



INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION



INTERNATIONAL CENTRE FOR THEORETICAL PHYSICS
34100 TRIESTE (ITALY) - P.O. B. 589 - MIRAMARE - STRADA COSTIERA 11 - TELEPHONE: 2342812 3 4 5 6
CABLE: CENTRATOM - TELEX 460392 (-)

SMR/112 - 9

IVth SEMINAIRE SUR L'ENERGIE SOLAIRE

(10 - 21 septembre 1984)

ELEMENTS DE CONSTRUCTION ET METHODES DE CALCUL.

J.P. TRAISNEL
A.F.M.E.
27 rue Louis Vicat
75015 Paris
France

ARCHITECTURE BIOCLIMATIQUE :

ELEMENTS DE CONSTRUCTION ET METHODES DE CALCUL.

-----J.P. TRAISNEL-----
Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie

1. POLITIQUES DE L'HABITAT ET DEVELOPPEMENT.

1.1. L'approche bioclimatique de l'architecture s'est affirmée récemment, en réaction aux tendances d'uniformisation de l'architecture internationale qui a généralisé dans la construction l'emploi de matériaux de plus en plus élaborés, coûteux en énergie de fabrication, et dans les équipements, l'usage de machines à climatiser grandes consommatrices d'énergie.

La démarche bioclimatique est venue renforcer celle des constructeurs traditionnels, pour en rappeler les bases essentielles de conception : adaptation au milieu physique et humain, valorisation des ressources locales. La terre en est un des matériaux de prédilection : la moitié de la population du globe habite des maisons en terre, celles-ci étant dispersées sur tous les continents. 15 % du parc bâti en France en 1982, et 60 % au Pérou seraient construits à partir de ce matériau, principalement en milieu rural (1).

1.2. Toutefois, le secteur traditionnel de la majorité des pays est devenu grand consommateur de matériaux "en dur" : maçonnerie en blocs de ciment, couverture en tôle, deviennent le mode de construction dominant, et révèlent le désir des populations de se démarquer des signes de l'appartenance au monde rural.

Ainsi un second type d'architecture internationale a vu le jour, qui n'est guère plus adapté aux différents contextes climatiques que ne le furent les tours d'acier et de verre. Encore faut-il remarquer que les populations en question admettent provisoirement le manque de confort thermique plus volontiers que ne l'admettraient les usagers des immeubles climatisés, tout en espérant accéder à leur tour aux standards de confort des modèles dominants : la rupture avec les matériaux traditionnels (terre, secco, bambou,) en est la première manifestation.

1.3. Deux logiques se rejoignent dans la conception bioclimatique : celle de l'optimisation énergétique dans le secteur du bâtiment, et celle de l'amélioration des conditions et du cadre de vie des populations. La première a pu se faire reconnaître, grâce aux effets des différents chocs pétroliers. Quant aux notions de confort, elles sont trop souvent considérées comme un luxe, comme une des conséquences attendues d'un développement (parfois difficile à amorcer). Si ce fut effectivement le cas pour certains pays privilégiés disposant de ressources abondantes (°), il faut reconnaître que ce n'est certainement pas le fait de la majorité des pays en développement, où le cadre bâti correspond encore rarement aux besoins élémentaires des populations : la santé, l'éducation, l'aptitude au travail sont tributaires du niveau de confort (hygiène, qualité thermique de l'ambiance,) assuré par la construction.

2. BÂTIMENT ET ENERGIE : POLITIQUES DE MAITRISE DE L'ENERGIE.

2.1. La consommation d'énergie du secteur résidentiel et tertiaire dépasse 40 % du bilan final en France, soit 63,4 M Tep (2). C'est un domaine essentiel pour la mise en oeuvre d'une politique de maîtrise de l'énergie.

(°) Au Koweït, les climatiseurs consomment à eux seuls près de la moitié de l'électricité : les normes de contrôle climatique ont pu y atteindre rapidement un seuil honorable. Le luxe fut de dépasser ce seuil.

Les objectifs fixés pour 1990 visent à économiser plus de 30 M Tep par an dans ce secteur, principalement sur le chauffage des locaux, qui représente à lui seul 25 % du bilan final. (Tableaux 1 et 2).

A cette consommation d'énergie, il faut ajouter la part de l'industrie des matériaux de construction, soit environ 7 % du bilan total, dont le tiers consacré au renouvellement du parc de logements (335 000 logements neufs en 1981).

2.2. La similitude des contextes de la plupart des pays européens explique l'importance accordée communément à la réduction des besoins de chauffage des locaux : annuellement, la consommation domestique d'énergie primaire y est en effet de 10 à 13 fois supérieure à la quantité d'énergie consacrée au renouvellement du parc résidentiel.

2.3. Les situations sont en revanche très différentes et beaucoup plus contrastées dans les pays des zones méditerranéennes et tropicales. La gamme des climats rencontrés y est très étendue, et les contextes énergétiques ne permettent pas de généraliser les priorités d'action.

Deux points forts peuvent néanmoins être dégagés :

- a) sous la pression de l'explosion urbaine, la demande de logements (°) - essentiellement à faible coût - entraîne une importation croissante de matériaux et de technologies de la part des pays en développement, au détriment de l'exploitation des ressources locales.

(°) Il faudra construire de 7 à 10 logements par an et par 1 000 habitants dans les pays en développement, alors qu'actuellement, la production n'est estimée qu'à 3 pour 1 000 (1).

Si tous ces matériaux étaient produits localement, dans les cimenteries et les aciéries notamment, ces industries consommeraient de 15 à 20 % de l'énergie commerciale de chaque pays (*). Deux éléments permettent de distinguer les différentes situations énergétiques : la valeur absolue de cette consommation (facteur de 1 à 10) et l'importance relative des énergies non commerciales dans les bilans nationaux (de près de 0 à 80 %).

b) L'inconfort thermique notable des constructions "modernes" tend à généraliser l'usage de climatiseurs électriques. Là encore, les situations s'échelonnent entre une consommation relative aux seuls bâtiments résidentiels, hôteliers, administratifs, jusqu'à une consommation provenant de l'ensemble des logements urbains. Dans tous les cas, la demande potentielle est manifeste.

2.4. Potentiellement, le chauffage et la climatisation des locaux représentent la plus grande dépense en énergie commerciale dans les besoins domestiques, mais chaque construction, même non munie d'équipements consommateurs d'énergie est composée de matériaux qui nécessitent une quantité appréciable d'énergie dans le processus de fabrication. L'importance de ces deux postes dépend étroitement de la conception du bâtiment :

L'enveloppe bioclimatique peut-être définie comme le résultat de l'optimisation entre l'énergie incorporée dans les matériaux mis en oeuvre, et l'énergie nécessaire au contrôle climatique de l'ambiance qu'elle délimite.

3. MAITRISE DE L'ENERGIE A LA CONSTRUCTION ET REPONSES BIOCLIMATIQUES.

Ce premier poste comprend l'énergie utilisée pour la production et la mise en oeuvre des matériaux, la fabrication et l'utilisation des matériels, les transports. Il concerne les phases de construction, d'entretien, d'amélioration, d'extension et de démolition du bâti.

3.3. L'utilisation des énergies renouvelables pour la fabrication des matériaux de construction demeure encore du domaine de la recherche. Au niveau actuel des études, il semble que l'énergie solaire soit envisageable sans handicap notable pour les traitements qui requièrent des températures inférieures à 200°C. Il s'agit notamment du séchage du bois, du séchage des terres cuites et des céramiques, de l'étuvage des produits en béton, de la cuisson du gypse, et du séchage des carreaux de plâtre, opérations qui s'effectuent à des températures voisines de 100°C (5).

3.4. Pour le concepteur, le choix des matériaux composant l'enveloppe du bâtiment devra tenir compte principalement des coûts énergétiques de fabrication et d'approvisionnement sur le site.

Le recours aux matériaux locaux permet de minimiser ces deux paramètres : le bois, la terre, la paille sont économiques du point de vue énergétique, et ils nécessitent une énergie de "récolte" généralement inférieure au coût de transport des matériaux industrialisés qui tendent à les supplanter. Il faut toutefois noter que la réduction des coûts de transports est déjà une réalité pour certains pays en développement : dans les pays africains notamment la plus grande partie des composants "modernes", parpaings de ciment, poutrelles B.A., sont fabriqués sur le chantier, et seuls les produits nécessaires à leur élaboration (fers à béton, ciment) sont acheminés depuis l'unité de production.

Une construction en terre banchée nécessite moins de 50 kWh par m² de surface habitable. C'est le tiers de l'énergie incorporée dans une construction à base de blocs de terre stabilisée à 10 % de ciment, à condition d'être très économe en matériaux d'origine industrielle, qui réalise déjà une économie de 50 % par rapport à une construction en briques et blocs de béton (300 kWh/m² (4) (6).

(*) Estimation réalisée à partir des chiffres de consommation annuelle de ciment de différents pays africains.

Néanmoins, le banco tend à être de moins en moins utilisé dans la construction. Pour supporter la comparaison avec une maçonnerie à ossature B.A., le banco exige un grand nombre de précautions lors de la mise en oeuvre (fondations, soubassement, traitement des angles), et il nécessite par ailleurs un entretien quasi-annuel. De nombreux essais sont effectués, pour la stabilisation du banco, soit dans la masse, soit dans le revêtement : l'économie en ciment reste encore faible par rapport au parpaing traditionnel.

- 3.5. Il est donc important, pour le concepteur, de tenir compte des facteurs énergétiques dès la sélection des matériaux constituant l'enveloppe du bâtiment. Cette démarche, complémentaire à une utilisation rationnelle de l'énergie dans l'industrie du bâtiment, permettra de limiter la part consacrée à ce secteur dans les bilans énergétiques nationaux. Toutefois, il faudra constater que, pour un immeuble donné, l'énergie consacrée au fonctionnement dépasse rapidement, au bout de quelques années, l'énergie investie dans la construction.

4. SYSTEMES UTILITAIRES et ROLE de l'ENVELOPPE du BATIMENT.

L'énergie commerciale consommée chaque année pour la climatisation (ou le chauffage), l'eau chaude sanitaire, l'éclairage est potentiellement très importante pour l'avenir des pays en développement.

- 4.1. Dans le secteur traditionnel, la précarité des conditions de vie a mis en évidence la dépendance de plus en plus forte vis à vis de l'approvisionnement en énergies, pour l'essentiel tirées du bois, ou des déchets animaux et végétaux. Les standards de confort (thermique en particulier), faute d'avoir pu prendre place dans les préoccupations, y sont largement sous-évalués. La consommation domestique d'énergie commerciale est encore faible si l'on ne tient pas compte des énergies traditionnelles utilisées pour la cuisson des aliments.

- 3.1. La minimisation de la main-d'oeuvre incorporée dans les matériaux de construction, un des ^{essentiels de la} éléments politiques de la construction il y a 25 ans dans les pays occidentaux, a abouti à la promotion de produits à fort contenu énergétique : béton armé, poutrelles métalliques, panneaux de façade.

Pour un bâtiment standard de 100 m², construit en briques et en blocs de béton, l'énergie incorporée dans les éléments de gros oeuvres et les finitions intérieures (30.10³ kWh) est trois fois supérieure à l'énergie nécessitée par la préparation du site et par les équipements de chantier (10.10³ kWh), sept fois supérieure au coût énergétique du transport des matériaux. Enfin, au bout de 30 ans, l'énergie consacrée à l'entretien et aux réparations (1 à 1,5.10³ kWh/an) aura atteint la valeur incorporée initialement dans les composants.(3).

- 3.2. Ces chiffres montrent l'importance, dans le coût énergétique final de la construction, de l'énergie nécessaire à la fabrication des matériaux. La production de ciment, de briques, de verre, de métaux, est une des branches industrielles les plus consommatrices d'énergie - principalement de pétrole - , et de celles qui progressent au rythme le plus rapide. D'importantes économies d'énergie et de devises (de l'ordre de 20 %) semblent réalisables dans l'industrie du bâtiment, grâce à des mesures d'amélioration de la maintenance des unités de production, de modification des équipements et des procédés de construction, de substitution de nouvelles formes d'énergie aux combustibles traditionnels à faible rendement. En matière de cimenterie, une grande partie des installations utilisent encore la voie humide, ce qui entraîne une consommation de l'ordre de 0,3 TEC par tonne de ciment produite. Le passage à la voie sèche permettrait une réduction sensible, à 0,2 TEC/tonne.

Néanmoins, dans le monde rural, et dans le secteur informel des centres urbains, la contribution des énergies renouvelables peut être capitale pour satisfaire les besoins en eau et en éclairage des populations, même si elle demeure très modeste au regard du bilan énergétique.

C'est également le cas de l'adaptation des constructions aux climats qui relève essentiellement des préoccupations d'améliorations du confort thermique, sans augmentation du déficit énergétique.

- 4.2. Dans le secteur moderne, les standards de confort peuvent avoir été surévalués. A un niveau élevé d'équipements consommateurs d'énergie, la part consacrée à la climatisation électrique devient préoccupante.

Les possibilités d'économie d'énergie dans les logements et les locaux du secteur tertiaire seront par conséquent beaucoup plus importantes et significatives dans les bilans énergétiques nationaux.

- 4.3. Dans l'ensemble des besoins domestiques, le chauffage et la climatisation ont droit à une attention particulière, à cause de leur dépendance extrême vis à vis de la nature de l'enveloppe du bâtiment. Il faut noter cependant que la prise en compte de tous les systèmes utilitaires permettrait de réaliser le contrôle climatique des locaux (notamment dans le cas du chauffage) à partir des rejets thermiques des cycles thermodynamiques, ou des équipements mécaniques : une telle complémentarité sera de préférence valorisée à une échelle dépassant largement celle du logement individuel.

- 4.4. Pour ce qui concerne l'optimisation énergétique de l'enveloppe du bâtiment, deux postes seront retenus dans une première analyse : le coût énergétique de la construction, et le coût énergétique du contrôle climatique. L'importance relative de ces deux coûts, ramenés à la même unité ($\text{kWh/m}^2\text{.an}$) varie selon la fonction du bâtiment (immeuble de bureau, logement collectif ou individuel),

selon sa conception et son implantation. Dans les climats tempérés montagneux, la consommation annuelle d'énergie relative au chauffage (soit 150 kWh/m^2) est 5 fois supérieure au coût énergétique indirect (construction et maintenance) celui-ci ne dépassant pas $30 \text{ kWh/m}^2\text{.an}$ compte tenu de la durée de vie du bâtiment. (7)

Pour un bâtiment conventionnel à 4 étages, en murs de briques et blocs de béton, des mesures complètes de conservation de l'énergie (isolation renforcée de 15 cm, ventilation double flux, collecteurs solaires pour l'eau chaude sanitaire) permettent de diminuer la consommation annuelle d'énergie de 50 %, alors que le surcoût énergétique de la construction et des équipements sera limité à quelques $\text{kWh/m}^2\text{.an}$.

Il en serait de même pour les bâtiments urbains climatisés, en zone intertropicale. La consommation d'énergie électrique pour la climatisation peut en effet y atteindre $400 \text{ kWh/m}^2\text{.an}$, pour un coût énergétique indirect du même ordre que celui des pays européens. Ceci met en évidence l'intérêt des mesures d'économies d'énergie dans la construction, dans tout contexte climatique, donc d'une conception appropriée de l'enveloppe.

Celle-ci devra tenir compte également du surcoût énergétique que ces mesures risquent d'entraîner, même si ce surcoût semble très vite amorti.

5. CONCEPTION CLIMATIQUE.

- 5.1. Les premières règles de l'art établies pour la construction en climat chaud proviennent de l'expérience acquise depuis le début de l'ère coloniale, mais aussi de l'examen des constructions traditionnelles - architecture vernaculaire - et des nombreux exemples de l'architecture arabo-islamique.

On peut constater que l'importance qui fut accordée, suivant le type de climat, aux caractéristiques d'inertie des parois, aux protections solaires, et à la ventilation naturelle a permis la création d'habitats "auto-climatisés", pour lesquels le contrôle climatique était entièrement réalisé à l'aide de dispositifs architecturaux.

5.2. OPTIMISATION GEOMETRIQUE ET PROCÉDES ARCHITECTURAUX.

Dans la plupart des climats des régions chaudes, le contrôle climatique est impossible à réaliser, sans dispositif technique, si toutes les mesures ne sont pas prises pour réduire au maximum les apports solaires sur l'enveloppe du bâtiment.

Les bases de conception architecturale ont toutes été établies dans cette optique : dimensionner, définir la géométrie des protections solaires. Cette approche géométrique a également permis de préciser le rôle de l'inertie des parois, d'indiquer les possibilités offertes par la ventilation naturelle des volumes construits.

5.2.1. Limitation des apports solaires.

C'est une règle commune à tous les types de climats qui ne connaissent pas une saison froide affirmée. La géométrie du bâtiment doit offrir le minimum d'exposition au rayonnement solaire direct, grâce à l'orientation générale Est-Ouest : les façades Nord et Sud doivent être protégées par des auvents, des vérandas; en outre, il est nécessaire de munir les vitrages de brise-soleil non émissifs dans l'infra-rouge.

Enfin, les espaces de circulation peuvent servir de protection des volumes adjacents. Les zones de transition entre l'espace intérieur et l'espace extérieur permettent la création de zones d'ombre, telles que rues couvertes, galeries, patios plantés, etc...

5.2.2. Utilisation de la masse thermique du bâtiment.

Dans les climats à forte amplitude de température, il est possible de se rapprocher de la température moyenne journalière, appartenant dans la presque totalité des cas à la zone de confort, par la mise en oeuvre d'une masse thermique importante. L'influence de la masse thermique peut s'illustrer - de manière qualitative - en représentant l'évolution de l'état thermodynamique de l'air dans le diagramme psychrométrique.

Ce diagramme définit, pour une pression atmosphérique donnée, les propriétés de l'air en fonction de deux paramètres : la température sèche de l'air en abscisse, et la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air en ordonnée. L'ensemble des points correspondant à la sensation de confort définit une zone dans ce diagramme.

La droite $T_{\text{eff}} = 26^{\circ}\text{C}$ sera prise comme limite supérieure de la zone de confort : c'est l'ensemble des états de température et d'hygrométrie de l'air qui procure la même sensation de confort.

B. Givoni a dégagé une relation entre l'amplitude journalière des températures et l'hygrométrie (8). Cette relation permet, à partir de $T_{\text{eff}} = 26^{\circ}\text{C}$, de délimiter l'ensemble des conditions extérieures que peut contrôler une masse thermique suffisante (cas d'une maçonnerie de 50 cm d'épaisseur environ).

Ces considérations sont valables essentiellement pour les climats secs. Pour les climats à humidité plus forte, une masse thermique trop importante pourrait s'opposer à un contrôle climatique d'abord tributaire de la ventilation.

5.2.3. Contrôle de la ventilation.

Une des premières fonctions de la ventilation est de produire sur la peau une sensation de fraîcheur, en favorisant l'évapo-transpiration. Elle permet également l'évacuation des calories en excès, et de l'air vicié par le renouvellement en air neuf. Pour ces deux usages, l'air extérieur doit être introduit avec précaution, durant les heures les plus chaudes,

le risque étant de réchauffer la structure interne du bâtiment. A cet effet, l'habitat traditionnel en zone méditerranéenne a recours aux places, aux patios, qui conservent l'air frais de la nuit, à l'abri des mouvements convectifs. Ce stockage naturel d'air frais, en stratification, permet surtout d'éviter le contact des parois verticales avec l'air surchauffé de la période diurne. C'est peut-être un moyen de garder le bâtiment à une température inférieure à la moyenne extérieure.

Enfin, la ventilation régulée par des dispositifs naturels ou mécaniques, permet d'augmenter les échanges entre la masse thermique du bâtiment et l'air extérieur, au moment où il est le plus froid.

Les dispositifs techniques de ventilation augmentent les possibilités de distinction entre ces trois fonctions. En climat tropical humide, l'objectif essentiel, sans climatisation active, est de rapprocher les conditions internes du bâtiment des conditions extérieures qui varient peu entre le jour et la nuit. Il est alors préférable de favoriser au maximum la ventilation naturelle, la zone de confort s'élargissant au fur et à mesure que la vitesse de l'air intérieur augmente. En revanche, en climat tropical sec, l'air intérieur devra être mis en mouvement sans augmenter la charge thermique due à l'introduction d'air chaud : seuls des dispositifs mécaniques (ventilateurs) permettent cette distinction.

5.3. OPTIMISATION THERMIQUE ET PROCEDES TECHNIQUES.

La nécessité de climatiser les locaux est apparue au cours du développement urbain, autant par négligence des règles d'implantation des bâtiments, que par l'emploi abusif de matériaux de construction peu adaptés au contrôle solaire. Le faible coût des énergies commerciales l'a emporté sur le coût prohibitif des dispositifs architecturaux destinés au contrôle climatique.

L'optimisation géométrique ne permet pas de hiérarchiser l'intérêt des différentes mesures de protections solaires, d'inertie, de ventilation naturelle. De nouveaux modes d'évaluation sont à générer à cette fin : les outils correspondants ont déjà été élaborés dans le cas du chauffage solaire.

Il est à présent possible de bénéficier de ces acquis scientifiques et méthodologiques pour les adapter aux contextes des régions intertropicales, et obtenir rapidement des résultats probants. Une action est lancée actuellement, par l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie et le Plan Construction, pour élaborer des modèles de simulation qui permettront d'évaluer le comportement des échanges thermodynamiques entre un bâtiment et son environnement.

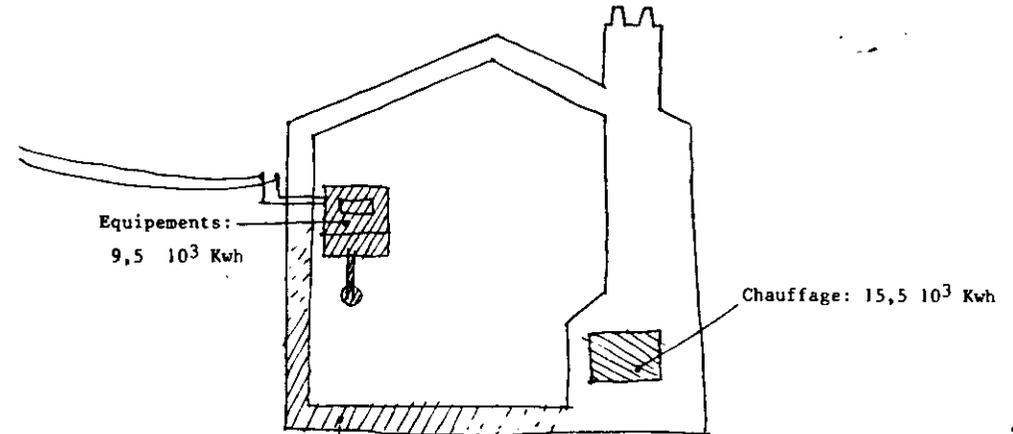
A partir de ces méthodes de calcul, l'évolution des températures intérieures peut être évaluée, et les équipements techniques du contrôle climatique peuvent être dimensionnés.

° °

°

- REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES -

- (1) L'habitat économique dans les pays en développement - Richard THOUVILLE.
Industries et Travaux d'Outre-mer - Avril 1983 -
- (2) Consommation et économie d'énergie du secteur résidentiel et tertiaire.
AFNE - Edition 1982 -
- (3) Cahier du C.S.T.B. N° 296. Essai de détermination de la main-d'oeuvre totale incorporée dans les matériaux de construction - Février 1959 -
N° 522. Seconde étude sur la main-d'oeuvre incorporée dans les matériaux de construction - Août 1963 -
(M. HILRHOLTZ).
- (4) Low Energy Housing - Andrew MAC KILLOP
- (5) Revue des possibilités d'emploi de l'énergie solaire dans les fabrications des matériaux de construction J.BALLIQ- T.GRENET.
IFBAT. Plan Construction COELES - Mai 1981 -
- (6) Energy costs of house construction. E.M. GARNER, M.A. SMITH
Energy Policy. - June 1976 -
- (7) Energy budgets and energy conservation techniques : L.M.P. Lausanne
Niklaus KOHLER - Mars 1982 -
- (8) Man, Climate, and Architecture - B. GIVONI -
Applied Science Publishers. L.T.D. Londres.
- (9) Energies nécessitées par m² de mur construit. C.T. des Tuiles et Briques
Cahiers du CSTB n° 154. - Novembre 1974 -



	En Kwh	Alternatives (en Kwh)	
		1	2
Matériaux Gros Oeuvre + Finitions Intérieures	30. 10 ³	15. 10 ³ (BETON DE TERRE STABILISÉ)	5. 10 ³ (PISE EN BANQUES)
Préparation Site Mise en Oeuvre	10. 10 ³		
Transports Matériaux	4. 10 ³		
TOTAL:	44. 10 ³		
Entretien et Réparations	1,5. 10 ³ Kwh/an		

Figure 1: Habitat et Energie. Moyenne en FRANCE (pour un logement de 100 m²) sur 20 millions de logements (1981) et alternatives pour l'énergie incorporée dans les matériaux de construction (4).

TABLEAU 1: Part des Secteurs de Consommation dans la Consommation Finale en % en FRANCE (2)

	1962	1973	1981
Résidentiel et Tertiaire	29,2	37,1	40,1
Industrie et Sidérurgie	50	40,1	35,2
Transports	19	20,9	22,9
Agriculture	1,8	1,9	1,8
TOTAL	100	100	100

TABLEAU 2: Consommation d'Énergie par Usage du Secteur Résidentiel et Tertiaire en 1981 (2)

	En Millions de TEP			TOTAL en %
	Résidentiel (*)	Tertiaire	Total	
Chauffage	26,4	10	36,4	57,4
Eau Chaude Sanitaire et Cuisson	6,4 2,8	2,5	11,7	18,4
Electricité Spécifique	7,5	7,8	15,3	24,2
TOTAL	43,1	20,3	63,4	10

(*): Pour 23 millions de logements: 19,3 M de résidences principales et 3,7 M de résidences secondaires.

AFRIQUE	MALI	BAMAKO (Aérodrôme)
CLIMAT DE REFERENCE : ZONE TROPICALE SECHE - STATION DE REFERENCE		CLIMATOLOGIE
SOURCES: FICHES CLIMATOLOGIQUES JUSM.V.N. La graphique ci-dessous sur le diagramme psychrométrique, est définie par les moyennes mensuelles des maxima et des minima horaires de température et d'humidité pour la période considérée : T _{max} et T _{min} : période : 1926-88 G _{max} et G _{min} : période : 1967-88		
Latitude : 12°38' N Longitude : 8°01' W Altitude : 331m		
Il permet de définir le climat pour le rapprocher à un climat de référence.		

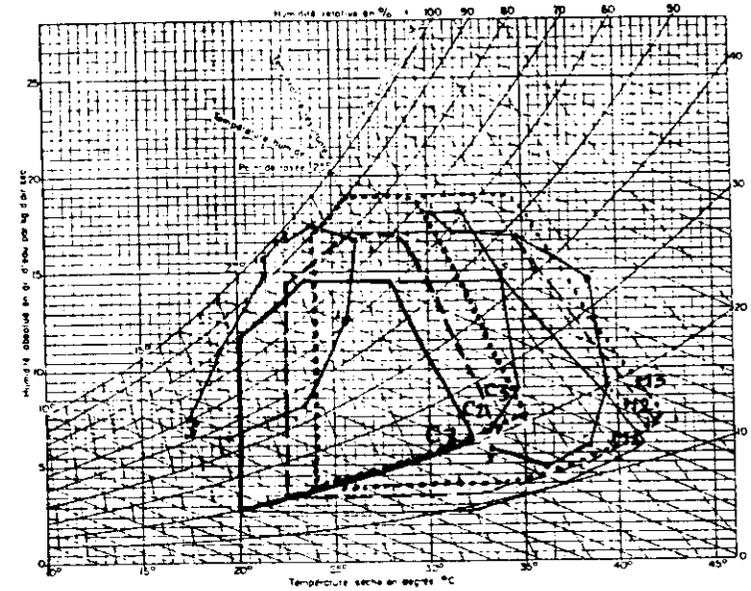


Figure 3: Diagramme bioclimatique. (B)
 (M) Inertie du bâtiment associée à différentes zones de confort, suivant le brassage de l'air. (V)
 Exemple du climat de BAMAKO (zone tropicale sèche).
 $V = 0 \text{ m/s}$: C1 et M1.
 $V = 0,5 \text{ m/s}$: C2 et M2.
 $V = 1 \text{ m/s}$: C3 et M3.

