). En Afrique, les grandes diversités géoclimatiques et socio-culturelles permettent d'affirmer qu'il ne peut y exister un modèle commun d'habitat bioclimatique (adapté au climat). Cependant, pour chacune des différentes familles climatiques, il est possible de dégager un certain nombre d'observations spécifiques permettant de réduire, de manière passive, les apports de chaleur dans l'habitat<sup>4-6</sup>. La réduction effective des charges par voie passive dépendra surtout du niveau de maîtrise des techniques de constructions locales et des matériaux utilisés.

Matériaux locaux et techniques de construction

En Afrique, les constructions anciennes prenaient bien en compte les contraintes du climat tout en associant à l'architecture une organisation spatiale adaptée aux traditions locales. Aujourd'hui, on assiste de plus en plus à une certaine standardisation des constructions qui consiste à construire 'en dur' (mortier de parpaing creux) et à installer une toiture en tôle ondulée (aluminium ou

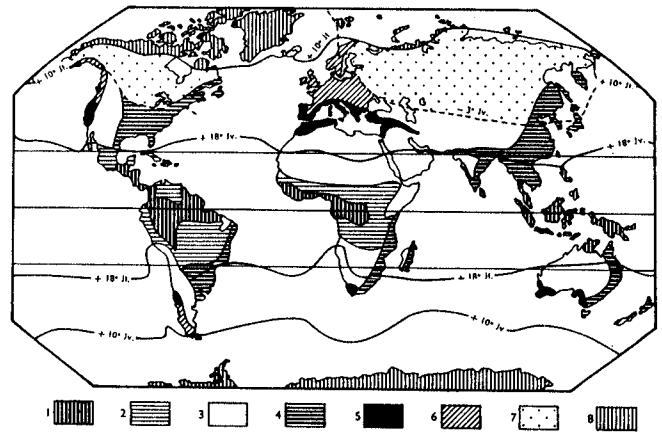


Figure 2 Zones thermiques de Köppen et domaines climatiques: 1. Tropical humide (pluviusive); 2. Tropical à saison sèche (savane); 3. Désertique; 4. Tropical et tempéré des façades orientales des continents; 5. Méditerranéen; 6. Tempéré des façades occidentales; 7. Continental; 8. Polaires

Figure 2 Köppen thermal zones and climatic fields

tôle d'acier galvanisé) avec un comble non ventilé - sans s'inspirer du patrimoine traditionnel, négligeant les matériaux locaux, et ignorant complètement les contraintes climatiques environnantes. Cette manière de procéder s'est développée à cause d'un manque de fiabilité dans le traitement des matériaux locaux, bien que, d'une manière générale, ces derniers aient une meilleure réponse thermique (Tableau 3).

La bonne maîtrise du savoir-faire actuel et l'indisponibilité de matériaux locaux compétitifs constituent un frein déterminant à toute modification de fond dans les techniques de construction actuelles, malgré des coûts de construction élevés et un alourdissement des charges thermiques dû à l'incompatibilité par rapport au climat.

Ce constat ne constitue pas un frein à l'élaboration d'habitats bioclimatiques, mais une donnée à prendre en considération dès la conception d'un habitat moderne adapté au climat.

Adaptation de la construction au climat

Le rayonnement solaire est l'une des principales sources d'échauffement de l'habitat: lorsque ce rayonnement est transmis directement au local, on observe une augmentation immédiate de la température ambiante interne; il s'avère donc nécessaire de diminuer, d'une part, l'exposition de la maison et, d'autre part, de protéger efficacement les surfaces exposées.

L'analyse des trajectoires solaires fait apparaître la nécessité de construire de préférence des maisons allongées de l'Est à l'Ouest (c'est-à-dire que les grandes façades de la maison seront orientées Nord ou Sud); les surfaces vitrées seront systématiquement protégées par des lames ou d'autres systèmes brise-soleil: systèmes verticaux (saillies) ou systèmes horizontaux (projections, balcons, etc). Ces ouvertures seront principalement sur les façades Nord ou Sud. Les systèmes d'occultation extérieurs vus précédemment s'avèrent beaucoup plus efficaces que les systèmes intérieurs (draperies, rideaux, etc). Pour les façades Nord ou Sud, les avancées ou d'autres éléments horizontaux sont beaucoup plus effi-

Tableau 3 Réponse thermique des éléments structuraux d'une maison traditionnelle en zone tropicale, extrait de référence 7

Table 3 Thermal response of structural components of a traditional house in a tropical climate

Matériau	Réponse Thermique		Poids		Durée de vie	
	Climat chaud et humide	Climat très chaud et sec	lourd	léger	suffisante	insuffisante
Toits						
Matériaux végétaux	bonne	bonne		×		×
Argile	mauvaise	bonne	×			×
Argile stabilisé	mauvaise	bonne	×		×	
Brique plate	bonne	bonne	×		×	
Tuile	bonne	bonne	×		×	
Bois	bonne	mauvais		×		×
Béton	mauvaise	mauvaise	×		×	
Tôle ondulée	mauvaise	mauvaise		×	×	
Tôle en fibrociment	bonne	mauvaise		×	×	
Murs						
Pierre	mauvaise	bonne	×			
Adobe	médiocre	bonne	×			×
Torchis, pisé	médiocre	bonne	×	×		×
Argile stabilisée	bonne	bonne	×		×	
Bois	bonne	médiocre		×		×
Béton	bonne	mauvaise	×		×	
Élément préfabriqué et léger	bonne	mauvaise		×	×	
Élément préfabriqué et lourd	mauvaise	bonne	×		×	

caces; les lames horizontales mobiles et les avancées de toit y seront recommandées; les toitures devront être à double pente par rapport à l'horizontale, avec des faîtières orientées Est-Ouest. Sur les façades Est ou Ouest, les ailerons ou d'autres systèmes verticaux seront très utiles.

Les masses d'air en mouvement dans le proche environnement du site doivent pouvoir contribuer au refroidissement du local par une intégration harmonieuse des effets de coin, venturi, de pilotis ou de rouleau<sup>8</sup>.

Après l'étude de la maison proprement dite, il est important d'analyser l'influence de la végétation autour de la maison, ainsi que l'effet du sol sur le comportement thermique de ce local. Hormis la purification de l'air, la végétation permet une diminution très significative de la température de l'air. Cette végétation doit donc être aussi abondante que possible mais en prenant des précautions pour éviter la présence d'animaux indésirables (serpents, etc.). Les plantes épousant les murs (par exemple du lierre grimpant) sont aussi très efficaces car elles permettent une réflexion de 20% à 30% du rayonnement solaire, cette réflexion étant associée à une évacuation (par évapotranspiration) de la chaleur stockée dans le feuillage. Quant au sol, bien qu'il soit un mauvais isolant thermique, sa résistance thermique augmente avec sa profondeur. En pays chauds, les parois du bâtiment en contact avec le sol constitueront une source de climatisation, surtout si ces parois ne sont pas isolées. Cependant, lors du rayonnement du soleil, la réflexion du sol vers les parois de la maison n'est pas négligeable, d'où la nécessité d'y planter des arbustes qui réfléchiront peu d'énergie tout en en dissipant une grande partie.

Généralement, en Afrique ou ailleurs, les maisons sont construites le long des rues. Les autorités devraient donc

privilégier une orientation Est-Ouest des rues afin de permettre aux habitants de construire des maisons présentant une très faible surface d'exposition dans l'axe Est-Ouest. Les arbres doivent être prioritairement plantés du côté Ouest afin de se protéger du coucher du soleil. Quant à l'organisation interne de la maison, le garage ou le magasin sera situé du côté Est, tandis que la véranda, la salle de séjour ou la cuisine seront du côté Nord ou Sud. On optimisera la forme, l'orientation et la hauteur de la maison et de ses ouvertures. D'après une étude de Kusuda et Ishi<sup>9</sup>, le plan carré constitue l'optimum quelle que soit la latitude du site; cependant, pour des sites situés aux basses latitudes, les rectangles allongés constituent un compromis bien compétitif<sup>10,11</sup> et très souvent utilisé dans la pratique quotidienne. Enfin, le rayonnement solaire étant beaucoup plus intense sur une surface horizontale que sur une surface verticale, une attention particulière devra être accordée aux toitures: il est possible de réduire les apports de chaleur par le toit en isolant les combles (pose de laine de verre) ou encore en recouvrant la face extérieure d'une toiture en tôle de peinture blanche, technique utilisée dans l'île de la Réunion. Elle permet de réduire de 50% les apports de chaleur à travers la toiture par rapport à une toiture en tôle galvanisée.

En conclusion, on a montré que l'architecture est une technique très variable selon les climats. On s'est intéressé aux critères permettant de réduire l'échauffement des locaux en régions chaudes. Les différents critères présentés doivent toujours être réaménagés en fonction des contraintes réelles du site. Par exemple, la ventilation naturelle, non associée à d'autres techniques (humidification, filtre à sable, etc.), serait hasardeuse en zone sahélienne car la maison serait exposée à la pénétration

d'air très chaud ou à l'engouffrement de vents de sable. Il est aussi nécessaire d'éviter toute exagération lors de la mise en oeuvre de ces critères.

### Nécessité de refroidissement par des systèmes actifs complémentaires

#### Limite des réponses architecturales

Le choix des matériaux et du type de construction les mieux adaptés à un climat donné permet de se rapprocher des conditions de confort à l'intérieur des habitations, sans toutefois être suffisant sous certaines conditions climatiques particulièrement sévères.

Considérons, à titre d'exemple, le mois d'Avril à Ouagadougou. La température extérieure moyenne est de 33,3 °C. En l'absence de système actif de refroidissement, une maison bien conçue permettra au mieux d'obtenir une température intérieure moyenne de 33,3 °C, supérieure à la limite de confort, et même sans doute plus en raison des inévitables dégagements de chaleur interne (personnes présentes, éclairage et appareils électriques, cuisson des repas, etc.). Quel que soit le type de matériau utilisé, la température intérieure sera supérieure à 33,3 °C à un moment ou à un autre de la journée (on pourra simplement diminuer l'amplitude et déphaser la charge thermique par rapport à l'extérieur en utilisant un matériau lourd comme la brique en terre). Pour rester dans les conditions de confort à cette période de l'année, il faudra utiliser un moyen actif de refroidissement.

Nous allons ci-après dresser l'inventaire des moyens disponibles et en donner les principales caractéristiques.

#### Les moyens actifs de refroidissement

**La ventilation.** Elle permet d'améliorer la sensation thermique en augmentant la vitesse de l'air autour du sujet. Elle devient insuffisante si la température de l'air dépasse 32 °C pour un air sec et 30 °C pour un air humide. On peut utiliser:

- (a) un ventilateur de plafond (coût = 25 000 FCFA, consommation électrique = 70 W). Il est d'autant plus efficace que la hauteur sous plafond est importante;
- (b) un ventilateur sur pied (coût et consommation identique au précédent). Il couvre une moins grande surface que le plafonnier mais possède l'avantage d'être mobile;
- (c) un ventilateur de bureau (de forme carrée) (coût = 20 000 FCFA, puissance électrique = 65 W). Très intéressant dans une chambre où on le posera sur une fenêtre ouverte la nuit. Ce mode d'utilisation permet d'obtenir une amélioration importante du confort par rapport à l'utilisation des autres types de ventilateurs, l'air extérieur étant plus frais que l'air intérieur entre 19 et 07 h. Il est également recommandé d'ouvrir toutes les fenêtres (à munir de moustiquaires) à partir de 19 h afin de profiter de cet écart pour assurer une ventilation même légère (dépend de la vitesse du vent) du local.

**La ventilo-humidification.** Procédé décrit en détail dans<sup>12</sup>, il s'agit de faire subir à l'air une humidification qui s'accompagne d'un refroidissement d'autant plus impor-

tant que l'air est sec; son schéma de principe est donné sur la Figure 3. Ce procédé est particulièrement efficace sous un climat tropical sec. Associé à des mesures passives (isolation du plafond et protection solaire des murs), il permet, sous ce type de climat, d'atteindre pratiquement le confort thermique tout l'année.

Six appareils ont été réalisés à l'EIER et placés chez des particuliers qui les ont tous achetés après une période de test de deux mois en saison chaude. Leur consommation électrique varie entre 90 et 150 W selon le débit d'air; leur consommation maximale en eau est de 2,5 m<sup>3</sup> mois<sup>-1</sup> en saison chaude. Un artisan a débuté une production locale à Ouagadougou.

**La climatisation.** Pour la climatisation des locaux d'habitation, on utilise généralement les climatiseurs-fenêtre, les climatiseurs à éléments séparés ('split-system'), les armoires de climatisation ou enfin les centrales de climatisation.

Les climatiseurs-fenêtre sont des appareils monoblocs, compacts, à refroidissement à air; ils sont couramment utilisés pour le refroidissement d'une pièce de surface au sol variant de 20 à 60 m<sup>2</sup> environ, soit 50 à 200 m<sup>3</sup> de volume. Leur installation nécessite un trou d'environ 0,25 m<sup>2</sup> dans le mur; ils sont peu bruyants dans les constructions les plus récentes.

Les climatiseurs à éléments séparés sont des appareils beaucoup plus silencieux et plus esthétiques que les climatiseurs-fenêtre. Ils sont constitués d'un caisson de traitement placé à l'intérieur du local à climatiser et d'un caisson de condensation à l'extérieur (ou dans une pièce bien ventilée); ces deux caissons sont reliés par des tubes frigorifiques préchargés en frigorigène, ce qui simplifie leur installation, d'autant plus qu'il n'y a qu'un tout petit trou à faire dans le mur. Ce type d'appareil présente une très grande souplesse d'exploitation car l'implantation peut se faire en plafonnier ou en allège, le soufflage pouvant être vertical ou horizontal, et enfin la reprise en facade ou inférieure. A puissance égale, les climatiseurs à éléments séparés coûtent plus cher que les climatiseurs-fenêtre.

Les armoires permettent la climatisation de plusieurs pièces, la distribution de l'air traité étant effectuée à travers un système de gaines et de bouches de soufflage et de reprises.

Enfin, la climatisation centrale est souvent utilisée lorsqu'on souhaite refroidir un ensemble de bureaux. La forte puissance calorifique à évacuer au condenseur impose alors un refroidissement par l'eau avec généralement une tour de refroidissement.

Le Tableau 4 présente quelques données techniques sur les équipements courants disponibles sur le marché local. Hormis les coûts d'acquisition très élevés par rapport aux

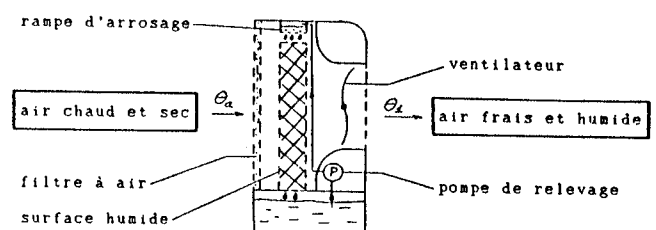


Figure 3 Schéma de principe d'un ventilo-humidificateur  
Figure 3 Diagram of a fan-humidifier

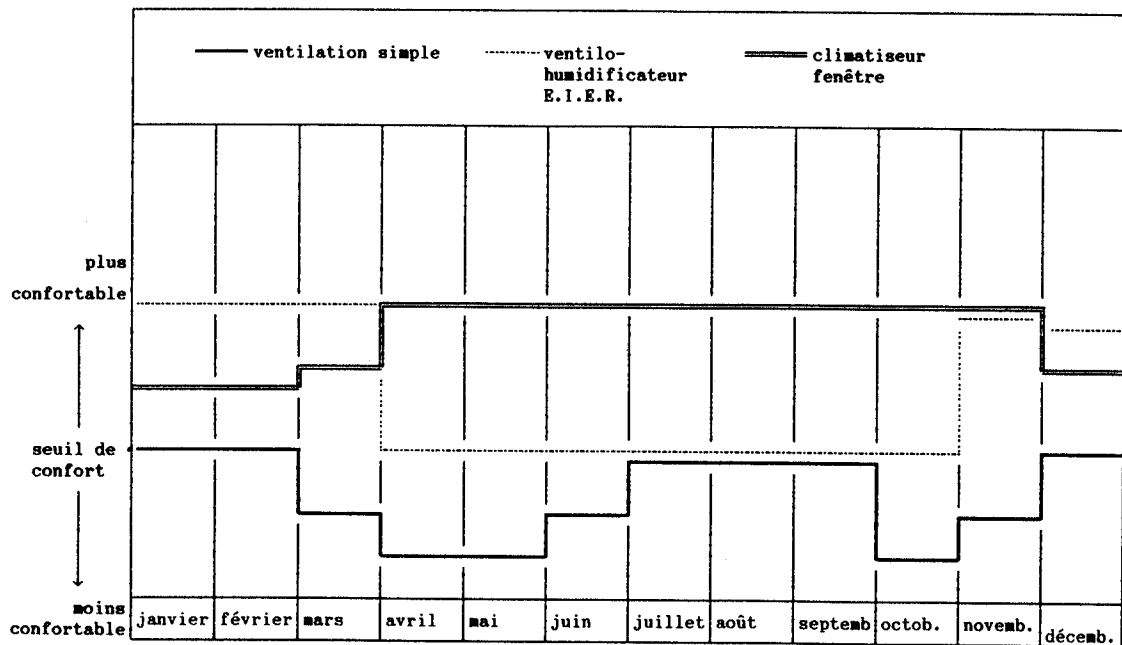
**Tableau 4** Caractéristiques des équipements disponibles sur le marché local

Table 4 Features of equipment available on the local market

Caractéristiques	Types d'appareils			
	Climatiseur-fenêtre	Split-system	Armoire de climatisation	Climatisation centrale
Puissance (W)	350 à 2200	900 à 5500	2200 à 15 000	2200 à 18 500
Production frigorifique (W)	1400 à 7000	2650 à 23 000	10 500 à 70 000	> 11 500
Consommation électrique horaire (kW h) <sup>a</sup>	1 à 4	1,2 à 8	3 à 30	> 2,5
Débit-volume d'air traité (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> )	250 à 1200	500 à 4800	200 à 15 000	> 2500
Prix d'achat <sup>b</sup> (approximatif) Ouagadougou-Burkina Faso FCFA-TTC	250 000 à 450 000	600 000 à 2 000 000 environ	> 2 000 000	> 15 000 000

<sup>a</sup> Le kilowatt-heure coûte 80 FCFA à Ouagadougou

<sup>b</sup> 1 FF (Franc Français) = 50 FCFA



**Figure 4** Evaluation qualitative du confort obtenu avec différents équipements en zone tropicale sèche (cas de Ouagadougou)

Figure 4 Qualitative evaluation of comfort obtained with different equipment in a dry tropical area (such as Ouagadougou)

pouvoirs d'achat locaux, leur exploitation occasionnera des factures d'électricité très lourdes. L'entretien préventif, d'ailleurs souvent négligé par les utilisateurs, ou la maintenance corrective entraînent des coûts exorbitants, et bien souvent en pure perte car les techniciens locaux n'ont parfois ni la qualification requise, ni le matériel de travail adéquat.

#### Critères de choix

La sélection du système complémentaire le mieux adapté à chaque cas de figure est un problème bien complexe car, hormis les critères de choix très nombreux, la priorité attribuée aux différents paramètres dépendra de l'acquéreur. Les critères les plus accessibles sont: la qualité du

confort obtenu, la fiabilité du matériel et son coût global (investissement + exploitation + entretien). Cependant, on constate, dans la pratique quotidienne, que le coût d'investissement s'avère être le paramètre prépondérant bien que les contraintes économiques actuelles obligent à accorder une importance de plus en plus grande aux coûts d'exploitation car le prix du kilowatt-heure reste très élevé dans les Pays En Développement. D'une manière générale, on constate que les climatiseurs mécaniques (fenêtre, split, etc.) sont utilisés par une très faible minorité de la population (classe sociale aisée); or l'élévation constante du niveau de vie de la très vaste classe sociale moyenne a accru leurs exigences dans la recherche du confort, d'où la nécessité de développer de nouveaux équipements correspondant mieux au pouvoir

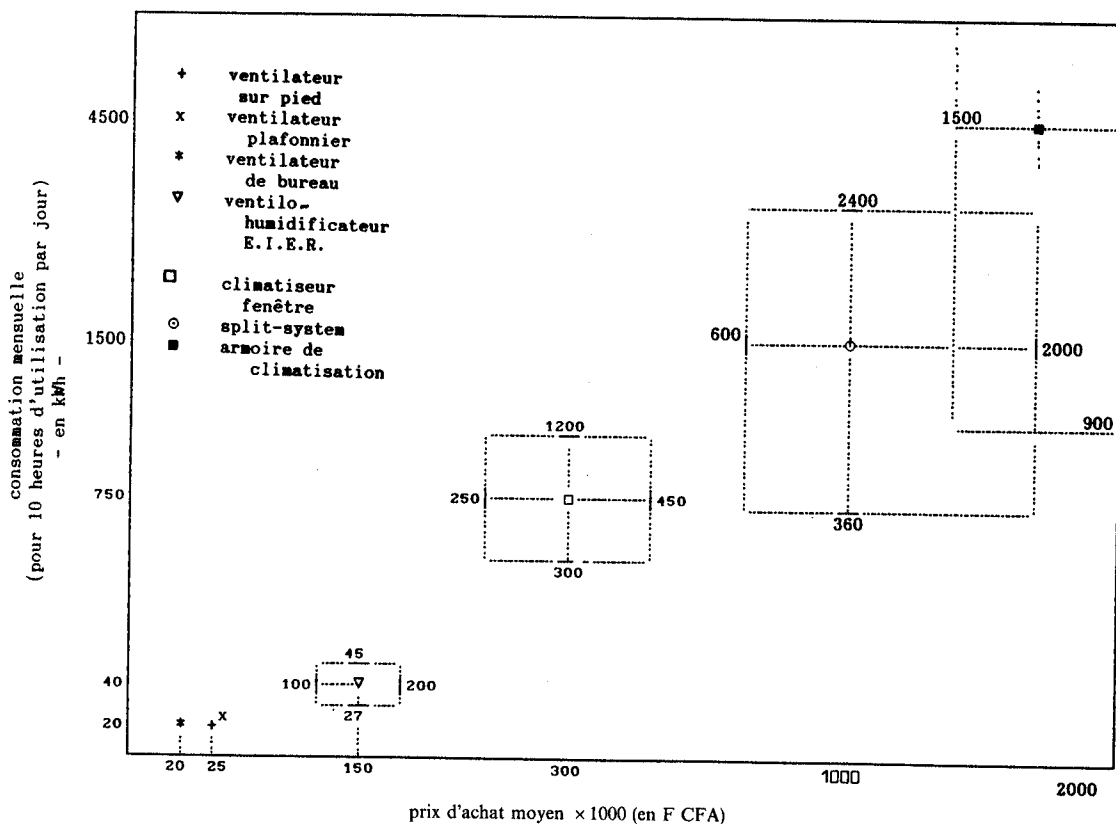


Figure 5 Estimation des charges liées à l'acquisition et à l'exploitation de quelques équipements courants  
 Figure 5 Evaluation of loads for the purchase and operation of some common equipment

financier effectif de ces populations à revenu intermédiaire. Les Figures 4 et 5 permettent de positionner, pour les appareils les plus courants, la qualité du confort obtenu ainsi que les contraintes financières conséquentes.

### Conclusion

A travers sa contribution au bien-être des populations, le confort thermique participe activement au processus de développement économique des nations. Dans les pays tropicaux, la température ambiante très élevée constitue la principale source d'inconfort, d'où la nécessité de penser au refroidissement du local dès sa conception. De manière générale, les techniques passives permettent de se rapprocher des conditions de confort, l'obtention du confort effectif étant conditionné par l'utilisation d'un équipement complémentaire.

L'analyse rigoureuse des contraintes climatiques locales permet de mettre en évidence de nombreuses possibilités d'élaboration d'équipements simples et performants, procurant un confort qualitativement correct. Il est important de signaler que les climatiseurs-fenêtre, les climatiseurs à éléments séparés, les armoires et les centrales de climatisation utilisent des fluides halogénés (R22, R502) actuellement en cours d'interdiction afin de protéger la couche d'ozone; cette situation crée une certaine incertitude sur l'avenir du marché des climatiseurs, malgré de nombreuses recherches sur les fluides de substitution.

Il paraît donc évident que les équipements simples comme le ventilo-humidificateur (technologiquement simple, pas de frigorigène sous pression, consommation électrique faible, acquisition et entretien à la portée des

populations locales, etc.) constituent une alternative déterminante pour l'avenir.

### Références

- 1 Fanger, P. O. *Thermal Comfort*, McGraw Hill, New York, 1973
- 2 Jannot, Y. Production d'eau, d'air frais et conservation des produits par des procédés solaires rustiques *Thèse de Doctorat INPL*, Nancy, 1991
- 3 Lawson, F. Evaluation du confort thermique dans l'habitat individuel à Ouagadougou *Mémoire de fin d'Etudes EIER Ouagadougou*, 1991
- 4 Kukreja, C. P. *Tropical Architecture* Tata McGraw-Hill, New Delhi, 1978
- 5 Dreyfus, J. *Le Confort dans l'Habitat en Pays Tropical* Eyrolles, Paris, 1960
- 6 Olgyay, V. *Bioclimatic Approach to Architecture Proceeding of Housing and Building in Hot-Humid and Hot-Dry Climates* Building Research Advisory Board, NRC-NSF BRAB Conference report N° 5, Washington, November 1952
- 7 Mayer, E. Matériaux traditionnels et techniques de climatisation passive en Amérique latine *Bulletin technique de l'Association Vénézuélienne d'énergie solaire AVES*, Caracas, 1982
- 8 Izard, J. L., Guyot, A. *Archi bio* Editions parenthèses, Paris, 1979
- 9 Kusuda, T., Ishii, K. *Hourly Solar Radiation Data for Vertical and Horizontal Surfaces on Average Day in the United States* NBS Building, Sciences Series 96, Washington DC, 1977
- 10 Mayer, E. Use of geoclimatic data for the determination of buildings characteristics *Solar World Congress, ISES Vol. 1*, Pergamon Press, Perth, 1984, p 532
- 11 Djako, T. Contribution à l'estimation du gisement solaire et à la modélisation thermique de l'habitat dans l'environnement climatique et socio-culturel du Cameroun *Thèse de Doctorat Université de Paris VII*, Paris, 1987
- 12 Jannot, Y. Procédés économiques d'amélioration du confort thermique dans l'habitat existant en zone tropicale sèche *Bulletin Technique EIER Ouagadougou*, 1992

**Annexe: programme 'évaluation de la sensation thermique'**

```
10 PRINT "EVALUATION DE LA SENSATION THERMIQUE"
20 INPUT "METABOLISME: Mth (W) = "; MTH
30 INPUT "RESISTANCE VETEMENTS: Rv(m2°C/W) = "; RV
40 INPUT "TEMPERATURE AIR: T(°C) = "; T
50 INPUT "TEMPERATURE RADIANTE: Tr(°C) = "; TR
60 INPUT "VITESSE AIR v(m/s) = "; V
70 INPUT "HUMIDITE RELATIVE AIR e(%) = "; EA
80 IF V <= .1 THEN LET HCV = 3.4
90 IF V > .1 THEN LET HCV = 12.06 * V .5
100 HRY = 5.75
110 TC = 35.7 - .0153 * MTH
120 INPUT "POSITION (0 = assis; 1 = debout) :"; P
130 IF P = 1 THEN GOTO 190
140 INPUT "TYPE SIEGE (0 = chaise; 1 = fauteuil) :"; S
150 IF S = 0 THEN LET RV = *1.2
160 IF S = 1 THEN LET RV = RV * 1.4
170 FP = .696
180 GOTO 200
190 FP = .725
200 ESD = .42 * (MTH - 105) : FV = 1 + .77 * RV : A = 10.35 * FP * FV
210 TV = (HCV * FV * T + HRY * FV * FP * TR +
    TC / RV) / (HCV * FV + HRY * FV * FP + 1 / RV)
220 IF V < .1 THEN LET HCV = 2.38 * (TV - T) + .25
230 ECV = HCV * 1.8 * FV * (TV - T)
240 ERY = HRY * 1.8 * (TV - TR) * FP * FV
250 CO = - (.022 * MTH + 6.5) * .01 * EA + .123 * MTH + 32.5
260 C1 = .0038 * EA - (1.1 * MTH + 40) * .001
270 C2 = - .00041 * EA
280 E = CO + C1 * T + C2 * T ^ 2
290 ET = ECV + ERY + E + ESD
300 D = MTH - ET
310 PMV = (.303 * EXP(-.0361 * MTH / 1.8) + .028) * D / 1.8
320 PRINT "PMV = "; PMV
330 END
```