



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 $m^2 \text{ } ^\circ C / W$) }

- . θ = 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)
 - . θ_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.

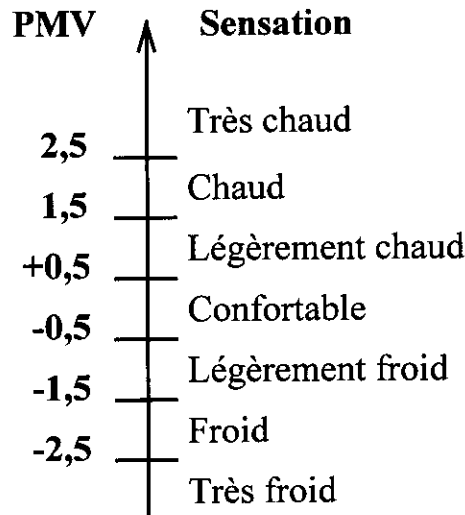


Fig1 :Correspondance PMV/sensation thermique, d'après Fanger.

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

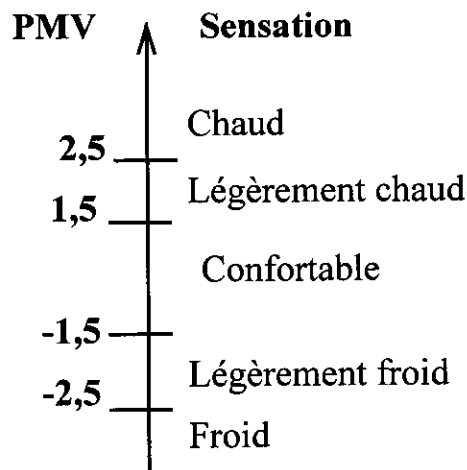


Fig2 :Correspondance modifiée PMV/sensation thermique

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:

- θ , θ_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

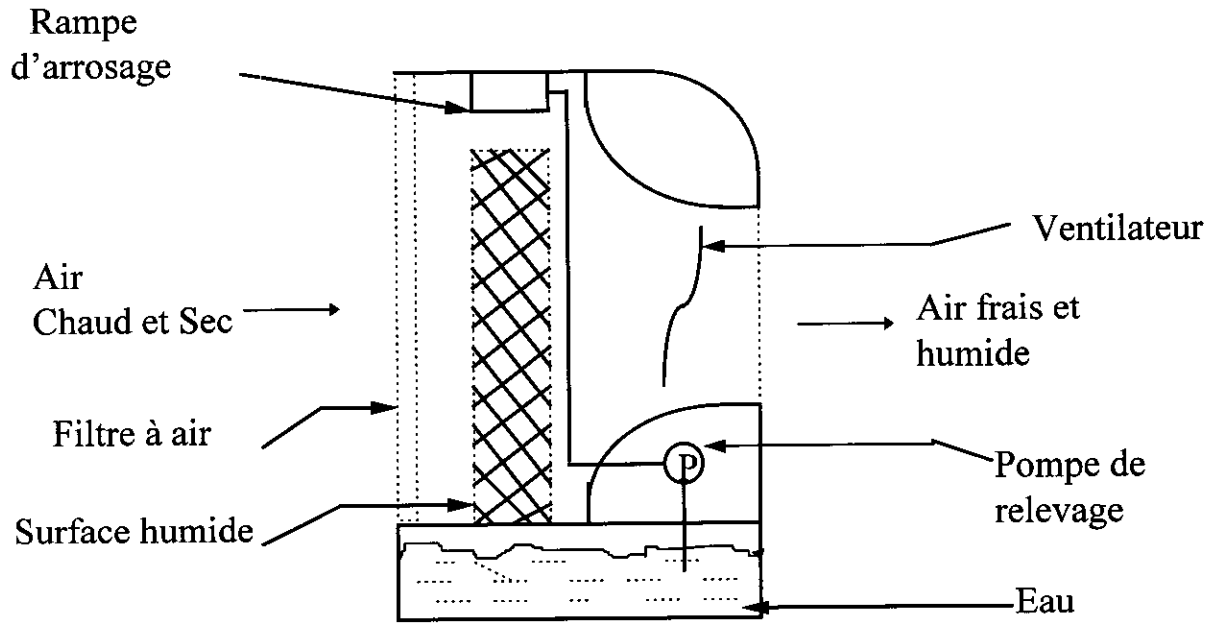


Fig 3: Schéma de principe d'un ventilo-humidificateur

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 m³/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 m² environ, soit 50 à 200 m³ de volume. Leur installation nécessite un trou d'environ 0,25 m² dans le mur; ils sont peu bruyants dans les constructions les plus récentes.

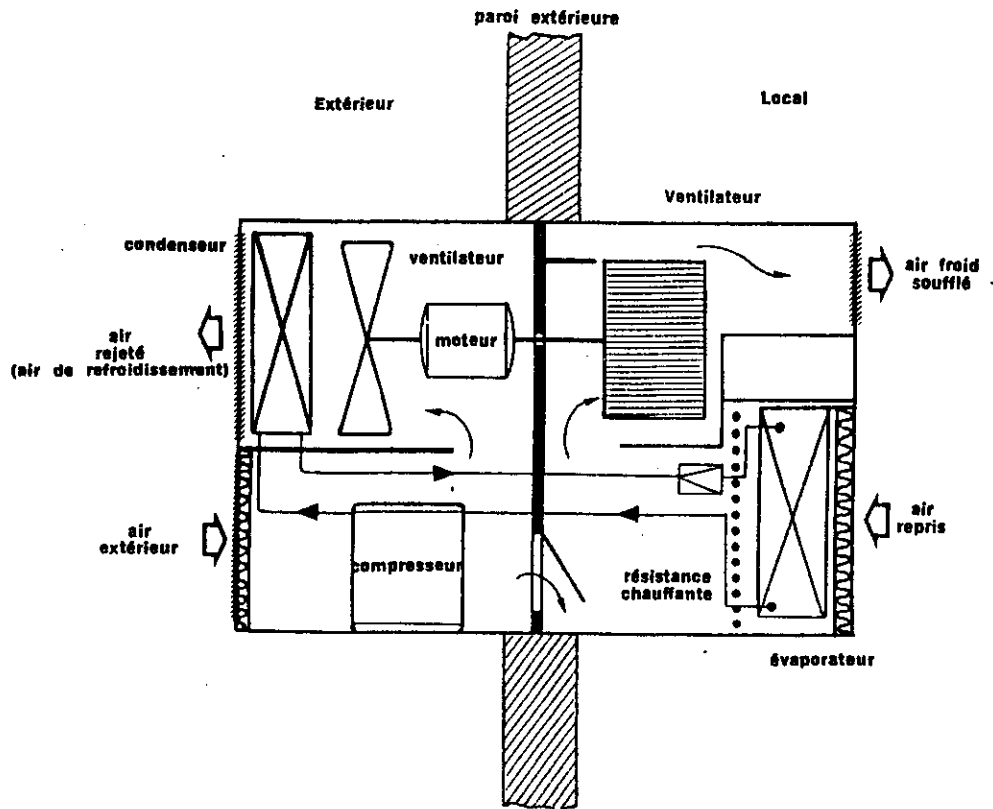


Fig 4 : Principe de fonctionnement d'un climatiseur individuel de fenêtre

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

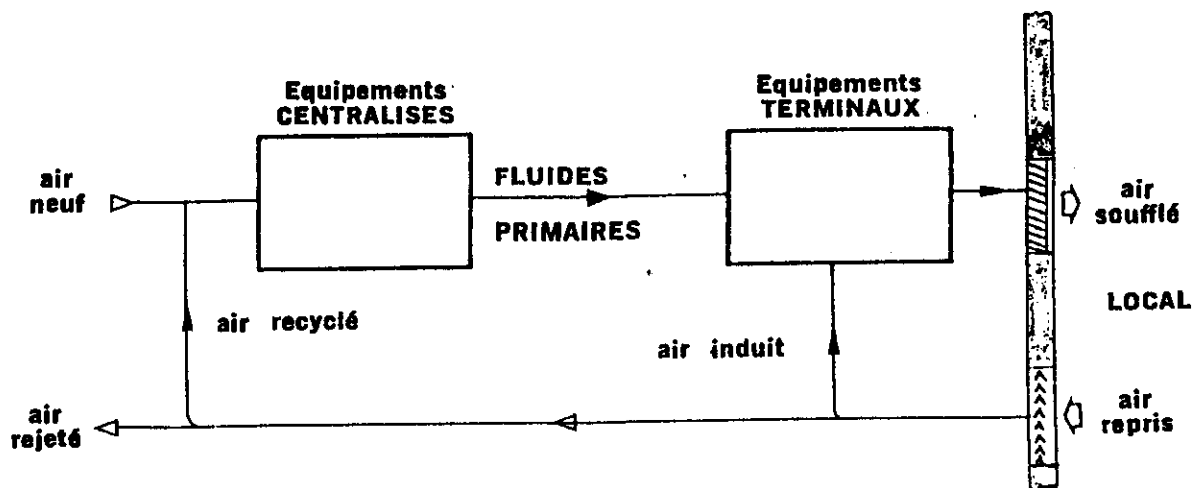


Fig 5 : Différents équipements d'un système climatisation centrale

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

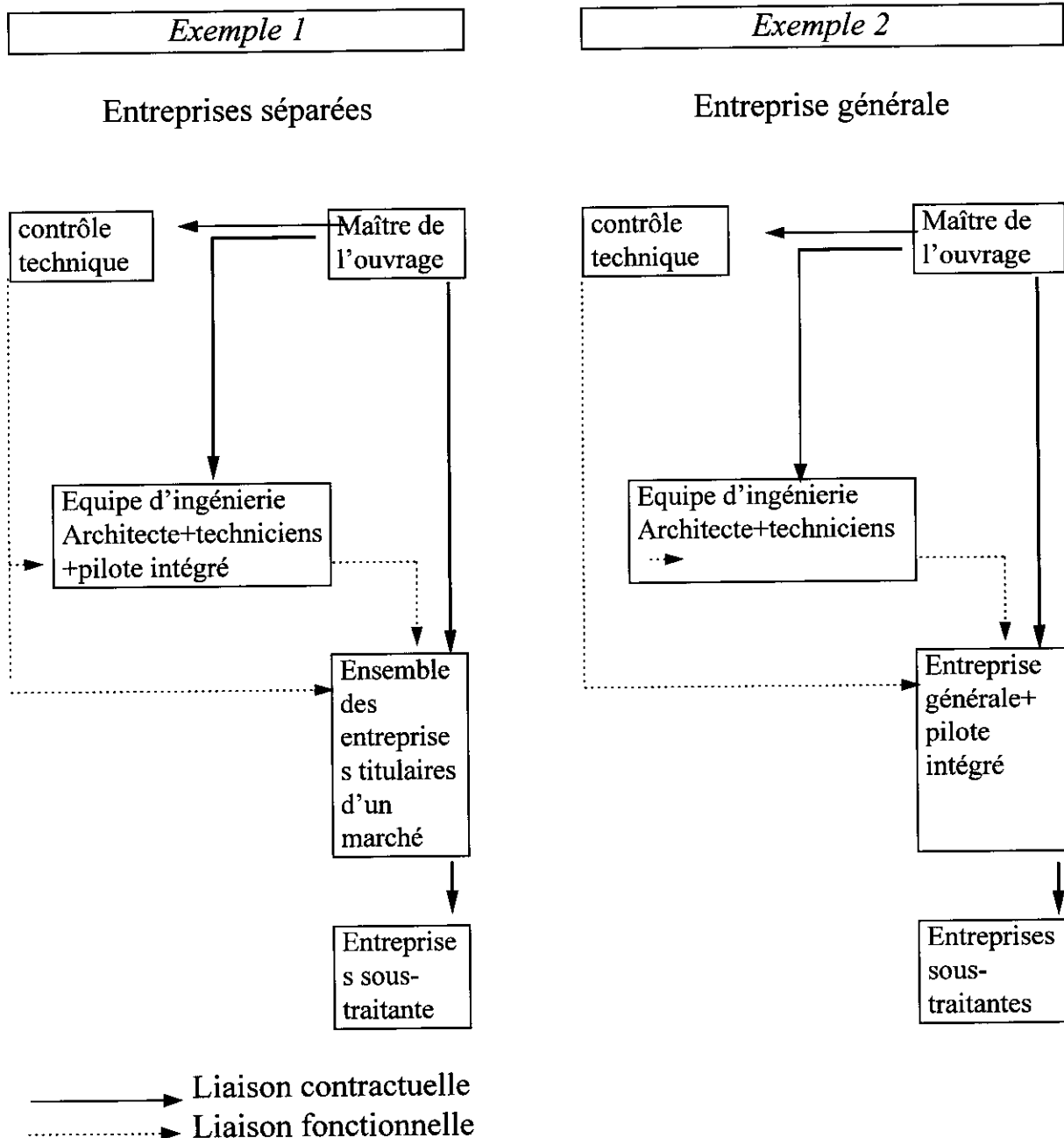
Quant au planning il faut retenir d'abord que c'est un plan de travail détaillé concernant les opérations que comporte la réalisation d'une opération dans son ensemble.

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