



# MEMOIRE DE FIN D'ETUDES 1997

Présenté par :

N'TAKPE Rochereau T.

## CLIMATISATION D'UN IMMEUBLE D'HOTEL A TROIS ETOILES A OUAGADOUGOU

MENTION :

E. I. E. R.
Inregistré à l'arrivée
le _____ 31/8/97

Encadrement  
T. DJAKO

## REMERCIEMENTS



Messieurs **T. DJIAKO** et **Y. COULIBALY** enseignants à l'EIER, ont été dans une large mesure, d'un support inestimable dans la conduite de nos travaux. Nous les prions de bien vouloir trouver ici notre plus vive gratitude

Nous remercions également la **SEEE-BURKINA** qui, bien que n'ayant malheureusement, pour des raisons diverses, pu répondre à toutes nos attentes, a démontré à notre égard son esprit de partage.

A tous les **enseignants de l'EIER**, nous adressons nos remerciements les plus sincères pour la qualité de la formation reçue.

Nos insuffisances en matière de climatisation ont été quelque peu comblées par les **stagiaires de la filière Génie Energétique et Froid Industriel (GEFI)** de l'EIER (promotion 1996-1997). Qu'ils trouvent ici l'expression d'une grande reconnaissance.

Nos remerciements vont également à l'endroit de:

-tout le **personnel de l'EIER**

-tous les **parents et amis**

qui, trop nombreux pour être individuellement cités, nous ont apporté leur soutien et contribution dans notre formation.

## AVANT-PROPOS

Le mémoire de fin d'étude dont l'objectif est la mise en application des enseignements reçus par l'élève- ingénieur, ne peut prétendre recouvrir toutes les disciplines dispensées à l'EIER.

Il bénéficie généralement d'un double encadrement (interne et externe à l'école). Le département Energie pour le Développement Rural (EDR) est l'organe interne d'encadrement. La climatisation, thème central de notre travail a guidé nos responsables à solliciter l'encadrement externe de la Société d'Entretien et Entreprise d'Equipements (SEEE).

Malheureusement l'encadrement de la SEEE n'a pu être effectif. La société était dans une phase de restructuration et devait se voir dans l'impossibilité de satisfaire tous nos besoins, ou du moins au moment où on s'y attendait le plus. D'où une solution de rechange tirée des archives du département EDR. Une solution qui nous limitait au seul dimensionnement des équipements de climatisation, sans pouvoir effectuer une visite sur le site.

En tout état de cause, nous vous serions gré de bien vouloir noter l'esprit de disponibilité de la SEEE eu égard, ne serait-ce que , à son accord de principe.

Notre vision du sujet ne saurait faire l'unanimité. Aussi, accueillons-nous sans la moindre réserve, toute critique ou observation éventuelle.

### **NB:**

[1], [2],... renvoient à la bibliographie.

**CCAP:** Cahier des Clauses Administratives Particulières

**CCAG:** Cahier des Clauses Administratives Générales

**SBF:** Société de Briqueterie du Faso (Ouagadougou)

# SOMMAIRE

**RESUME**  
**INTRODUCTION**

## ***PARTIE A:*** ***CLIMATISATION ET MARCHES PUBLICS***

### **A.I.-/ LA CLIMATISATION**

#### **Définition**

**A.I.1-/ CONFORT THERMIQUE.....4**

**A.I.1.1) Estimation de la sensation thermique**

**A.I.1.2) Importance du phénomène d'acclimatation**

**A.I.1.3) Zone de confort thermique**

**A.I.2-/ TECHNIQUES ET EQUIPEMENTS DE CLIMATISATION.....8**

**A.I.2.1) Techniques passives de climatisation**

A.I.2.1.a) Techniques passives de protection solaire

A.I.2.1.b) Techniques passives de gestion du vent

**A.I.2.2) Techniques actives de refroidissement**

A.I.2.2.a) Techniques de ventilation mécanique

A.I.2.2.b) Techniques de climatisation mécanique

**A.I.3-/ CONTRAINTES LIEES A LA RECHERCHE DU CONFORT.....18**

**A.I.3.1) Contraintes d'ordre bioclimatique**

A.I.3.1.a) L'orientation du bâtiment

A.I.3.1.b) Le type de matériaux et de construction

**A.I.3.2) Par rapport à la climatisation actives**

A.I.3.2.a) Le choix des équipements

A.I.3.2.b) L'option architecturale envisagée

## **A.II-/ MARCHES D'ETUDES ET DE TRAVAUX EN CLIMATISATION**

### **A.II.1-/ ETUDES ET TRAVAUX EN CLIMATISATION.....21**

#### **A.II.1.1) Les études de conception**

- A.II.1.1.a) Avant-projet sommaire
- A.II.1.1.b) Avant-projet détaillé

#### **A.II.1.2) Les travaux d'exécution**

- A.II.1.2.a) La coordination technique et le Planning des travaux
- A.II.1.2.b) Acquisition des équipements et Installation du chantier
- A.II.1.2.c) Le déroulement des travaux d'exécution

#### **A.II.1.3) Travaux et procédures d'achèvement du marché**

- A.II.1.3.a) Contrôle et Réception des travaux
- A.II.1.3.b) La Procédure contentieuse
- A.II.1.3.c) La conclusion financière

### **A.II.2-/ LES MARCHES EN CLIMATISATION.....29**

#### **A.II.2.1) Les stratégies d'intervention de l'entreprise de climatisation**

- A.II.2.1.a) Dans un cadre de marchés séparés
- A.II.2.1.b) Comme membre d'un groupement d'entreprises conjointes
- A.II.2.1.c) Comme membre d'un groupement d'entreprises solidaires
- A.II.2.1.d) Par sous-traitance avec l'entreprise générale

#### **A.II.2.2) Les Aspects Administratifs**

- A.II.2.2.a) Les procédures de passation de marché
- A.II.2.2.b) Les modes d'appels d'offre

***PARTIE B: étude de cas***  
**CLIMATISATION D'UN IMMEUBLE D'HOTEL A TROIS  
ETOILES A OUAGADOUGOU**

**B.I-/ PRESENTATION DE L'IMMEUBLE**

**B.II-/DIMENSIONNEMENT ET CHOIX DES EQUIPEMENTS**

**B.II.1-/ BILAN FRIGORIFIQUE.....34**

**B.II.1.1-/ Méthode de bilan utilisée**

**B.II.1.2-/ Hypothèses de calcul**

B.II.1.2.a) Les conditions climatiques

B.II.1.2.b) Zones et espaces de références associés

B.II.1.2.c) Hypothèses sur les occupants

B.II.1.2.d) Les appareillages électriques

**B.II.2-/ CHOIX DES EQUIPEMENTS.....37**

**B.III-/ RECOMMANDATIONS**

**B.III.1-/ RECOMMANDATIONS D'ORDRE BIOCLIMATIQUE.....40**

**B.III.2-/ RECOMMANDATIONS PAR RAPPORT AUX  
TECHNIQUES MECANIQUES**

**B.III.2.1-/ La méthode de dimensionnement**

**B.III.2.1-/ Sur le choix du système de climatisation**

**CONCLUSION GENERALE**

**BIBLIOGRAPHIE**

# **ANNEXES**

**ANNEXE I : DONNEES THEORIQUES RELATIVES A LA  
SENSATION THERMIQUE**

**ANNEXE II : CARTES BIOCLIMATIQUES**

**ANNEXE III : FONDEMENTS THEORIQUES DES TECHNIQUES DE  
VENTILATION NATURELLE**

**ANNEXE IV : SCHEMAS TECHNIQUES DU CONDITIONNEMENT  
D'AIR**

**ANNEXE V : QUELQUES EQUIPEMENTS ET SYSTEMES DE  
CLIMATISATION**

**ANNEXE VI : FICHES DE BILAN THERMIQUE ET PLANS DE  
PRESENTATION DE L'HOTEL**

## RESUME

Après avoir défini la climatisation d'un habitat comme un ensemble de procédés devant assurer le confort physiologique de ses occupants, nous avons donné un aperçu sur la notion de confort thermique.

C'est un état de bien-être qui correspond à l'inactivité des mécanismes thermorégulateurs de l'organisme, vis-à-vis des conditions ambiantes.

Sur la base de travaux antérieurs à cette étude, nous rappelons que la ville de Ouagadougou accuse un déficit net en matière de confort thermique. Cette réalité fait ressortir la nécessité de prendre en compte le volet climatisation dès la conception de l'habitat.

Plusieurs méthodes de refroidissement existent et peuvent être classées selon deux grands axes :

- les unes, qualifiées de méthodes bioclimatiques, consistent à adapter la construction aux conditions climatiques environnantes. Il s'agit ici de mettre en oeuvre tous les procédés (choix des matériaux de construction, conception architecturale du bâtiment, son orientation, etc.) en vue d'assurer au local une ventilation naturelle adéquate et une protection solaire suffisante.
- les autres concernent, outre les ventilateurs (ventilo-humidificateurs compris), l'utilisation des machines frigorifiques. Ces procédés mécaniques venant en complément des moyens bioclimatiques, deviennent incontournables dans nos régions à conditions climatiques rigoureuses (chaleur intense).

Ainsi le refroidissement d'un logement revêt une telle importance qu'il nous est apparu judicieux de porter un regard sur les marchés d'études et de travaux en climatisation. Cette analyse, basée essentiellement sur des enquêtes, a permis de constater qu'un projet sérieux de climatisation comprend les étapes classiques de réalisation d'ouvrage. Il s'agit notamment des études sommaires (APS) et détaillées (APD) de conception précédant les travaux d'exécution, avec pour énoncé principal, des plans dûment détaillés.

Enfin notre travail s'est achevé par une étude de cas : "climatisation d'un immeuble d'hôtel à trois étoiles à Ouagadougou" conformément au sujet de ce mémoire.

Après une présentation de ce bâtiment à quatre étages, nous avons évalué les quantités de chaleur susceptibles d'être abritées par les différents locaux. Le choix du système de climatisation a porté sur les climatiseurs à éléments séparés.

## **INTRODUCTION**

Les pays d'Afrique, à l'instar de tous les autres, aspirent à un certain niveau de développement , développement sur le plan économique, politique, socio-culturel, etc.

La crise financière généralisée s'impose comme facteur limitant de cette ambition. La conséquence en est que les Etats ou populations concernés sont très souvent obligés à n'investir que dans des projets à rentabilité facile à percevoir : formation intellectuelle, emploi, commerce, etc.

Ainsi la question du bien-être ou du confort physiologique, se trouve dans la plupart des cas, débattue en arrière plan ; pourtant condition de base de tout bon rendement. En effet, même si traditionnellement les conditions climatiques rigoureuses ont dictées la construction d'habitats bioclimatiques (adaptés au climat), certaines mentalités d'aujourd'hui considèrent encore l'usage des équipements modernes de climatisation comme un luxe. Nous tenterons à travers ce travail :

-dans une première partie A : de montrer que les besoins de confort sont bel et bien réels. Les techniques modernes de climatisation seront alors évoquées comme une nécessité, après avoir souligné l'insuffisance des techniques traditionnelles ;

-avant d'envisager dans la partie B, une étude de cas avec la climatisation d'un immeuble à caractère commercial.

***Partie A***

**Climatisation et Marchés  
publics**

## A.I-/ LA CLIMATISATION

### Définition

La climatisation est la maîtrise simultanée et automatique de la température, de l'hygrométrie et de la circulation d'air dans une enceinte. Ce sont tous les procédés qui permettent de créer, de modifier, ou de maintenir les caractéristiques physiques et chimiques de l'air dans une enceinte ou un bâtiment dans des conditions désirées pour son usage (processus industriels de production et de traitement de certains produits) ou pour assurer le confort physiologique de ses occupants.

### A.I.1-/ CONFORT THERMIQUE

Le confort thermique est une notion complexe dépendant de plusieurs paramètres. De façon qualitative il peut se définir comme la situation d'un individu qui ne ressent de sensation ni de chaud ni de froid. C'est-à-dire qu'il y a équilibre thermique entre l'ambiance et le corps, les mécanismes thermorégulateurs de l'organisme n'interviennent pas. Car en effet :

- si l'individu a froid, c'est que la demande thermique de l'atmosphère sur le corps est supérieure à la quantité de chaleur qu'il peut perdre, donc intervention du mécanisme thermorégulateur du frisson.
- si l'individu a chaud , c'est que le tirage thermique de l'atmosphère sur le corps est inférieur à la quantité de chaleur qu'il doit perdre. L'organisme par le biais de la sudation intervient pour essayer de rétablir l'équilibre.

#### A.I.1.1) Estimation de la sensation thermique

Les travaux de **Fanger** montrent que la sensation thermique peut s'évaluer par une certaine fonction notée PMV (predicted mean vote -vote moyen prévisible)[cf Annexe I.2]. Il s'agit d'une grandeur qui dépend de six paramètres :

. $M_{th}$  = le métabolisme (enW) de l'individu qui est l'énergie produite par son corps rapportée à l'unité de temps } Caractéristiques de l'individu  
. $R_v$  = la résistance thermique du vêtement(en  $m^2 \text{ } ^\circ C / W$ ) }

- .  $\theta$  = la température de l'air (en °C)
  - .  $e$  = l'humidité relative de l'air(en %)
  - .  $v$  = la vitesse relative de l'air par rapport au sujet (en m / s)
  - .  $\theta_r$  = la température radiante moyenne (en°C) c'est - à - dire la moyenne de la température des parois.
- } Caractéristiques de l'ambiance

$$PMV = f(M, R, \theta, \theta_r, e, v)$$

Fanger, à travers des expériences sur des individus habitués à vivre sous un climat tempéré ou froid, est parvenu à établir une échelle de sensation thermique reconnue internationalement.

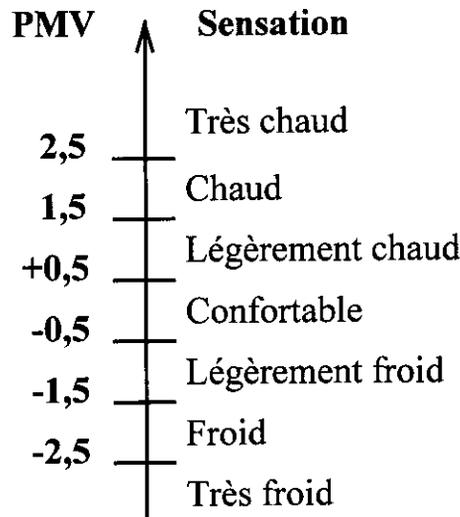


Fig1 :Correspondance PMV/sensation thermique, d'après Fanger.

### **A.I.1.2) Importance du phénomène d'acclimatation**

Cette échelle mérite d'être raisonnablement aménagée suivant chaque type de conditions climatiques étudiées. En effet un sujet habitué à vivre dans des ambiances chaudes respectivement froides peut trouver supportables des valeurs de PMV plus grandes respectivement plus petites. Le climat tropical sec a cette particularité de présenter des valeurs extrêmes de températures. L'appartenance de la ville de Ouagadougou à ce type de climat rigoureux permet, comme cela est utilisé par Kiadi [1], d'élargir l'intervalle de confort proposé par Fanger

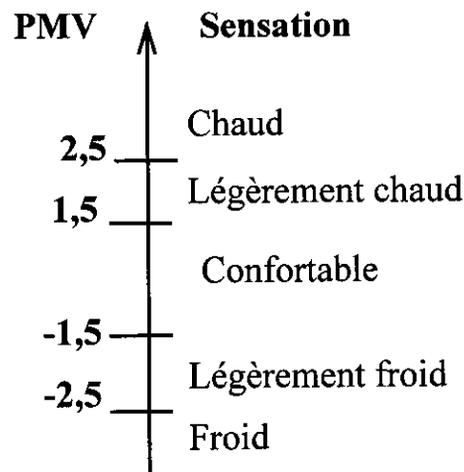


Fig2 :Correspondance modifiée PMV/sensation thermique

Notons qu'une analyse intéressante de l'influence relative des différents paramètres sur le PMV a été faite par .T. DJIAKO et Y. JANNOT [2]. Nous y avons adjoint des graphiques [cf annexe I.2]. Cela a permis d'aboutir aux conclusions suivantes:

- $\theta$  ,  $\theta_r$ ,  $e$  ,  $R_v$  sont des paramètres d'accroissement du PMV
- $v$  est un paramètre de diminution du PMV
- la température est le paramètre qui influe le plus sur le PMV

Ce sont ces propriétés éventuellement combinées, qui sont mises en œuvre au moyen de différentes techniques de climatisation, pour ramener une situation donnée dans une zone de sensation thermique agréable dite zone de confort.

### **A.I.1.3) Zone de confort thermique**

La zone de confort est le domaine des conditions sous lesquelles les mécanismes thermorégulateurs du corps sont dans un état d'activité minimum. Plusieurs auteurs font une proposition de zone de confort [cf.annexe II.1]. Mais l'idéal veut que l'on tienne compte du phénomène d'acclimatation, avant de proposer une zone de confort mieux adaptée. L'étude de l'influence relative des différents paramètres de sensation, faite sur la base de l'intervalle de confort adapté (PMV compris entre -1,5 et 1,5) et autres constats quotidiens montrent qu'un habitant moyen de la ville de Ouagadougou, trouvera:

- insupportables des niveaux de températures non comprises entre 20°C et 30°C

- l'air difficile à respirer pour des valeurs d'humidité relative inférieures à 30% (il se produit une irritation des muqueuses) et étouffant des valeurs au-dessus de 80%.
- que la vitesse de circulation de l'air doit si possible rester en-dessus de 0,5m/s. Puisqu'au -delà, ce qui est une donnée générale, les objets légers (feuilles par exemple) s'envolent

Ces remarques nous amènent à opter pour la zone de confort telle que proposée par KIADI [cf annexe II.2], zone qui apparaît comme intersection des sept premières propositions. C'est également une zone proche, à quelques variations près, de celle de B.GIVONI. Ce qui justifie, toute proportion gardée, notre attitude à nous référer régulièrement aux travaux de cet auteur tout au long de notre étude.

### **Conclusion**

L'observation des cartes bioclimatiques de Ouaga [cf annexe II.2] amène à conclure que la ville, surtout le jour, est une zone régulièrement dépourvue confort. Il faut toutefois signaler que les points représentatifs ont été obtenus sur la base de moyennes mensuelles. Il n'est donc pas exclu que durant un mois donné, l'on rencontre des jours isolés particulièrement confortables ou d'une nature différente de la tendance générale de ce mois. Il aurait donc été intéressant d'analyser en profondeur le maximum de techniques en matière de recherche du confort. Ce qui sous-entend les techniques de réchauffage d'air. Mais compte-tenu de l'insuffisance de temps nous nous contenterons de détailler uniquement les techniques de refroidissement, principale préoccupation de nos pays tropicaux.

## **A.I.2-/ TECHNIQUES ET EQUIPEMENTS DE CLIMATISATION**

Ces techniques peuvent être classées en deux grands types : les techniques de bioclimatisme ou techniques de climatisation passives et les techniques de climatisation mécanique appelées encore techniques de climatisation actives. Cependant, pour éviter toute confusion, nous conserverons le terme de climatisation exclusivement au système de refroidissement faisant intervenir les machines frigorifiques

### **A.I.2.1).Techniques passives de refroidissement**

Il s'agit de considérer les caractéristiques climatiques d'une région donnée et de suggérer un modèle d'habitat adapté.

Dans la zone intertropicale, deux types essentiels de climats sont à distinguer : le climat tropical sec et le climat tropical humide. 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.

Ces techniques de bioclimatisme seront analysées suivant les principales fonctions qu'elles assurent : la gestion des masses d'air environnant et la protection solaire. Nous verrons donc successivement les techniques passives de protection solaire et les techniques passives de gestion du vent.

#### **A.I.2.2.a).Techniques passives de protection solaire**

Le rayonnement solaire est l'une des principales sources d'échauffement de l'habitat. Ce rayonnement peut être transmis soit directement au local soit par l'intermédiaire de surfaces réfléchissantes. Il s'ensuit une augmentation de la température ambiante interne du local. Il s'avère donc nécessaire de diminuer l'exposition de la maison, de protéger efficacement les surfaces exposées et de rechercher une enveloppe externe présentant de bonnes propriétés d'isolant.

### **Orientation du bâtiment par rapport à l'ensoleillement**

L'analyse des trajectoires solaires montre que les façades les plus frappées par le soleil sont les façades Est ou Ouest :

-Le matin il fait encore frais , quelques fois jusqu'à une heure tardive de la matinée. Donc la façade Est est moins réchauffée.

-Le côté le plus chaud est la façade Ouest car c'est à partir de l'après-midi que le soleil est plus ardent.

La solution est de construire de préférence des maisons allongées de l'Est à l'Ouest. C'est-à- dire que les grandes façades seront orientées Nord ou Sud. Les ouvertures seront principalement sur les façades Nord ou Sud.

## **Le matériau de construction**

Il intervient tant par sa nature intrinsèque d'isolant thermique que par la quantité de matière utilisée

Pour ce qui relève des propriétés thermophysiques, l'accent sera mis sur l'utilisation des matériaux locaux qui, d'une manière générale, présentent une meilleure réponse thermique [cf annexe I.1]. De plus ils sont moins coûteux souvent même gratuits.

Quant à la quantité de matière utilisée, l'on pourra augmenter l'épaisseur du mur , la résistance thermique étant une grandeur proportionnelle à l'épaisseur de la paroi traversée.

Notons que la littérature qualifie de bonne **inertie thermique** un bâtiment construit à partir de matériaux présentant de bonnes réponses thermiques, et de bonnes **masses thermiques** pour rendre compte de la contribution de l'épaisseur des matériaux.

## **Dispositifs de protection des surfaces exposées**

D'une manière générale, toutes les surfaces exposées doivent, autant que possible, bénéficier de revêtement réfléchissants. Aussi est-il vivement conseillé d'utiliser de la peinture claire. Des dispositifs plus intéressants, suivant l'orientation ou la nature des surfaces exposées, sont envisagés dans les lignes suivantes.

Il faut tout d'abord remarquer que la partie de la maison qui reçoit le plus de soleil est la toiture. C'est pourquoi il est conseillé d'avoir une double toiture (plafond) à double pente, une couverture réfléchissante (tôle recouverte de peinture blanche), un isolation quelques fois des combles (pose de laine de verre) et un système de ventilation efficace entre la couverture et le plafond.

Ensuite pour les façades Nord ou Sud, les avancées ou d'autres éléments horizontaux sont beaucoup plus efficaces ; les lames horizontales mobiles et les avancées de toit y seront recommandées. Les toitures seront munies de faîtières orientées Est-Ouest. Sur les façades Est ou Ouest, les ailerons ou d'autres systèmes verticaux seront très utiles

Enfin pour les surfaces vitrées il faudra penser à les protéger systématiquement par des lames ou autres systèmes brise-soleil: systèmes verticaux (saillies combinée avec lames mobiles) ou systèmes horizontaux (projection, balcon, etc). L'on n'oubliera pas les systèmes de protection intérieur (draperies, rideaux, etc)

### **La végétation environnante**

Sans compter son rôle de purificateur d'air, la végétation permet une diminution très significative de la température de l'air. Cette végétation doit être aussi abondante que possible mais en prenant des précautions pour éviter la présence d'animaux indésirables ( serpents et autres reptiles). Les plantes épousant les murs (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. Les arbustes doivent être plantées prioritairement du côté Ouest

#### **A.I.2.1.b).Techniques passives de gestion du vent**

Par ces techniques il faut entendre non seulement la recherche d'une bonne ventilation de l'enceinte du bâtiment(avec prétraitement éventuel de l'air entrant) mais également l'obtention d'un refroidissement externe du local. Pour se faire il importe de maîtriser la direction du vent: elle est Nord-Est - Sud-Ouest dans la région Sahel d'Afrique de l'Ouest. C'est-à-dire que:

- les côtés Nord et Est, en même temps, sont frappés par le vent à un moment donné et
- ensuite les côtés Sud et Ouest en même temps pendant un autre moment dès que le vent change de sens.

Pour ce qui est du refroidissement externe, l'on veillera à ce que soient harmonieusement intégrés les effets de coin, venturi, de pilotis ou de rouleau.

Quant à la ventilation interne de l'habitat, la position et le type des ouvertures (portes, fenêtres) sont les élément sur lesquels il faut agir en premier lieu: ces ouvertures seront conçues de manière à assurer l'entrée(ouvertures

d'entrée) et la sortie (ouvertures de sortie) du vent. Les ouvertures d'entrée seront positionnées sur les façades exposées au vent, les ouvertures de sortie peuvent être sur les autres façades de telle sorte que l'évolution naturelle du vent ne soit pas profondément gênée. Mais compte tenu du changement du sens de circulation du vent et de la trajectoire de l'ensoleillement à Ouagadougou, la solution optimale est de disposer les ouvertures sur les façades Nord ou Sud. Et plus judicieux encore, c'est la disposition en quinconce de ces types par rapport à la direction générale du vent [cf annexe III]. En outre les fenêtres de type pivotant et les fenêtres à lames mobiles sont intéressantes, puisque jouant un rôle déterminant dans l'orientation du vent (vers le bas) à l'intérieur de la pièce. En marges des ouvertures, les capteurs de vent sont également recommandés.

Ce sont là un certain nombre de techniques de ventilation naturelles qui, si elles sont convenablement mises en œuvre, permettent d'obtenir un confort appréciable. Mais elles ne peuvent être effectivement efficaces que si l'air extérieur est frais (très souvent la nuit à Ouagadougou) et s'il n'est pas très poussiéreux. A contrario il faut nécessairement réaménager ces procédés en y associant des techniques d'humidification et de filtration de sable (filtre à sable)

### ***Insuffisance des techniques de bioclimatisme***

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 est de 33,3°C. En l'absence de systèmes actifs de refroidissement, une maison bien conçue permettra d'obtenir au mieux une température intérieure moyenne de 33,3°C, supérieur 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 de 33,3°C à un moment ou à un autre de la journée.

La solution bioclimatique est de 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 partie de l'année, il faudra utiliser un moyen actif de refroidissement.

### **A.I.2.2).Techniques actives de refroidissement**

On distingue d'une part les systèmes de ventilation constitués par les systèmes de ventilation simple et les systèmes de ventilo-humidification, d'autre part les systèmes de refroidissement basés sur l'usage de machines frigorifiques.

#### **A.I.2.2.a).Techniques de ventilation mécanique**

##### **La ventilation simple**

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. Il existe:

- le ventilateur de plafond(coût = 25000 FCFA, consommation électrique d'environ 70 W). Il est d'autant plus efficace que la hauteur sous plafond est importante;
- le ventilateur sur pied (coût et consommation identique au précédent). Il couvre moins grande surface que le plafonnier mais a l'avantage d'être mobile;
- le ventilateur de bureau (de forme carrée) (coût = 20000 FCFA, consommation électrique d'environ 65 W). Très intéressant dans une chambre où on le posera à 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 h 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**

Il s'agit de faire subir à l'air une humidification suivie d'un refroidissement d'autant plus important que l'air est sec [cf.schéma de principe Fig 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 toute l'année

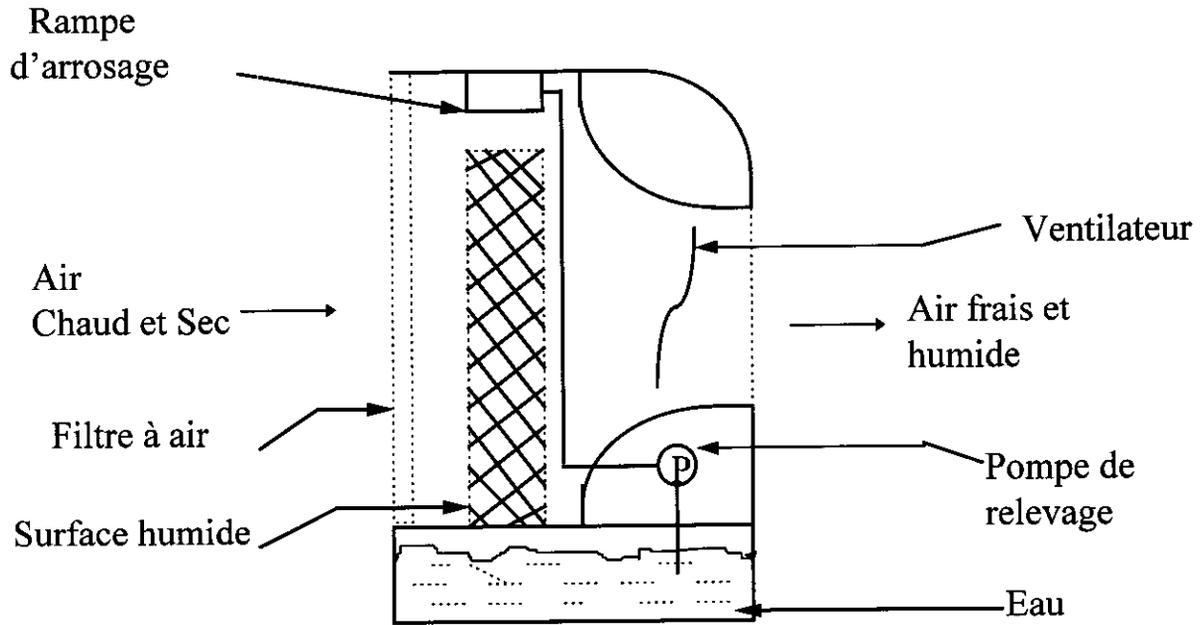


Fig 3: Schéma de principe d'un ventilo-humidificateur

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 en saison chaude.

#### **A.I.2.2.b). Techniques de climatisation mécanique**

On utilise généralement les climatiseurs de fenêtre, les climatiseurs à éléments séparés ou "Split-système", les armoires de climatisation ou les centrales de climatisation.

#### **Les climatiseurs de fenêtre**

Ce sont des appareils monoblocs, compacts, à refroidissement d'air; ils sont couramment utilisés pour le refroidissement d'une pièce de surface au sol variant entre 20 et 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.

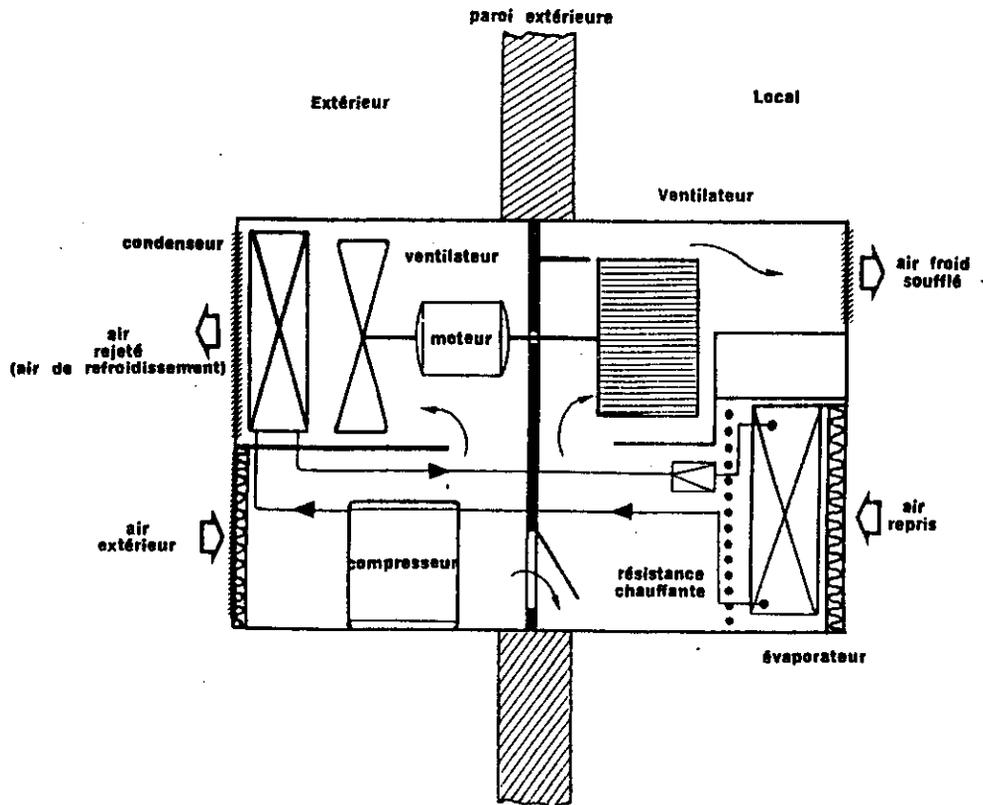


Fig 4 : Principe de fonctionnement d'un climatiseur individuel de fenêtre

### Les climatiseurs à éléments séparés ou « Split-system »

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

## Les armoires de climatisation

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.

## La climatisation centrale

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. A noter qu'il y a une certaine souplesse d'utilisation liée au fait d'avoir plusieurs compresseurs en parallèle. La réduction de puissance pouvant être obtenue par élimination de compresseurs, par réduction de leur vitesse etc

Les centrales de climatisation sont d'une gamme relativement diversifiée. Mais reposent toutes, presque, sur le même principe de fonctionnement [cf Fig 5].

Par rapport à l'installation, on peut retenir que le montage fait à l'usine permet d'avoir une mise en place rapide sur le site, d'autant plus que ce sont des machines compactes ayant un encombrement au sol réduit

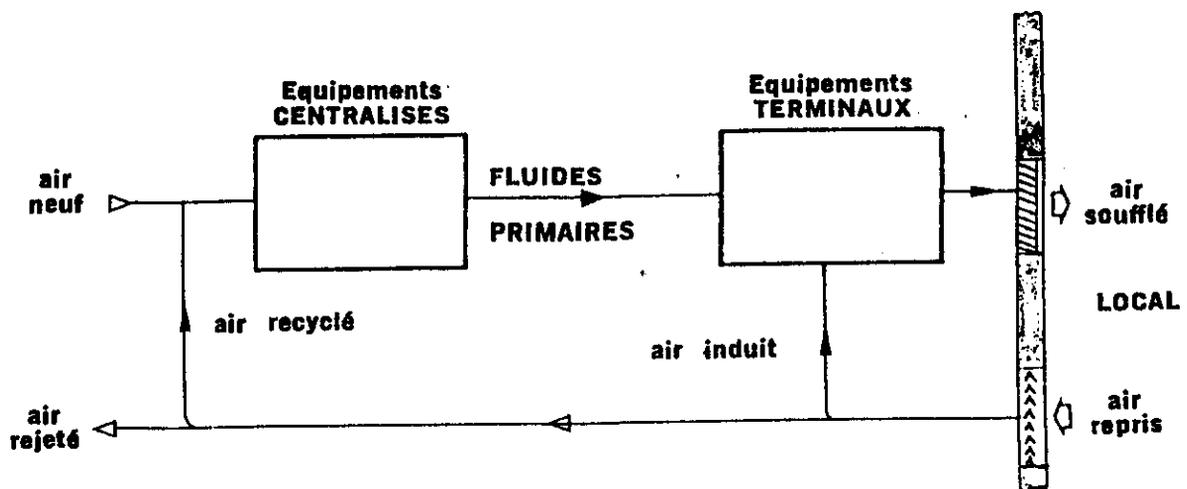


Fig 5 : Différents équipements d'un système climatisation centrale

## **Conclusion**

La fiabilité d'une recherche en matière de confort physiologique réside nécessairement dans la combinaison des techniques passives et des techniques actives de climatisation. Les sévères conditions climatiques de la zone intertropicale surtout la zone sahélienne rendent insuffisantes les méthodes bioclimatiques. Mais la diversité des procédés mécaniques de refroidissement laisse heureusement entrevoir un réel espoir vis-à-vis des craintes liées au caractère rigoureux de la chaleur.

Le pouvoir d'achat, malheureusement encore faible, des populations ne doit justifier leur méconnaissance des moyens de refroidissement existants; moyens qui d'une manière ou d'une autre reposent sur la gestion judicieuse des principales variables atmosphériques [cf page suivante]

<i>Variable de Confort</i>	<i>Méthode de Refroidissement</i>	<i>Solutions Techniques</i>
Température de l'air	Contrôle des gains de chaleur Ventilation naturelle Atténuation par inertie thermique Pertes par rayonnement Pertes par conduction Humidification Ventilation forcée Microclimat	Ombres propres du bâtiment Structure partiellement enterrée Masse thermique/Isolation Emission de rayonnement IR Couplage air/terre ou air/eau Cheminée solaire Mur Trombe Contrôle du gain solaire direct Contrôle du gain solaire différé Refroidissement évaporatif Végétation
Mouvement de l'air	Ventilation forcée	Cheminée solaire Mur Trombe Contrôle du gain solaire direct Contrôle du gain solaire différé Couplage air/terre ou air/eau Distribution des constructions
Humidité	Humidification Séchage de l'air Microclimat	Refroidissement évaporatif Séchage de l'air Couplage air/terre ou air/eau Végétation
Température moyenne de rayonnement	Contrôle des gains de chaleur Ventilation naturelle Ventilation forcée Atténuation par inertie thermique Pertes par rayonnement Pertes par conduction Microclimat	Ombres propres du bâtiment Structure partiellement enterrée Masse thermique/Isolation Elimination de l'air chaud diurne Cheminée solaire Mur Trombe Contrôle du gain solaire direct Contrôle du gain solaire différé Végétation

Synthèse des solutions et des procédés de refroidissement [14]

### **A.I.3.2) Par rapport à la climatisation active**

Deux niveaux d'analyse sont à souligner : le choix des équipements et l'option architecturale envisagée.

#### **A.I.3.2.a) Le choix des équipements**

La sélection du système complémentaire le mieux adapté à chaque cas de figure est un problème complexe car, hormis les critères de choix très nombreux, la priorité accordée aux différents paramètres dépendra de l'acquéreur. Les critères les plus accessibles sont : la qualité du confort, 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. Cela constitue une situation difficile à contourner quand on sait le pouvoir financier relativement limité de nos populations. Il s'ensuit très souvent un choix d'équipement de performance inférieure à la puissance nécessaire.

Il est également urgent de combattre les mentalités qui considèrent encore la climatisation comme un luxe, et par conséquent n'hésite pas à opter pour l'offre le moins coûteux. Le risque à courir en pareilles circonstances, ce qui est d'ailleurs très fréquent, est de se voir proposer des appareils sous-dimensionnés.

#### **A.I.3.2.b) L'option architecturale envisagée**

L'une des caractéristiques des machines frigorifique est le lien qui existe entre leur performance et les propriétés thermophysiques du milieu environnant. On sait par exemple que le rendement d'un condenseur à air est d'autant meilleur que la température de l'air ambiant est plus basse, et qu'il bénéficie d'une bonne ventilation. Il n'est donc pas conseillé d'exposer un tel élément à l'ensoleillement.

Ce bref rappel, pour signifier que la disposition des équipements dans l'habitat n'est pas un travail d'amateur. Elle doit se faire de façon à ce que ces équipements bénéficient le plus possible des conditions atmosphériques aux alentours

Le choix définitif d'un plan de bâtiment est , au dire de la plupart des architectes rencontrés , le produit d'un compromis assez équitable avec le technicien en climatisation . Mais en réalité , ce sont les considérations d'ordre

esthétique (la bonne présentation externe du bâtiment) qui pèsent le plus dans la balance des discussions

## **Conclusion**

En définitive , tout comme les méthodes passives de refroidissement , l'utilisation des moyens actifs se trouve confrontée à un certain nombre d'obstacles . L'ensemble des contraintes liées à la recherche du confort physiologique est majoritairement dû aux exigences du client , c'est-à-dire du financier . Cette position de force , soutenue par une certaine rareté du marché à Ouagadougou , risque de constituer une base solide pour ces obstacles . Il importe que chacun prenne conscience de la nécessité du confort puisque facteur , non des moins actifs , dans le processus de développement économique d'une nation : **Un Homme dans une situation d'Inconfort n'est pas un Homme Libre**

## **A.II-/MARCHES D'ETUDES ET DE TRAVAUX EN CLIMATISATION**

La climatisation forme avec l'électricité le corps d'état secondaire **courant fort**. Le coût et surtout l'impact des équipements du courant fort sur la configuration du gros œuvre impose l'intervention perpétuelle des services et bureaux spécialisés dans des phases importantes de la construction. Et ce, aussi bien pendant la conception que pendant les phases d'exécution et de contrôle. Avant d'analyser les caractéristiques des marchés d'études et de travaux en climatisation, voyons le contenu de ces études et travaux.

### **A.II.1-/ ETUDES ET TRAVAUX EN CLIMATISATION**

Les études et travaux de climatisation contiennent les rubriques classiques des projets de construction: les études techniques de conception, les travaux d'exécution, les travaux et procédure d'achèvement du marché.

#### **A.II.1) Les études de conception**

Il y a deux niveaux essentiels de conception: **avant projet sommaire (APS)** et **avant projet détaillé (APD)**.

##### **A.II.1.1.a) Avant-projet sommaire**

L'APS consiste à suggérer, sur un plan provisoire du bâtiment, le type d'équipements à installer et donne un ordre de grandeur du coût que cela représente. Il aide à la constitution de la solution de base du maître d'œuvre, c'est-à-dire solution à partir de laquelle ce dernier juge les différentes offres d'APD.

##### **A.II.1.1.b) Avant-projet détaillé**

C'est le lieu de faire une étude plus détaillée c'est-à-dire qu'elle doit spécifier tous les éléments techniques qui sont:

- la dimension des équipements
- leur consommation électrique (puissance électrique)
- la marque de chaque appareil
- les prix
- les réserves à prévoir dans le gros œuvre pour l'installation

Soulignons que cette étude peut consister en la modification de la solution de base que propose le maître d'œuvre, ou en être totalement indépendante suivant le mode d'AO [cf A.II.2.2.b].

### **A.II.1.2) Les travaux d'exécution**

#### **A.II.1.2.a) La coordination technique et le Planning des travaux**

La coordination technique s'appuie sur une réunion : réunion de coordination technique. C'est une réunion qui a pour but de définir de façon claire les devoirs et droits des différents intervenants dans la construction. L'entreprise chargée de la climatisation figure au nombre des participants à cette réunion.

Il est à noter que le fonctionnement de la direction du chantier doit être clairement défini, au besoin sous forme d'un organigramme, de manière à ce que chacun sache de qui il dépend et qu'aucune confusion ne règne dans la transmission des instructions ou de l'information.

En effet chacun ne peut recevoir d'instructions que de quelqu'un situé directement en amont par rapport à lui-même, et ne peut donner d'instructions qu'à quelqu'un situé directement en aval par rapport à lui-même.

Dans tous les cas, l'organigramme mettant en évidence d'une part les liaisons contractuelles et d'autre part les liaisons fonctionnelles est arrêté et présenté à tous les participants à la vie quotidienne du chantier. Chacun doit s'efforcer d'en respecter l'esprit.

Les figures de la page suivante donnent deux exemples de liaisons les plus fréquemment rencontrés

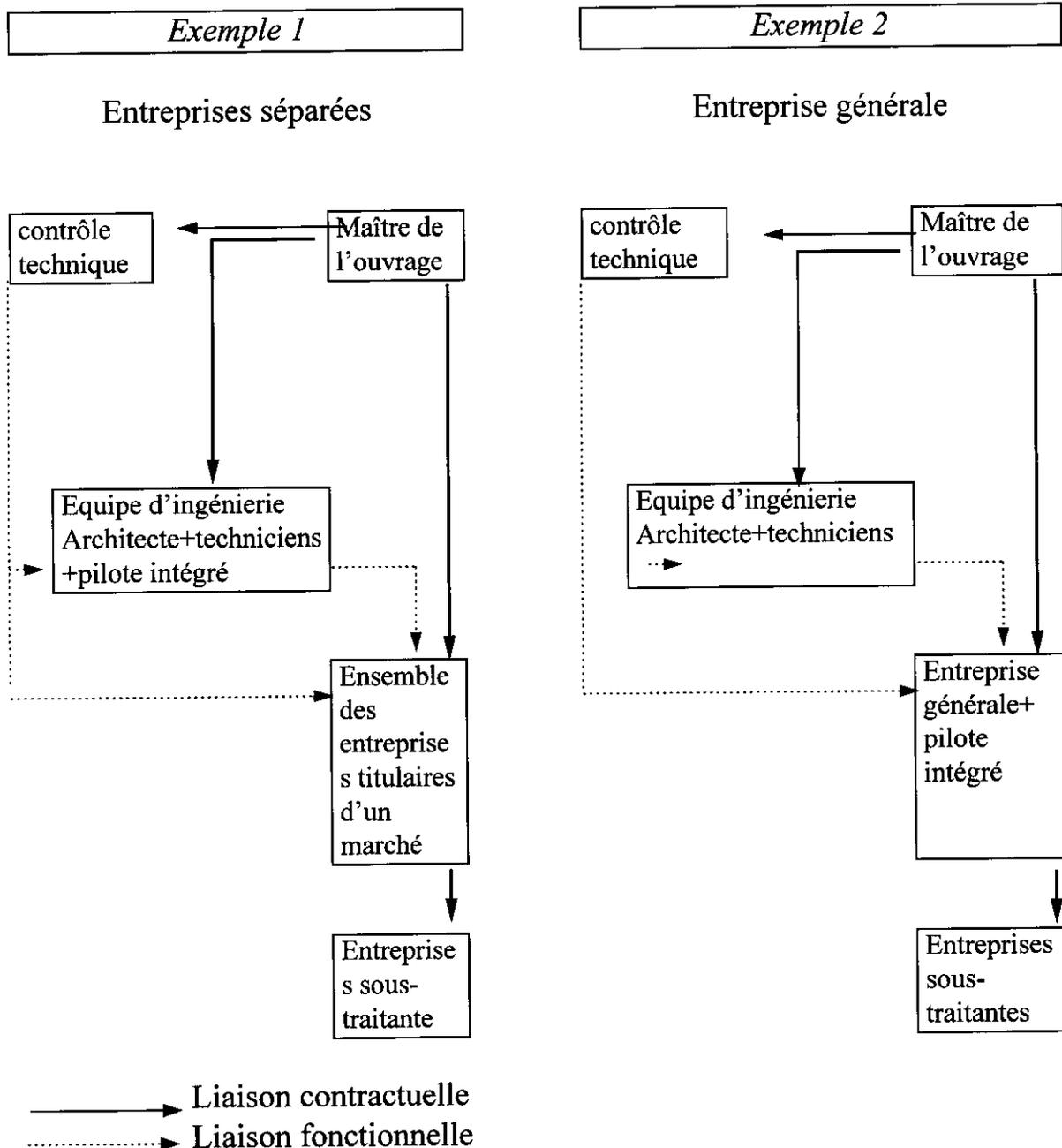
Quant au planning il faut retenir d'abord que c'est un plan de travail détaillé concernant les opérations que comporte la réalisation d'une opération dans son ensemble.

Le délai imparti pour les travaux est clairement défini. Il se décompose en délai de préparation et délai d'exécution. IL commence à la date indiquée par l'ordre de service ou à la notification du marché. Le délai d'exécution se termine à la date de réception des travaux.

Le planning doit faire apparaître :

- la désignation des tâches dans un ordre logique
- le déroulement des travaux dans le temps indiqué
- les observations éventuelles

Le planning est quelquefois exigé de l'entrepreneur dans sa soumission. Il constitue alors un bon élément d'appréciation du sérieux et du professionnalisme des candidats. Tout au long du chantier, il sera nécessaire de contrôler si le planning est respecté et suivi, sinon il conviendra de chercher les raisons.



### **A.II.1.2.b) Acquisition des équipements et Installation du chantier**

L'acquisition des équipements relève de la responsabilité de l'entreprise de climatisation. Cette dernière s'y emploie lorsqu'elle devient titulaire du marché et avant l'ordre de service (OS) de commencer les travaux. En effet il est laissé à l'entreprise un temps entre la notification du marché et l'OS. Ce délai est variable suivant l'importance des chantiers, mais il doit être suffisant aux différentes parties pour préparer et planifier le chantier.

L'installation du chantier se fait suivant un plan agréé par le maître d'oeuvre et le maître d'ouvrage éventuellement. Ce plan indiquera l'emplacement des raccordements provisoires, l'implantation des bâtiments provisoires, la voirie provisoire, les zones d'aire de stockage, la position du poste de bétonnage.

### **A.II.1.2.c) Le déroulement des travaux d'exécution**

Le déroulement des travaux doit nécessairement être précédé d'un ordre de service. Il s'agit de l'OS de commencer les travaux ayant pour objet de faire démarrer contractuellement le délai d'exécution selon les termes du marché

L'exécution proprement dite doit se faire de manière à ce que soient assurée la conformité de la mise en oeuvre aux documents techniques techniques d'exécution et aux règles en vigueur dans la profession.

Pour mener à bien ces travaux, trois dispositions s'avèrent utiles : la vérification des plans d'exécutions, la gestion des délais et le contrôle de qualité et enfin les réunions de chantier

#### **La vérification des plans d'exécution**

Ce sont des plans directement utilisés sur le chantier par les différents corps d'états lors de l'exécution des travaux. Ces plans n'ont pas forcément été réalisés avant l'attribution du marché. La mission de réalisation des plans peut être assurée soit par le maître d'oeuvre et les bureaux d'études spécialisés co-contractants du concepteur, soit par les entreprises ou les bureaux d'études choisis par elle.

Les plans d'exécution doivent avoir l'approbation des personnes habilitées à le faire. Il faut donc les identifier et définir le circuit d'approbation

des plans qui aboutit à la personne qui attribue la mention « bon pour exécution »

### **La gestion des délais et le contrôle de qualité**

Il s'agit de contrôler que la réalité du chantier se passe conformément aux prévisions. La confrontation entre la réalité et les prévisions nécessite des pointages périodiques, qui entraîneront des mises à jours. Ces mises à jour doivent être portées sur le planning initial et être visibles sur le chantier par affichage.

Par ailleurs des essais peuvent être faits pendant les travaux. Ces essais sont à la charge de l'entreprise et peuvent être demandés par le maître d'oeuvre ou un bureau de contrôle selon la mission confiée à ce dernier.

### **Les réunions de chantier**

Le rythme hebdomadaire est en principe admis pour les réunions de chantier.

Les questions à traiter au cours de la réunion de chantier sont consignées à la page 28.

Il faut signaler qu'avant la réunion de chantier, il est souhaitable que le maître d'oeuvre (éventuellement en compagnie du coordonnateur pour la partie « avancement de chantier ») effectue une visite de chantier, même rapide, afin de lui permettre de visualiser l'avancement du chantier, de noter les travaux défectueux ou non conformes aux plans ou aux devis descriptifs, de déceler les difficultés qui risquent de surgir les jours suivants, et ainsi de conduire sa réunion de chantier avec le maximum d'efficacité.

## **A.II.1.3) Travaux et procédures d'achèvement du marché**

### **A.II.1.3.a) Contrôle et Réception des travaux**

La prise de possession du bâtiment par le maître d'ouvrage est précédée de la réception. La réception est effectuée sur l'ensemble de tous les oeuvres et requiert en principe la présence effective des différents entrepreneurs spécialisés d'exécution. Deux phases sont à distinguer : la réception provisoire et la réception définitive ; ces deux phases étant elles-mêmes précédées d'une étape préalable de préparation.

## **Les opérations préalables de préparation**

Il s'agit d'une série d'opérations dont les plus essentielles sont :

- la reconnaissance des équipements de climatisation installés, les locaux climatisés avec.
- le recensement des épreuves ou essais prévus aux cahiers des charges
- la constatation éventuelle d'imperfections ou malfaçons ou de l'inexécution de prestations prévus aux marchés

Ces opérations font l'objet d'un procès verbal dressé sur le champ par le maître d'oeuvre et signé par lui et l'entrepreneur

## **La réception provisoire**

Du fait du contrat, l'entrepreneur est tenu de livrer l'objet de son travail, le maître de l'ouvrage devant le réceptionner. La réception est donc un acte contradictoire par lequel le maître de l'ouvrage donne quitus à l'entrepreneur de l'exécution de l'ouvrage.

La plupart du temps, les réceptions provisoires sont prononcées avec de petites réserves. Un délai est souvent fixé à l'entreprise pour lever ces réserves. En cas de non-respect de ce délai, elle s'expose à des pénalités de retard. Et lorsque les textes du marché le permettent, le maître de l'ouvrage n'hésite pas à subordonner tout ou une partie du dernier paiement à la levée de ces réserves.

## **La réception définitive**

La réception définitive survient à l'issue du délai de garantie. Elle permet en fait de libérer l'entrepreneur de ses obligations contractuelles de parfait achèvement des travaux.

### **A.II.1.3.b) La Procédure contentieuse**

Les litiges intervenant en matière de marchés de travaux publics sont de la compétence des tribunaux administratifs. C'est l'entrepreneur qui les saisit

Cependant en cas de litige, l'entrepreneur ne peut engager directement une procédure contentieuse : il doit effectuer un recours préalable devant l'administration c'est-à-dire l'ingénieur en chef puis éventuellement le

Ministre. Cela permet souvent un règlement administratif de nombreux conflits. S'il n'obtient pas satisfaction, l'entrepreneur peut alors saisir les tribunaux administratifs.

### **A.II.1.3.c) La conclusion financière**

Elle intervient avec la production du décompte général et définitif. Il est dressé par le maître d'oeuvre ; il comprend :

- le décompte final
- l'état du solde
- la récapitulation des acomptes mensuels et du solde

Le résultat de cette récapitulation constitue le montant du décompte général. Le décompte général, signé par la personne responsable du marché, doit être notifié à l'entrepreneur par ordre de service dans un délai fixé au CCAP[ii] ou au CCAG[iii]. L'entrepreneur doit renvoyer le décompte général, dans un délai déterminé, au maître d'ouvrage revêtu de sa signature avec ou sans réserves.

S'il ne fait pas l'objet de réserve, ce décompte devient le décompte général et définitif du marché.

### **CONTENU DU DECOMPTE GENERAL**

Travaux exécutés.....	
Avenant n°1.....	
Avenant n°2.....	
Avenant n°3 (éventuellement indemnités).....	
Pénalités.....	
Retenues.....	
Primes.....	
Total révisable.....	
Montant de la révision.....	
Total du décompte.....	
T.V.A. à %.....	
Total T.T.C.....	

### Questions à traiter au cours de la réunion de chantier

- *Pointage des présents et absents*
- *Examen du dernier procès verbal de réunion*
  - *approbation*
  - *rappel des décisions*
  - *observations sur le contenu*
- *Contrôle d'avancement des travaux sur planning et de la qualité d'exécution*
  - *état d'avancement*
  - *tableau d'effectifs*
  - *approvisionnements*
  - *causes de retards*
  - *responsabilités*
  - *mesures à prendre*
- *Mise à jour des plannings*
- *Problèmes techniques*
  - *informations sur décisions prises*
  - *problèmes à résoudre*
  - *rappel des liaisons extérieures (Préfecture, mairie, Services départementaux, sociétés d'électricité, de téléphone, d'eaux, d'assainissement, etc.)*
- *Visite du chantier*
  - *problèmes techniques*
  - *avancement des travaux*
  - *effectifs - approvisionnement (rappel)*
  - *qualité des travaux*
  - *qualité des matériaux et du matériel*
- *Plans : pointage des documents à l'exécution des travaux*
  - *remise de plans par le maître d'oeuvre*
  - *remise de plans par les entrepreneurs*
  - *demande de plans au maître d'oeuvre*
  - *demande de plans aux entrepreneurs*
- *Ordres de services - Avenants - Travaux supplémentaires*
  - *demandes*
  - *préparation*
- *Acomptes - Situations (pour mémoire) Examen des demandes financières.*
- *Entreprises et personnes extérieures à convoquer*
  - *pour réunion d'étude (responsable, lieu, heure),*
  - *au prochain rendez-vous de chantier*
- *Questions à inscrire à l'ordre du jour*
  - *pour réunion d'étude*
  - *au prochain rendez-vous de chantier*
- *Libération des personnes non indispensables à la continuation du rendez-vous*
  - *sécurité du chantier*
  - *propreté du chantier*
  - *hygiène du chantier*
  - *installation pour le personnel*
- *Rédaction du procès verbal*

## **A.II.2-/ LES MARCHES EN CLIMATISATION**

### **A.II.2.1) Les modes d'intervention d'une entreprise de climatisation**

#### **A.II.2.1.a) Dans un cadre de marchés séparés**

Les entrepreneurs sont non groupés, le maître de l'ouvrage passe un marché avec chacun d'eux. L'entreprise de climatisation, à l'instar de toutes les autres, n'est engagée que pour son marché.

#### **A.II.2.1.b) Comme membre d'un groupement d'entreprises conjointes**

La prestation est divisée en lots, chacun étant attribué à une entreprise mais un seul marché est passé avec le groupement d'entreprises attributaire; chaque entrepreneur n'est engagé que pour le lot qui lui est assigné; l'un des entrepreneurs est désigné comme mandataire, responsable de la coordination, solidaire de chacun des autres.

#### **A.II.2.1.c) Comme membre d'un groupement d'entreprises solidaires**

Chaque entrepreneur co-traitant est rendu responsable de l'ensemble du marché sans que la répartition des prestations entre eux n'apparaisse au contrat et doit pallier une éventuelle défaillance de ses partenaires; l'un d'entre eux est désigné comme mandataire.

#### **A.II.2.1.d) Par sous-traitance avec l'entreprise générale**

Le maître de l'ouvrage passe un marché unique pour l'ensemble de l'ouvrage avec une entreprise. Le volet climatisation est sous-traité avec une entreprise spécialisée en la matière.

#### **Remarque :**

La sous-traitance d'une partie du marché, en particulier le volet climatisation, peut intervenir non seulement lorsque le marché est passé à

l'entreprise générale, mais également lorsqu'il est attribué à un groupement d'entrepreneurs conjoints ou colidaires. Le régime de la sous-traitance dans les marchés publics est défini dans la réglementation des marchés administratifs propres à chaque pays.

### **A.II.2.2) Les Aspects Administratifs**

#### **A.II.2.2.a) Les procédures de passation de marché**

On distingue les marchés par adjudication, les marchés sur appels d'offres et les marchés négociés ou « gré à gré »

- marché négocié ou « gré à gré »** : ces marchés ne sont passés que dans un certain nombre de cas précis à savoir les cas de soumissions inacceptables, d'entrepreneur défaillant, etc
- marché par adjudication** : l'avis d'adjudication se fait par annonces légales, affiches etc et à partir d'un certain seuil dans le bulletin officiel des annonces des marchés publics.

Dans l'adjudication ouverte , tout candidat peut déposer une soumission. Dans l'adjudication restreinte ne sont admis que les candidats agréés par la personne responsable du marché, au vu de références particulières. Le candidat le moins disant est déclaré adjudicataire provisoire

- marché sur appels d'offres** : dans ce cas, l'administration (cas des marchés publics) choisit librement l'offre qu'elle juge la plus intéressante.

#### **A.II.2.2.b) Les modes d'appels d'offres (AO)- Contenu de l'AO**

##### **Modes d'appels d'offres**

Deux modes de lancement d'AO sont particulièrement fréquents dans les projets de climatisation: **AO avec variante mais sans concours** d'une part, et **AO avec concours** d'autre part.

## **AO avec variante mais sans concours**

La variante constitue une proposition de modification de certains choix définis par le maître d'oeuvre dans la solution de base; elle est présentée par l'entrepreneur. Deux types de variantes sont à considérer:

-la variante large concernant une conception technique différente de la solution de base mais répondant néanmoins au programme et à l'APS.

-la variante limitée constituée par une solution technique ne différant de la conception d'ensemble de la solution de base que sur des points particuliers

L'intérêt des AO avec variante est de permettre aux entreprises de proposer des techniques innovantes, plus performantes et très souvent économique. Les concurrents peuvent ainsi valoriser leur savoir-faire et développer leurs recherches.

## **AO avec concours**

Dans ce cas l'AO peut porter respectivement sur: l'établissement du projet, son exécution après qu'il est établi, à la fois sur l'établissement du projet et son exécution

### **Remarque :**

On peut également classifier les marchés selon qu'ils sont passés d'après un devis quantitatif ou qu'ils sont passés d'après un devis descriptif. Le devis quantitatif est généralement dressé par un bureau d'études dans le cadre de l'APD Le devis descriptif est généralement à la charge de l'ingénieur-conseil ; ce devis doit être accompagné de renseignements suffisants pour permettre à l'entrepreneur d'effectuer son étude.

## **Contenu de l'AO**

Il est nécessaire de fournir aux soumissionnaires, pour leur permettre l'étude du dossier, un certain nombre de documents :

Plans divers :

-plan de situation du bâtiment avec orientation et plan de masse ;

- locaux en plan avec les hauteurs sous plafond ;
- épaisseur et constitution des murs, plafonds, allèges ;
- types d'ouvrants, fenêtres et portes ainsi que skydômes
- épaisseur et type de toiture
- occupation des locaux

Pour plus de facilité, tous les locaux seront numérotés les uns à la suite des autres

### Température intérieure des locaux

Elles seront précisées seulement dans le cas où elles diffèrent de celles imposée par la réglementation.

### Situation prévue

Toute indication, pour autant qu'elle soit nécessaire ou souhaitée par le maître d'ouvrage, devra être donnée ; notamment l'emplacement de certains équipements frigorifiques.

### Nature du courant et tension

Au Burkina-Fasso, on dispose dans la plupart des cas de courant alternatif 220/380 volts. Il faut alors indiquer la tension de fonctionnement : soit 3x220 volts, soit 3x380 volts. Pour certains moteurs à montage étoile-triangle par exemple, ou à nombre de pôles variable, cette précision est indispensable au moment de la commande des moteurs

## **Conclusion**

En définitive, sa forte implication dans l'acte de construire fait que la climatisation ne peut en réalité se voir réserver à un chapitre exclusif de marchés d'étude et de travaux.

En effet, du fait des liaisons contractuelles, les études et travaux de climatisation doivent s'effectuer presque simultanément et dans les mêmes normes que ceux définis pour le projet-père.

*Partie B: Etude de cas*

**Climatisation d'un immeuble  
d'hôtel à trois étoiles  
à Ouagadougou**

## **B.I-/ PRESENTATION DE L'IMMEUBLE**

L'immeuble est un ensemble constitué de cinq niveaux. Le rez-de-chaussée et quatre étages [cf. Annexe VI]:

- Le rez-de-chaussée se compose d'espaces en location (boutiques) et de locaux à exploitation assurée par le propriétaire du bâtiment (bar, hall, administration, resaurant..)
- Les premier, deuxième et troisième étage : abritent essentiellement les chambres d'hôtel proprement dites (au total 75 chambres à raison de 25 par niveau) ;
- Le quatrième étage de surface relativement réduite est prévu pour la construction d'une salle de conférence avec des salles annexes.

Les locaux à climatiser sont ceux destinés à accueillir la clientèle pendant un temps relativement long comme cela apparaît sur les différents plans.

## **B.II-/ DIMENSIONNEMENT ET CHOIX DES EQUIPEMENTS**

### **B.II.1-/ BILAN FRIGORIFIQUE**

Le bilan constitue la première étape du dimensionnement. Il a pour but d'estimer les charges calorifiques susceptibles d'être abritées par le bâtiment. On distingue les méthodes manuelles de calcul de bilans et les méthodes de calcul par logiciel [cf. B. III].

#### **B.II.1.1-/ Méthode de bilan utilisée**

Pour l'évaluation des charges calorifiques, nous avons utilisé une méthode manuelle : la méthode simplifiée de sélection de CARRIER [cf. Annexe.VI].

### **B.II.1.2-/ Hypothèses de calcul**

Le calcul du bilan a été fondé sur un certain nombre d'hypothèses qui portent sur quatre éléments: les conditions climatiques, la subdivision du bâtiment, son occupation et les appareillages électriques.

#### **B.II.1.2.a) Les conditions climatiques**

Les conditions climatiques retenues sont les suivantes :

- conditions extérieures : Température = 41° C  
Humidité relative = 35%
- conditions intérieures : Température = 28°C  
Humidité relative = 40%
- conditions sur local adjascent à un local à climatiser : on considérera comme non -climatisé tout local adjascent à un local à climatiser.

Notons que les deux premières conditions sont celles rencontrées fréquemment dans les projets de climatisation à Ouagadougou. L'écart de 4°C entre les 24°C intérieur de la méthode de bilan utilisée et les 28°C intérieur réellement attendues constitue une marge de sécurité

La dernière condition tient compte de l'utilisation non-simultanée des équipements de chambres ou locaux voisins. Or en réalité un local est rarement habité de manière isolée. Ainsi cette hypothèse introduit une autre sécurité supplémentaire

#### **B.II.1.2.b) Zones et espaces de références associés**

Une zone est formée d'un ensemble de plusieurs locaux identiques appelés espaces. Cette égalité se traduit principalement au plan fonctionnel et au niveau de la géométrie du local.

Nous définissons comme espace de référence d'une zone, l'espace qui, au vu de son exposition apparaît comme la plus défavorisée. C'est-à-dire celui susceptible d'emmagasiner le plus de chaleur.

Les différents calculs de bilan porteront sur les espaces de références. Les résultats seront ensuite généralisés à l'ensemble de la zone par simple multiplication.

De toute façon les quantités de chaleur obtenues pour les espaces d'une même zone seront dans le même ordre de grandeur. De plus on choisit toujours des équipements de puissances supérieures et les gammes proposées par les constructeurs sont suffisamment étendues pour pouvoir regrouper ces espaces.

Le tableau de la page suivante donne la subdivision pour la laquelle nous avons opté.

#### **B.II.1.2.c) Hypothèses sur les occupants**

Les hôtels font souvent l'objet de flux humains difficile à maîtriser. Nous nous sommes fixé des nombres que nous considérons comme maximum [cf annexe VI]

#### **B.II.1.2.d) Les appareillages électriques**

La puissance des différentes sources électriques de chaleur n'étant pas indiquée, nous avons émis les hypothèses suivantes :

- pour l'éclairage :  $20 \text{ W/m}^2$  de sol. La fiche de bilan proposée a été exploitée en ne tenant compte que de l'éclairage. Et cela correspond aux résultats entre parenthèses du tableau
- pour intégrer les autres charges d'origine électrique (machines, ordinateurs, etc), nous avons essayé de majorer les premiers résultats suivant la spécificité de chaque local.

**Tableau de Subdivision de l'immeuble**

<b>ZONE</b>	<b>ESPACE DE REFERENCE</b>	<b>PUISSANCE (w) PAR ESPACE</b>
3 Boutiques	Boutique n° 3	(15622) 16000
1 Bar	Bar	(18368) 20000
1 Hall	Hall	(56025) 60000
1 Administration	Administration	(8265) 10000
1 Restaurant	Restaurant	(46360) 50000
75 Chambres	Chambre D1	(3702) 5000
2 Salles de séjour	Salles de séjour n° 2	(10069) 12000
1 Salles de conférence	Salles de conférence	(24740) 30000
2 Salle annexe-conférence	Salle annexe-conférence n° 2	(6664) 8000

### **B.II.2- CHOIX DES EQUIPEMENTS**

Nous proposons pour la climatisation de l'immeuble un ensemble d'équipements de puissances moyennes constitué de Split-Systems pour les deux raisons suivantes :

- 1) les split étant des unités autonomes de refroidissement, une panne qui survient ne pénalise pas l'ensemble de l'immeuble. Ce qui permet de maintenir la clientèle dans un certain confort.
- 2) les espaces desservis par plusieurs unités ne sont pas toujours à leur charge calorifique maximum. Dans ce cas on n'est pas tenu de tous faire fonctionner. D'où une utilisation rationnelle de l'électricité.

De plus les constructeurs proposent des équipements de plus en plus silencieux. Il va donc sans dire que les split-system constituent une solution assez intéressante pour le cas en présence.

Les split retenus dans le "catalogue tarif 1997" du constructeur Carrier sont :

## BOUTIQUE

Caractéristiques	Type de Split	
	Console	Plafonnier
<b>Nombre</b>	1	1
<b>Unités intérieures</b>	42 KQF 025	42 AR 036
<b>Unités extérieures</b>	38 GL 24	38 CFM 036
<b>Puissance frigo (Kw)</b>	6,70	9,70
<b>Puissance absorbée (w)</b>	2080	3500
<b>Débit d'air soufflé (m<sup>3</sup>/h)</b>	1100/900	1440

## BAR

Caractéristiques	Type de Split	
	Console	Cassette
<b>Nombre</b>	1	2
<b>Unités intérieures</b>	42 VKX 012	40 QKB/QKE 036
<b>Unités extérieures</b>	38 GL 12	38 VAF 036
<b>Puissance frigo (Kw)</b>	3,14	9,30
<b>Puissance absorbée (w)</b>	1190	3670
<b>Débit d'air soufflé (m<sup>3</sup>/h)</b>	540/390	1630/1325/1180

## HALL

Split	Type de Split		
	Console	Cassette	Plafonnier
<b>Nombre</b>	2	3	1
<b>Unités intérieures</b>	42 VKF 028	40 QKX 548/O48	42 AR 036
<b>Unités extérieures</b>	38 VAF 028	38 VAF 048	38 CFM 036
<b>Puissance frigo (Kw)</b>	8	12,70	9,70
<b>Puissance absorbée (w)</b>	2950	4970	3500
<b>Débit d'air soufflé (m<sup>3</sup>/h)</b>	1350/1120	1825/1480/1065	1440

## ADMINISTRATION

Caractéristiques	Type de Split
	Console
<b>Nombre</b>	2
<b>Unités intérieures</b>	42 KQF 025
<b>Unités extérieures</b>	38 GL 24
<b>Puissance frigo (Kw)</b>	6,70
<b>Puissance absorbée (w)</b>	2080
<b>Débit d'air soufflé (m<sup>3</sup>/h)</b>	1100/900

## RESTAURANT

Caractéristiques	Type de Split	
	Console	Cassette
<b>Nombre</b>	4	2
<b>Unités intérieures</b>	42 VKF 028	40 QKX 548/O48
<b>Unités extérieures</b>	38 VAF 028	38 VAF 048
<b>Puissance frigo (Kw)</b>	8	12,70
<b>Puissance absorbée (w)</b>	2950	4970
<b>Débit d'air soufflé (m<sup>3</sup>/h)</b>	1350/1120	1825/1480/1065

## CHAMBRE

Caractéristiques	Type de Split
	Console
<b>Nombre</b>	1
<b>Unités intérieures</b>	42 VKX 018
<b>Unités extérieures</b>	38 GL 18
<b>Puissance frigo (Kw)</b>	4,69
<b>Puissance absorbée (w)</b>	1780
<b>Débit d'air soufflé (m<sup>3</sup>/h)</b>	680/490

## SALLE DE SEJOUR

Caractéristiques	Type de Split
	Console
<b>Nombre</b>	2
<b>Unités intérieures</b>	42 QKF 025
<b>Unités extérieures</b>	38 GL 24
<b>Puissance frigo (Kw)</b>	6,70
<b>Puissance absorbée (w)</b>	2080
<b>Débit d'air soufflé (m<sup>3</sup>/h)</b>	1100/900

## SALLE DE CONFERENCE

Caractéristiques	Type de Split	
	Console	Cassette
<b>Nombre</b>	3	1
<b>Unités intérieures</b>	42 VKF 028	40 QKB/QKE 036
<b>Unités extérieures</b>	38 VAF 028	38 VAF 036
<b>Puissance frigo (Kw)</b>	8	9,30
<b>Puissance absorbée (w)</b>	2950	3670
<b>Débit d'air soufflé (m<sup>3</sup>/h)</b>	1350/1120	1630/1325/1180

**SALLE ANNEXE DE CONFERENCE**

Caractéristiques	Type de Split
	Console
Nombre	1
Unités intérieures	42 VKF 028
Unités extérieures	38 VAF 028
Puissance frigo (Kw)	8
Puissance absorbée (w)	2950
Débit d'air soufflé (m <sup>3</sup> /h)	1350/1120

**DEVIS ESTIMATIF**

Désignation	Puissance frigorifique (Kw)	Quantités	Prix unitaire en FF (HT)	Coûts totaux en FF (HT)
<b>Consoles</b>	3,14	1	5110	5110
	4,69	75	5360	402000
	6,70	8	5990	47920
	8	11	6170	67870
<b>Plafonnier</b>	9,0	4	9990	39960
<b>Cassette</b>	9,30	3	12330	36990
	12,70	5	13430	67150
				<b>667000</b>

1 FF = 100 FCFA

**B.III-/RECOMMANDATIONS**

Le dossier complet de l'hôtel n'ayant été mis à notre disposition, nous ne saurions prétendre faire des propositions très diversifiées et exemptes de reproches. Les recommandations en vue de l'amélioration du confort physiologique des usagers du bâtiment auront un caractère plutôt général.

**B.III.1-/ RECOMMANDATIONS D'ORDRE BIOCLIMATIQUE**

D'une manière générale, les recommandations données dans la partie A devront autant que possible mises en application.

### **B.III.2-/ RECOMMANDATIONS PAR RAPPORT AUX TECHNIQUES MECANIQUES**

Les recommandations touchent à deux niveaux : la méthodes de dimensionnement et le choix du système de refroidissement.

#### **B.III.2.1 La méthode de dimensionnement**

La méthode de dimensionnement utilisée, il est vrai, provient d'une société jouissant d'une crédibilité internationale. Cependant, l'idéal veut qu'on teste plusieurs méthodes en guise de vérification.

On peut citer la méthode détaillée de CARRIER, celle de Y. GUENAND [cf. Annexe VI] etc.

On peut également envisager l'utilisation de logiciel tels que CARRIER, CASAMO-CLIM, OASIS, SIMULA, CODYBA APPORT ASHRAE, etc.

#### **B.III.2.1-/ Le choix du système de climatisation**

Sans minimiser les avantages du système proposé, on aurait pu envisager les centrales de climatisation, ne serait-ce que sous forme d'une étude comparative. Car l'expérience montre que ces derniers donnent d'assez bons résultats avec les établissements hôteliers.

Sans être exhaustive, ces recommandations peuvent constituer une piste intéressante pour de futures études. En particulier une étude comparative des différentes possibilités de climatisation.

## CONCLUSION GENERALE

La climatisation, définie comme ensemble de moyens mis en œuvre en vue du maintien des conditions de confort dans une enceinte, est beaucoup plus intéressante pour son aspect refroidissement s'il s'agit de nos villes africaines.

Le refroidissement d'un habitat, loin de se limiter à l'usage de machines frigorifiques, englobe nombre de méthodes passives qu'il convient d'observer dans tout projet de climatisation.

Cependant, ces procédés passifs se voient, dans leur application, confrontés à un certain nombre de contraintes imposées le plus souvent par les propriétaires immobiliers.

Les marchés d'études et de travaux en climatisation, considérés comme la petite innovation par rapport au contenu classique des mémoires se rapportant au thème de la climatisation, rejoignent dans les grandes lignes les règles générales des marchés d'études et de travaux tels que rencontrés dans les projets de construction.

Enfin, l'aspect technique de ce mémoire (étude de cas : Climatisation d'un immeuble d'hôtel à trois étoiles à Ouagadougou), nous aura quelque peu laissé sur notre soif. En effet, si le temps prévu pour la réalisation de ce travail de fin d'études nous a permis de dimensionner de choisir un système de climatisation, il s'est avéré insuffisant quant à la vérification des règles des marchés d'études et de travaux sur ce cas réel de terrain. Absence de vérification liée également à des contraintes d'ordre organisationnel et de programmation avec notre structure d'accueil (SEEE).

Pour terminer, il faut noter que, si ce mémoire ne confirme tout le succès escompté, il nous aura tout de même permis de multiplier nos contacts dans le milieu professionnel. Mais le plus grand intérêt du travail a été l'ouverture d'une vision plus étendue sur le domaine de la production frigorifique. Cependant, nous souhaiterions que l'EIER songe à un réaménagement de son programme d'enseignement, afin d'augmenter le volume horaire consacré au mémoire et au cours de froid.

# BIBLIOGRAPHIE

- [1] **Edouard KIADI** , Etude de la commercialisation du ventifraicheur à Ouagadougou (Aspects techniques , financiers et commerciaux), EIER, Mémoire de fin d'études 1994-1996.
- [2] **T DJIAKO** et **Yves JANNOT** , International Journal of Refrigeration , 1994 Linacre House , Jordan Hills, OXFORD OX2 8 DP, UK.
- [3] **T. DJIAKO**, Production du froid, photocopié de cours EIER mars 1992
- [4] **Y. JANNOT**, Echanges thermiques, photocopié de cours EIER février 1990
- [5] **R. J. RAPIN** et **P. JACQUARD** , Installations frigorifiques TOME 2 , PYC-EDITION , 5 , avenue de Verdun , BP 105 , 94208 IVRY-SUR-SEINE CEDEX
- [6] **G. ANDREIEFF de Notbeck** , Manuel du conditionnement d'air TOME III , PYC-EDITION , 254 , rue de Vaugirard , 75740 PARIS CEDEX 15
- [7] **Zoukaté Alphonse TUINA** , cours d'Habitat , EIER , 1997
- [8] **C. DALLET** , Ingénierie et marchés publics (les marchés d'études et de travaux) , support de cours, EIER Décembre 1994
- [9] **Yézouma COULIBALY** , Cours de climatisation , EIER 1997
- [10] **Recknagel** , Manuel pratique du génie climatique , PYC-EDITION
- [11] **Yao Pierre KOUAME** , Etude de la climatisation d'un bloc opératoire de type orthopédie en tout air neuf à Ouagadougou , EIER Mémoire de fin d'étude 1994-1995
- [12] **CARRIER**
  - [12.1] Manuel , 1<sup>ère</sup> Partie Bilan thermique
  - [12.2] Principes de base de la climatisation
  - [12.3] HAP v.1.13 (Programme d'analyse horaire) , E20-II, manuel de logiciel

- [13] **Yves GUENAND**, La climatisation, EDITION 27-29, Quai des Grands-Augustins-Paris 6<sup>e</sup> 1972
- [14] **Costic**, Guide Technique de la climatisation Individuelle, Climatisation et Développement 1995
- [15] République Française, **Ministère de la coopération**, Programme interministériel Rexcoop, Bioclimatisme en zone tropicale, EDITIOJN GREY (groupe de recherche et d'échanges technologiques)
- [16] **Eric MAYER**, Contribution au développement des écotechniques en Amérique latine et au Venezuela tome 2, Thèse de Doctorat d'Etat, Université Paris 7

# ANNEXES

# **ANNEXE I**

## **DONNEES THEORIQUES RELATIVES A LA SENSATION THERMIQUE**

## X Annexe I.1

### Réponse thermique des éléments structuraux d'une maison traditionnelle en zone tropicale

Matériaux	Réponse thermique		Poids		Durée de vie	
	Climat chaud et humide	Climat très chaud et sec	Lourd	Léger	Suffisant	Insuffisant

#### Toits

Matériaux végétaux	bonne	bonne		X		X
Argile	mauvaise	bonne	X			X
Argile stabilisé	mauvaise	bonne	X		X	
Brique plate	bonne	bonne	X		X	
Tuile	bonne	mauvais	X		X	
Bois	bonne	mauvaise		X		X
Béton	mauvaise	mauvaise	X		X	
Tôle ondulée	mauvaise	mauvaise		X	X	
Tôle en fibrociment	bonne	mauvaise		X	X	

#### Murs

Pierre	mauvaise	bonne	X			
Adobe	médiocre	bonne	X			X
Torchis, pisé	médiocre	bonne	X	X		X
Argile stabilisée	bonne	bonne	X		X	
Bois	bonne	médiocre		X		X
Béton	bonne	mauvaise	X		X	
Élément préfabriqué et léger	bonne	mauvaise		X	X	
Élément préfabriqué et Lourd	mauvaise	bonne	X		X	

## Annexe I.2

### 1) Programme d'évaluation de la sensation thermique (PMV)

```
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= 3.57-.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 =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*T2  
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
```

### 2) Influence relative des paramètres de sensation thermique sur le PMV

#### Situation de base:

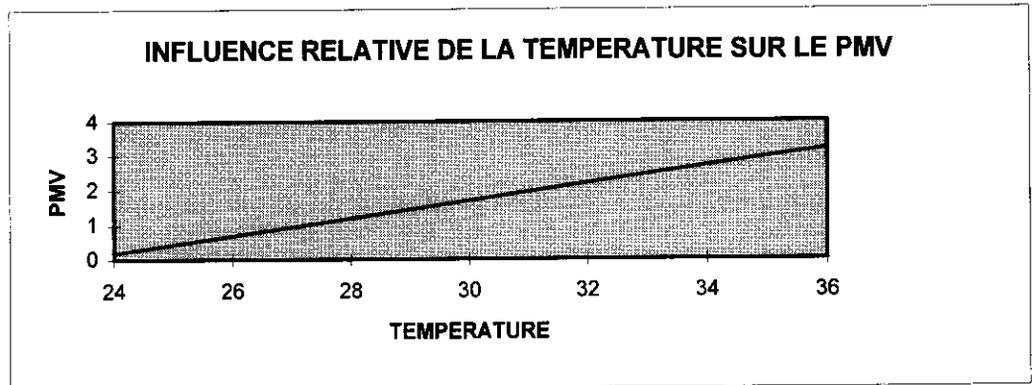
Individu assis effectuant un travail de bureau ( $M_{th} = 125$  W), habillé en tenue d'été (pantalon + chemisette :  $R_v = 0,078$  m<sup>2</sup> °C / W) dans l'ambiance suivante:  $\theta = 32^\circ\text{C}$ ;  $\theta_r = 32^\circ\text{C}$ ;  $e = 50\%$  et  $v = 0,5$  m/s conduisant à un PMV = 2,2 (chaud)

#### Principe:

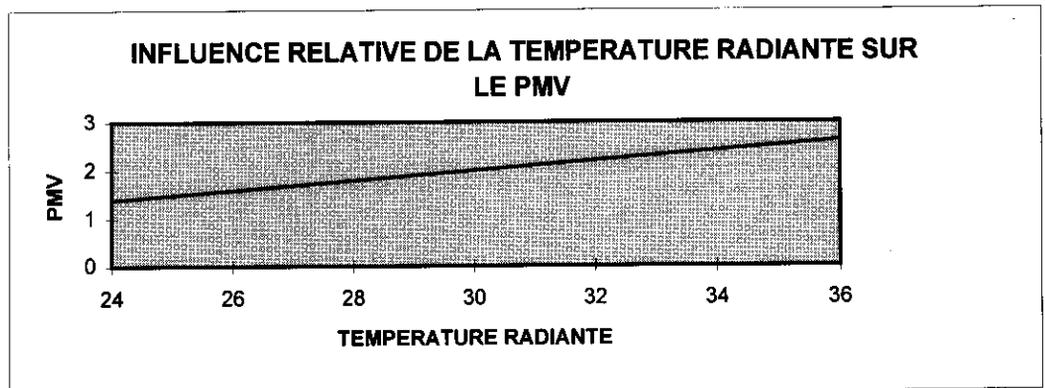
Variation successive de chacun des paramètres

## DIFFERENTES VARIATIONS DU PMV

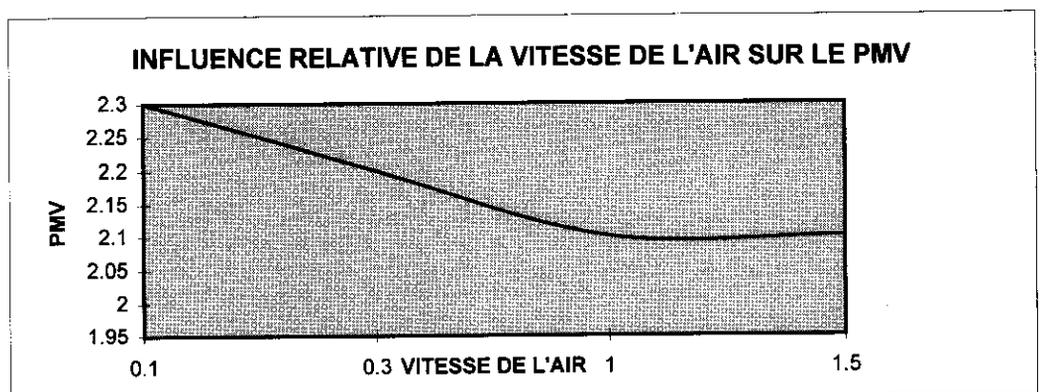
	24	26	28	30	32	34	36
	0.2	0.7	1.2	1.7	2.2	2.7	3.2



	24	26	28	30	32	34	36
	1.4	1.6	1.8	2	2.2	2.4	2.6

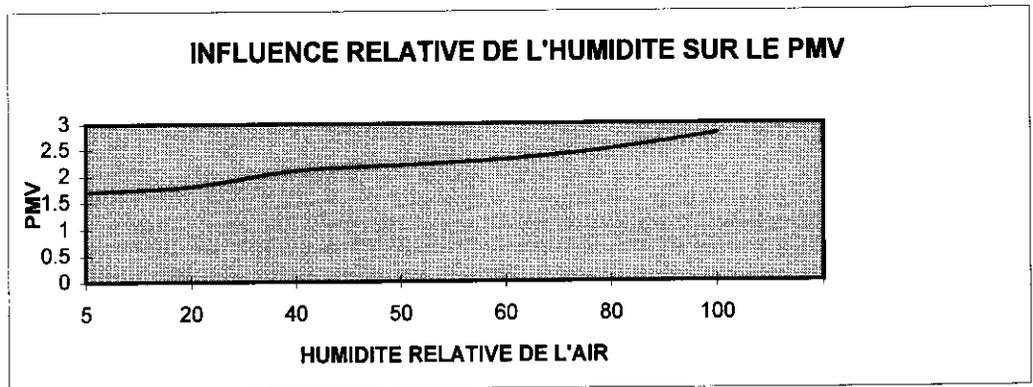


	0	0.1	0.3	1	1.5
	2.4	2.3	2.2	2.1	2.1

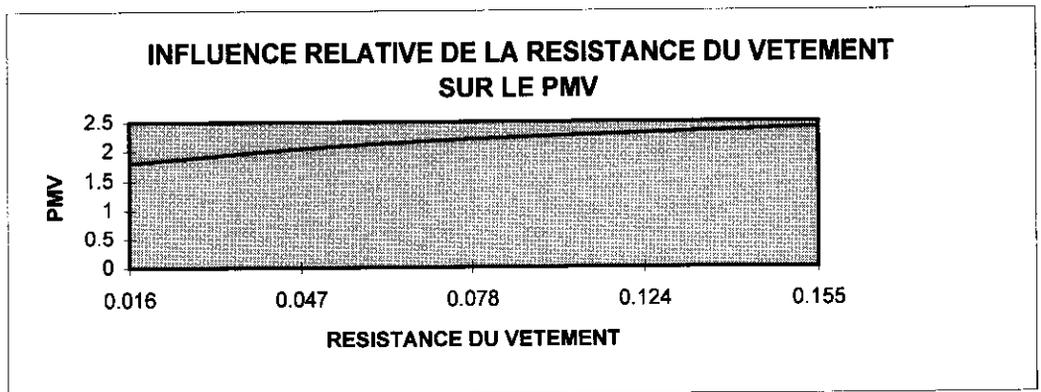


## DIFFERENTES VARIATIONS DU PMV

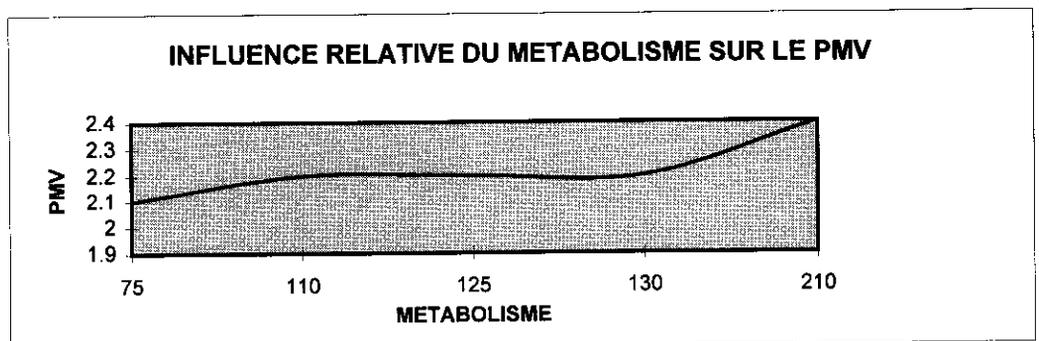
	5	20	40	50	60	80	100
PMV	1.7	1.8	2.1	2.2	2.3	2.5	2.8



	0.016	0.047	0.078	0.124	0.155
PMV	1.8	2.04	2.2	2.3	2.4

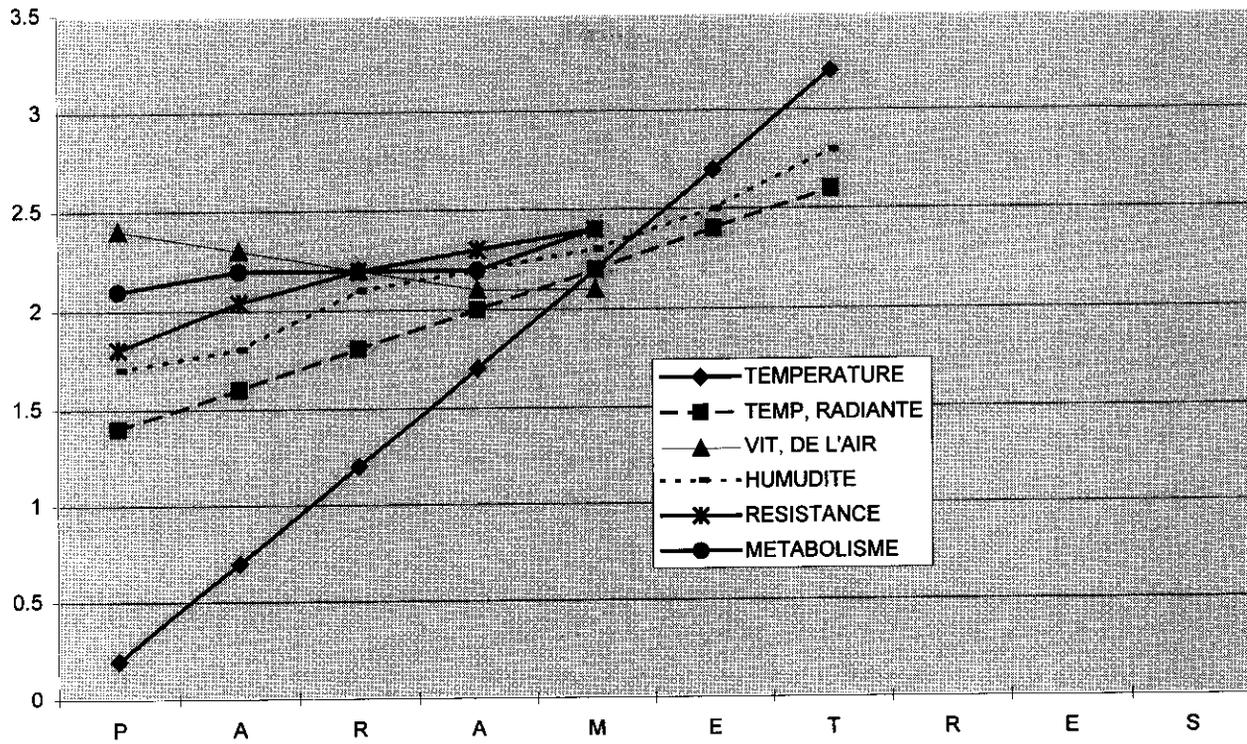


	75	110	125	130	210
PMV	2.1	2.2	2.2	2.2	2.4



# DIFFERENTES VARIATIONS DU PMV

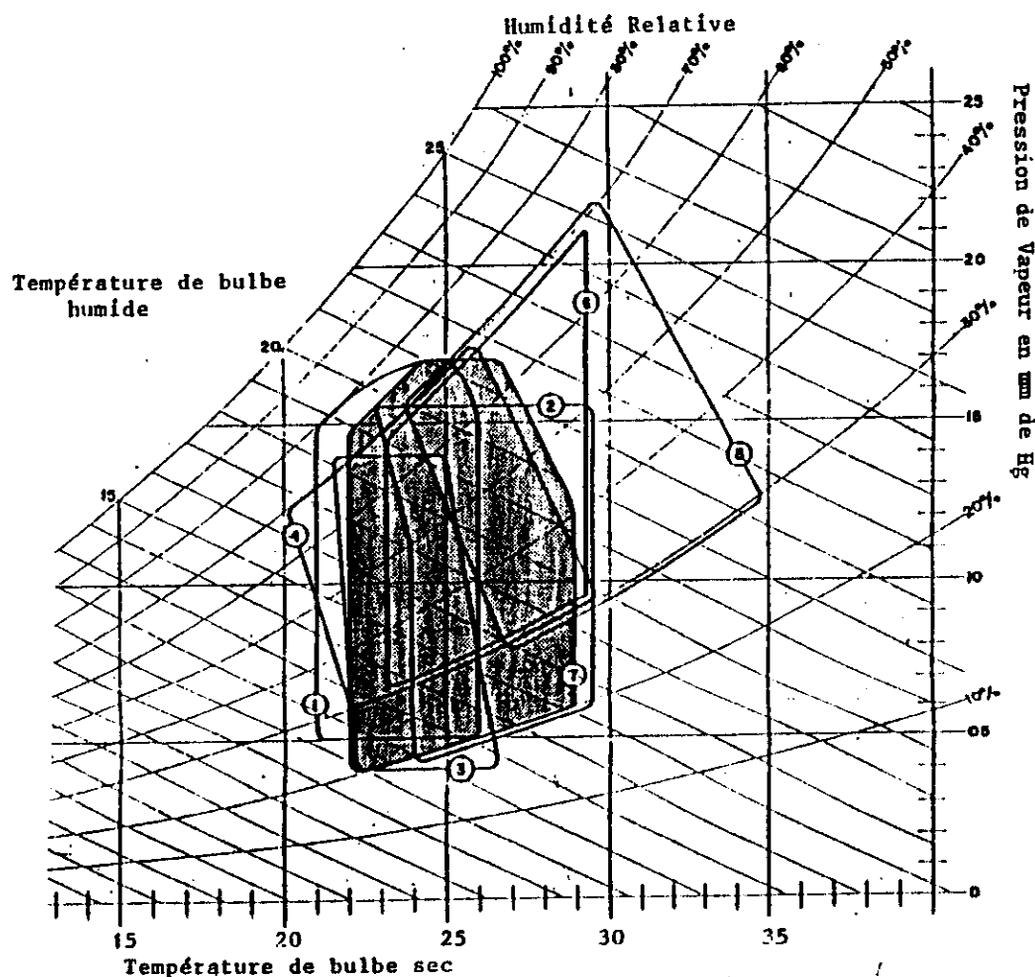
## INFLUENCES COMPAREES DES DIFFERENTS PARAMETRES DU CONFORT SUR LE PMV



## **ANNEXE II**

# **CARTES BIOCLIMATIQUES**

## Annexe II.1

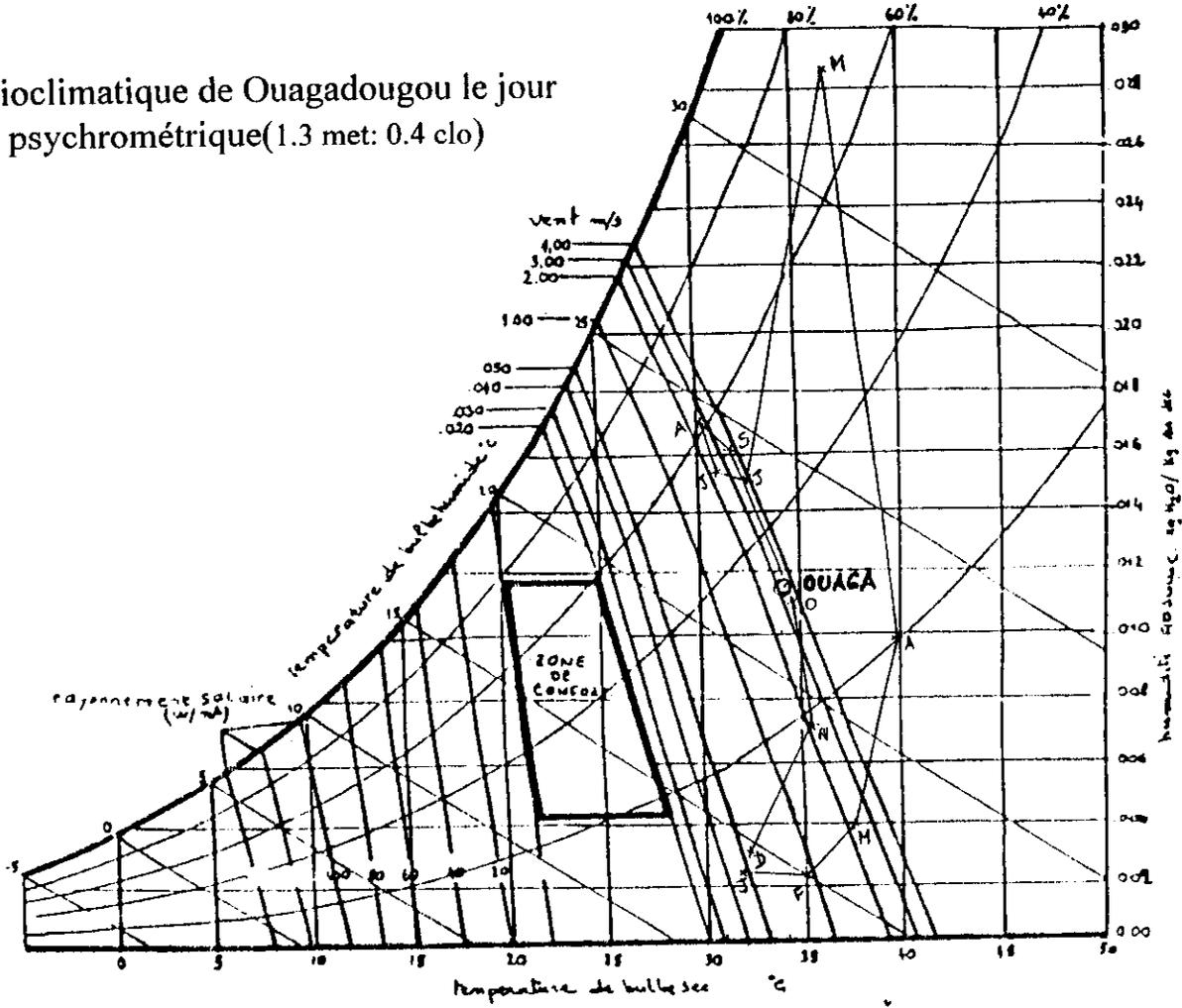


### Propositions de zone de confort

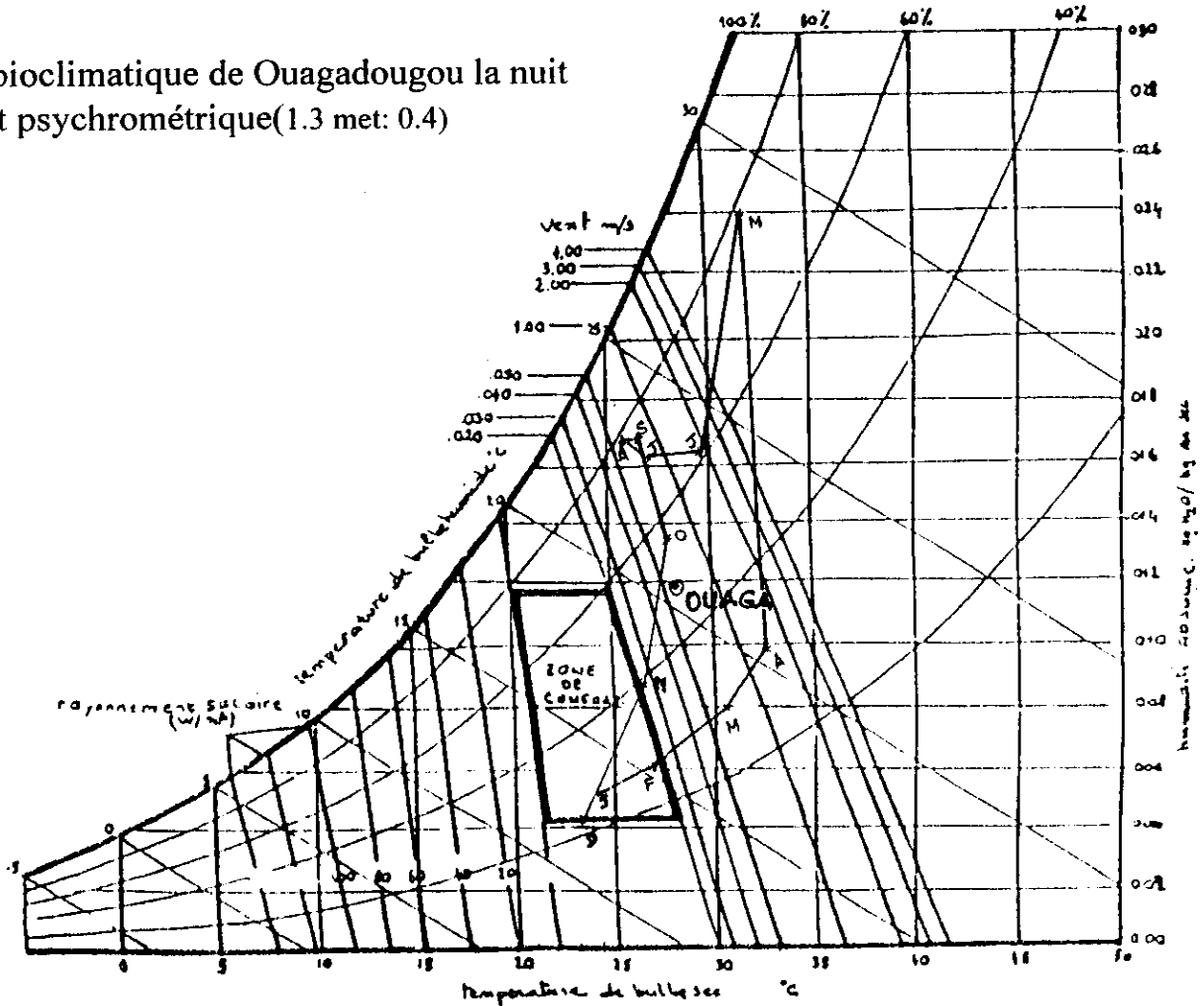
ZONE	AUTEUR	LIMITES DE T°	LIMITES D'HUMIDITE
1	B. Givoni	21°C - 26°C	5 - 17 mm Hg
2	V. Olgyay	23.9°C - 29.5°C	20% - 75%
3	ASHRAE	22.2°C - 26.6°C	4 mm Hg
4	Yalgou-Drinker	18.8°C - 23.8°C	14 mm Hg. 30% - 70%
5	Koenigsberger	22°C - 27°C 21.63°C - 25°C	30% - 70% 14 mm Hg
6	C.E. Brooks	23.3°C - 29.4°C	30% - 70%
7	E. Gonzales	22°C (limite inférieure) 29°C (limite supérieure)	27% - 75% 20% - 40%

## Annexe II.2

Carte bioclimatique de Ouagadougou le jour  
Format psychrométrique(1.3 met: 0.4 clo)

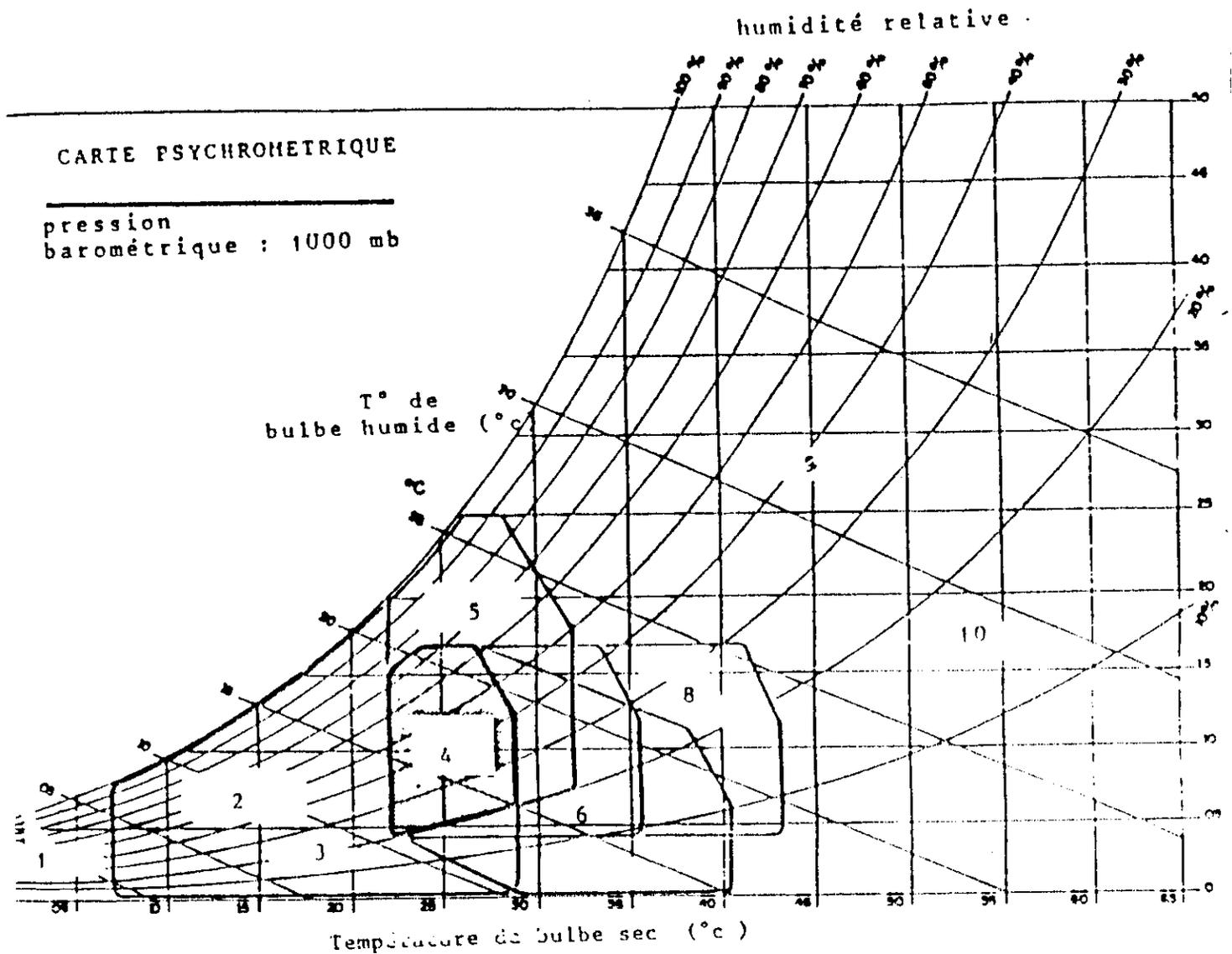


Carte bioclimatique de Ouagadougou la nuit  
Format psychrométrique(1.3 met: 0.4)



## Annexe II.3

### Carte bioclimatique de l'habitat d'après GIVONI et HERNANDEZ



#### Solutions de recherche de confort proposées en fonction des caractéristiques climatiques

- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 1. Chauffage conventionnel            | 2. Chauffage passif ou conventionnel    |
| 3. Humidification                     | 4. Zone de confort                      |
| 5. Ventilation naturelle ou mécanique | 6. Masse thermique                      |
| 7. Evaporation                        | 8. Masse thermique ventilation nocturne |
| 9. Déshumidification conventionnelle  | 10. Air conditionné conventionnel       |

## **ANNEXE III**

# **FONDEMENTS THEORIQUES DES TECHNIQUES DE VENTILATION NATURELLE**

# VENTILATION POSITION DES OUVERTURES PLANS

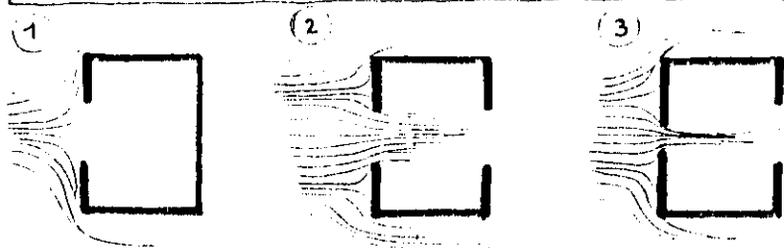
d'après OLGAY

Pour ventiler une habitation, il faut une entrée d'air et une sortie.

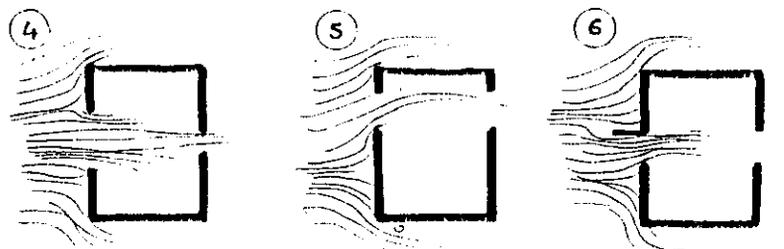
- ① Avec seulement une ouverture du côté exposé au vent, il n'y a pas de mouvement d'air à l'intérieur.
- ② Mouvement d'air maximum avec deux larges ouvertures disposées sur des murs opposés.
- ③ Mouvement plus faible mais vitesse maximum (d'où meilleur confort si la ventilation est indispensable) si il ya une entrée d'air étroite combinée avec une large sortie.

→ direction du vent

- ④ Large entrée d'air, sortie étroite : la vitesse sera maximum à l'extérieur du bâtiment ; mauvaise ventilation.

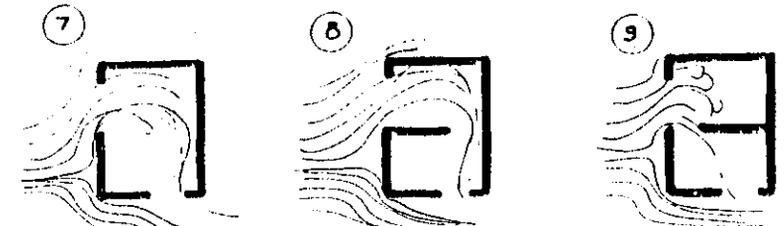


- ⑤ Ouvertures décentrées : l'air est renvoyé sur le côté.



- ⑥ Porte ouverte ou mur extérieur perpendiculaire : le flux d'air est dévié.

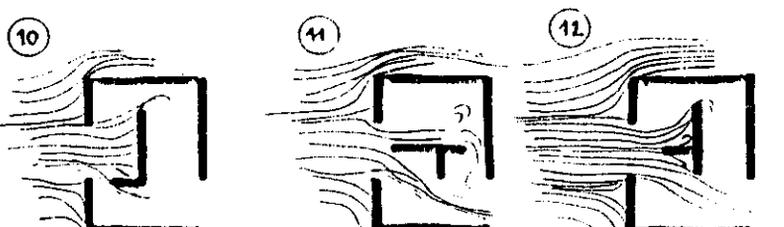
- ⑦ Intérieur sans cloison : l'air circule uniformément jusqu'à la sortie.



- ⑧ Cloisonnement n'interférant pas le flux principal, pas de modification

- ⑨ Cloisonnement coupant le flux : perturbations. la pièce supérieure n'est pas ventilée, celle du bas très faiblement.

- ⑩ et ⑫ : Cloison perpendiculaire au flux principal : altération importante, mauvaise efficacité de la ventilation.

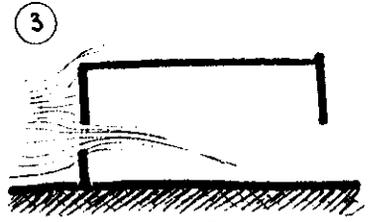
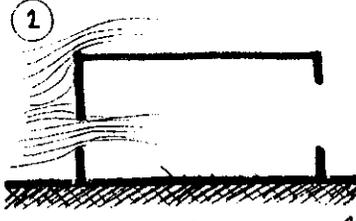
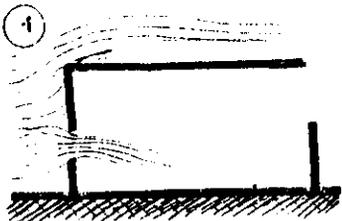


- ⑪ Cloison parallèle au flux principal : modification du flux mais la ventilation reste efficace.

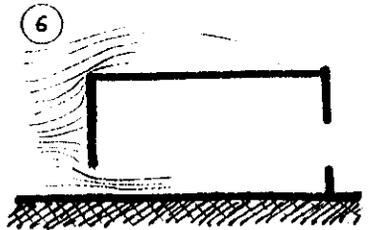
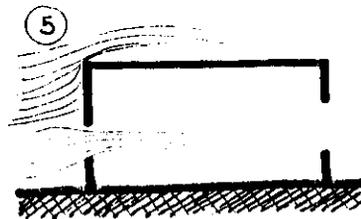
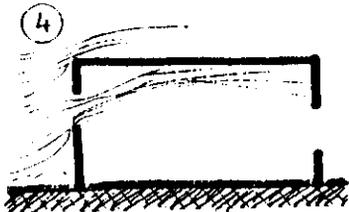
# VENTILATION POSITION DES OUVERTURES COUPES

d'après OLGAY

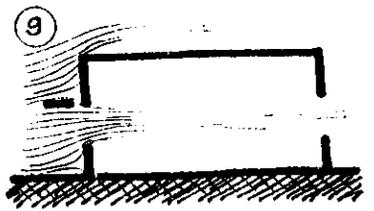
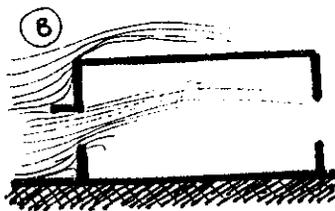
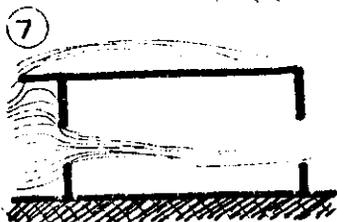
→ direction du vent



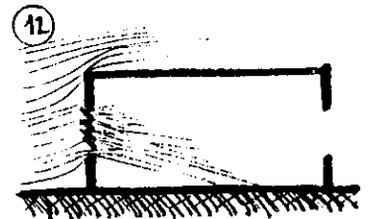
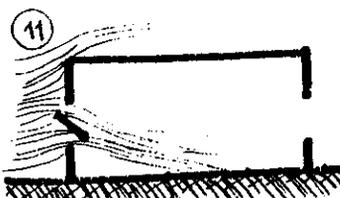
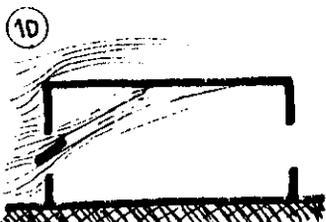
①, ② et ③ : Quelque soit la position de la sortie d'air (en haut, au milieu ou en bas du mur), le flux intérieur est dirigé vers le bas si l'entrée est en position basse. la ventilation est alors efficace



④, ⑤ et ⑥ : La position de l'entrée d'air est déterminante: si elle est trop haute, le flux est dirigé vers le plafond et la ventilation n'est pas bonne.

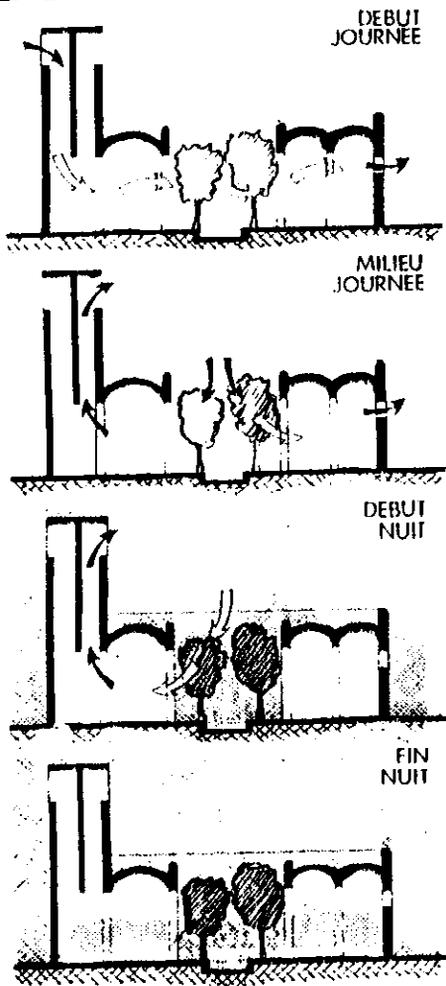


⑦, ⑧ et ⑨ : les avancées de toiture et pare-soleil modifient l'importance et la direction du mouvement d'air. Une avancée assez haute augmente le flux sans modifier sa direction (7). Un pare-soleil horizontal juste au dessus de la fenêtre dirige le flux vers le plafond et diminue l'efficacité de la ventilation (8). Un passage pour l'air, entre le mur et le pare-soleil permet de compenser cet effet négatif (9).



⑩, ⑪ et ⑫ : les fenêtres pivotantes et fenêtres à lames mobiles doivent être placés de façon à orienter l'air vers le bas de la pièce (11 et 12)

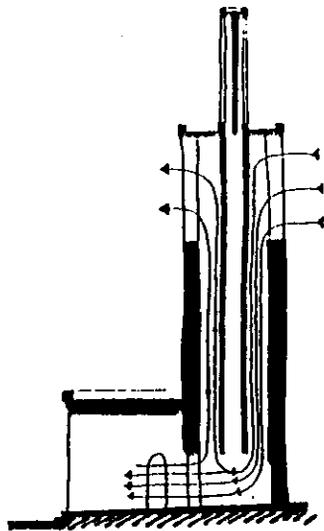
# VENTILATION LES CAPTEURS À VENT



Lorsqu'il est nécessaire d'activer la convection naturelle et que les vents sont quelquefois frais, on utilise un dispositif destiné à capter les vents en hauteur et à les diriger dans les pièces à ventiler. Les "capteurs à vent" sont assez fréquents en Irak, en Irak et en Egypte, et scellent au-dessus des toitures afin de profiter des filets d'air les plus frais, les plus rapides, les moins poussiéreux et les moins humides (ce qui permet, éventuellement, de les charger volontairement d'humidité pour abaisser leur température).

Le capteur à vent est naturellement sélectif car il ne fonctionne pas seulement grâce aux vents mais aussi grâce à la différence de température entre le vent et l'air ambiant intérieur. En effet, lorsque l'air intérieur est plus frais que l'air extérieur, il provoque une pression qui empêche le vent de pénétrer dans le capteur; par contre, lorsque le vent est plus frais que l'air intérieur, celui-ci est chassé par le vent qui pénètre par le capteur pour descendre au rez-de-chaussée de l'habitation.

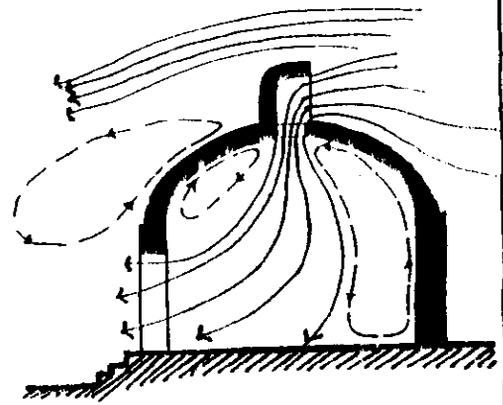
(d'après ARGH-BIO. 1979. Izard-Guyot)



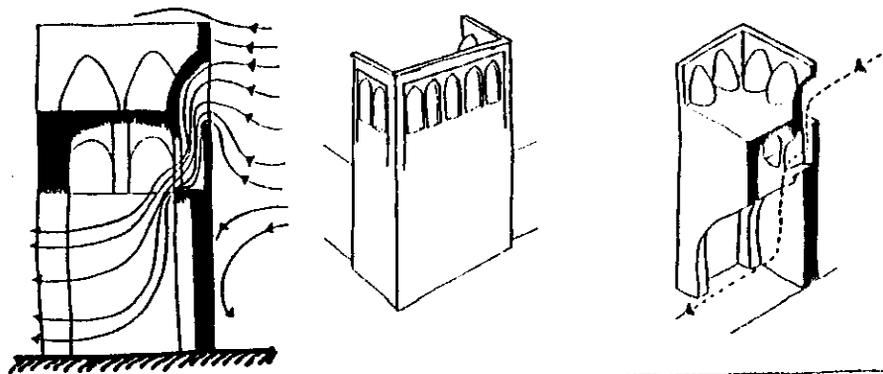
Badgir (capteur à vent) d'un type particulier: celui d'un caravansérail. Double orientation: le vent frais est dirigé vers le bas; du côté opposé, l'air est aspiré vers le haut

Badgir de faible hauteur car le vent souffle à basse altitude

(D'après Atelier Tiers-Monde. UP1; 1982-1983)



Badgir tridirectionnel, le côté recevant le vent est le plus important et comprend plusieurs orifices, le vent est attiré facilement vers le bas grâce à leur forme courbe.



## • REFROIDISSEMENT PAR ÉVAPORATION

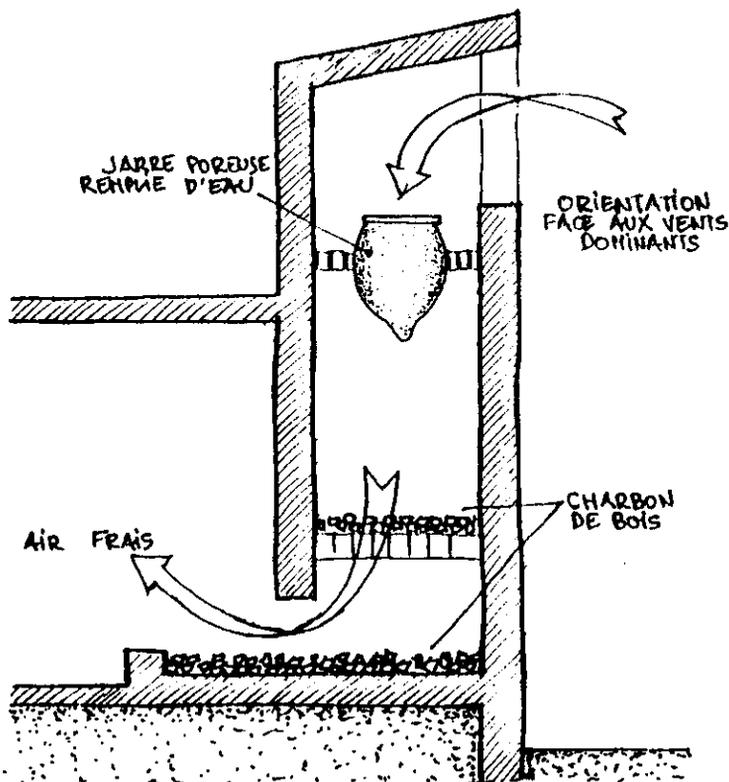
Le refroidissement par évaporation est utilisable dans le cas des climats chauds et secs (climats désertiques en priorité) où l'humidité est suffisamment basse une bonne partie de l'année.

### REFROIDISSEMENT PAR ÉVAPORATION SYSTÈME TRADITIONNEL

#### LA JARRE "MAZIARA" :

Il s'agit d'un système traditionnel de refroidissement utilisé dans les zones rurales de la Haute-Egypte, qui met à contribution les propriétés d'évaporation refroidissante de grandes jarres de céramique.

En effet, la nature poreuse de la céramique non vernie, provoque, par infiltration, l'humidification de la face extérieure de la jarre et l'évaporation refroidit cette dernière et son contenu. On a calculé que le processus d'évaporation absorbe 580 calories par centimètre cube d'eau évaporée. Le refroidissement est accru quand on place la "maziara" dans un courant d'air.



SYSTÈME UTILISÉ EN ÉGYPTE  
(d'après Tropical Architecture)

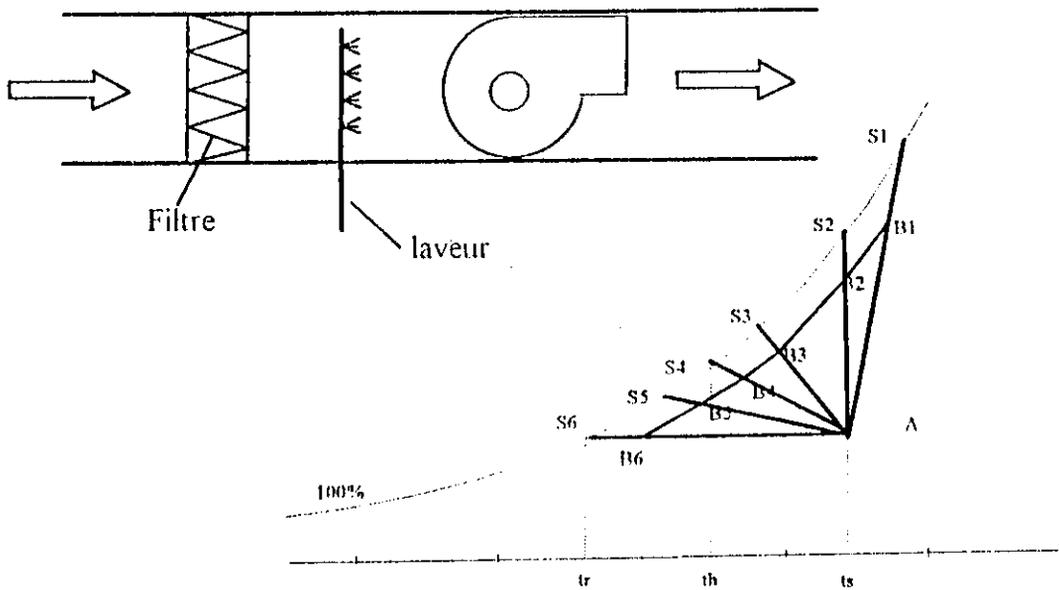
Des expériences ont montré que, dans une température extrême variant de 19°C à 36°C au cours de la journée, la température de l'eau de la maziara reste sensiblement égale à 20°C. En 16 heures, une seule jarre a produit 1700 kilocalories. Au moment le plus chaud de la journée, le taux de refroidissement a atteint 165 kcal/heure, soit environ 192 watts.

(D'après Cain, Afsyar, Norton et Daraie :  
Systèmes traditionnels de refroidissement,  
Revue Actuel Développement n° 15 - 1976)

## **ANNEXE IV**

# **SCHEMAS TECHNIQUES DE CONDITIONNEMENT D'AIR (AVEC DIAGRAMMES ASSOCIES)**

# 1) Principe de prétraitement par pulvérisation d'eau



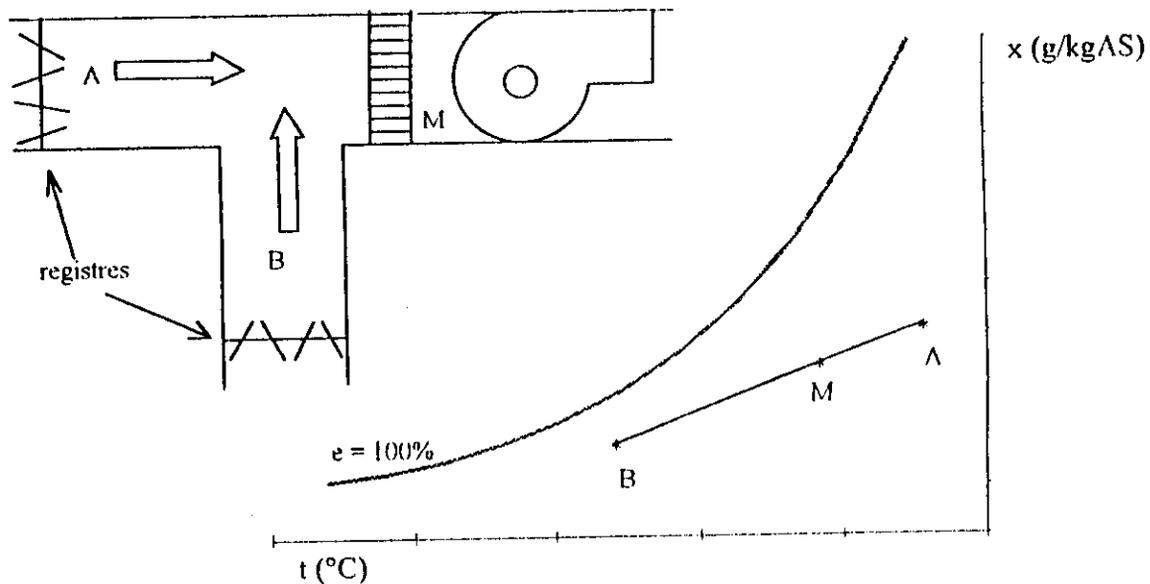
A: Etat initial de l'air  
 Si: Etat final théorique de l'air  
 Bi: Etat final réel de l'air

## Transformation

## Commentaire

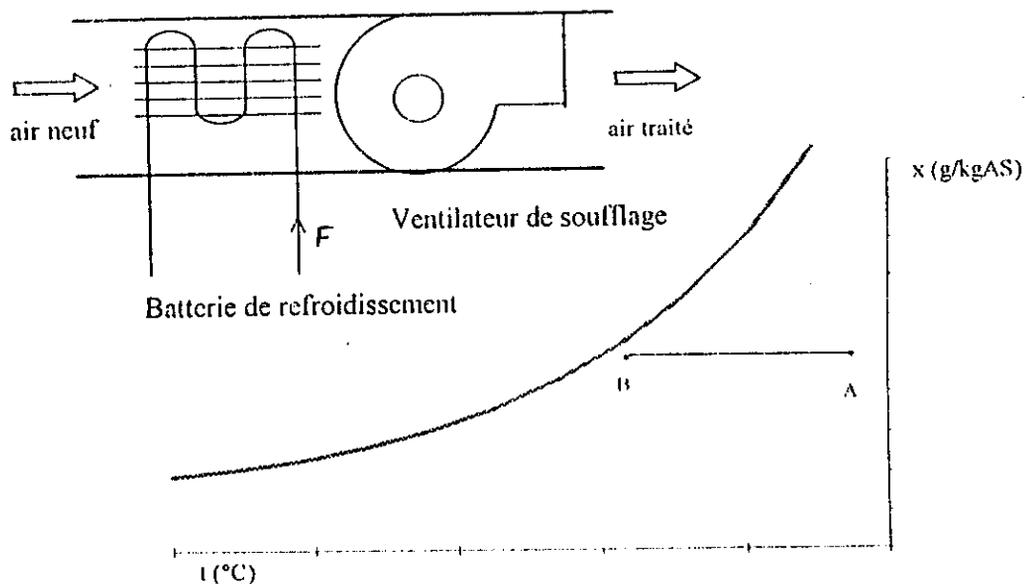
- AB1(S1): La température de l'eau est supérieure à la température sèche de l'air
- AB2(S2): La température de l'eau est égale à la température sèche de l'air
- AB3(S3): La température de l'eau est comprise entre la température sèche et la température humide de l'air
- AB4(S4): La température de l'eau est égale à la température humide de l'air
- AB5(S5): La température de l'eau est comprise entre la température humide et celle de rosée de l'air
- AB6(S6): La température de l'eau est égale à la température de rosée de l'air

## 2) Principe de prétraitement par apport d'air humide



- A: Etat initial de l'air à traiter
- B: Air de traitement (en général air de reprise)
- M: Mélange final

## 3) Principe de traitement simple d'air



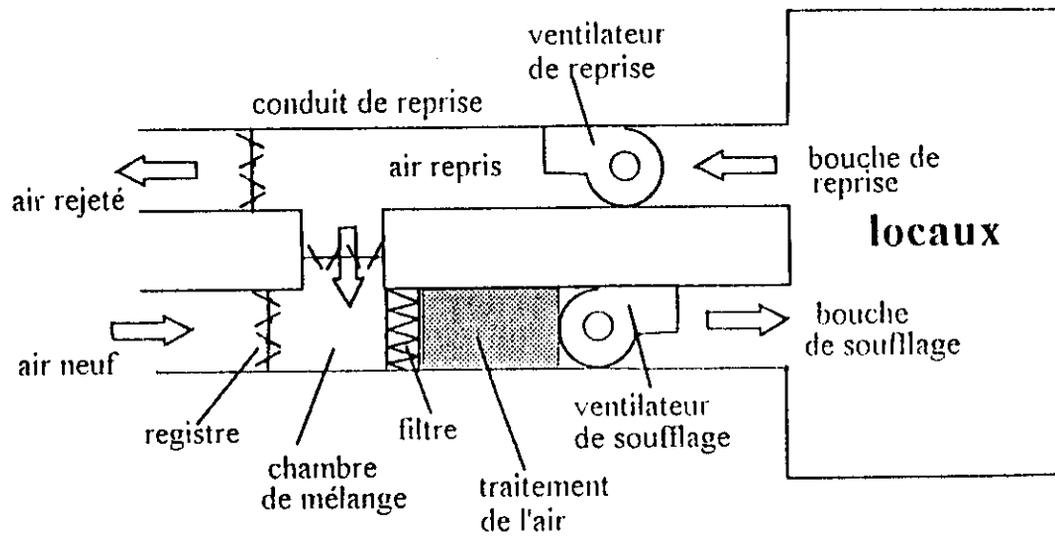
- A: Etat initial de l'air
- B: Etat final

i) Si fluide thermique(F) = fluide frigorigène  
alors

Batterie de refroidissement = évaporateur d'un groupe frigorifique

ii) Dans de cas fréquents, fluide thermique(F) = eau glacée

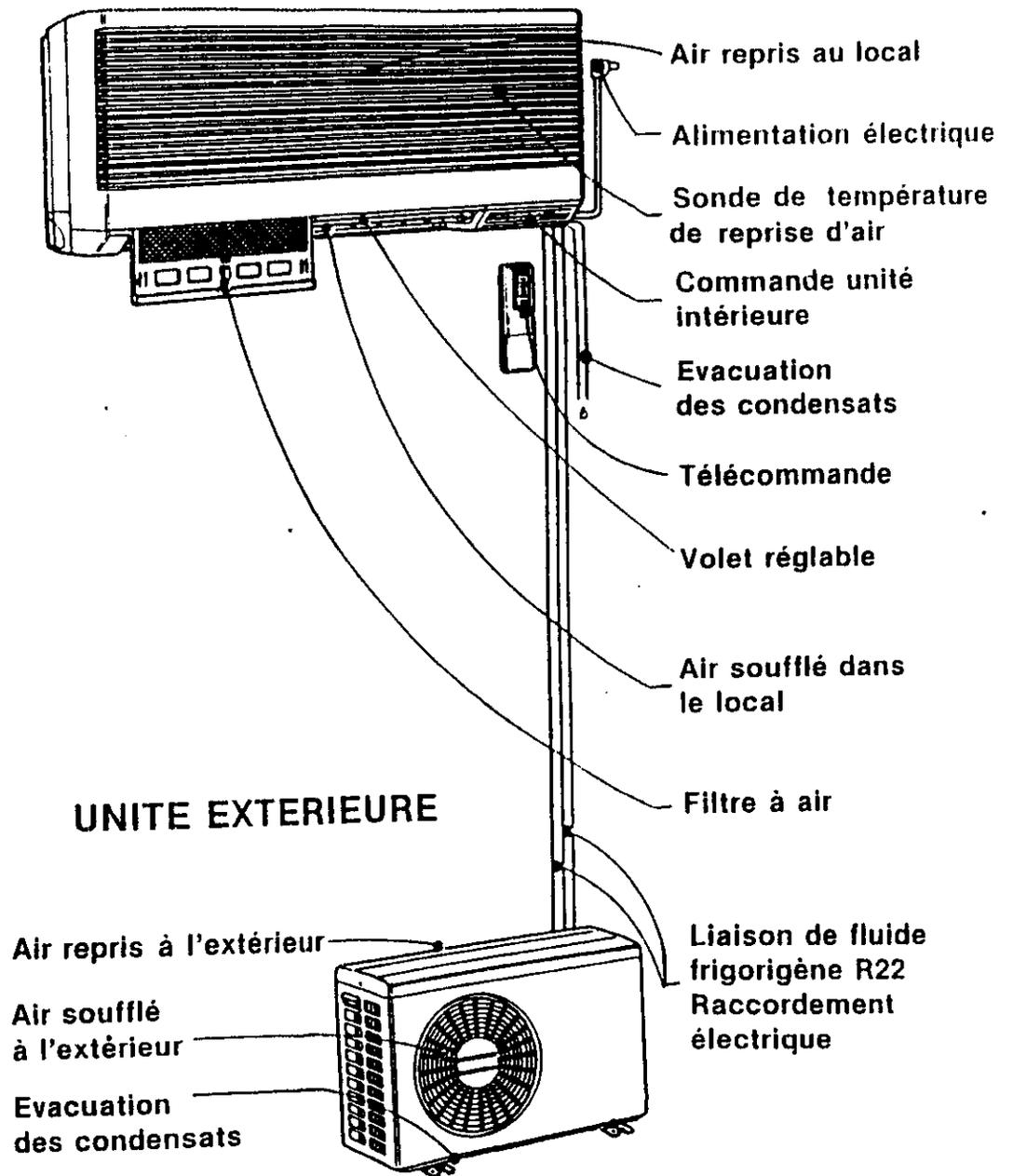
#### 4) Principe combiné prétraitement/traitement d'air (Conception générale d'une centrale de climatisation)



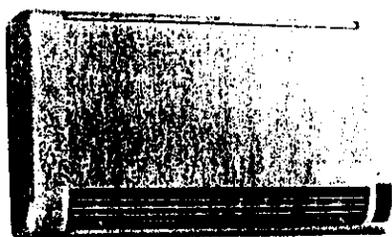
## **ANNEXES V**

# **EQUIPEMENTS ET SYSTEMES DE CLIMATISATION**

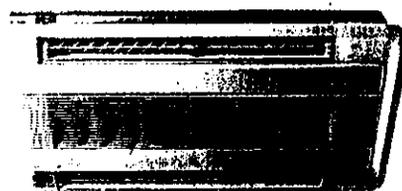
## UNITE INTERIEURE



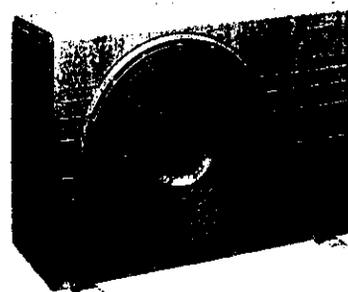
*Split system air/air*



②



④



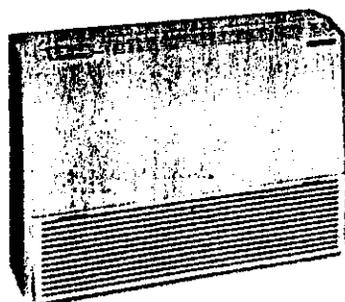
⑥



⑤



③



①

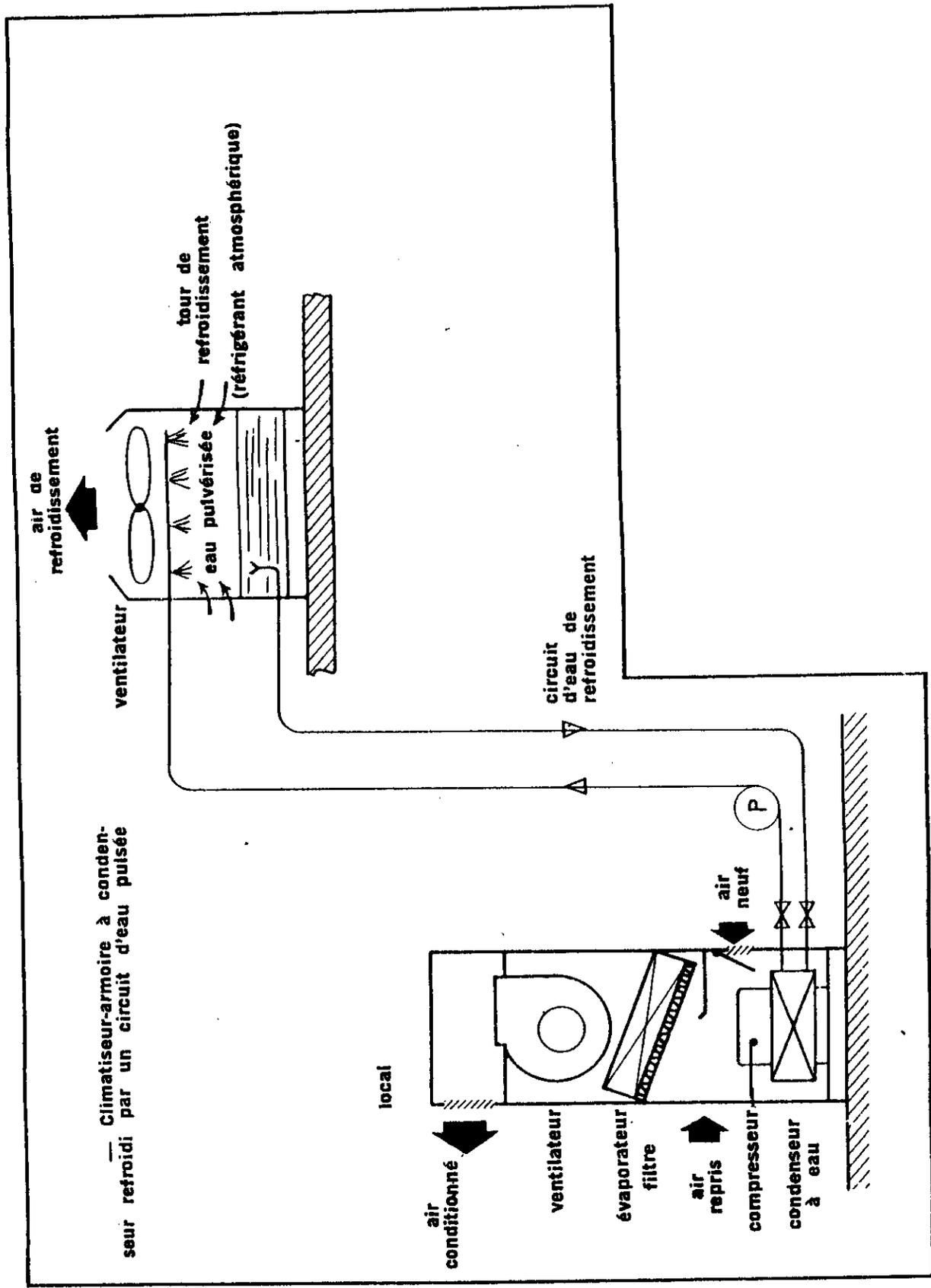
⑦

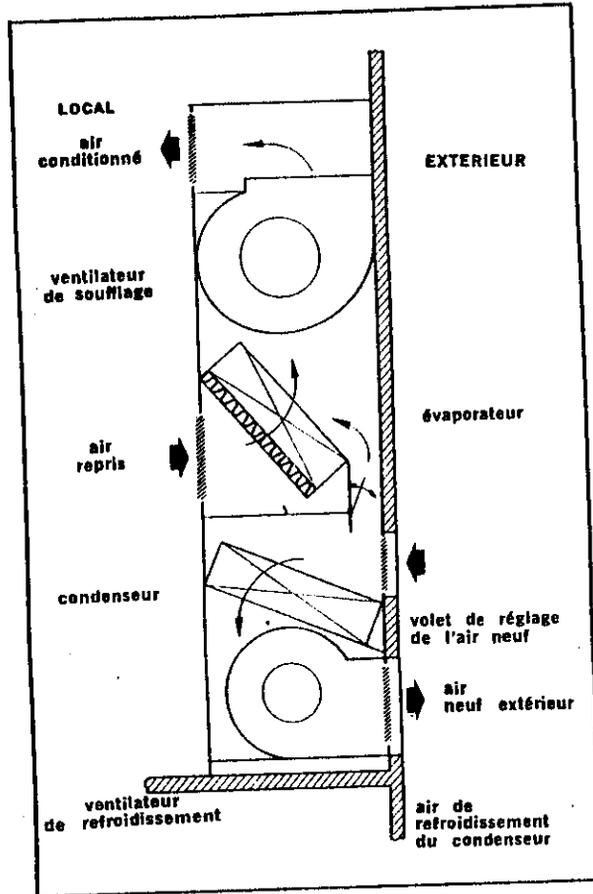


- 1 – **Console** : s'installe verticalement, posée au sol ou montée en allège (CARRIER).
- 2 – **Murale** : s'accrochant à un mur du local, généralement à hauteur d'homme (TRANE).
- 3 – **Murale d'angle** : variante de l'unité murale, car sa forme en quart de cylindre permet de la positionner dans un angle de pièce, ou mur (CARRIER).
- 4 – **Plafonnière encastrée (cassette)** : à encastrer dans le faux plafond, dans l'épaisseur de celui-ci (TECHNIBEL).
- 5 – **Unité de faux plafond** : Contrairement aux précédentes, aucune partie, hormis le soufflage, n'est apparente. Totalement encastrée dans le faux plafond, elle peut être associée à un réseau de gaines (CIAT).
- 6 – **Unité de condensation à air** (TRANE).
- 7 – **Unité de condensation à eau** (TECHNIBEL).

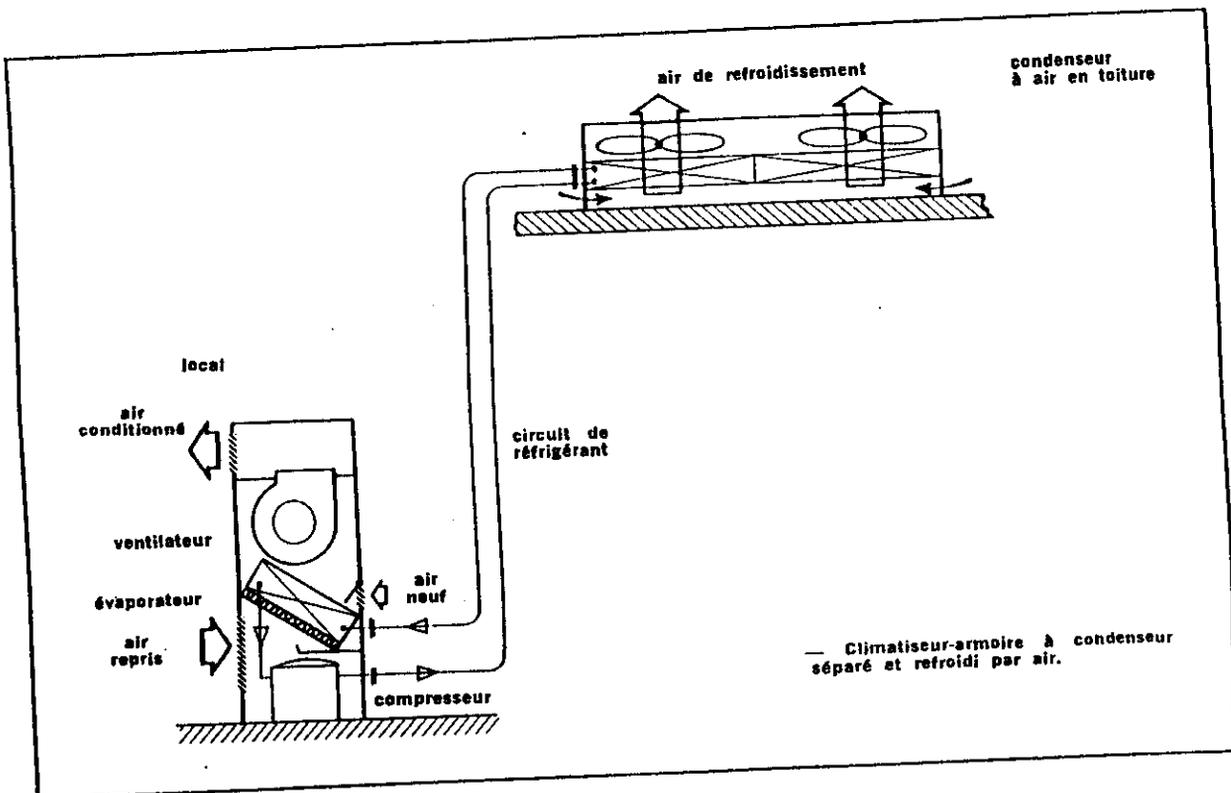
Différents types d'unités de split system

— Climatiseur-armoire à condensateur refroidi par un circuit d'eau pulvérisée



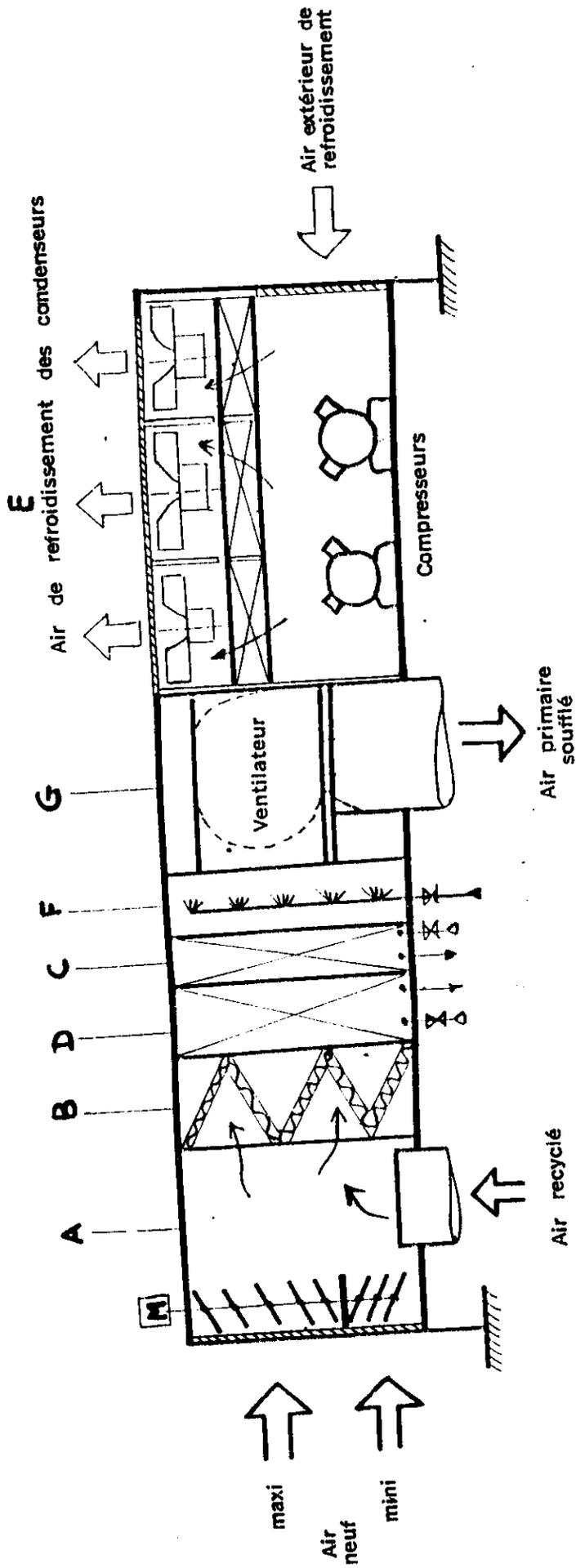


— Armoire de climatisation à condenseur refroidi par air.

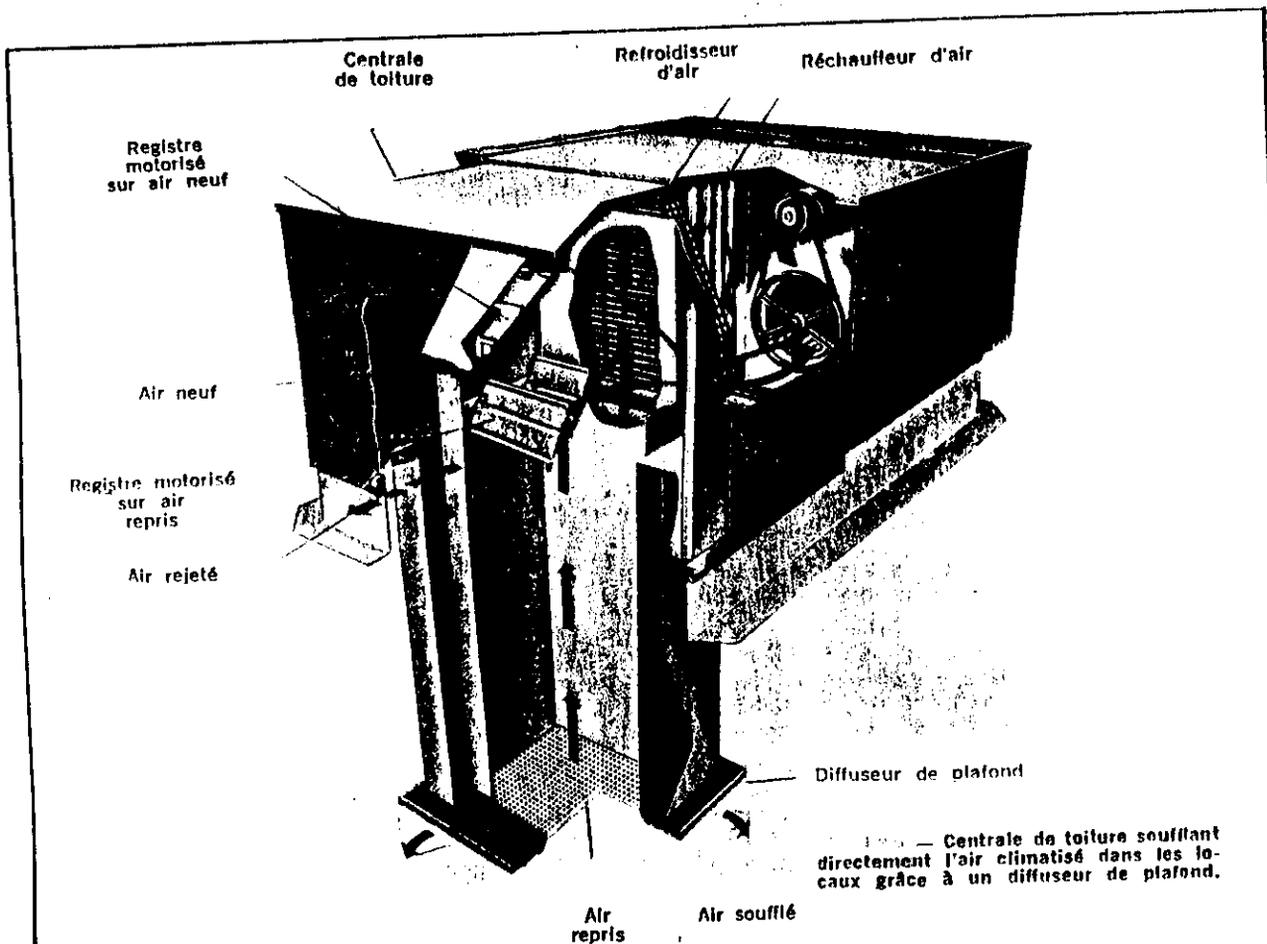


— Climatiseur-armoire à condenseur séparé et refroidi par air.

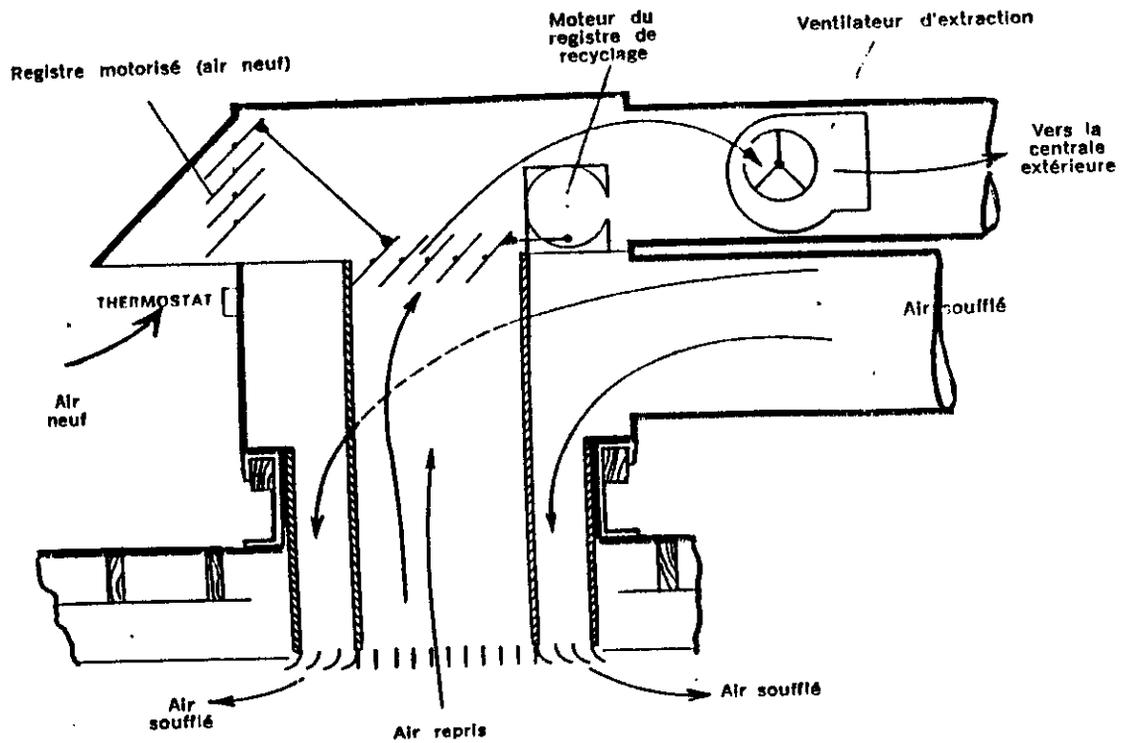
64



— Equipement-type d'une centrale unizone installée à l'extérieur (roof-top)



— Centrale de toiture soufflant directement l'air climatisé dans les locaux grâce à un diffuseur de plafond.



— Diffuseurs de plafond permettant le soufflage et la reprise de l'air grâce à un système de conduits parallèles.

## **ANNEXE VI**

# **BILAN THERMIQUE ET PLANS DE PRESENTATION DE L'HOTEL**



# METHODE SIMPLIFIEE DE SELECTION

(Application pour le confort seulement. 24° C intérieur)

CLIENT \_\_\_\_\_

DATE \_\_\_\_\_

Téléphone \_\_\_\_\_

ADRESSE \_\_\_\_\_

Etudié par \_\_\_\_\_

DESCRIPTION	QUANTITE	FACTEUR	Tempér.extér.en °C			W
			32	35	38	
LATITUDE NORD						41
	m <sup>2</sup>	X	132	142	158	180
	m <sup>2</sup>	X	243	252	267	270
	m <sup>2</sup>	X	299	315	330	344
	m <sup>2</sup>	X	180	190	205	210
	m <sup>2</sup>	X	63	79	94	108
	m.lin.	X	58	67	77	88
	m.lin.	X	38	48	58	68
	m.lin.	X	24	34	43	54
	m.lin.	X	20	29	38	47
	m <sup>2</sup>	X	3	9	16	24
	m <sup>2</sup>	X	26	31	41	56
	m <sup>2</sup>	X	9	9	13	21
	m <sup>2</sup>	X	22	26	28	29
	m <sup>2</sup>	X	9	9	13	21
	m <sup>2</sup>	X	44	50	57	65
	m <sup>2</sup>	X	6	9	16	28
	Pers.	X		293		
	Watt	X		1		
	m.lin.	X	240	240	288	350

Bilan frigorifique total W = \_\_\_\_\_

**PORTANT :** Cette méthode simplifiée permettant seulement d'obtenir un bilan thermique approché ne pourra pas être utilisée dans cas où des garanties précises de température et d'hygrométrie sont exigées.

FEUILLE  
ETABLI PAR \_\_\_\_\_ BUREAU \_\_\_\_\_  
CLIENT \_\_\_\_\_  
LIEU \_\_\_\_\_



DATE \_\_\_\_\_  
AFFAIRE N° \_\_\_\_\_  
VERIFIE PAR \_\_\_\_\_

USAGE DU LOCAL				DIMENSIONS		BILAN POUR		LOCALE SOLAIRE		BILAN MAX a		LOCAL E SOLAIRE	
Poste		Surface ou Quantité		m <sup>2</sup> x		Kcal/h		h.		h.		g/kg	
<b>ENSOLEILLEMENT - VITRES</b>													
Vitres		m <sup>2</sup> x		x									
Vitres		m <sup>2</sup> x		x									
Vitres		m <sup>2</sup> x		x									
Vitres		m <sup>2</sup> x		x									
Vitrerie		m <sup>2</sup> x		x									
<b>ENSOLEILLEMENT &amp; TRANSMISSIONS - MURS ET TOITS</b>													
Mur		m <sup>2</sup> x		x									
Mur		m <sup>2</sup> x		x									
Mur		m <sup>2</sup> x		x									
Mur		m <sup>2</sup> x		x									
Toit insulable		m <sup>2</sup> x		x									
Toit à l'ombre		m <sup>2</sup> x		x									
<b>TRANSMISSIONS SAUF MURS ET TOITS</b>													
Toutes vitres		m <sup>2</sup> x		x									
Cloisons		m <sup>2</sup> x		x									
Plafond		m <sup>2</sup> x		x									
Plancher		m <sup>2</sup> x		x									
Infiltrations		m <sup>3</sup> /h x		x									
<b>GAINS INTERNES</b>													
Occupants		Personnes x											
Mécanis.		CV ou KW x											
Éclairage		Watts x 0.86 x											
Appareils divers		x											
Gains supplémentaires		x											
		Sous-Total											
Accumulation		m <sup>2</sup> x		x(-)									
		Sous-Total											
Sécurité		%											
<b>GAINS SENSIBLES DU LOCAL ■</b>													
Echauff Gain Souffl.		Fuites Gain % + Souffl.		Ventilateur % + CV									
Air frais		m <sup>3</sup> /h x		°C x		BF x 0.29							
<b>GAINS SENSIBLES LOCAL + AIR FRAIS ■</b>													
<b>CHALEUR LATENTE</b>													
Infiltrations		m <sup>3</sup> /h x		g/kg x 0.71									
Occupants		Personnes x											
Vapeur		Kg/h x 600											
Appareils divers													
Diffusion de vapeur		m <sup>2</sup> x		g/kg x									
		Sous-Total											
<b>GAINS LATENTS DU LOCAL</b>													
Fuites gaines soufflage		%											
Air frais		m <sup>3</sup> /h x		g/kg x		BF x 0.71							
<b>GAINS LATENTS LOCAL + AIR FRAIS</b>													
<b>GAINS TOTAUX LOCAL + AIR FRAIS ■</b>													
<b>GAINS DUS A L'AIR EXTERIEUR</b>													
Sens.		m <sup>3</sup> /h x		°C x (1 - BF) x 0.29									
Lat		m <sup>3</sup> /h x		g/kg x (1 - BF) x 0.71									
Echauff Gain Souffl.		Fuites Gain % + Reprise		CV % + Pompe		Sous-Total Gains % + Tuyau							
<b>BILAN THERMIQUE TOTAL ■</b>													
<b>DURÉE DE FONCTIONNEMENT</b>													
<b>CONDITIONS</b>													
<b>EXTERIEURES</b>													
<b>INTERIEURES</b>													
<b>DIFFERENCE</b>													
<b>AIR EXTERIEUR</b>													
VENTI-LATION		Pers. x		m <sup>3</sup> /h. Pers. =		m <sup>3</sup> x		m <sup>3</sup> /h. m <sup>2</sup> =		m <sup>3</sup> /h Ventilation ■			
INFIL-TRA-TIONS		Portes pivot.		Pers. x		m <sup>3</sup> /h. Pers. =		Portes ouv.		Portes x		m <sup>3</sup> /h. m <sup>2</sup> =	
		Ventilateur extraction		m x		m <sup>3</sup> /h. m =		Fentes		m x		m <sup>3</sup> /h infiltration ■	
		m <sup>3</sup> /h AIR FRAIS TRAITE ■										m <sup>3</sup> /h	
<b>A D P</b>													
ESHF		SHF		gains sens. loc. + A.F.		=		Effectif		gains tot. loc. + A.F.		=	
ADP		ADP indiqué		°C		=		ADP choisi		°C		=	
<b>DEBIT D'AIR TRAITE</b>													
Δt		(1 - BF) x (°C loc.		- ADP)		=		°C					
m <sup>3</sup> /h		Gains sensibles local + A.F.		=		m <sup>3</sup> /h		0.29 x		°C Δt		=	
Δt Souffl.		Gains sensibles local + A.F.		=		°C*		0.29 x		m <sup>3</sup> /h traité		=	
<b>DEBIT D'AIR SOUFFLE</b>													
Air Souffl.		Gains sensible local		=		m <sup>3</sup> /h		0.29 x		°C Δt désiré		=	
Air By-passe		m <sup>3</sup> /h - soufflés		=		m <sup>3</sup> /h by-pass		m <sup>3</sup> /h traités					
<b>TEMPERATURE ENTREE &amp; SORTIE D'AIR</b>													
BS Entrée		T <sub>loc.</sub> °C +		m <sup>3</sup> /h A.F.		(T <sub>A1</sub> °C - T <sub>loc</sub> °C) = T <sub>BSE</sub> °C		m <sup>3</sup> /h †					
BS Sortie		T <sub>ADP</sub> °C +		BF (T <sub>BSE</sub> °C - T <sub>ADP</sub> °C) = T <sub>BBS</sub> °C									
D'après DIAG. PSYCH. T <sub>BSE</sub> °C, T <sub>BBS</sub> °C													
<b>REMARQUES</b>													

\* Si ce Δt est trop élevé, déterminer le débit soufflé pour le Δt admissible.  
† Si on by-passe un mélange d'air extérieur et d'air de reprise, prendre le débit d'air soufflé.  
Si on by-passe de l'air de reprise seulement, prendre le débit d'air traité.

# FEUILLE DE CALCUL DE BILAN THERMIQUE ÉTÉ

Utilisation du local :

Dimensions du local :  $L \dots m \times l \dots m \times h \dots m = \dots m^3$   
 Conditions extérieures : température  $\dots \text{°C}$ , degré hygrométrique  $\dots \%$   
 Conditions intérieures : température  $\dots \text{°C}$ , degré hygrométrique  $\dots \%$   
 Tolérances : température  $+ \text{ ou } - \dots \text{°C}$ , degré hygrométrique  $+ \text{ ou } - \dots \%$

## APPORTS INTERNES

Occupants : Nb personnes  $\dots \times \dots \text{ kcal/h}$  par personne =  
 Eclairage :  $W \dots \times 0,86 \times \text{coefficient } Z^* \dots$  =  
 Moteurs :  $W \dots \times 0,86 \times \text{coefficient } Z^* \dots$  =  
 Autres appareils en  $W \dots \times 0,86 \times \text{coefficient } Z^* \dots$  =  
 Autres appareils en  $\text{kcal/h} \dots \times \text{coefficient } Z^* \dots$  =  
 Production de vapeur :  $\dots \text{ kg/h} \times 600$  =  
 Divers :  $\dots$  =

## RENOUVELLEMENT D'AIR

$m^3/h$  par personne :  $\dots \times \text{Nb personnes} \dots \times \text{différence enthalpie } \text{kcal/m}^3 \dots =$

## APPORTS PAR LES PAROIS

Vitrages		Apports en $\text{kcal/h.m}^2$ (tableau 154)		
	Surface en $m^2$			
Vitrages ouest	.....	X	.....	=
Vitrages sud	.....	X	.....	=
Vitrages est	.....	X	.....	=
Vitrages nord	.....	X	.....	=
Vitrages de toiture	.....	X	.....	=
	Surf. en $m^2$	Coeff. $K$ en $\text{kcal/h.m}^2.\text{°C}$	Ecart réel de temp <sup>re</sup> en $\text{°C}$	
Vitrage Intérieur	.....	X	X	=
	Surf. en $m^2$	Coeff. $K$ (tableau 155)	Ecart de temp <sup>re</sup> (tableau 153)	
<b>Murs et cloisons</b>				
Mur nord	.....	X	X	=
Mur ouest	.....	X	X	=
Mur sud	.....	X	X	=
Mur est	.....	X	X	=
	Surf. en $m^2$	Coeff. $K$ en $\text{kcal/h.m}^2.\text{°C}$	Ecart réel de temp <sup>re</sup> en $\text{°C}$	
Cloison Intérieure	.....	X	X	=
<b>Plancher, plafond et toiture</b>				
Plancher	.....	X	X	=
Plafond	.....	X	X	=
	Surf. en $m^2$	Ecart de temp <sup>re</sup> (tableau 155)	Coeff. $K$	
Toiture ou terrasse	.....	X	X	=
TOTAL (en chaleur totale)				= ..... $\text{kcal/h}$

## Calcul éventuel de la chaleur latente

**Occupants**  
 Nb personnes  $\dots \times \text{g. de vapeur d'eau par personne \& et par heure} \dots =$

**Machines**  
 g/h de vapeur d'eau ..... =

**Renouvellement d'air**  
 $m^3/h \dots \times \text{g/m}^3 \text{ de vapeur d'eau} \dots =$

**Apports par les parois**  
 surface en  $m^2 \dots \times \text{g/h.m}^2 \text{ de vapeur d'eau} \dots =$

.....  $\text{g/h}$   
 $\times 0,6 \text{ kcal/g}$

Total (chaleur latente) = .....  $\text{kcal/h}$

Fig. 152. Feuille de calcul de bilan thermique été.

(\*) Le coefficient  $Z$  permet de tenir compte d'un dégagement calorifique moyen par rapport à la puissance nominale (simultanéité — rendement — etc.).