

PN-AAX-887

6030013

31290

19077-BK

CONSTRUIRE DANS LA REGION DU DESERT MARITIME

**CLIMAT, CONSTRUCTION,
ET ENERGIE A DJIBOUTI**

par

Daniel Dunham

illustrations par

Judy Hirsch



ISERST/VITA

Projet Energie Renouvelable

CONSTRUIRE DANS LA REGION DU DESERT MARITIME

**CLIMAT, CONSTRUCTION,
ET ENERGIE A DJIBOUTI**

par

Daniel Dunham

Illustrations par

Judy Hirsch

publié par

**Volunteers in Technical Assistance (VITA)
1815 North Lynn Street, Suite 200
Arlington, Virginia 22209 USA**

Août 1983

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	i
I. INTRODUCTION	1
II. LE CLIMAT DE DJIBOUTI	3
Température et humidité	3
Radiation	8
Vent	9
Pluie	10
Microclimats urbains	12
Climat en dehors de Djibouti-Ville	12
Utilisation des données climatologiques	14
Résumé	14
III. PROTECTION	15
Protection contre le soleil	15
Orientation	15
Créer de l'ombre	19
Le mouvement apparent du soleil	19
Etablissement de la position du soleil	20
Maquette à l'échelle	21
Brise-soleil réglables et stores	21
Végétation et ombre	21
Protection contre le vent	22
Coupe-vent	22
Résumé	25
IV. MATERIAUX DE CONSTRUCTION	27
Matériaux de surface	27
Réflexion et émission	27
Convection	28
Matériaux pour murs	28
Murs massifs	28
Délai	29
Transmission de la chaleur	32
Verre à vitres	33

Matériaux pour toitures	33
Toitures lourdes	33
Toitures légères	33
Résumé	35
V. MODIFICATIONS DE L'ENVIRONNEMENT	39
L'environnement extérieur	39
Bâtiments	39
Surface des sols	39
Végétation	40
L'environnement intérieur	40
Ventilation	41
Mouvements de l'air	41
Mouvement naturel de l'air	42
Mouvements forcés	45
Utilisation de la lumière du jour	46
Le niveau d'éclairage	47
La distribution de la lumière	48
Diminution des éblouissements	50
L'homme et le domaine bâti	51
Utilisation appropriée	51
Contrôle centralisé	51
Education	52
Résumé	52
VI. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	55
Responsabilité de l'architecte	55
Responsabilité du client	56
Responsabilité du gouvernement	56

APPENDICES

- Appendice I: La chaleur et le corps humain
- Appendice II: Le schéma de la trajectoire solaire
- Appendice III: Ombres portées

BIBLIOGRAPHIE

REMERCIEMENTS

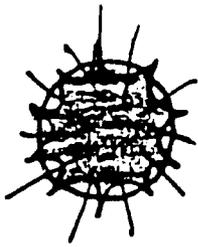
L'auteur de ce manuel doit des remerciements chaleureux aux nombreux chercheurs dont les rapports ont fourni une partie de l'information contenue dans ce manuel. Parce que cet ouvrage est intentionnellement bref, il est impossible de remercier individuellement tous ceux dont la contribution en la matière a été importante. La bibliographie cite le titre des ouvrages qui ont été le plus utilisés. Le lecteur pourra les consulter lorsqu'il cherchera des compléments d'information.

Le Service Météorologique SOFRAVIA, l'Aéroport de Djibouti et le Service National Météorologique du Plateau du Serpent ont fourni les données climatologiques locales. L'auteur est particulièrement reconnaissant à Taher Allaoui Mokbel, aux responsables et au personnel de ces agences, pour la gentillesse dont ils ont fait preuve au cours de ses visites.

Un ouvrage de ce type n'aurait jamais pu être produit sans l'entière coopération et le dévouement du personnel ISERST/VITA. Abdoulkarim Moussa a recueilli les données locales; Elisabeth Girin a dactylographié la version finale du rapport et Judy Hirsch a préparé et dessiné les schémas et les diagrammes.

Merci aussi à Julie Berman et Margaret Crouch du bureau VITA aux Etats-Unis, pour la rédaction finale et la mise en page, et à Ghislaine Hermanuz pour la traduction française.

L'auteur remercie également les habitants de Djibouti qui ont répondu avec patience et bonne humeur aux nombreuses questions qui leur ont été posées, lors de sa visite à Djibouti.



I. INTRODUCTION

Ce manuel a été préparé pour mettre à la disposition de ceux qui ont affaire à la construction de bâtiments, à Djibouti, certains principes et données climatiques de base. Il ne doit pas se comprendre comme un ouvrage définitif mais plutôt comme un premier pas vers la présentation d'idées qui pourront transformer les habitudes en matière de construction, afin de les rendre efficaces du point de vue de l'énergie, économiques et fonctionnelles, pour la région. Ce manuel a été préparé sous l'égide du projet "Initiatives d'Énergie de Djibouti," auquel VITA travaille de concert avec le Gouvernement de Djibouti, pour développer la capacité de l'Institut d'Enseignement Supérieur Scientifique et de Recherche Technologique (ISERST). Au fil des progrès du travail entrepris au sein de ISERST/VITA, les données de base et les principes exposés dans ce manuel seront développés et corrigés.

Ce manuel a pour base la moyenne des données climatiques recueillies pendant plusieurs années, avec suffisamment de précision pour engendrer de nouvelles pratiques de construction. Le projet ISERST/VITA continuera à récolter des données sur les radiations solaires et le vent. Ce manuel décrit également les principes de base d'échanges de chaleur entre les êtres humains et leurs bâtiments ou leur environnement. Ces principes sont bien connus des professionnels de la construction, mais, récemment, ils ont souvent joué un rôle secondaire, le coût initial de la construction, les besoins structurels et esthétiques prenant la première place. Projeter en fonction du climat devient particulièrement critique lorsque la conservation d'énergie est un critère important.

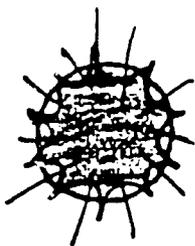
Les recherches sur la construction en pays tropicaux ont abordé plusieurs des thèmes qui ne sont que brièvement discutés dans ce manuel. Pour ceux qui le désirent, il existe toute une littérature très détaillée sur le sujet, en plusieurs langues.

Mettre en oeuvre des mesures de conservation d'énergie efficaces est une chose qui n'est pas toujours réalisée là où ce serait le plus nécessaire. Au départ, il faut reconnaître comment les bâtiments, contemporains ou historiques, ont réussi ou pas à créer des espaces intérieurs confortables. Cela veut dire expérimenter, d'une manière organisée, avec des projets conçus en fonction du climat et le désir, de la part du client, d'accepter le risque de cet essai.

Ces risques sont réels. La plupart des modèles conçus pour d'autres climats ne peuvent pas être reproduits tel quel à Djibouti. La majorité des livres de référence sur l'architecture tropicale ne traite que brièvement ou pas du tout de la combinaison haute température et humidité élevée, qui est la caractéristique du climat des communautés situées à la pointe sud de la Mer Rouge.

La technologie du vingtième siècle a permis la transformation des températures intérieures grâce à des moyens mécaniques. Cependant, la climatisation est souvent une solution compliquée et chère. Mais son utilisation nous oblige à la considérer au sein d'une étude d'architecture climatique. Des climatiseurs qui ne fonctionnent pas d'une manière efficace peuvent devenir un problème financier sérieux pour une famille ou même une institution. La fonction historique de l'architecture, c'est la protection des habitants contre les intempéries, par moyens naturels uniquement. L'architecture d'aujourd'hui doit continuer à poursuivre ce but et ajouter à cet objectif celui de diminuer la demande de climatisation mécanique.

L'auteur regrette de ne pas pouvoir proposer une solution facile aux problèmes climatiques de Djibouti. Il y a peu de règles simples qui peuvent être valables dans n'importe quel cas. L'auteur ne peut même pas contribuer sa connaissance intuitive du climat, telle que celle des habitants qui ont passé leur vie à Djibouti. Il doit se contenter, dans ce manuel, d'une présentation des faits et de l'énumération de principes bien connus. Il espère que la sélection des éléments ci-inclus prouvera être utile à ceux qui travaillent à améliorer la qualité de vie à Djibouti.



II. LE CLIMAT DE DJIBOUTI

Afin de produire un projet adapté au climat de Djibouti, l'architecte doit avoir une bonne compréhension des changements de conditions auxquels son bâtiment devra s'adapter. Ceci va le force à se familiariser avec les données météorologiques locales, leur influence sur les matériaux de construction et le confort humain. Dans la région de Djibouti, depuis de nombreuses années, on a recueilli des données sur le temps. Celles-ci permettent d'identifier rapidement les saisons et les heures où le climat est acceptable et celles où on peut s'attendre à de sévères problèmes de chaleur. Des bâtiments bien conçus devraient fonctionner d'une manière efficace quelles que soient les conditions.

TEMPERATURE ET HUMIDITE

Le climat de Djibouti est officiellement classé, dans la littérature, sous le nom de désert maritime, une région climatique qui offre des conditions chaudes et humides en hiver, et très chaude et humide, en été.

Dans le désert maritime, les températures de l'air ne sont que légèrement en dessous de celles observées dans un désert de l'intérieur; mais, la présence d'un océan chaud, dans les environs, crée un taux d'humidité élevé. Les températures de la mer, près de Djibouti, vont de 25°C en hiver à 32°C en été. Les températures des eaux, à basse marée, ou dans les régions de prés salés près de la ville, sont encore plus élevées. Il en résulte que même les brises venant de la mer sont chaudes et humides. Ainsi, un climat chaud est garanti, même en hiver, et l'été est extrêmement chaud. Il est superflu de décrire, pour les lecteurs, les inconvénients que la chaleur de Djibouti, en été, peut causer.

Le climat du désert maritime pose des problèmes très difficiles à l'architecte. Tout d'abord, les conditions de Djibouti sont telles qu'une connaissance des effets de la chaleur sur l'efficacité des êtres humains est essentielle au développement d'une architecture adaptée. Une description détaillée du mécanisme de régulation de chaleur du corps humain et des réactions du corps humain à son environnement sont inclus à l'Appendice I. Comme les extrêmes du climat de Djibouti ne se retrouvent que dans de rares endroits habités, il existe peu de recherches sur les formes architecturales qui leur seraient particulièrement adaptées. Pour cette raison, l'architecte devra s'efforcer de ne pas accepter complètement les théories et les typologies de bâtiments qui ont été développées pour les climats chauds. Le climat côtier d'Afrique équatoriale, un climat chaud et humide durant toute l'année, est peut-être celui qui se compare le mieux aux conditions de Djibouti. Les façons de construire qui ont réussi là-bas

pourraient être utiles pour résoudre les problèmes de la saison d'hiver, à Djibouti, mais devraient être modifiées pour répondre aux conditions de l'été.

La Table I résume la moyenne des mensurations de température et d'humidité relative, prises toutes les trois heures, pendant trente ans. Ces chiffres, obtenus à deux kilomètres de la mer, représentent probablement des données suffisantes pour projeter les quartiers de la ville en voie de développement et les parties basses le long de la côte, dans le reste du pays. Cette Table quantifie les qualités qui rendent le climat de Djibouti unique: des températures moyennes élevées, pendant toute l'année, des variations de température modérées ou faibles, au cours de la journée et une humidité relative élevée.

La Figure I présente, graphiquement, ces changements de température mesurés à l'Aéroport de Djibouti. Les lignes (isothermes) réunissent les points à température de l'air égale pendant toute l'année. C'est la température à laquelle les bâtiments doivent répondre. A partir de la Figure I, on peut estimer la température moyenne pour n'importe quelle heure, à n'importe quelle saison de l'année. En lisant verticalement la colonne d'un mois, on peut voir les variations de température à chaque heure, chaque fois que l'on croise une ligne isotherme. En lisant horizontalement, on peut observer les changements mensuels de la température moyenne, à chaque heure de la journée.

La température effective est une mesure de confort fréquemment employée qui combine la température et l'humidité de l'air. Les calculs qui l'utilisent indiquent que le climat de Djibouti est complètement en dehors de la zone de confort européenne, pendant toute l'année. Sans doute, comme partout dans les tropiques, la tolérance ou même la préférence des autochtones va à des températures et des taux d'humidité plus élevés que ceux tolérés par les Européens. Les habitants de Djibouti semblent généralement d'accord pour dire que les températures en hiver, pendant la journée, à l'ombre, sont parfaitement acceptables, particulièrement s'il y a une brise. Les soirées d'octobre à avril sont considérées "plaisantes."

La Figure 2 est basée sur la température effective de Djibouti. Parce que ce diagramme combine le taux d'humidité relative à la température à l'ombre, il ne correspond pas exactement au diagramme de la température de l'air de la Figure 1. Le schéma de la température effective a été divisé, subjectivement, en zones de confort relatif, qui vont de "insupportable" à "frais." Graphiquement, le diagramme montre à quelles heures et à quelles dates de l'année il est nécessaire de s'adapter au climat extérieur pour être confortable. On peut assumer qu'il est nécessaire d'utiliser des climatiseurs ou des ventilateurs pour assurer le rendement au travail lorsque la température effective tombe dans les trois catégories du haut; dans les catégories du bas, la climatisation naturelle devrait suffire.

Les courbes des Figures 1 et 2 permettent à l'architecte de se représenter les conditions extérieures aux heures et aux saisons où un bâtiment, ou même une certaine chambre, vont être utilisés. L'horaire des bureaux et

Table I. Données climatiques recueillies à l'aéroport de Djibouti

Heure		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	
Température (°C) Humidité Relative (%)	0:00	T° HR	<u>23,6</u> 79,2	<u>24,2</u> 79,0	<u>25,7</u> 80,0	<u>27,4</u> 79,9	<u>29,5</u> 75,5	<u>32,0</u> 59,4	<u>32,7</u> 45,6	<u>33,3</u> 50,6	<u>31,2</u> 68,9	<u>27,7</u> 76,3	<u>25,1</u> 78,1	<u>23,6</u> 78,4
	3:00	T° HR	<u>22,7</u> 82,3	<u>23,4</u> 81,2	<u>25,0</u> 81,9	<u>26,5</u> 82,7	<u>28,5</u> 78,6	<u>31,0</u> 60,1	<u>32,0</u> 46,6	<u>32,2</u> 53,2	<u>30,2</u> 71,7	<u>26,8</u> 77,8	<u>24,2</u> 80,1	<u>22,7</u> 81,7
	6:00	T° HR	<u>22,3</u> 84,1	<u>23,0</u> 82,3	<u>24,4</u> 83,3	<u>25,9</u> 84,1	<u>27,6</u> 80,8	<u>30,0</u> 62,1	<u>31,1</u> 48,6	<u>31,3</u> 54,9	<u>29,6</u> 70,6	<u>26,2</u> 78,7	<u>23,7</u> 81,4	<u>22,3</u> 83,3
	9:00	T° HR	<u>25,9</u> 71,1	<u>26,3</u> 71,1	<u>27,8</u> 70,0	<u>30,3</u> 68,0	<u>32,6</u> 62,7	<u>35,6</u> 47,0	<u>35,1</u> 37,4	<u>35,8</u> 41,5	<u>34,2</u> 54,4	<u>30,9</u> 63,8	<u>28,6</u> 65,6	<u>26,8</u> 67,4
	12:00	T° HR	<u>27,7</u> 63,7	<u>28,0</u> 63,4	<u>29,2</u> 64,6	<u>31,0</u> 64,9	<u>33,7</u> 59,2	<u>37,4</u> 44,6	<u>39,6</u> 30,8	<u>38,9</u> 30,1	<u>36,1</u> 48,4	<u>32,3</u> 58,4	<u>30,0</u> 60,1	<u>28,5</u> 60,6
	15:00	T° HR	<u>27,6</u> 63,4	<u>28,0</u> 64,1	<u>29,1</u> 65,3	<u>30,7</u> 65,6	<u>33,3</u> 61,7	<u>36,5</u> 51,8	<u>40,3</u> 33,1	<u>39,5</u> 35,7	<u>35,5</u> 55,6	<u>32,0</u> 59,6	<u>29,8</u> 61,0	<u>28,3</u> 61,2
	18:00	T° HR	<u>25,8</u> 70,6	<u>26,2</u> 70,7	<u>27,3</u> 73,1	<u>29,5</u> 73,2	<u>31,5</u> 70,1	<u>34,1</u> 60,4	<u>36,3</u> 46,1	<u>35,4</u> 50,7	<u>32,6</u> 66,8	<u>29,8</u> 67,3	<u>27,6</u> 68,2	<u>26,2</u> 69,1
	21:00	T° HR	<u>24,7</u> 75,6	<u>25,1</u> 76,4	<u>26,4</u> 77,3	<u>28,1</u> 77,1	<u>30,3</u> 75,1	<u>32,9</u> 62,1	<u>34,5</u> 49,7	<u>33,8</u> 54,1	<u>31,5</u> 71,6	<u>28,5</u> 73,6	<u>26,3</u> 74,6	<u>25,0</u> 74,2
Température moyenne/jour (°C) Humidité moyenne (%)			<u>25,0</u> 73,8	<u>25,4</u> 73,7	<u>26,8</u> 74,4	<u>28,6</u> 74,8	<u>30,0</u> 70,9	<u>33,7</u> 55,9	<u>35,7</u> 42,2	<u>35,0</u> 47,1	<u>32,6</u> 62,5	<u>29,3</u> 69,1	<u>26,9</u> 70,8	<u>25,5</u> 72,0
Température min, moyenne (°C) Température min, absolue (°C)			<u>21,7</u> 16,8	<u>22,4</u> 17,0	<u>23,8</u> 16,5	<u>25,5</u> 18,5	<u>27,0</u> 19,8	<u>29,4</u> 24,0	<u>31,2</u> 23,3	<u>30,5</u> 23,6	<u>29,0</u> 23,1	<u>25,7</u> 17,2	<u>23,2</u> 17,8	<u>21,7</u> 16,8
Température max, moyenne (°C) Température max, absolue (°C)			<u>28,5</u> 31,0	<u>28,8</u> 32,4	<u>30,1</u> 36,1	<u>31,8</u> 36,3	<u>34,7</u> 43,8	<u>38,9</u> 45,9	<u>42,1</u> 45,8	<u>41,0</u> 45,4	<u>37,5</u> 44,8	<u>33,0</u> 38,2	<u>30,7</u> 33,5	<u>29,2</u> 32,6
Chutes de pluie mensuelles (mm)			16,8	16,0	26,1	13,1	12,7	0,1	8,5	10,7	4,3	16,2	32,4	8,3

N.B.: Les valeurs moyennes sont basées sur des données recueillies de 1950 à 1981.

des commerces de Djibouti est déjà organisé autour des heures de la journée qui sont les plus fraîches. C'est, en soi, une manière de préserver l'énergie qui permet également à l'ouvrier de se reposer pendant les heures les moins confortables de la journée. Ces horaires de travail représentent une modification traditionnelle et pleine de sagesse des rythmes de vie humains pour s'accomoder à un climat difficile.

ISOTHERMES DE TEMPERATURE (°C) A DJIBOUTI

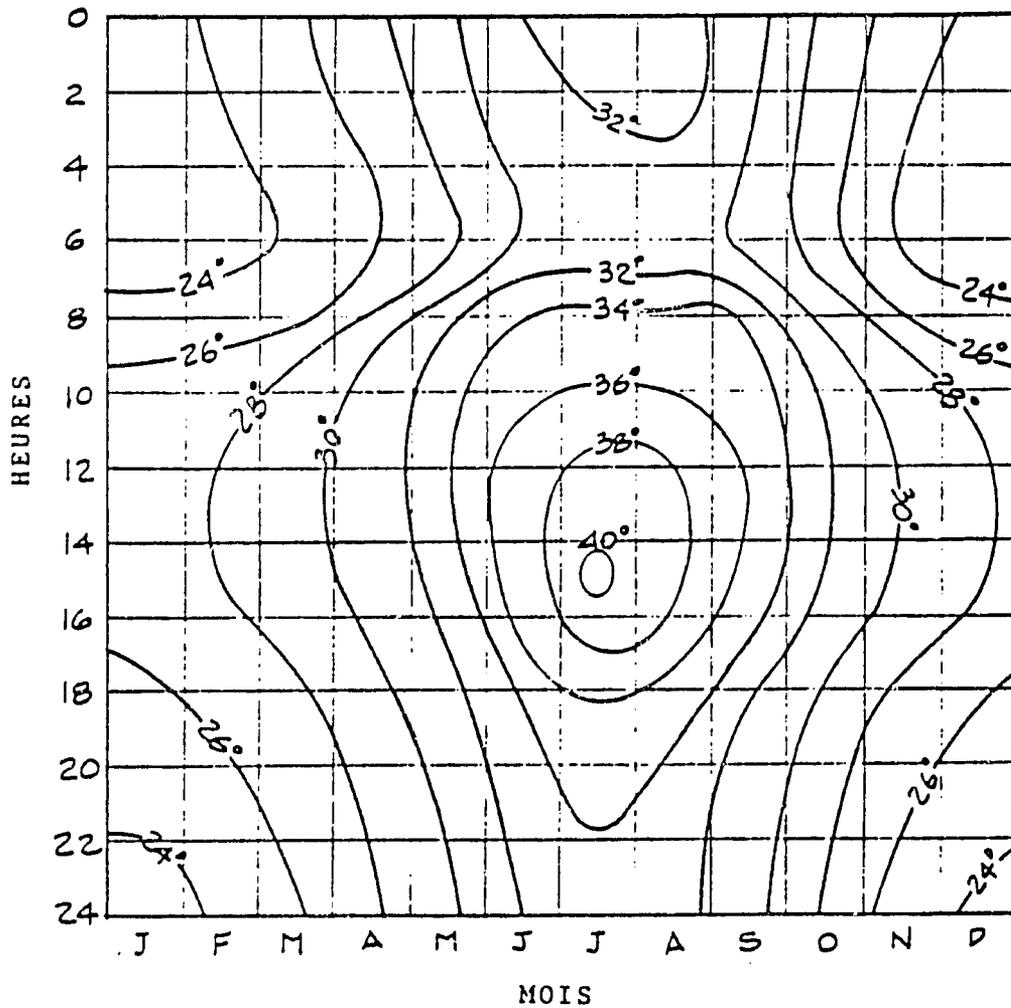


Figure 1.

ZONES DE CONFORT
A DJIBOUTI

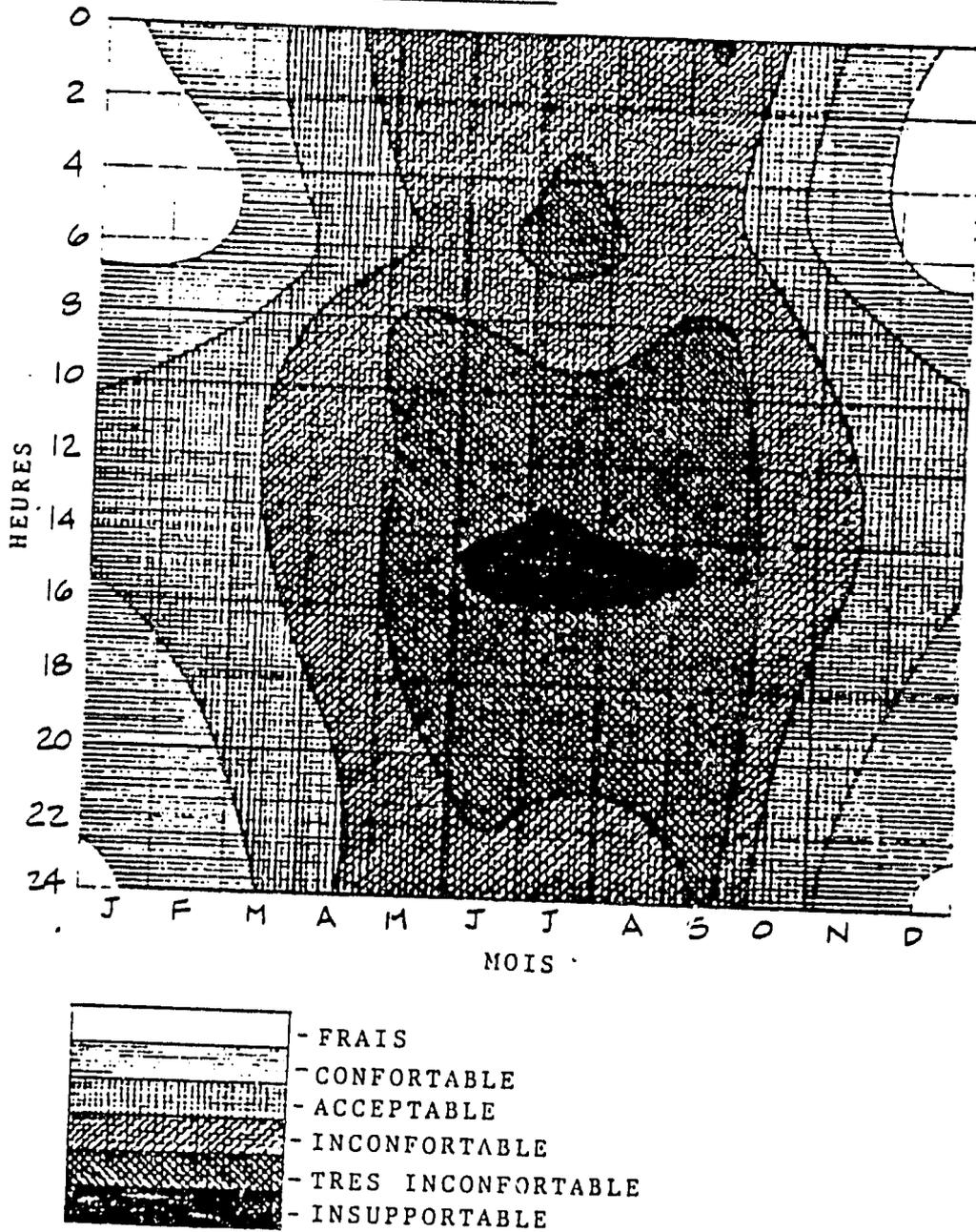


Figure 2.

RADIATION

La latitude de Djibouti (11° 30' nord) place la ville dans une position où elle peut recevoir pratiquement le maximum de radiations solaires. Le ciel clair du pays assure que la majorité de ces rayons atteignent le sol. Il en résulte une température élevée.

Les radiations solaires arrivent à la surface de la terre sous deux formes: 1) en faisceaux, venus directement du soleil (radiation directe) et 2) en rayons réfléchis et dispersés par les nuages ou par les particules de l'air (radiation diffusée). L'énergie de la lumière solaire devient chaleur lorsqu'elle touche une matière opaque. Les objets solides qui absorbent les radiations deviennent les éléments les plus chauds de l'environnement. Pendant une période d'ensoleillement, ce sont la terre, les bâtiments et les arbres que la température augmente. Ils réchauffent l'air. Le soir, c'est le phénomène inverse: les masses solides, exposées au ciel, dégagent pendant la nuit la plupart de la chaleur absorbée pendant la journée. Les objets solides qui perdent de la chaleur par radiation deviennent plus froids que l'air ambiant. Ils commencent à refroidir l'air qui entre en contact avec eux. Ce sont, en quelque sorte, les objets (bâtiments, arbres) qui refroidissent l'air, la nuit, et non l'air qui refroidit les objets.

L'atmosphère de Djibouti permet à la majorité des radiations intenses de la lumière solaire d'atteindre la surface de la terre. Cependant, l'humidité ralentit les radiations thermiques moins intenses qui émanent de la terre le soir. Ceci freine le refroidissement de la terre et entraîne un déséquilibre pour Djibouti où les températures moyennes élevées ne changent que peu au cours des 24 heures.

La Table II montre le total des radiations (directes et diffusées) qui ont été enregistrées pendant quatre ans sur une surface horizontale à Djibouti. Elle démontre que le taux de radiation reste constamment élevé pendant toute l'année. A ce jour, aucune donnée sur l'importance des radiations de nuit n'existe. Chaque partie de la terre, chaque quartier et chaque bâtiment atteindront leur propre équilibre de température, d'une manière individuelle. Celui-ci sera la température à laquelle la chaleur perdue pendant la nuit sera égale à la chaleur reçue pendant la journée. L'équilibre de température d'un bâtiment peut être modifié par l'architecture. C'est ce qui se fait avec le dessin de bâtiments à chauffage solaire, conçus pour les climats froids. Leur intérieur reste plus chaud que l'air extérieur parce que ces bâtiments absorbent et conservent plus de chaleur rayonnante qu'ils n'en perdent. On peut aussi réaliser le contraire: une construction individuelle ou le quartier d'une ville peuvent être conçus pour résister aux gains et pertes de chaleur d'une manière effective, en maintenant une température moyenne plus basse que celle de leur entourage.

Table II

**Total des radiations solaires (directes et diffusées)
sur un plan horizontal à Djibouti
Cal/cm²/jour**

MOIS	1974	1975	1976	1977
janvier	481	481	479	338
février	505	525	522	525
mars	461	584	-	576
avril	611	553	-	534
mai	525	615	597	573
juin	489	564	-	522
juillet	545	523	524	496
août	547	514	538	506
septembre	535	560	545	534
octobre	558	557	560	447
novembre	517	517	499	463
décembre	473	475	448	419

N.B.: Les données n'ont pas été ajustées pour la température.

Repris du Rapport I-129, rédigé par M. Thomas Lawand du Brace Research Institute, 42 pages, juin 1978.

VENT

Les directions du vent, établies sur la base de la documentation de l'aéroport, pendant quatre mois caractéristiques sont présentées sur la Figure 3. Ces schémas peuvent être considérés comme représentatifs des quatre saisons climatologiques de Djibouti: 1) l'hiver (décembre, janvier et février); 2) une période de transition (mars, avril et mai); 3) l'été (juin, juillet et août); et 4) une seconde période de transition (septembre, octobre et novembre).

La Figure 3 montre les directions du vent à quatre moments différents, selon l'orientation que prend la bande schématique du vent. La vitesse moyenne du vent, en kilomètres par heure, est indiquée par la longueur de la bande. Les bandes ont été codifiées selon la même température effective, comme sur la Figure 2. Ce schéma du vent indique en gros les périodes de la journée et de l'année où il sera avantageux de faire les brises pénétrer les bâtiments. Il indique également les moments et les périodes où les vents de l'extérieur ne doivent pas pénétrer le bâtiment, à cause de la chaleur qu'ils transportent.

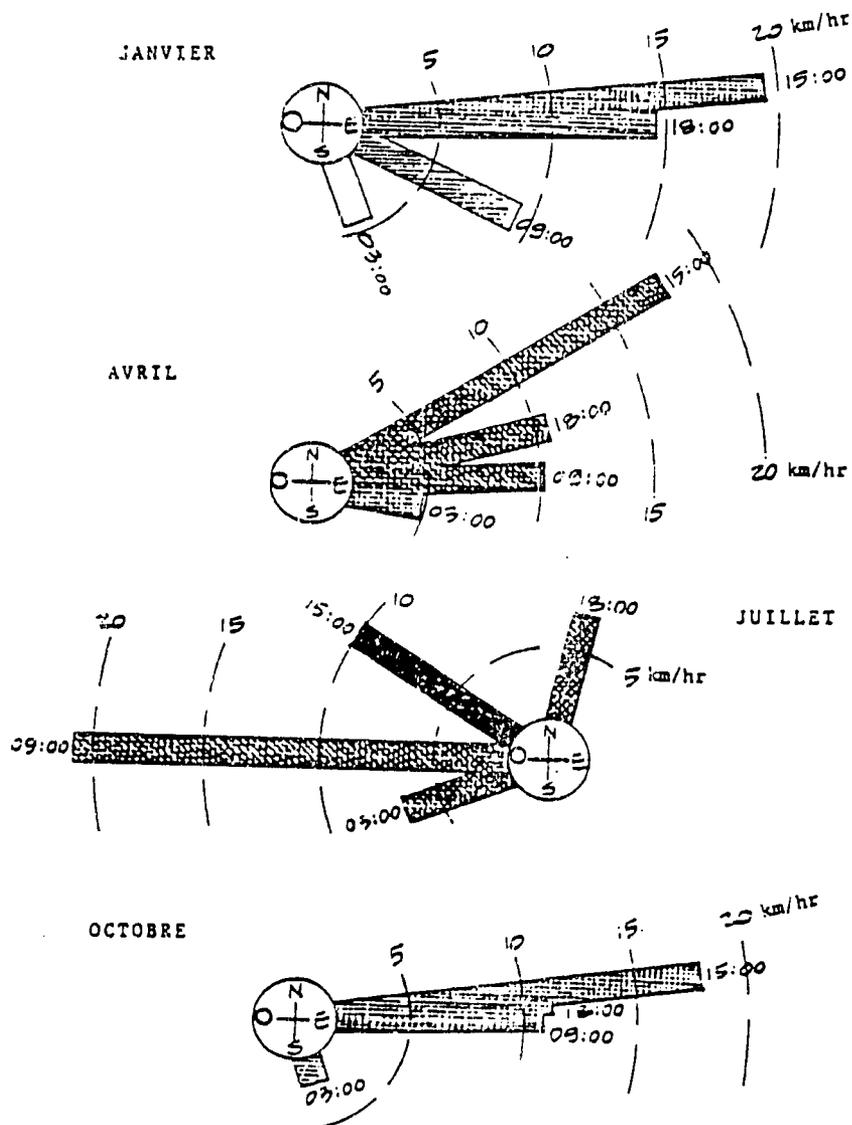
Contrairement aux radiations directes du soleil, qui peuvent se calculer, théoriquement, pour n'importe quel endroit, à n'importe quel moment, la direction du vent, sa vitesse et sa température ne peuvent être prédites avec précision. Les variations du vent à un endroit donné sont influencées d'abord par le climat régional qui, lui-même, ne peut se prédire que partiellement d'année en année. Les brises locales sont aussi influencées par les alentours immédiats: par les bâtiments, les arbres, etc. Tous ces éléments déterminent la direction finale du vent à un endroit particulier. Ils peuvent ralentir la brise ou augmenter sa vitesse. Au niveau du sol, le vent tend à être plus lent qu'un vent à quelques mètres de haut, à cause des frictions et des turbulences dues à la surface de la terre. On le sent dans la différence entre la force d'une brise dans des chambres situées au rez-de-chaussée comparée à celle d'un vent dans les étages supérieurs d'une maison.

Non seulement Djibouti souffre de la chaleur des vents d'ouest en été, mais aussi de la poussière qu'ils transportent. Lorsque les vents sont porteurs de sable, la protection des bâtiments devient encore plus importante. Les différents sites et sections de la ville ont un microclimat bien particulier. Ceci est surtout vrai en ce qui concerne leur exposition au vent et leur protection contre le vent. L'architecte doit considérer les conditions du vent non seulement avant de commencer un projet, mais aussi pendant son développement, afin de tenir compte des changements entraînés par l'emplacement des constructions et de la végétation. L'idéale serait que le projet fonctionne parfaitement à toutes les étapes de son développement.

PLUIE

Les quantités annuelles de pluies ne sont pas importantes à Djibouti. Elles ne changent le niveau de confort que pour quelques heures ou quelques jours à la fois. L'effet rafraichissant d'une averse sur l'air ou sur la terre est rapidement remplacé par une augmentation déplaisante de l'humidité relative, alors que la moiteur s'évapore. L'architecture devra prendre en considération les quelques jours de fortes chutes de pluie. L'évacuation des eaux de pluie, depuis le toit et autour du bâtiment, devra faire l'objet de stipulations appropriées.

DIRECTION, VELOCITE DU VENT ET ZONES DE CONFORT A DJIBOUTI



LA VELOCITE DU VENT

EST EN KM/HR

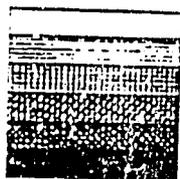
A 3 Hrs - VENT DE NUIT

A 9 Hrs - VENT DU MATIN

A 13 Hrs - VENT DU MIDI

A 18 Hrs - VENT DU SOIR

ZONES DE CONFORT



- FRAIS

- CONFORTABLE

- ACCEPTABLE

- INCONFORTABLE

- TRÈS INCONFORTABLE

- INSUPPORTABLE

Figure 3

MICROCLIMATS URBAINS

Certains quartiers de la ville de Djibouti, en particulier ceux qui sont très construits, ont leur propre microclimat. Les températures locales sont influencées par la disposition des constructions: le microclimat qu'elles créent détermine la température de l'air entre dans les bâtiments. Par exemple, la température de l'air à la Place Ménélik, qui est bordée de structures en maçonnerie de deux à trois étages, diffère de celle près des bâtiments en bois et métal des Quartiers I et II. Le Plateau du Serpent, près de la mer, où l'on trouve de petits bâtiments entourés de jardins, possède un microclimat bien plus tolérable que celui de l'aéroport. (Voir Table III.) Bien que l'emplacement péninsulaire du Plateau du Serpent soit unique dans la ville, sa végétation dense est l'un des facteurs qui contribuent à modérer sa température. L'avantage que présente cette végétation devrait être reproduit délibérément ailleurs, grâce à une bonne planification.

Table III

Température mensuelle moyenne, Plateau du Serpent
et aéroport de Djibouti, en °C

	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc
Le Serpent	22,9	23,7	24,7	26,3	28,2	30,2	30,8	30,1	29,5	26,9	24,8	23,2
Aéroport de Djibouti	25,0	25,4	26,8	28,6	30,9	33,7	35,7	35,0	32,6	29,3	26,9	25,4

CLIMAT EN DEHORS DE DJIBOUTI-VILLE

Les climats de l'intérieur sont très différents de ceux de la ville. La température de chaque site sera affectée par la topographie du terrain, sa distance de la mer et son élévation (environ 0,65° de moins pour chaque augmentation de 100 mètres, en élévation). Par exemple, la Table IV donne la liste de l'humidité relative et des températures maximum et minimum à Dikhil (altitude +500 m) et à Ali-Sabieh (altitude +700 m). Elles sont comparables à celles de l'aéroport de Djibouti. Lorsque des projets importants sont prévus en dehors des régions de la zone côtière, les caractéristiques spécifiques de leur climat local devraient être analysées et considérées.

Table IV

Température et humidité à Dikhil et Ali Sabieh

TEMPERATURE MAXIMUM MOYENNE (°C)												
	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc
Dikhil	23,2	30,8	33,2	35,5	38,8	40,2	38,7	37,7	38,0	35,0	31,6	29,8
Ali Sabieh	25,6	26,9	29,4	31,6	35,7	38,5	36,9	35,9	35,8	32,0	28,4	26,6

TEMPERATURE MINIMUM MOYENNE (°C)												
	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc
Dikhil	19,2	19,9	21,6	23,4	26,4	28,6	26,8	26,0	26,4	23,2	20,4	19,3
Ali Sabieh	17,4	17,8	19,3	21,1	22,9	26,0	25,7	25,1	24,3	20,6	19,1	17,6

HUMIDITE RELATIVE, 18 HRS (%)												
	jan	fév	mar	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc
Dikhil	61	52	53	51	36	28	32	35	35	43	54	55
Ali Sabieh	71	66	66	68	54	38	42	44	46	53	64	69

UTILISATION DES DONNEES CLIMATOLOGIQUES

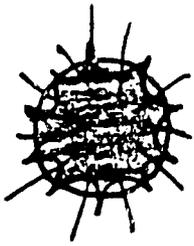
Normalement, on ne recueille pas de données climatologiques spéciales, en architecture. Le genre de détails utiles en météorologie et en aéronautique n'est pas nécessaire pour l'architecte qui s'intéresse, lui, aux caractéristiques globales du climat. Bien que le temps, pour un jour donné ou pour une année précise, ne soit pas prévisible, les alternances de climat auxquelles l'architecte doit répondre sont bien connues. L'architecte, travaillant dans ces grandes lignes, va pouvoir utiliser des moyennes.

Si les données numériques recueillies par instruments sont importantes pour l'architecte, son expérience et sa compréhension de la tolérance au climat, par adaptation ou par habitude, sont encore plus importantes. Tout bâtiment doit répondre à une combinaison de données climatiques et culturelles. La responsabilité de l'architecte, c'est de rendre ses projets et ses bâtiments le plus confortable possible, sans augmenter les dépenses en énergie.

RESUME

Les données recueillies à Djibouti, comparées à celles d'autres régions tropicales, indiquent des températures et des taux d'humidité relative élevés pendant toute l'année. Les projets conçus pour Djibouti devraient répondre à la situation difficile créée par une combinaison de températures élevées, d'humidité et de vent. Ils devraient utiliser au mieux la climatisation naturelle aux saisons où cela est possible. Le microclimat local devra déterminer, pour un site donné, les détails des éléments dictés par le climat. La projection devra inclure les trois phases suivantes:

- l'obtention et l'étude des données climatologiques d'un site particulier;
- leur corrélation avec les heures et, les saisons de la future utilisation du bâtiment;
- la sélection des détails d'architecture, de l'organisation et de l'aménagement du terrain qui contribueront à minimiser les extrêmes déplaisants du climat.



III. PROTECTION

PROTECTION CONTRE LE SOLEIL

Protéger les espaces intérieurs de la chaleur extérieure est l'objectif fondamental de la construction en pays tropicaux. Des études sur la relation entre climat et architecture ont porté sur plusieurs dizaines d'années; elles ont été conduites par des chercheurs, spécialistes de la construction, à travers le monde. Elles ont établi l'effet de plusieurs types de bâtiments et de méthodes de construction sur le confort et le rendement au travail des humains. L'accent mis récemment sur la conservation d'énergie a créé un intérêt spécial pour la protection des bâtiments de la chaleur, afin de diminuer la quantité d'énergie coûteuse nécessaire pour achever la réduction des températures intérieures. Des principes climatologiques éprouvés sont maintenant incorporés à la construction, en pays tempérés comme en pays tropicaux.

L'énergie rayonnante qui atteint le corps d'une personne au soleil, dehors, par temps ensoleillé à Djibouti, est beaucoup plus grande que la chaleur que son corps dégage. Plutôt que de s'exposer à cet inconvénient, les gens évitent la majeure partie des radiations en recouvrant leur corps de vêtements, en changeant de position, afin de minimiser la surface de peau exposée au soleil ou en cherchant l'ombre. Les bâtiments reçoivent des radiations de même intensité. Une grande partie de la chaleur qui affecte un bâtiment résulte de radiations solaires directes. L'architecte a, à sa disposition, les mêmes options qu'une personne au soleil: la chaleur absorbée par les surfaces exposées peut être minimisée quand le traitement des surfaces en tient compte, quand l'orientation est appropriée ou quand les radiations solaires sont interceptées par des éléments brise-soleil.

Orientation

A cause de la trajectoire apparente du soleil dans le ciel, les surfaces d'un bâtiment ayant différentes orientations vont recevoir des quantités de chaleur différentes pendant l'année. Une décision initiale, telle que l'orientation du bâtiment, ou même une décision de base, telle que la mise en place du réseau routier par les urbanistes, peuvent avoir un effet sur la quantité de radiations reçues par les bâtiments. Selon des expériences faites en pays tropicaux, on a pu démontrer que la température des chambres de bâtiments identiques, sinon par l'orientation, peut être 2°C plus basse si le bâtiment a une orientation adéquate. En règle générale, dans les tropiques, le côté long d'un bâtiment doit faire face au nord ou au sud. Cette règle est particulièrement valable pour Djibouti et elle devrait être suivie autant que possible. Lorsqu'une orientation défavorable ne peut pas être évitée, à cause des conditions du site, il faut alors organiser les

pièces à l'intérieur de telle sorte que les espaces de travail et les espaces habitables ne soient pas surchauffés.

La quantité de chaleur qui frappe un mur dépend de la relation entre la position du soleil et celle du mur. A son tour, cette relation change, selon la saison et l'heure. La Table V montre la quantité de chaleur qui pourrait atteindre, par radiation directe, un cm^2 de toiture horizontale et de paroi verticale, et ceci selon différentes orientations, par journée claire, une fois par mois à Djibouti. Ces données sont illustrées par la Figure 4. On peut interpoler ces données et les utiliser pour estimer les gains de chaleur possibles à certaines saisons.

Table V
Radiations solaires directes sur toiture horizontale
et mur à orientation variable ($11^{\circ} 30'$ nord)

Moyenne journalière par mois

Cal/cm²/jour

Mois	Horizontale	Est ou Ouest	Sud-est ou Sud-Ouest	Sud	Nord-Est ou Nord-Ouest	Nord
Jan	436	184	282	347	39	-
Fév	489	201	253	269	67	-
Mar	544	221	212	140	112	1
Avr	577	230	160	23	164	35
Mai	584	228	111	-	215	140
Juin	581	226	88	-	240	211
Juil	582	227	95	-	232	187
Août	584	230	132	2	191	82
Sep	564	227	187	73	138	9
Oct	519	216	233	206	88	-
Nov	460	192	270	317	51	-
Déc	423	185	288	362	33	-

RADIATION SOLAIRES DIRECTES SUR TOITURE HORIZONTALE ET
MURS A ORIENTATION VARIABLE (11° 30' N)

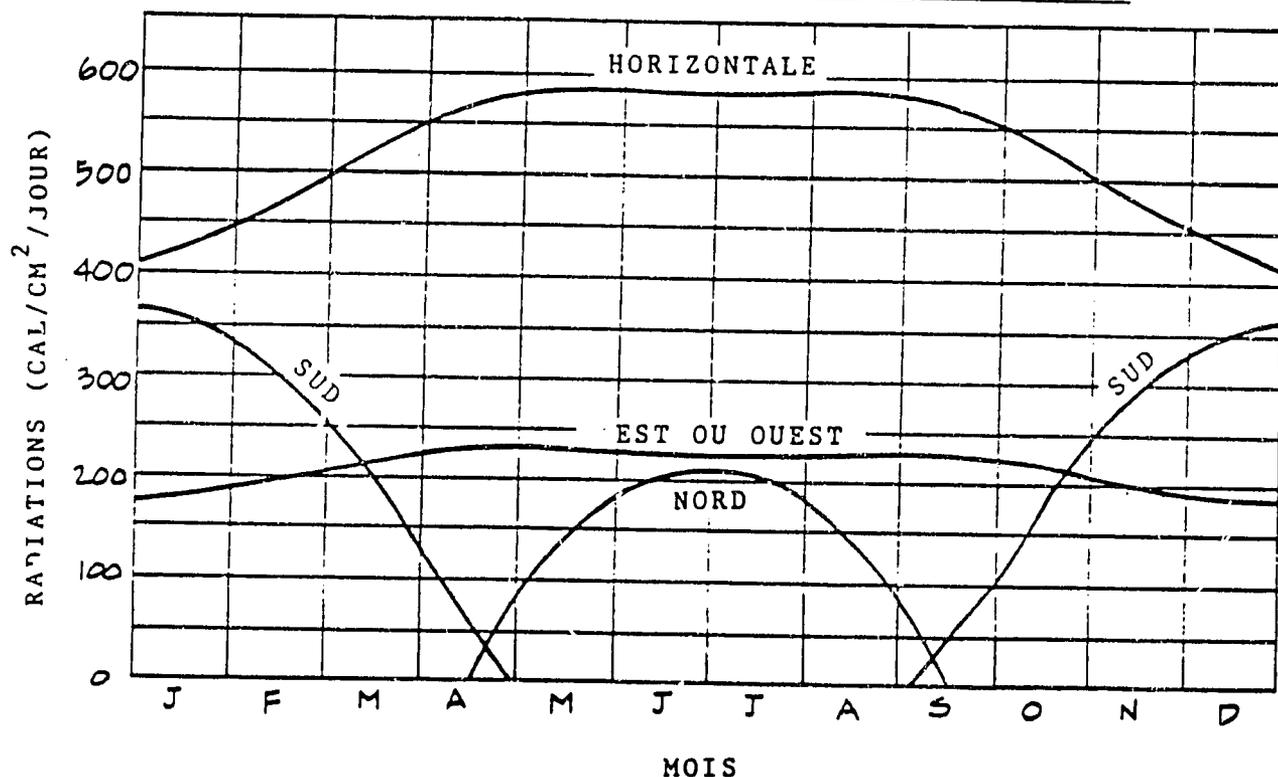


Figure 4.

L'illustration de la Figure 5 est basée sur les moyennes annuelles et donne une indication de l'effet d'un changement d'orientation et de la forme d'un bâtiment sur la totalité des radiations reçues pendant l'année. Dans certains cas, au lieu de figures annuelles, on peut faire les mêmes calculs pour les mois ou pour les périodes de la journée les plus critiques. Ce genre de calcul serait très utile au cas où les bâtiments ne seraient utilisés que d'une façon intermittente pendant la journée ou seulement à certaines saisons.

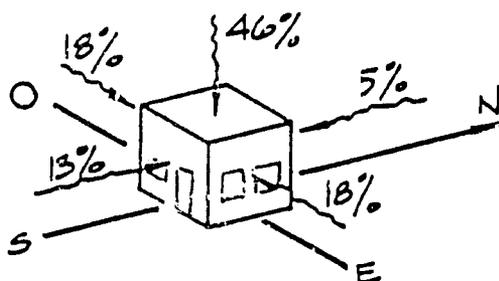
La Figure 5 montre, qu'à Djibouti, le toit d'un bâtiment cubique (voir Figure 5-A) recevra approximativement 46% des radiations directes atteignant le bâtiment pendant l'année. Le mur sud reçoit 13% de ces radiations, le mur nord 5%, et les parois est et ouest reçoivent, ensemble, 36%.

Si deux de ces volumes unitaires sont combinés de manières variées à la latitude de Djibouti (Figure 5-B), le gain de radiation sera réduit du pourcentage indiqué sur cette figure. Par exemple, un bâtiment de deux étages ne reçoit que 77% des radiations absorbées par deux unités de un étage. Il s'en suit qu'un grand bâtiment à plusieurs étages, ayant ses

longues façades face au nord et au sud, sera probablement le plus efficace contre les gains de chaleur dus à l'ensoleillement direct sur les murs et les toitures.

Le schéma de la Figure 5-B, basés sur les totaux annuels, sont utiles bien qu'ils ne définissent pas tous les aspects du problème. Par exemple, étant donné le climat de Djibouti (voir Table I), 5% des radiations solaires frappent chaque année la paroi nord, pendant la saison la plus chaude, alors que celles qui atteignent la paroi sud l'affectent au moment où la chaleur n'est pas un problème majeur. Ce fait devrait influencer la forme des bâtiments. Aussi, l'avantage apparent de bâtiments à deux étages est diminué par le fait que, la nuit, la perte de chaleur est plus petite puisque la surface de toiture est réduite; il est aussi difficile de protéger les étages du haut contre des gains de chaleur excessifs.

A. POURCENTAGE DES RADIATIONS ANNUELLES TOTALES SUR TOITURE ET MURS D'UNE STRUCTURE CUBIQUE (11° 30'N)



B. EFFET DE LA FORME ET DE L'ORIENTATION SUR LE GAIN EN CHALEUR RADIANTE % RECU LORSQUE DEUX VOLUMES SONT COMBINES DE DIFFERENTES MANIERES

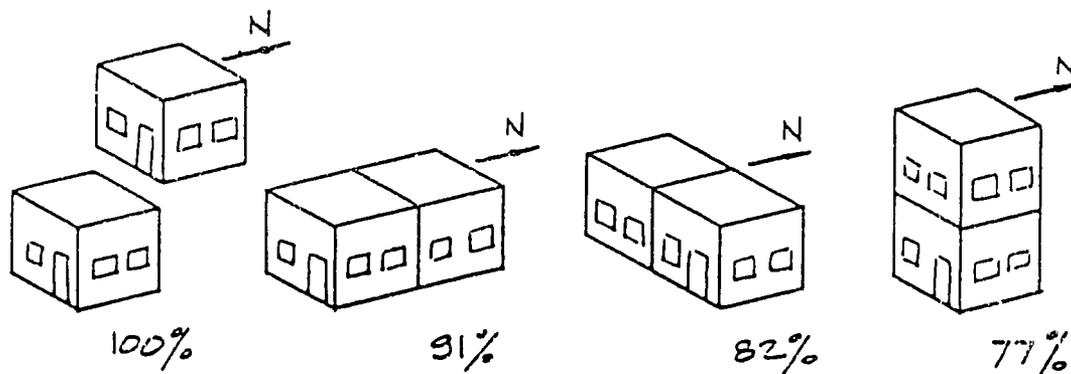


Figure 5.

Les Figures 4 et 5 démontrent clairement que le toit et les murs est et ouest reçoivent la majeure partie des radiations solaires, à Djibouti (en tout, 82% de celles qui frappent un cube). Logiquement ceci devrait avoir une influence sur l'architecture. Chacune des surfaces devra faire l'objet de considérations spéciales afin d'être protégée de la chaleur ou pour empêcher la transmission de la chaleur qu'elle reçoit vers l'intérieur du bâtiment.

Créer de l'ombre

La méthode de protection la plus logique et la plus fréquemment utilisée, est l'interception des radiations solaires par un solide avant qu'elles ne puissent atteindre la surface d'un bâtiment. A cette fin, on peut utiliser des éléments externes au bâtiment, tels qu'avant-toits, lames brise-soleil verticales ou horizontales, systèmes de double toits ou de la végétation, plantée spécifiquement pour l'ombre qu'elle produit.

Le calcul des éléments qui devrait être mandataires pour ombrager une certaine partie d'un bâtiment d'une manière effective peut prendre beaucoup de temps. On ne le fait pas toujours. Beaucoup d'architectes n'utilisent aucun élément fixe pour créer de l'ombre. D'autres n'utilisent ces éléments qui, à l'origine, devaient servir de protection, que pour décorer leur façades, et les disposent uniformément tout autour du bâtiment. Sur certaines façades, ces éléments peuvent être utiles mais sur les autres, ils ne jouent aucune fonction climatique et contribuent au coût de la structure. Si les questions climatiques devenaient le déterminant d'une structure, chaque façade aurait une expression différente. Cependant, en pratique, pour des raisons d'économie et d'unité de l'ensemble de la structure, certains compromis sont essentiels. Ils devraient être faits en toute connaissance de leurs effets sur l'exposition du bâtiment aux radiations et, en fin de compte, sur son équilibre calorifique.

Le mouvement apparent du soleil

Pour comprendre les principes de création d'ombre, il faut d'abord comprendre le mouvement apparent du soleil dans le ciel. Chaque jour, le soleil voyage d'est en ouest. Il décrit, au-dessus de l'horizon, un arc qui monte et descend selon la saison. La trajectoire parcourue chaque jour est bien connue: le soleil se lève à l'est, atteint un point haut à midi, puis descend vers l'horizon ouest à son coucher. La trajectoire saisonnière est moins visible: la cause en est l'angle de l'axe de la terre ($23,5^\circ$) par rapport à son plan de rotation autour du soleil (voir Figure 6). A Djibouti, ceci se manifeste par un changement apparent de la position du soleil de midi, qui passe d'un point bas, à 55° au dessus de l'horizon sud, en décembre, à un point directement au zénith, en mai et finalement atteint un point à 78° au dessus de l'horizon nord, en juin. Le soleil, à ce moment-là, commence son trajet vers le sud, passant de nouveau exactement au-dessus de Djibouti en août. Au printemps et en été, le soleil semble se lever et se coucher au nord d'une ligne est-ouest. En hiver et en automne, il reste au sud de Djibouti toute la journée.

CHANGEMENT SAISONNIER RESULTANT DE L'ANGLE DE L'AXE DE LA
TERRE TOURNANT AUTOUR DU SOLEIL

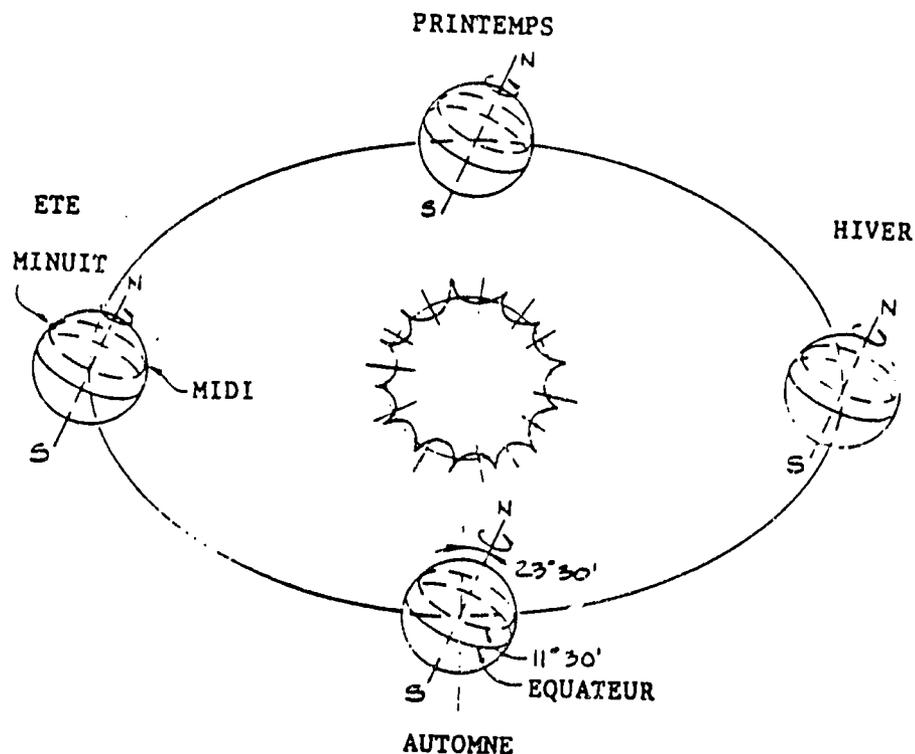


Figure 6.

Etablissement de la position du soleil

La trajectoire du soleil à travers le ciel peut se calculer exactement et plusieurs systèmes graphiques, inventés à l'intention des architectes, permettent de le faire. Le schéma de la trajectoire solaire, inclus dans ce manuel à l'Appendice II, est l'une de ces techniques. Elle permet à l'architecte de déterminer d'une manière simple la position approximative du soleil au-dessus de Djibouti à n'importe quelle heure de n'importe quelle saison. A chaque position du soleil, l'ombre portée par des brise-soleil aura une forme et une dimension différentes. Le taux de protection qu'offrent ces brise-soleil est la préoccupation majeure de l'architecte. On peut graphiquement illustrer leurs ombres portées lorsque la position du soleil, selon le schéma de la trajectoire solaire, est connue.

Un deuxième système, plus simple, consiste en une table des ombres portées, incluse à l'Appendice III, calculée pour quatre orientations possibles d'un mur, avec toutes les instructions nécessaires pour son utilisation. Ce système simplifie considérablement le dessin ces ombres et permet d'analyser l'efficacité des brise-soleil sur les parois nord, sud, est ou ouest.

Maquette à l'échelle

Pour étudier la protection effective des brise-soleil, on peut utiliser des maquettes à l'échelle de ces bâtiments. En plaçant une de ces maquettes au soleil, et en la penchant, si cela est nécessaire, pour que les rayons du soleil la frappent avec l'angle indiqué sur le schéma de la trajectoire solaire, on peut se faire une idée visuelle du taux de protection. A cette échelle, on peut ajuster les éléments du bâtiment de sorte que la maquette reçoive la protection désirée. Les modifications nécessaires peuvent alors être transférées aux plans du bâtiments.

Brise-soleil réglables et stores

Les brise-soleil complètement fixes sont simples et relativement peu coûteux, mais, bien souvent, il est plus pratique d'avoir des brise-soleil réglables. Les éléments mobiles peuvent être mis en place pour intercepter les rayons solaires lorsque cela est nécessaire et ils peuvent être ouverts à la vue et à la brise lorsque l'ensoleillement directe n'est pas un problème. Ces éléments vont de lames, installées à l'extérieur du bâtiment, souvent larges et compliquées, jusqu'à de simples volets, solides ou à lames qui ont ouverts ou fermés par les habitants. Normalement, ces simples volets sont soit ouverts, soit fermés, mais s'ils sont bien conçus, des volets à lames à moitié ouvertes peuvent admettre la vue et la brise tout en protégeant la fenêtre du soleil pendant une grande partie de la journée. Les stores ne sont utilisés, généralement, que pour protéger tout une paroi de la chaleur rayonnante.

Végétation et ombre

Il faut insister sur l'importance de l'utilisation des plantes pour protéger les constructions du soleil. La présence d'humidité dans l'air, accompagnée d'eau fraîche dans le sol, permet de faire pousser de larges plantes et des arbres dans la ville. La végétation peut diminuer d'une manière appréciable les radiations sur un petit bâtiment de un ou deux étages. Ceci se réalisera de deux manières: 1) production d'ombre directe, comme le font les brise-soleil construits, et 2) diminution de la chaleur réfléchi du sol et des bâtiments voisins. La Table VI montre les taux de réflexion de plusieurs surfaces de sol, comparativement à un sol de végétation.

Table VI

Pourcentage de radiations solaires réfléchies

Type de Surface	Pourcentage réfléchi (estimation)
Pré salé	42
Désert	24-28
Sable, sec	18-30
Sol nu, sec	10-25
Rochers	12-15
Asphalte	15
Champs verts	3-15
Forêt	5

Une bonne utilisation d'arbres, d'arbustes, et de plantes grimpantes, pour ombrager les constructions, nécessite le même genre de calculs qu'une solution modifiant la structure même du bâtiment. Durant le temps que mettent les arbres et les buissons à atteindre leur taille idéale, on peut utiliser des mesures temporaires, telles que treillis ou plantes grimpantes à croissance rapide. Comme on l'a remarqué auparavant, à propos du Plateau du Serpent, un nombre de plantes suffisant peut contribuer à modifier le microclimat d'un quartier tout entier.

L'habitude de tailler les arbres qui ont atteint leur maturité, dans les quartiers de la ville de Djibouti, pose un dilemme du point de vue climatologique. En France, on le fait pour que le soleil puisse réchauffer les trottoirs. L'effet est le même à Djibouti, sauf que le climat de la ville rend le soleil intolérable à cause de cette technique, les rayons du soleil atteignent non seulement les trottoirs, mais aussi le sol et les façades des maisons pendant de trop longues périodes.

Finalement, la densité du feuillage et de l'ombre autour du tronc qui résulte de branches taillées, ne sont pas aussi efficaces que l'ombre qui serait produite par la pousse naturelle de l'arbre. La taille périodique des branches, qui se pratique dans la plupart des contrées influencées par la culture française, ne se retrouve pas dans les autres pays tropicaux où la chaleur, pendant la journée, est un problème.

Où doit-on créer de l'ombre? A Djibouti, n'importe quelle partie d'un bâtiment va bénéficier d'un peu d'ombre. Toute ouverture, avec ou sans vitre, devrait être protégée en permanence contre les radiations directes ou devrait comprendre des éléments brise-soleil mobiles pour bloquer les radiations directes. A part cela, si l'on augmente la proportion dans laquelle les murs extérieurs sont ombragés, la température à l'intérieur en sera améliorée.

PROTECTION CONTRE LE VENT

Se protéger du vent chaud d'ouest chargé de poussière pendant l'été, c'est là le problème spécial de Djibouti. Le type d'exposition à l'ouest, le degré d'étanchéité à l'air et la position du bâtiment par rapport aux structures avoisinantes peuvent renforcer ou réduire le problème. Djibouti a la chance que les vents indésirables de l'été soufflent dans la direction opposée des vents favorables des autres saisons. En conséquence, les barrières anti-vent peuvent fonctionner dans une direction seulement, n'interrompant que le vent d'ouest. Les barrières anti-vent les plus économiques sont faites de végétation. Elles sont aussi les plus efficaces parce que la majeure partie de l'énergie du vent se dissipe dans les branches et le feuillage. La vitesse réduite d'un vent qui passe à travers de la végétation permet à la poussière et au sable qu'il transporte de se déposer. Ainsi, l'air au-delà, ne contiendra plus de poussière polluante.

Coupe-vent

En général, le vent venant d'une certaine direction suit une trajectoire prévisible. Par exemple, lorsqu'il se heurte à un long coupe-vent de hauteur donnée, il ne retrouvera sa vitesse au sol qu'après avoir parcouru une distance six à sept fois la hauteur du coupe-vent (Figure 7). La vitesse augmente de vélocité lorsqu'il passe autour des bords d'un barrage. Donc, il convient de penser à des protections perpendiculaires au coupe-vent principal, le long de ses extrémités (Figure 8-A). La vitesse du vent augmente aussi lors de son passage à travers une ouverture du barrage. Des accès véhiculaires ou piétonniers mal placés peuvent réduire ou même éliminer la protection que devrait fournir le coupe-vent (Figure 8-B).

PROFONDEUR DE L'OMBRE DU VENT DERRIERE UN LONG COUPE-VENT

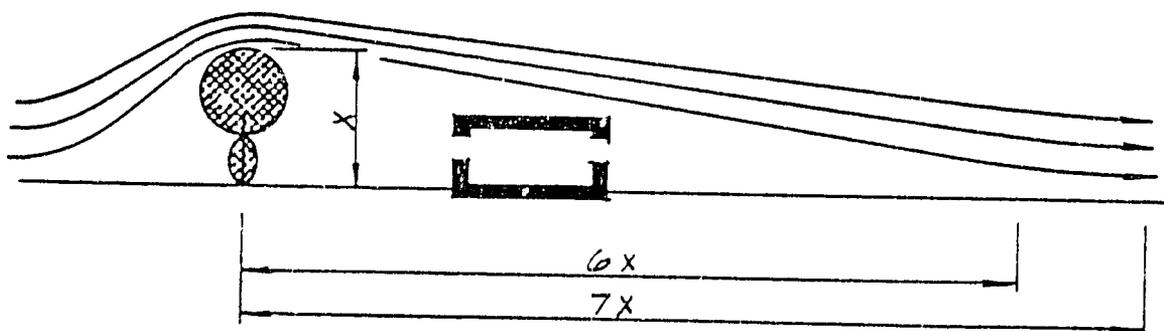
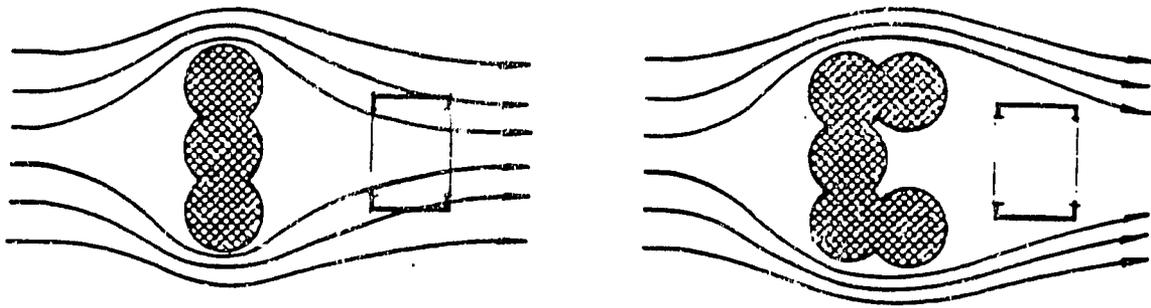


Figure 7.

A. CONDITIONS SUR LES COTES D'UN COUPE-VENT



B. OUVERTURES DANS LE COUPE-VENT

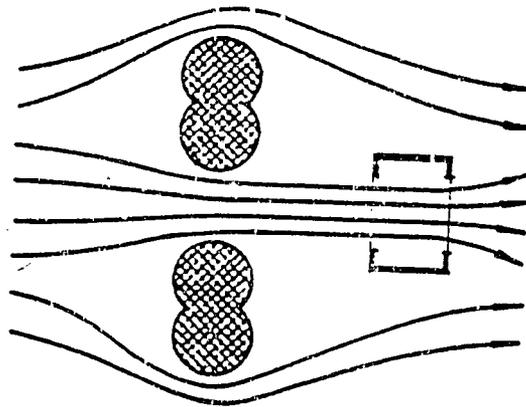


Figure 8.

Des rangées d'arbres à feuillage relativement dense, mélangés à des buissons bas et épais, constituent le barrage le plus efficace. La position des buissons par rapport aux arbres va avoir un effet sur la trajectoire de l'air (Figure 9). Arbres et buissons peuvent être intégrés le long d'une même rangée, si les espèces choisies sont compatibles (Figure 9-A).

Si, pour des raisons d'ensoleillement et d'approvisionnement en eau, les plantes doivent être séparées, les vents seront dirigés vers le bas, si les buissons sont placés du côté d'où ils viennent (Figure 9-C). Si les buissons sont du côté opposé, ils vont repousser les vents vers le haut et par-dessus les structures situées directement derrière le coupe-vent (Figure 9-B). Les relations que décrivent les Figures 9-A, 9-B et 9-C sont utiles pour planifier les mouvements d'air frais pendant les saisons où la brise joue un rôle important pour augmenter le confort. Par exemple, à Djibouti, les diagrammes des Figures 9-A ou 9-B devraient être mis en

EFFETS DE L'EMPLACEMENT D'ARBRES ET DE BUISSONS
SUR LA DIRECTION DU VENT

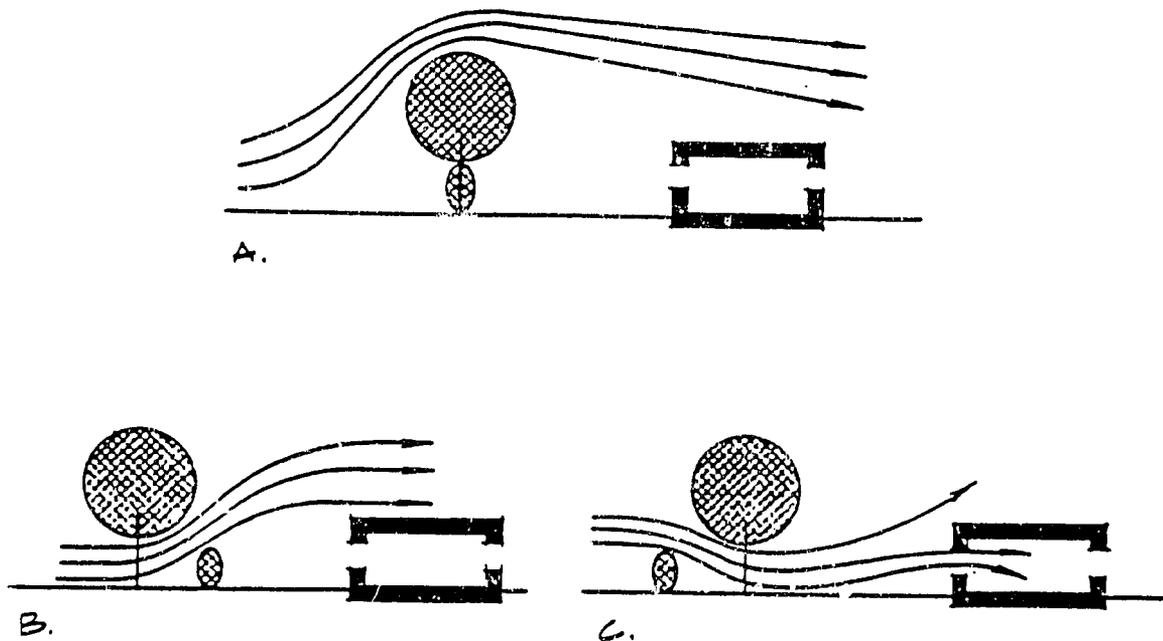


Figure 9.

oeuvre sur le côté ouest des bâtiments, alors que le diagramme de la Figure 9-C, ou même des arbres sans buissons, conviendraient mieux au côté est.

La protection de larges quartiers de la ville contre le vent peut être réalisée grâce à un placement adéquat des bâtiments. Par exemple, on évitera des avenues longues et interrompues d'est en ouest; on recommandera de planter de la végétation sur le côté ouest des bâtiments ainsi qu'à l'intérieur du quartier. Une relation appropriée entre plantation et construction peut attirer les brises agréables de l'est dans la région, tout en diminuant son exposition aux vents désagréables de l'ouest, pendant les saisons chaudes.

RESUME

Orientation

- En règle générale, les bâtiments rectangulaires et longs, à axe longitudinal est-ouest, vont recevoir moins de chaleur que ceux ayant une autre forme ou une autre orientation.

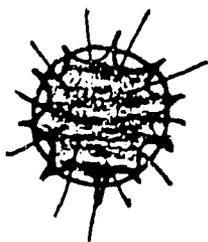
- Des structures à plusieurs étages recevront moins de chaleur, à cause de leur plus petite surface de toiture.
- Il faudra considérer des traitements de façades spéciaux et la modification des espaces intérieurs pour les murs faisant face à l'est ou à l'ouest.

Ombre

- Les éléments architecturaux qui créent de l'ombre, tels qu'avant-toits et brise-soleil, devraient être incorporés en façade, si possible.
- A Djibouti, toute ouverture, avec ou sans vitre, devrait être protégée en permanence contre les radiations directes ou devrait comprendre des éléments brise-soleil réglables pour bloquer les radiations directes.
- Aussi, l'augmentation de la proportion d'ombre sur les murs extérieurs va contribuer à diminuer les températures à l'intérieur.

Coupe-vent

- Plus la hauteur du coupe-vent est grande, plus grande est l'ombre du vent derrière le coupe-vent.
- Plus le coupe-vent est long, plus grande est la vélocité du vent vers la fin du coupe-vent, ou à travers ses ouvertures.
- Plus la densité est grande, plus importante est l'interruption de la vitesse et de la direction du vent derrière le coupe-vent.
- L'implacement et le genre de buissons et d'arbres utilisés ont un effet sur la trajectoire du vent.



IV. MATERIAUX DE CONSTRUCTION

Les matériaux qui recouvrent la surface d'un bâtiment et ceux dont ses murs, ses planchers et ses toitures sont faits déterminent le montant et la vitesse de transmission de la chaleur du dehors au dedans. Les caractéristiques de la majorité des matériaux de construction, en matière de transfert de chaleur, ont été soigneusement cataloguées et on peut se référer aux textes et ouvrages de référence consacrés à la science du chauffage et de la climatisation pour les trouver. Celles qui ont été incluses dans cette section ont été choisies parce qu'elles représentent celles des matériaux normalement utilisés en construction à Djibouti. L'accent a été mis sur les qualités qui sont particulièrement pertinentes pour l'analyse en cours.

MATERIAUX DE SURFACE

Réflexion et émission

Les surfaces extérieures peuvent être laissées à l'état naturel où elles peuvent être peintes pour des raisons de protection ou d'esthétique. La peinture des murs semble être la norme à Djibouti; les toits sont souvent laissés tels quels. La couleur est une assez bonne indication du degré de chaleur radiante qui sera réfléchié à partir d'une surface. Des couleurs claires réfléchissent une grande partie des radiations solaires qu'elles reçoivent. La plupart des surfaces, quelle que soit leur couleur, perdent (émettent) de la chaleur par radiation au même taux. La Table VII montre le degré de réflexion et d'émission de surfaces typiques.

Table VII
Réflexion et émission de
quelques surfaces typiques

Surface	Réflexion % des radiations solaires (ondes courtes)	Emission % radiation thermique (ondes longues)
Peinture blanche	75	95
Peinture vert clair	50	95
Peinture grise	25	95
Fibrociment (neuf)	41	96
Fibrociment (âgé d'une année)	29	95
Béton	40	97
Tôle ondulée	45	25
Aluminium poli	85	8
Peinture d'aluminium	45	55

Une surface claire absorbe moins d'énergie solaire qu'une surface foncée; mais les surfaces foncées et claires perdent toutes deux de la chaleur par ondes longues au même taux. C'est pourquoi la température d'une paroi de couleur claire ou de la surface d'une toiture au soleil ne sera pas aussi élevée que celle d'une surface foncée, et les bâtiments de couleurs claires resteront plus frais que ceux qui sont foncés.

Les métaux polis jouissent de qualités spéciales. Ils reflètent un pourcentage élevé de radiation solaires (85% pour l'aluminium) mais redistribuent la chaleur qu'ils absorbent lentement (8% pour l'aluminium). Donc, la température d'équilibre d'un métal poli, au soleil, sera plus élevée que celle d'une surface blanche. Après le passage du soleil, ce métal brillant aura besoin de plus de temps pour se refroidir. Le même phénomène s'applique aux surfaces peintes avec des peintures métalliques. Bien qu'elles absorbent un peu moins de chaleur, elles peuvent émettre bien moins de chaleur qu'une peinture blanche et leur température va demeurer plus élevée. Le blanc ou les tons extrêmement clairs sont les plus efficaces pour les surfaces exposées, du point de vue thermique.

Convection

Comme on l'a dit précédemment, une surface opaque au soleil va atteindre une température plus élevée que celle de l'air ambiant. La vitesse à laquelle cette chaleur se perd par convection, dépend de la vitesse du mouvement de l'air le long de sa surface. Les surfaces exposées au vent vont se refroidir plus rapidement que celles exposées simplement à l'air. Les mouvements de l'air sur la surface d'un toit ne devraient pas être ralentis sans raisons. Si le toit a des acrotères, ils devront être de hauteur minimum ou bien ils devront être perforés, afin que le vent puisse passer à travers pour atteindre la surface du toit.

MATERIAUX POUR MURS

A Djibouti, les murs sont construits avec deux types de matériaux. Pour les bâtiments relativement luxueux, les murs sont réalisés en matériaux massifs: pierre, béton ou parpaings. Les bâtiments récents de cette classe sont en général climatisés, en tout cas pendant une bonne partie de l'année. La grande capacité d'absorption de chaleur des murs massifs régularise les changements de température entre le jour et la nuit. A l'autre extrême, la température des toits et des murs de structures moins chères (bois et tôle ondulée) change rapidement en fonction de la température de l'air à l'extérieur.

Murs massifs

Les matériaux lourds opposent une sorte de résistance au flot de chaleur qu'on peut appeler capacité isolante. Une grande partie de la chaleur reçue par des murs massifs est utilisée par le mur lui-même pour augmenter sa température. La chaleur est absorbée par couches successives. Comme ce

processus peut être long, s'étendant sur plusieurs heures, la surface externe du mur commence à se refroidir avant que les hautes températures de la mi-journée n'aient atteint la surface interne. Le flot de chaleur est alors inversé partiellement. Le flot de chaleur est dirigé vers le dehors du mur ainsi que vers le dedans.

Malgré les hausses et les baisses journalières en gains de chaleur, la surface interne d'un mur lourd va conserver une température moyenne pendant la journée, plus fraîche que l'air extérieur pendant la journée mais plus chaude que l'air extérieur pendant la nuit. A Djibouti, pendant les saisons plus fraîches, cet équilibre de la température des murs contribue à maintenir le confort des intérieurs pendant la journée, sans avoir recours à la climatisation.

Ceci est particulièrement utile pour les bâtiments qui ne sont utilisés que pendant la journée, comme les bureaux, les écoles, etc. La chaleur spécifique (la quantité de chaleur qu'il faut pour élever un kilogramme de matière d'un degré Centigrade) de quelques matériaux de base, pour des murs, fait l'objet de la Table VIII.

Table VIII

Densité et chaleur spécifique de certains matériaux de construction

Matériaux	Densité kg/m ³	Chaleur spécifique KCal/kg/C°
Fer	7209	0,12
Aluminium	2739	0,214
Béton	2306	0,153
Brique	1970	0,2
Plâtre	1858	0,2
Pierre	1650	0,217
Pisé	1521	-
Parpaing	-	0,22
Terre	1009	0,22
Bois	368/1121	0,45/0,65

Délai

La réaction lente des matériaux lourds s'exprime par le temps qu'il faut à la chaleur pour les traverser. La période entre l'arrivée de chaleur sur une surface et sa transmission de l'autre côté s'appelle délai. La Table IX montre les délais caractéristiques de parois massives. Le potentiel de ces délais à aider les occupants d'un espace dépend de la partie de la journée pendant laquelle la pièce est le plus utilisée et de la différence entre température du jour et température de nuit. A Djibouti, les différences de température sont les plus élevées pendant les mois d'été. Si la pièce est utilisée surtout pendant la première partie de la journée (par exemple, de 7 heures du matin à 2 heures de l'après-midi) on devrait

recommander des parois à délais élevés, de sorte que la chaleur reçue ne pénètre pas la pièce pour plusieurs heures. Dans les espaces non-climatisés, on peut prévoir ces délais de telle sorte que les températures des murs soient aussi basses que possible pendant les heures d'occupation. Pour les espaces climatisés, des parois extérieures lourdes contribuent à une distribution plus équitable du besoin de climatisation pendant la journée.

Des parois internes massives, qui ne sont pas chauffées par radiation solaire, contribuent à équilibrer les différences de températures internes ambiantes entre le jour et la nuit. Pour les espaces qui ne sont pas climatisés en permanence, les murs vont stocker de la fraîcheur, d'une période de climatisation à l'autre.

Table IX

Délais pour murs homogènes

Matériaux	Épaisseur (cm)	Délai (heures)
Pierre	20	5,4
	30	7,9
	40	10,4
	60	15,3
Béton	5	1,1
	10	2,5
	15	3,7
	20	5,0
	30	7,7
	40	10,1
Bois	1	0,13
	2	0,36
	5	1,3
Isolation (plaques)	1	0,06
	2	0,18
	5	0,76
	10	2,70
	15	4,90

La Figure 10 compare les performances de structures lourdes et légères pendant les 24 heures de la journée. Il faut noter que le moment où il fait le plus frais à l'intérieur d'un bâtiment lourd est le moment où la température extérieure est la plus élevée. Cette figure démontre aussi que, pour les chambres qui ne sont utilisées que la nuit, l'effet du délai contribue à les rendre plus chaudes et moins confortables. Pour les nuits

de Djibouti, des structures légères qui réagissent rapidement aux chutes de température et n'absorbent pas la chaleur du jour seraient désirables. Donc, les structures légères que les pauvres construisent maintenant sont plus confortables la nuit que les bâtiments lourds.

Le phénomène de décali suggère l'utilisation de construction lourde pour les pièces qui sont utilisées surtout le jour et l'utilisation de constructions aussi légères que possible pour les espaces utilisés le soir, en particulier pour dormir. Ce principe est déjà reconnu d'une manière intuitive par les pratiques de construction à Djibouti. Des structures légères pour usage le soir, ont été construites sur les toits de bâtiments anciens du centre de la ville. L'absence totale de structure (légèreté maximum) caractérise bien des espaces utilisés pour des activités nocturnes, telles que théâtres et restaurants en plein-air. Dormir dehors pendant les nuits chaudes, c'est la solution simple et logique.

COMPARISON DES COMPORTEMENTS THERMIQUES
DE CONSTRUCTIONS LOURDES ET LEGERES

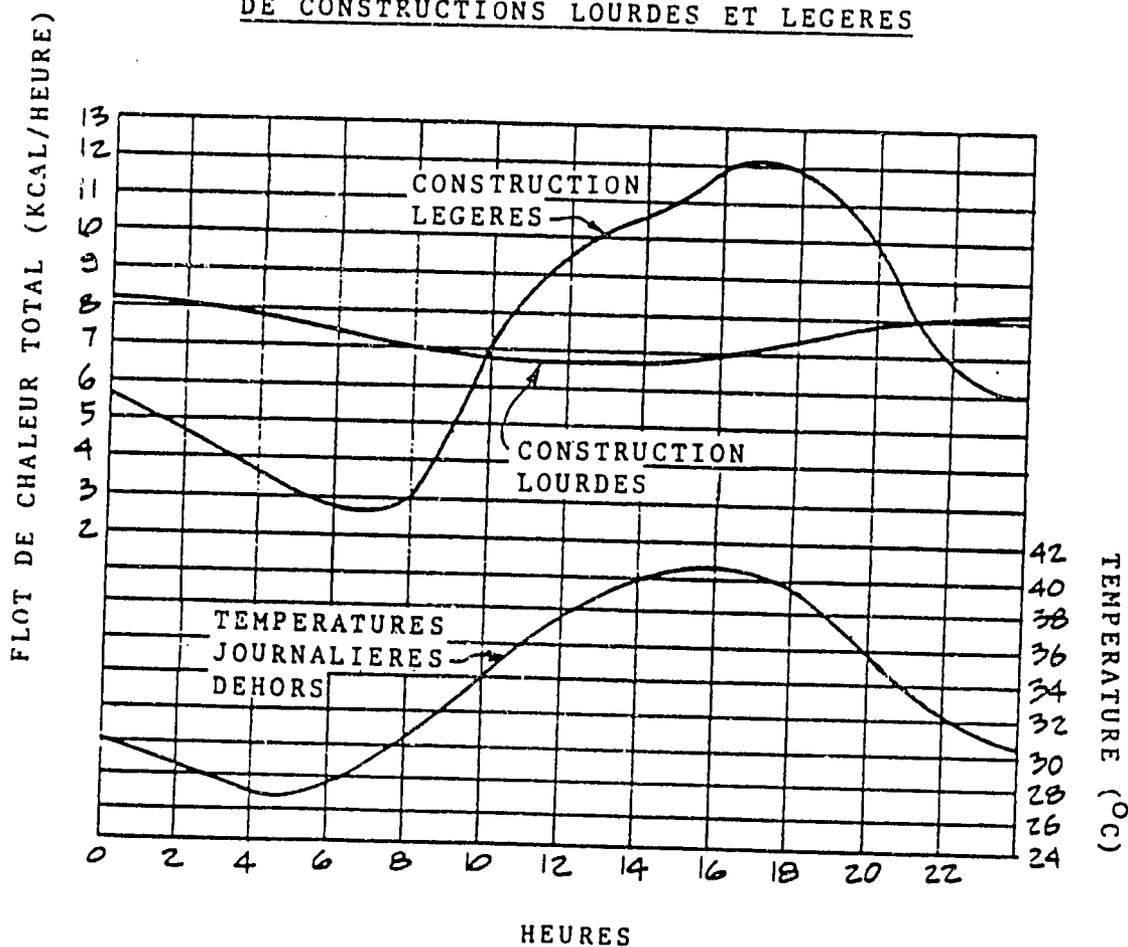


Figure 10.

Transmission de la chaleur

Les murs extérieurs lourds qui entourent un espace climatisé vont admettre de la chaleur extérieure à un rythme lent à cause de leur capacité isolante, comme on peut le voir sur la Table X. Des structures plus légères, comprenant des matériaux isolants, peuvent effectivement retarder le flot de chaleur pour un coût bien moins élevé. L'exemple utilisé ici est celui d'une paroi faite de plaques de fibrociment, renforcée avec du bois ou de l'isorel. Les matériaux légers qu'on utilise pour diminuer le transfert de chaleur s'appellent isolation résistance. Bien que des matériaux naturels, tels que la paille, le bois ou même des bulles d'air, peuvent s'utiliser pour réduire le flot de chaleur, la plupart des matériaux à isolation résistance utilisés en construction sont produits en usine: la fibre de verre, les plastiques expansés, etc. Leurs caractéristiques isolantes sont indiquées dans le catalogue des fabricants. Ils s'utilisent en conjonction avec les matériaux pour murs structurels, résistants aux intempéries.

Table X

Taux de transmission d'une série de matériaux de construction

Type de construction	Chaleur transmise à travers une paroi KCal/m ² heure °C
Béton ordinaire, dense: 152 mm	3,08
203 mm	2,73
Pierre, moyenne poreuse: 305 mm	2,44
457 mm	1,95
Parpaings, 250 mm (100+50+100), extérieur fini, intérieur plâtré:	
parpaings à alvéoles	1,02
parpaings de clinker	0,93
Parpaings creux, 228 mm, extérieur fini, intérieur plâtré:	
parpaings à alvéoles	1,46
parpaings de clinker	1,36
Plaques de fibrociment ondulé sur cadre métallique	5,61
+13 mm isorel mou	1,75
+50 mm paille ou bois	1,02
Tôle ondulée sur support	7,32

Verre à vitres

Le verre est un matériau de construction stable et permanent. Il a des qualités isolantes minimum et peut devenir un piège à chaleur dangereux au soleil. Il faut éviter d'installer du verre en plein soleil, à Djibouti. Des éléments brise-soleil devraient intercepter le soleil avant qu'ils n'arrive sur les vitres. Des verres de type isolant, capables d'absorber de la chaleur et partiellement réfléchissants, peuvent être obtenus à des prix plus élevés que ceux du verre ordinaire. Leurs caractéristiques sont décrites par les fabricants et pourraient être utiles là où des circonstances spéciales justifient le coût supplémentaire.

MATERIAUX POUR TOITURES

Dans la Section V, on a remarqué que la surface des toits est le récepteur primaire de l'énergie rayonnante du soleil. C'est aussi la surface qui perd la plus grande quantité de chaleur la nuit. Pour ces raisons, le toit doit être l'objet de considérations spéciales pour l'architecte. A Djibouti, comme les pertes de chaleur la nuit par radiation sont petites à cause de l'humidité et comme les températures des toits pendant la journée sont élevées à cause des radiations, protéger les chambres de la chaleur absorbée par le toit est un problème critique.

Toitures lourdes

La discussion de murs massifs qui précède est également valable pour les structures à toitures lourdes. On peut ralentir le transfert de la chaleur rayonnante en utilisant les effets de la chaleur spécifique et ses délais. Les constructions massives permettent l'utilisation du toit pour des activités le soir et pour dormir. A Djibouti, même les dalles lourdes en béton devraient être combinées avec un isolant à résistance pour que les pièces en-dessous soient confortables ou climatisées avec efficacité. En général, la construction lourde convient particulièrement bien aux climats chauds et secs, là où il y a peu d'humidité et où les températures de la journée sont élevées. Le taux d'humidité élevé de Djibouti et les différences minimales de températures, le jour et la nuit, vont limiter l'efficacité thermique de toits en construction massive, à moins qu'ils ne contiennent d'autres isolants.

Toitures légères

Les toits que l'on recommande habituellement dans les régions tropicales, chaudes et humides, sont légers et utilisent une isolation et un espace d'air pour ralentir le flot de chaleur dans les pièces en-dessous. Bien conçu, ce type de toiture est économiquement et thermiquement le plus efficace pour la majorité des bâtiments de Djibouti. L'inconvénient, c'est que ce type de toit léger ne peut pas être utilisé comme support pour d'autres activités. Dans les projets d'habitation, des espaces ouverts

privés au niveau du sol, devraient compenser le manque de toitures-terrasses.

Les toitures légères atteignent rapidement des températures élevées pendant la journée au soleil, et perdent cette chaleur très vite le soir lorsque le soleil s'est couché. Le problème, c'est donc la protection des habitants vers le milieu de la journée. La température de la surface d'un toit pendant la journée, peut être de 20° à 30° plus élevée que celle de l'air. Le transfert de chaleur le plus important sous le toit, c'est la radiation. Ce flot de chaleur doit être interrompu par d'autres éléments de construction. Si le toit est de construction légère, la température, même élevée, est rapidement transférée à la surface interne du matériau de toiture. Là, la chaleur se perd de deux manières: en réchauffant l'air près de la surface inférieure du toit et par radiation, en direction du plancher, des murs, des meubles ou des gens dans la pièce. Pour les occupants de l'espace, les effets de l'air chaud sont moins importants que les nouvelles sources de chaleur radiante qui arrive d'en haut. Pour éviter ce phénomène, le dessous d'un toit léger doit être muni d'un plafond. Cependant, le plafond lui-même tend à devenir très chaud pendant la journée.

Une grande quantité de recherches ont été faites sur l'effet des températures élevées des plafonds. Les études de Koenigsberger, faites pour les climats chauds et humides d'Afrique Centrale, suggèrent que les températures de plafond ne devraient pas dépasser les températures de l'air extérieur par plus de 4,4°C. Les villes où les toits ont été analysés avaient une température moyenne de l'air de 33°C pendant le mois le plus chaud. A Djibouti, la moyenne maximum de la température de l'air, pour le mois de juillet, est de 42,05°C. Une augmentation de 4,4°C qui est permise dans les autres villes n'est pas forcément indiquée pour Djibouti. Au mieux, ce devrait être un maximum absolu pour Djibouti; une température de plafond plus basse que celle de l'air devrait être l'objective autant que possible.

Bien que provenant de villes au climat moins brutal que celui de Djibouti, les chiffres de la Table XI, d'après les recherches de Koenigsberger, indiquent les performances relatives qu'on peut attendre de toits de type semblable à Djibouti. Cette recherche sur les toits souligne l'importance des conditions de surface, quant à leur absorption et à leur radiation de la chaleur. Les surfaces mates, comme le fer et le fibrociment, absorbent plus de radiations et émettent plus de chaleur vers le bas d'une chambre ou vers le plafond, s'il y en a un. Une mesure relativement simple et peu coûteuse, telle qu'une couche de papier d'aluminium sur le plafond pour réfléchir la chaleur de radiation, permet aux températures du plafond de descendre d'une manière remarquable.

L'utilisation de tôle d'aluminium ondulée en toiture, avec plafond, offre la barrière la plus efficace contre la chaleur du jour. La tôle d'aluminium n'émet que peu de radiations vers le bas et les températures du plafond sont plus à même de rester dans des limites acceptables. La provision de la combinaison toiture-plafond la plus efficace est à la portée, économiquement parlant, de la plupart des projets. Toute augmentation du

coût sera compensée par une bonne organisation de l'espace ou une petite réduction de la hauteur sous plafond.

Des recherches, à Djibouti même, sur le transfert de chaleur caractéristique de toits légers dans les conditions climatologiques locales, peuvent donner des résultats qui conduiraient à des recommandations précises quant aux types de toit pour chaque catégorie économique de bâtiments.

RESUME

La température intérieure résulte d'une combinaison entre le microclimat local et les matériaux de construction. Les surfaces externes absorbent, transfèrent ou renvoient l'énergie qu'elles reçoivent selon les principes de physique qui gouvernent leur couleur et leur texture. Les parties intérieures du bâtiment (parois, planchers et plafonds) emmagasinent et transmettent la chaleur selon un schéma déterminé par leur masse et leur conductivité.

Matériaux de surface

- Les surfaces horizontales, exposées au soleil et au ciel nocturne, présentent des températures de surface extrêmes.
- Les surfaces extérieures, blanches ou de couleur claire, ont l'équilibre de chaleur le plus convenable.
- On ne devrait pas empêcher les brises d'effleurer les surfaces qui reçoivent la chaleur solaire.

Matériaux pour murs

- La température des matériaux de construction légers s'adapte rapidement aux changements de la température de l'air. Ainsi, ces matériaux sont particulièrement bien adaptés aux structures qui s'utilisent le soir.
- Le matériau de murs massifs change de température lentement. Les murs intérieurs ou à l'ombre maintiennent une température proche de la température moyenne de la journée.
- La chaleur transmise à travers un mur extérieur peut être diminuée si l'on utilise un matériau isolant approprié.

Matériaux pour toitures

- Les toits en matériaux massifs -- sont pas particulièrement efficaces du point de vue climatologique à Djibouti.

Table XI

Températures des plafonds, pour une variété de toits et de plafonds

Matériau de toiture	Matériau de plafond	Elévation de la température de plafond par rapport à la température interne directe en °C
Tôle ondulée (neuve)	Rien	11,8
Tôle ondulée (rouillée)	Rien	36,2
Tôle ondulée (rouillée)	Plaque de fibrociment de .5cm	9,5
Tôle ondulée (neuve)	Idem, avec feuille de papier d'aluminium sur la surface supérieure du plafond	3,4
Dalle de béton (10cm) peinte en blanc	Rien	10,33
Fibrociment ondulé (neuf)	Rien	13,3
Fibrociment ondulé (avec isolation de 2,5cm entre les plaques)	Rien	7,4
Fibrociment ondulé (vieux)	Plafond en fibres, 1cm	8,4
Fibrociment ondulé (vieux)	Idem, avec feuille d'aluminium	7,0
Plaques d'aluminium	Rien	11,7
Plaques d'aluminium (recouvertes de poussière)	Rien	16,7
Plaques d'aluminium	Plaques de fibrociment .5cm	3,0
Plaques d'aluminium	Plaques d'isorel, 1cm	2,5

Source: Koenigsberger, O.H. Roofs in the Warm Humid Tropics. London: Lund Humphries, 1965.

- Des systèmes de toitures légères convenablement installés et ventilés (plaques de métal ou de fibrociment) sont adéquats si le toit est inaccessible.
- Les systèmes à toitures légères devront s'accompagner de plafonds spécialement conçus pour réduire le transfert de chaleur rayonnante vers les chambres en-dessous.



V. MODIFICATIONS DE L'ENVIRONNEMENT

Pour chaque projet, l'architecte crée deux environnements: l'un, extérieur, avec lequel la structure réagit et l'autre, intérieur, auquel les gens répondent directement. Même si l'ultime but est la création d'espaces intérieurs confortables, ceux-ci seront influencés par les environs immédiats du bâtiment. En fin de compte, l'efficacité, en matière d'énergie, dépendra de l'introduction de moyens de conservation au niveau du projet et leur utilisation par les occupants du bâtiment.

L'ENVIRONNEMENT EXTERIEUR

L'architecte ne peut que rarement exercer son influence au-delà des limites du site du projet. Cependant, même si le site est restreint, l'architecte peut encourager le développement d'un microclimat moins sévère que celui des alentours. Les éléments du projet qu'il contrôle sont les bâtiments mêmes, la surface des routes et des sols, et surtout, la végétation qui sera introduite dans le projet. Certains de ces aspects ont déjà été traités dans les sections précédentes de ce manuel.

Bâtiments

Les bâtiments qui font partie du projet, de même que ceux des alentours, vont influencer l'environnement immédiat de plusieurs manières. Ils vont influencer les vents et les brises, selon leur taille et leur situation, comme on l'a déjà démontré à la Section IV. Quoique le schéma réel du flot d'air sur le terrain soit difficile à prédire d'une manière précise avant la fin de la construction du projet, les mouvements créés par les structures environnantes doivent être inclus dès la première phase de développement ainsi que parmi les considérations du projet.

On peut projeter des bâtiments qui se fassent mutuellement de l'ombre, ou qui protègent certains murs ou certaines aires extérieures à certains moments de la journée. Si les murs sont peints de teintes claires, ils vont réverbérer des radiations sur les structures voisines. Ceci peut changer la qualité de la lumière du jour d'une manière remarquable et peut changer l'équilibre calorifique des bâtiments d'un côté. Pour les complexes à bâtiments multiples, l'emplacement, l'orientation, la forme et la taille des structures sont les facteurs primordiaux liés à l'environnement.

Surface des sols

Les surfaces horizontales reçoivent la majeure partie des radiations solaires. Comme pour les bâtiments, leur couleur et leur degré de

réflexion et d'absorption vont avoir un effet direct sur la température de l'air et la lumière visible. Des couleurs foncées, un tapis d'asphalte ou de gravier foncé vont supprimer la lumière aveuglante des réflexions, mais vont réchauffer l'air au-dessus de leur surface. Les couleurs claires vont demeurer plus fraîches et peuvent être utilisées pour diriger de la lumière réfléchie dans un bâtiment. Cependant, de larges quantités de matériaux de couleur claire peuvent devenir aveuglantes en plein soleil et rendre difficile la traversée d'espaces entre bâtiments. De l'herbe ou des plantes rampantes recouvrant le sol peuvent servir de compromis acceptable, si elles sont bien soignées et bien entretenues.

Végétation

Le potentiel de la végétation, en particulier les arbres et les plantes larges, à contribuer à la modification du climat a fait l'objet de discussions dans les chapitres précédents. La possibilité pour la ville de Djibouti de cultiver beaucoup de végétation comme moyen de défense contre les extrêmes du climat n'a pas encore été exploré à fond. S'ils sont utilisés correctement, les arbres peuvent forcer une grande partie des échanges de chaleur à se passer au-dessus des endroits habités. Le vent et les brises peuvent être encouragés ou découragés par le placement judicieux de haies et de forêts. Une réflexion trop forte peut se modifier et l'accumulation de chaleur dans le sol peut être réduite. En premier lieu, un catalogue précis des plantes convenant à Djibouti, leurs tailles naturelles, leur période de maturation, leur densité et leur besoin en eau doivent être établis. Une fois leurs caractéristiques connues, les plantes peuvent s'utiliser en architecture avec la même certitude que le béton et l'acier.

L'ENVIRONNEMENT INTERIEUR

Bien que l'architecte soit limité en ce qui concerne le contrôle de l'environnement extérieur, grâce à la technologie moderne, le contrôle de l'environnement intérieur peut être réalisé complètement. Réduire la chaleur des espaces intérieurs est le problème critique. Les caractéristiques des matériaux qui déterminent leur apport de chaleur, ont été discutées aux chapitres précédents. Il y a d'autres facteurs physiques et psychologiques qui vont décider si l'espace intérieur contribuera au confort et à l'efficacité humains. Parmi eux, on compte la ventilation, les mouvements de l'air, l'éclairage et une combinaison de facteurs culturels et fonctionnels. Des appareils, tels que des climatiseurs utilisant l'énergie commerciale, peuvent simplifier la tâche de l'architecte, mais si l'on vise à conserver de l'énergie, l'architecte devra utiliser la climatisation naturelle au maximum. Si l'on utilise cette méthode avec précision pendant les saisons difficiles, la consommation d'énergie commerciale s'en verra diminuée.

Ventilation

Un apport suffisant d'air frais pour la respiration à l'intérieur d'un espace ne semble pas être un problème ordinairement. L'air qui pénètre une chambre, en s'infiltrant par les ouvertures des portes et les fentes autour des fenêtres, apporte assez d'air frais à ses habitants. On recommande en général environ 12 m^3 d'air pur par heure et par occupant. Le minimum serait de 8.5 m^3 . Si les occupants de la pièce fument, il faut au moins cinq fois cette quantité d'air. La ventilation peut devenir problématique dans les espaces climatisés. Souvent, pour essayer de diminuer le montant de chaleur et réduire l'infiltration d'air chaud du dehors, de l'air frais mais vicié est recirculé dans la pièce. Bien vite, on s'en rend compte; si les climatiseurs peuvent se mettre sur la position "extraction," on peut facilement y remédier. Les systèmes de climatisation centralisée ont normalement la possibilité de périodiquement changer complètement l'air du bâtiment.

MOUVEMENTS DE L'AIR

Le but des mouvements de l'air n'est pas le même que celui de la ventilation. Plutôt que de produire assez d'air pour respirer, les mouvements d'air servent à augmenter le taux d'évaporation de la peau. Lorsque les températures radiantes et celles de l'air dépassent les 35°C , les pertes de chaleur du corps se font par évaporation. Si l'air ne bouge pas le long du corps, un film d'air saturé se forme rapidement à la surface de la peau et l'évaporation de la sueur ralentit ou cesse. Plus l'air est chaud et humide, plus grand est le besoin de se débarrasser de cette couche le plus rapidement possible. En cas de températures élevées, là où l'évaporation représente la perte de chaleur majeure, une augmentation des mouvements d'air peut améliorer le confort d'une façon dramatique. Par exemple, si la température de l'air est de $28,5^\circ\text{C}$, avec 80% d'humidité (situation le soir en avril à Djibouti), une brise légère de 0.5 m/sec ($1,8 \text{ km/h}$) apporterait un confort équivalent à la réduction de la température de 3°C , amenant ainsi la température jusqu'à $25,5^\circ\text{C}$, température comparable à celle d'une soirée calme. Une brise de $0,75 \text{ m/sec}$ ($2,7 \text{ km/h}$) ferait descendre la température effective à 24°C . Tous les vents, à part les vents les plus chauds, ajoutent une mesure de confort.

Pendant la plus grande partie de l'année à Djibouti, spécialement pendant la soirée, on peut utiliser les propriétés rafraichissantes des mouvements naturels de l'air. Sur le dehors des bâtiments, l'air peut être contrôlé par des éléments structurels et la végétation. A l'intérieur des bâtiments, le parcours et la vitesse des mouvements naturels de l'air peuvent être contrôlés par la taille et l'emplacement des ouvertures de fenêtres. Le parcours interne du vent est plus facile à prédire qu'à l'extérieur. Les ventilateurs de plafond peuvent créer les mêmes mouvements d'air pour une demande en énergie très modeste.

Mouvement naturel de l'air

Le mouvement de l'air à travers une maison ou une chambre résulte d'une différence de pression entre deux côtés opposés. La pression s'accumule du côté de la structure face au vent et une baisse de pression apparaît sur le côté opposé (Figure 11-A). Littéralement, l'air est aspiré par n'importe quel ouverture du bâtiment pour équilibrer la différence de pression (Figure 11-B).

DIFFERENCES DE PRESSION DUES AUX VENTS AUTOUR D'UN BATIMENT

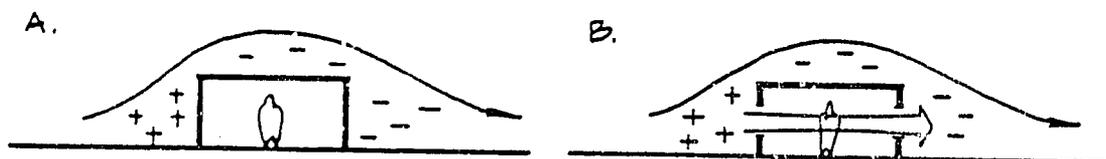


Figure 11.

Pour que l'air passe à travers un bâtiment, il faut prévoir un parcours sans obstacles de l'endroit à haute pression jusqu'à l'endroit à basse pression. Si les fenêtres ne se trouvent que sur le côté exposé au vent ou si le trajet du vent est interrompu par des murs, le mouvement traversant de l'air sera arrêté (Figures 12-A et 12-B).

TRAJET DE L'AIR AUTOUR D'ESPACES SANS ISSUES

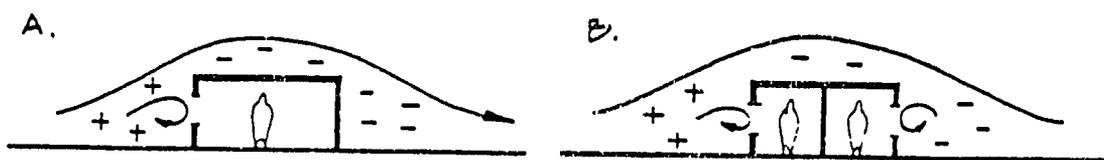
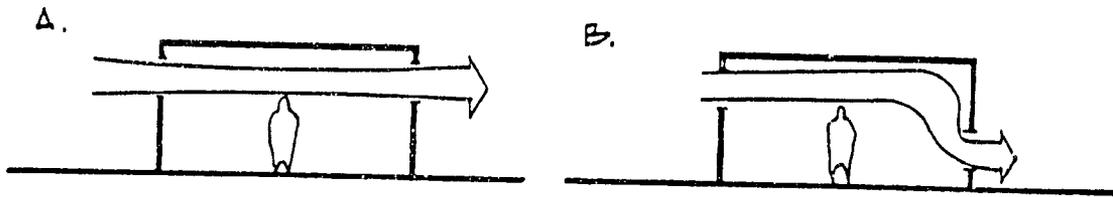


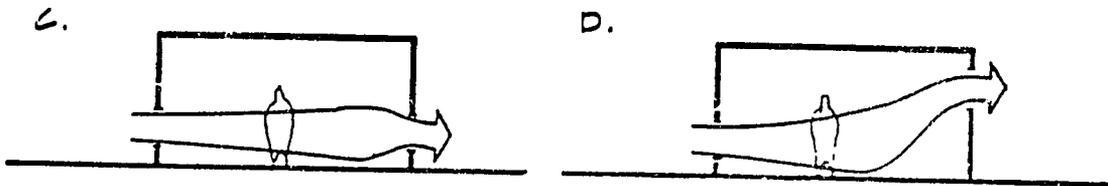
Figure 12.

Comme les mouvements d'air ne sont efficaces que s'ils passent au-dessus du corps des occupants, la hauteur et la trajectoire de l'air à travers la pièce sont importantes. Le flot est contrôlé par la taille et l'emplacement des ouvertures ainsi que par certaines des caractéristiques extérieures du bâtiment. Si les ouvertures du côté du vent sont hautes, la majeure partie du flot d'air passera au-dessus des endroits d'activités (Figure 13). Ce phénomène arrive même si les ouvertures du côté opposé sont basses (Figure 13-B). Pour déterminer le trajet de l'air, l'emplacement des prises d'air est plus important que celui des issues. Une prise basse va diriger le flot d'air à travers la partie basse de la pièce, même si les issues sont élevées (Figures 13-C et 13-D).

EFFET DE LA HAUTEUR DES PRISES D'AIR SUR LE FLOT D'AIR
A TRAVERS UNE CHAMBRE



PRISES D'AIR HAUTES



PRISES D'AIR BASSES

Figure 13.

Les fenêtres conçues en fonction des mouvements de l'air devront être placées à une hauteur qui permet l'effet climatisant désiré, par exemple à la hauteur d'un homme assis, pour des bureaux, et à la hauteur des lits, dans les chambres à coucher (Figure 14).

TRAJET DE L'AIR ET ACTIVITES

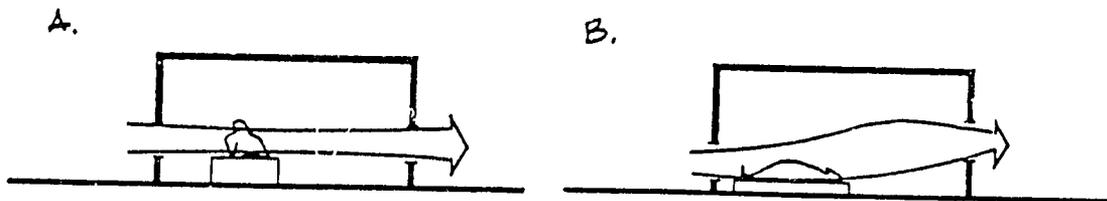


Figure 14.

Des effets spéciaux peuvent être obtenus grâce à des éléments architecturaux (Figure 15). Un porte-à-faux, directement au-dessus d'une fenêtre, dirigera le flot d'air vers le haut de la chambre à traverser. Un avant-toit (Figure 15-B) produisant la même ombre, peut éliminer ce problème. Un acrotère autour du toit (Figure 15-C) dirige l'air vers le bas de la chambre.

EFFETS D'AVANT TOITS ET ACROTÈRES SUR
LE TRAJET DE L'AIR

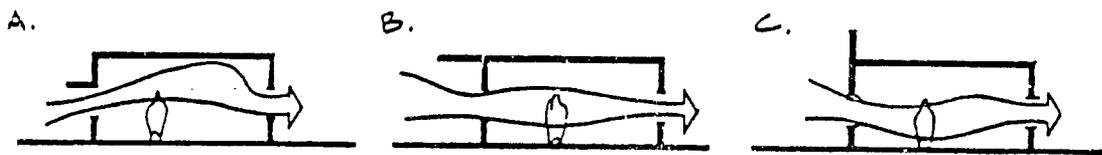


Figure 15.

Un bâtiment de deux étages produit les effets indiqués sur la Figure 16-A. Le problème de l'étage supérieur peut se corriger avec soit un acrotère, soit un avant-toit (Figure 16-B).

TRAJETS DE L'AIR A TRAVERS UN BATIMENT DE DEUX ETAGES

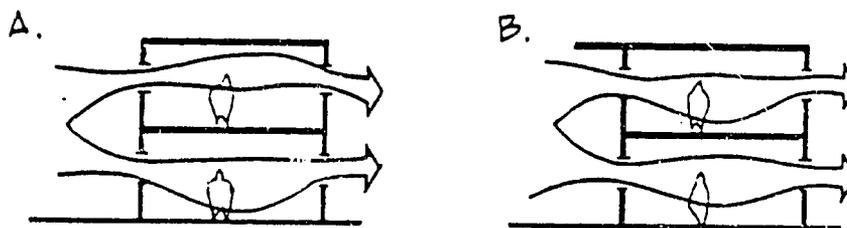


Figure 16.

Les schémas précédents (coupes à travers le bâtiment) sont également valables en plan. Le flot d'air est alors dirigé à droite ou à gauche, suivant l'emplacement, en horizontale, des fenêtres sur le mur. La planification qui entre en jeu lors de la conception de constructions économiques peut se baser sur une idée précise de l'occupation des espaces et du niveau d'activité humaine. Le placement correct d'ouvertures, horizontalement et verticalement, va garantir le passage de l'air à travers les endroits d'activités, lorsque le mouvement naturel de l'air peut améliorer les conditions climatiques.

Mouvements forcés

A Djibouti, pendant de longues périodes l'air du dehors, même s'il est en mouvement, n'est pas plus confortable que celui du dedans. Pour cette raison, les ouvertures qui ont été prévues pour capter les mouvements d'air naturels doivent pouvoir être fermées hermétiquement pour se protéger de l'air chaud et poussiéreux. Pendant ces périodes, les mouvements d'air nécessaires au confort peuvent être fournis par des ventilateurs de plafond.

Le ventilateur à vitesse variable est un engin auquel on peut se fier complètement: il est aussi économique. Grâce aux mouvements d'air internes qu'il crée on peut diminuer la température effective d'une pièce et recréer une zone confortable avec plus de régularité qu'avec le vent, et pour un coût bien moins élevé qu'avec des climatiseurs. Les ventilateurs sont efficaces quelles que soient la température et l'humidité. Le seul inconvénient, c'est que, étant donné la très grande vitesse de fonctionnement lorsque la température est élevée, la rapidité du flot d'air pourrait empêcher certains travaux, particulièrement certains travaux de bureau. Lorsqu'un bâtiment est électrifié, on y trouve, en général, des ventilateurs de plafond.

Leur présence devrait entraîner les considérations suivantes en architecture: d'abord, leur utilisation nécessite une hauteur sous plafond assez grande pour assurer leur efficacité et la sécurité. La hauteur minimum est de 2,80m, mais des plafonds légèrement plus haut (3,00m ou plus) garantiront non seulement l'efficacité des ventilateurs mais aussi la sécurité, tout en agrandissant la surface de la pièce bénéficiant des mouvements d'air.

La deuxième considération d'importance, c'est l'emplacement des ventilateurs. En général, leur position est déterminée au moment de la construction par la position de crochets placés au plafond, au milieu, si la pièce est petite, ou à intervalles réguliers, si la pièce est grande. Il vaut mieux placer les ventilateurs directement au-dessus des surfaces de travail plutôt qu'au centre d'une pièce. Certains espaces intérieurs n'ont pas besoin de ventilateurs. Par exemple, dans les corridors et les passages de circulation, leur présence n'est pas essentielle (Figure 17).

POSITION DE VENTILATEURS PAR RAPPORT AUX CENTRES D'ACTIVITES

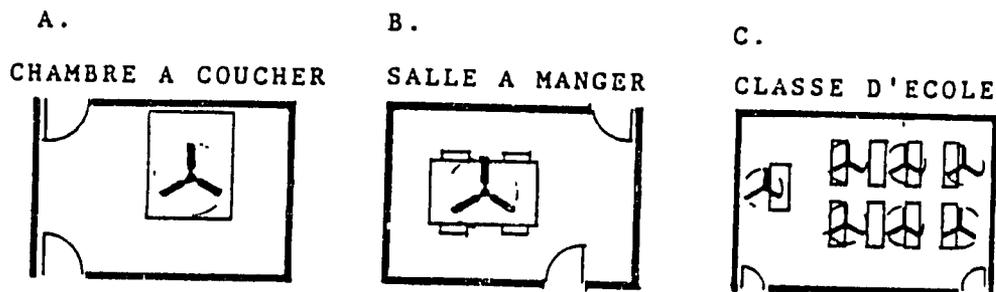


Figure 17.

L'utilisation de brasseurs d'air dans les espaces climatisés peut pallier au problème de courants d'air froid déplaisants près des climatiseurs. Elle permet également de régler les climatiseurs à une vitesse basse, tout en obtenant le même niveau de confort relatif. Pour s'assurer cette économie, on peut installer un réseau électrique de telle façon que les climatiseurs ne peuvent être utilisés qu'en conjonction avec les ventilateurs du plafond.

Le coût de production de mouvements d'air augmente en fonction des moyens utilisés. La consommation d'énergie peut être réduite si l'on prête attention à certains éléments de l'architecture dans l'ordre suivant:

Séquence de consommation d'énergie	Considérations architecturales
1. Mouvements d'air naturels (gratuits)	Taille et emplacement des fenêtres et des ouvertures
2. Mouvements naturels et ventilateurs (coût minime)	Emplacement des supports de brasseurs d'air
3. Ventilateurs seulement, sans air extérieur (coût moyen)	Emplacement des supports de brasseurs d'air
4. Ventilateurs et climatiseurs (cher)	Utilisation d'un branchement électrique spécial pour éviter les courants d'air froid
5. Climatiseurs, seulement (très cher)	Branchements électriques spéciaux emplacement des climatiseurs

UTILISATION DE LA LUMIERE DU JOUR

La plupart des gens admettent que, dépendre de l'électricité pour avoir de la lumière alors que la lumière naturelle est à disposition, est un gaspillage évident d'énergie. Malheureusement, il n'existe pas de règles simples pour dire aux architectes comment éclairer les espaces intérieurs avec de la lumière naturelle.

La science de l'utilisation de la lumière naturelle est récente. La majeure partie des recherches détaillées ont été faites pour les climats européens nuageux, là où la lumière naturelle est minime. Ces recherches n'ont qu'une influence mineure sur les conditions des régions tropicales. D'autre part, même aujourd'hui, les experts en éclairage ne sont pas d'accord entre eux pour définir les normes d'une illumination adéquate. Les normes peuvent définir des besoins minimum en lumière, comme en Union Soviétique, jusqu'aux besoins maximum, comme aux Etats-Unis. Trop peu d'efforts se sont concentrés sur les normes ou les méthodes d'utilisation de la lumière du jour dans les régions à radiations solaires intenses. Cependant, certains principes généraux qui s'appliquent aux régions ensoleillées, peuvent être utiles à l'architecte.

A Djibouti, l'utilisation de volets, de stores ou de brise-soleil pour bloquer la chaleur du soleil conduit fréquemment à des conditions de pénombre qui entraînent l'utilisation d'électricité, même au milieu de la journée. Beaucoup de bureaux, d'écoles et de magasins comptent sur la lumière artificielle pour s'assurer une illumination convenable. Le problème critique à Djibouti, c'est que le problème de la chaleur et les fenêtres représentent le point faible des murs qui, autrement, jouent un rôle de protection. Les fenêtres obscurcies causent le deuxième problème: un éclairage insuffisant à l'intérieur. La facilité avec laquelle l'éclairage artificiel peut être installé a encouragé son adoption comme solution à ce problème.

L'utilisation de la lumière électrique est, cependant, coûteuse. Dans le climat de Djibouti où la lumière naturelle ne coûte rien, on devrait en utiliser beaucoup plus pour éclairer l'intérieur des maisons. La solution idéale, c'est à dire lumière sans chaleur, est impossible. Toute lumière, qu'elle soit naturelle ou artificielle, devient chaleur, en fin de compte. De même qu'avec la climatisation, il faut essayer d'obtenir un équilibre convenable entre les deux sources d'illumination, la lumière naturelle et l'électricité.

Une plus grande utilisation de la lumière naturelle ne veut pas forcément dire des fenêtres plus larges. A cause de l'intensité de la lumière extérieure à Djibouti, il faut rechercher des solutions telles qu'admettre une quantité de lumière désirable tout en minimisant les problèmes de chaleur. Pour cela, il faut faire attention aux dimensions et à l'emplacement des fenêtres. L'architecte doit assurer une lumière qui est à la fois adéquate et suffisante, étant donné le type d'activité. Parmi ces qualités, on note:

- le niveau d'éclairage, qui doit convenir au travail qui se fait dans le local;
- la distribution de la lumière, sa pénétration et son niveau dans la pièce;
- la réduction des reflets--modification de la lumière extérieure et réduction des contrastes entre la région des fenêtres et l'intérieur de la pièce.

Chacune de ces qualités peut être contrôlée avec précision, si l'on utilise la lumière artificielle. La discussion suivante se rapporte seulement à ces trois qualités, mais pour un éclairage naturel.

Le niveau d'éclairage

Le niveau d'éclairage (illumination) se mesure en lux, dans le système international. L'oeil humain réagit à un spectre de lumière très grand, qui va de 0,1 lux (clair de lune) à 100.000 lux (plein soleil). La plupart des activités qui se passent à l'intérieur demandent un niveau d'éclairage allant de 50 à 1,500 lux. La luminosité du ciel, mesurée à plusieurs

endroits, varie de 5.000 lux, à Londres jusqu'à 18.000 lux, à Nairobi. Seul, un petit pourcentage de cette lumière solaire disponible est nécessaire à l'intérieur d'une chambre.

Si l'on imagine qu'aucune lumière directe ne passe à travers une fenêtre, la lumière intérieure alors provient de la partie basse du ciel (lumière diffusée) et de réflexions en provenance du sol ou de bâtiments (Figure 18).

SOURCES DE L'ECLAIRAGE INTERIEUR

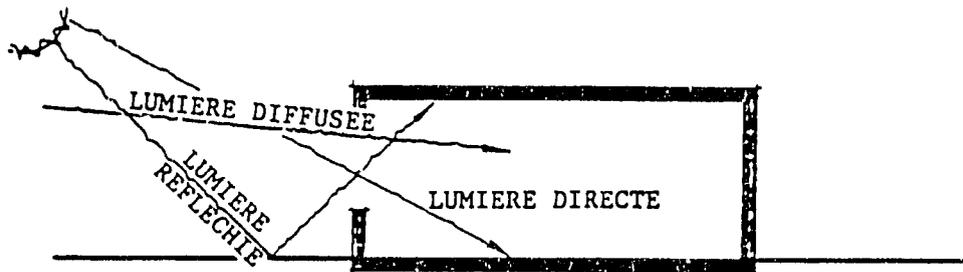


Figure 18.

La quantité de lumière disponible dans une chambre va dépendre de la dimension de l'ouverture. L'effet de la lumière dans la chambre va dépendre de la position de l'ouverture par rapport aux murs, au plafond et au sol. A Djibouti, la partie du ciel le long de l'horizon est la partie du ciel la plus brillante par journée claire. La lumière qu'elle émet peut être importante, et elle permet des ouvertures plus petites que dans les régions du nord. La lumière réfléchie par le sol représente, en général, de 10% à 15% du total de la lumière qui pénètre dans une chambre. Si le pourtour du bâtiment est clair, la lumière réfléchie peut atteindre 50%. Les surfaces qui entourent un bâtiment sont en général connues, sinon sous le contrôle de l'architecte, et leurs caractéristiques de réflexion doivent être prises en considération avant de dimensionner les fenêtres (voir exemples à la Table VII).

La distribution de la lumière

La façon dont la lumière est distribuée à travers une pièce va dépendre de la position des ouvertures par rapport à la chambre et des qualités de réflexion des murs, des sols, des plafonds et du mobilier. Pour les chambres qui sont éclairées d'un seul côté, le niveau d'éclairage diminue rapidement lorsque la distance de la fenêtre augmente. L'étude graphique

d'une chambre typique, éclairée d'un côté et peinte de couleurs claires, fait l'objet de la Figure 19.

REDUCTION DE LUMIERE SUIVANT LA DISTANCE DE LA FENETRE

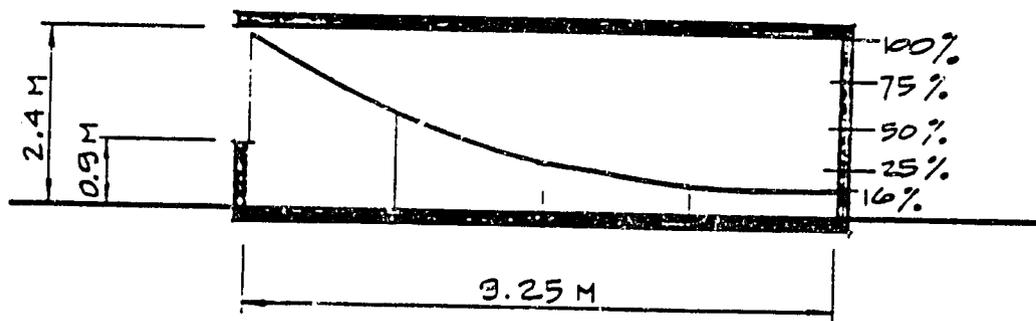


Figure 19.

Au centre d'une chambre de cette profondeur, l'intensité de la lumière diminue jusqu'à un quart de son intensité, près de la fenêtre et jusqu'à son sixième, sur la paroi du fond. Dans ce cas, il faudrait de la lumière artificielle dans le fond de la pièce pour arriver à un éclairage uniforme de la pièce entière. La limite acceptable de profondeur, pour une chambre éclairée à partir d'un seul côté à la lumière naturelle, est de 4,5m à 6,0m, si la pièce est utilisée comme bureau, selon l'intensité de la lumière extérieure.

Les avant-toits et les brise-soleil ont aussi une influence. Quand on veut mesurer l'éclairage d'une pièce, on estime que la pièce commence au bord de l'avant-toit. Ainsi, la quantité de lumière qui arrive dans une pièce de 4 mètres, avec un avant-toit d'un mètre, est pareille à celle d'une pièce de 5 mètres de profondeur. Le niveau de lumière sera le même à trois mètres du bord de l'avant-toit qu'à trois mètres de la fenêtre d'une pièce sans avant-toit (Figure 20).

Les avant-toits diminuent la quantité de lumière près des fenêtres qu'ils protègent, mais ils permettent une meilleure distribution de la lumière à travers la chambre. Il y a quelques règles qui s'appliquent universellement à la distribution de la lumière :

- Plus le plafond est haut, plus l'éclairage sera égal.
- Si l'on doit limiter la quantité de vitrage, pour des raisons thermiques, la méthode la plus efficace, c'est de retirer la vitre du bas tout en maintenant celle du haut.

- Les fenêtres horizontales provoquent moins de contrastes gênants que les fenêtres verticales.
- Une orientation nord/sud permet d'introduire des éléments architecturaux pour régulariser l'entrée de la lumière.

EFFET D'UN AVANT-TOIT SUR LA DISTRIBUTION DE LA LUMIERE

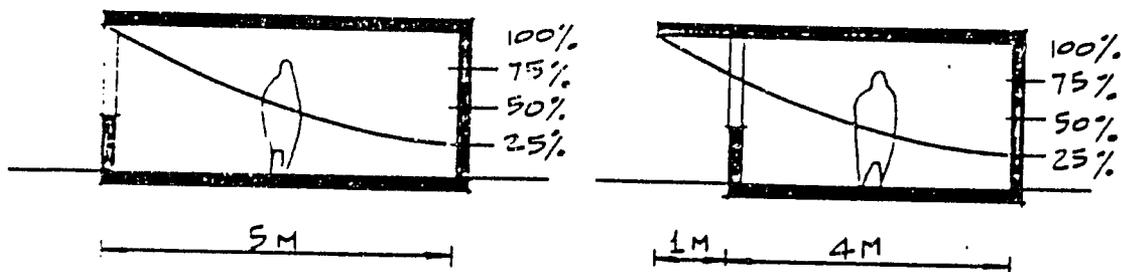


Figure 20.

Diminution des éblouissements

L'oeil humain s'adapte de lui-même à l'illumination moyenne de son champ de vision. Dans ce champ, même s'il est petit, les parties très brillantes entraînent des adaptations qui diminuent sa vision dans les autres régions. Si les sources de lumière sont très brillantes et contrastent violemment avec l'illumination moyenne d'un espace, elles vont produire des éblouissements. Un soleil direct crée inmanquablement des éblouissements s'il n'est pas obscurci ou tamisé. La lumière solaire réfléchie de bâtiments avoisinants peut créer les mêmes problèmes.

La lumière la plus confortable est celle qui entre au-dessus du niveau de vision et qui est réfléchie à l'intérieur de la pièce (Figure 21). Une méthode possible serait l'installation d'une fenêtre haute qui permettrait à la lumière réfléchie d'atteindre le plafond. Cette lumière deviendrait, alors, celle de la pièce. Des fenêtres étroites, dans les angles, qui projettent de la lumière sur les murs d'à côtés, ont le même effet de diffusion. Les fenêtres basses, placées au centre, devraient ouvrir sur des endroits ombragés et plantés. A l'intérieur de la pièce, des murs et des plafonds blancs ou peints de couleurs claires, contribuent à produire un éclairage uniforme.

SOURCES DE LUMIERE INTERIEURE DESIRABLE

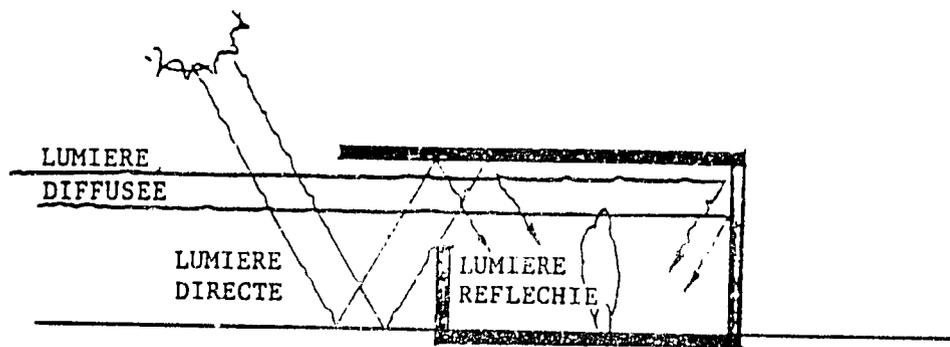


Figure 21.

Les recherches scientifiques, que l'on fait de nos jours sur les questions de lumière naturelle, exigent des données détaillées et des calculs compliqués que Djibouti ne possède pas encore. En pratique, projeter en fonction de la lumière naturelle demande une sensibilité à la situation plus subtile que de simples règles et exemples. La méthode la plus utile, pour celui qui travaille à Djibouti, serait l'évaluation des qualités de la lumière, telle qu'elle existe dans la ville. L'analyse de bâtiments de fonction similaire et ayant des pièces de dimensions équivalentes à celles que l'architecte propose peut élucider la relation entre dimensions des pièces, celles des fenêtres ainsi que leur emplacement. Les idées de l'architecte seraient ainsi directement basées sur les vraies conditions d'éclairage à Djibouti.

L'HOMME ET LE DOMAINE BÂTI

La responsabilité officielle de l'architecte en ce qui concerne l'efficacité de son bâtiment du point de vue de l'énergie finit avec le projet. Cependant, la plupart des efforts de conservation d'énergie qu'il a fait peuvent être niés par la façon dont on va se servir du bâtiment. L'influence de l'architecte se fera sentir plus longtemps si son concept aide les occupants à utiliser le bâtiment en conservant de l'énergie ou en évitant d'en gaspiller. Ceci peut se réaliser de plusieurs manières.

Utilisation appropriée

L'architecte devra s'assurer que ce qu'il faut faire pour conserver de l'énergie peut s'accomplir facilement. Pour réaliser cet objectif, le concept architectural peut incorporer les éléments suivants:

- Les portes publiques, qui donnent sur des locaux climatisés, devraient fermer automatiquement.

- Les boutons de contrôle des climatiseurs devraient être à une hauteur telle qu'on puisse les régler sur une basse vitesse sans trop d'effort, lorsque la climatisation peut être au minimum.
- Le contrôle des brasseurs d'air devrait être près des endroits où l'on travaille.
- Les fenêtres devraient ouvrir facilement, fermer hermétiquement et cela sans grand effort.

Un architecte qui observe consciencieusement la manière dont les gens utilisent et gaspillent de l'énergie pourra facilement allonger cette liste.

Contrôle centralisé

Si le client le désire, des mesures spéciales permettant un contrôle centralisé de la consommation en énergie pourront être incluses. L'habitude de mettre en marche les climatiseurs ou la lumière automatiquement même si ce n'est pas nécessaire, est difficile à changer. Ceci est particulièrement vrai si la personne qui les enclanche n'est pas celle qui paie les factures. Donc, si un tel problème existe en puissance, un système spécial, avec interrupteur général contrôlant les climatiseurs de plusieurs pièces, permettra aux autorités d'encourager l'utilisation des ventilateurs, limitant par là la climatisation à ces moments de la journée où elle est absolument essentielle.

Education

La contribution finale, sinon radicale, de l'architecte peut prendre la forme d'un manuel illustré, résumant les moyens de conservation d'énergie du bâtiment. Préparé pour les occupants du bâtiment, ce manuel va décrire l'importance de leur coopération au maintien d'un bâtiment confortable et efficace du point de vue de l'énergie. Les thèmes iront de la nécessité de protéger la végétation jusqu'aux effets des cigarettes sur le besoin en ventilation dans une pièce climatisée. Le but sera de faire comprendre aux utilisateurs les conséquences de leurs actions et de pratiques qui ne sont pas associées, généralement, au confort et à l'économie en énergie.

RESUME

Environnement extérieur

- En général, l'influence de l'organisation du site et de l'emplacement de la végétation sur le microclimat est prévisible.
- Des détails précis sur le type d'arbres et de couvertures du sol devraient être inclus dans le devis.

- L'entretien des plantes devrait être inclus dans les frais d'entretien du bâtiment.

Environnement intérieur

- Les fenêtres devraient être placées de sorte à conduire les brises naturelles vers les endroits d'activité.
- Des ventilateurs de plafond, convenablement placés, devraient être inclus dans chaque projet.
- Les fenêtres hautes et ombragées permettent le meilleur éclairage naturel.
- Des parois intérieures de couleurs claires contribuent à la diffusion de la lumière à travers une pièce.
- On peut minimiser l'éblouissement en planifiant l'utilisation de la lumière réfléchie.

Utilisation du bâtiment

- Le contrôle des moyens d'éclairage et de climatisation devra être conçu et placé de telle sorte que la conservation d'énergie se fasse simplement.
- Les occupants permanents du bâtiment devront se familiariser avec les moyens de conservation d'énergie.



VI. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Les objectifs d'un bâtiment conçu en fonction du climat, là où la chaleur est un problème critique, sont partout pareils. Parmi eux, on pourra citer:

- l'utilisation de moyens naturels pour refroidir le bâtiment, autant que possible;
- l'apport de climatisation mécanique simple dont la demande en énergie est minime pour augmenter le refroidissement naturel lorsque c'est nécessaire;
- l'emploi des moyens de climatisation compliqués, seulement s'il le faut et alors de la manière la plus efficace possible.

RESPONSABILITE DE L'ARCHITECTE

C'est à l'architecte de concevoir un environnement physique qui tient compte de chacune de ces trois objectifs. La tâche n'est pas facile. Les systèmes et les formes, respectueux des données climatologiques, seront conçus grâce aux recherches et à l'expérimentation, chaque bâtiment nouveau profitant des erreurs et des succès de ceux qui l'ont précédé.

Le climat de Djibouti offre un défi particulièrement difficile pour l'architecte, si difficile que l'envie de se reposer complètement sur la climatisation mécanique est tentante. Ceci, et le peu de recherches qui s'appliquent directement aux conditions de Djibouti, ont forcé l'importation de styles de constructions variés, de la période coloniale à nos jours.

Même la technologie la plus récente, celle de la climatisation, qui est effective sous un climat tempéré, risque de ne pas fonctionner économiquement ici, à moins de faire des concessions aux extrêmes des températures de l'air et des radiations solaires de Djibouti. Ici, on peut s'attendre à une climatisation efficace seulement pour les bâtiments qui ont su tirer partie de tous les moyens simples et naturels pour diminuer la chaleur. Pour être vraiment économique, la climatisation devrait être utilisée pour des bâtiments, conçus pour être aussi frais que possible. Quelques-uns des bâtiments de la ville ne tiennent pas compte des techniques d'adaptation au climat les plus simples, telles que celles que l'on observe dans les structures anciennes. Ils utilisent des méthodes compliquées de suppression de chaleur qui demandent de grandes quantités d'énergie commerciale chère. La majeure partie de cette énergie sert à supprimer la chaleur qu'un projet bien conçu aurait réussi à exclure.

RESPONSABILITE DU CLIENT

Ce manuel traite des principes et des méthodes pour exclure la chaleur, principes que l'architecte contrôle. La décision initiale de projeter en fonction du climat et le choix final en matière des méthodes à utiliser ne sont pas toujours du ressort de l'architecte mais de celui du client ou de l'agence responsable de la construction du bâtiment. Leur coopération est essentielle parce que des plans bien conçus en fonction du climat et limitant les dépenses en l'énergie pourront augmenter les frais initiaux de la construction.

Certains principes climatologiques peuvent être incorporés à l'architecture d'un bâtiment sans ajouter à son prix de construction. Parmi ceux-ci, on peut citer l'orientation, l'organisation des locaux, l'aménagement des espaces extérieurs et l'emplacement des fenêtres. D'autres éléments, tels qu'une bonne isolation, des brise-soleil, l'utilisation de la ventilation, peuvent augmenter le coût de la construction d'un bâtiment. Dans le cas d'espaces non-climatisés, le seul bénéfice sera un confort accru pour les habitants. Ce genre de bénéfice est difficile à évaluer. Dans un bâtiment bien conçu, les pièces seront plus confortables et les espaces de travail plus utilisables au cours de l'année. Pendant la saison chaude, ils seront un peu moins inconfortables. L'économie réalisée grâce aux éléments dictés par le climat ne se mesure pas en francs mais en confort humain et en rendement au travail.

Dans le cas de bâtiments climatisés, le coût initial plus élevé peut être compensé, après une certaine période, par une demande en énergie moins grande. Si le propriétaire d'un bâtiment n'est pas responsable personnellement de ces dépenses, il a peu de raison d'encourir ces dépenses au départ. Le propriétaire épargne sur les frais de construction, les locataires paient en factures d'électricité les économies faites au niveau de la construction et le pays doit produire plus d'électricité pour la durée de la vie du bâtiment.

RESPONSABILITE DU GOUVERNEMENT

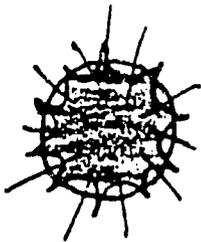
L'attitude du client ne va pas changer à moins que les règlements officiels l'exigent. Les règles de protection contre la chaleur pourraient être aussi formelles que celles contre les tremblements de terre. Cependant, alors que les règles de construction antiséismique sont les mêmes, en principe, dans le monde entier, les règlements concernant la protection contre la chaleur devraient représenter le cas de Djibouti spécifiquement. Ils doivent se baser sur des recherches entreprises dans le pays et s'adapter soigneusement aux conditions de Djibouti.

L'architecture des bâtiments publics ou gouvernementaux devrait servir d'exemple au pays. Dans ce cas, le propriétaire et la personne responsable des coûts en énergie ne font qu'un. La justification économique des mesures de conservation d'énergie se base sur des bénéfices qui s'étendent sur plusieurs années. Comme les institutions gouvernementales sont permanentes, les bénéfices éventuels vont compenser des coûts initiaux plus élevés.

Une estimation précise de la conservation en énergie possible à Djibouti exige une connaissance des propriétés thermiques des matériaux de construction utilisés dans le pays et leur prix. Cette remarque est aussi valable pour les matériaux d'isolation qui sont importés. Il faudrait initier des études précises à Djibouti pour tester les performances thermiques de matériaux variés dans les conditions climatiques de Djibouti. Des formes appropriées de toitures et de murs pourraient être établies ainsi que leur valeur économique; ces renseignements pourraient être transmis aux constructeurs et aux architectes, et un règlement de construction pourrait être établi, sur la base de performances thermiques acceptables pour chaque type de construction. Des études de matériaux de construction, destinées à produire les règlements nécessaires pour guider la construction ont été entreprises dans un nombre de pays, depuis les augmentations récentes du coût de l'énergie.

Les règlements gouvernementaux de construction ne décrivent pas précisément les éléments d'architecture et de planification. Ceux-ci sont à choisir par l'architecte ou le client. Un projet qui se veut conscient des conditions climatologiques doit se baser sur une connaissance des conditions locales et les possibilités de diminuer la quantité de chaleur que reçoit un bâtiment avec de bonnes conceptions architecturales.

Pour développer un style de construction bien adapté à Djibouti, il faudra un effort de coopération. Ceci ne peut être uniquement la responsabilité de l'architecte. Pour que l'effort réussisse, il faut que le gouvernement, les chercheurs, les propriétaires ainsi que toute une série de spécialistes travaillent ensemble. La récompense pour de tels efforts, même modestes, sera une augmentation du confort humain ainsi qu'une diminution de coûts en énergie pour l'individu de même que pour le pays.



APPENDICE I

LA CHALEUR ET LE CORPS HUMAIN

On oublie souvent que le but de l'architecture, dans les pays chauds, ce n'est pas de refroidir les bâtiments mais plutôt d'abriter leurs habitants dans des conditions relativement confortables. Il serait plus juste de dire: permettre aux habitants de perdre de la chaleur. Dans un climat aussi sévère que celui de Djibouti, les architectes doivent particulièrement tenir compte de la fonction de production de chaleur du corps humain et ses conséquences sur la manière de concevoir les bâtiments qu'ils créent.

Le corps humain produit de la chaleur constamment; 80% de cette chaleur se perd dans les environs au rythme même de sa production. Pour maintenir une température de 37°C au repos, une personne doit dépenser 80 KCal par heure; si elle est active, encore plus: 150 KCal/heure pour du travail de bureau, 320 KCal en marchant ou pendant toute activité physique modérée. Les calories dont nous parlons sont fabriquées par le corps. Si elles ne sont pas utilisées, il en résulte un coup de chaleur qui peut être fatal.

Le mécanisme qui régularise la chaleur du corps humain ne laisse sa température dépasser la normale que rarement, de sorte qu'elle n'atteint des niveaux dangereux qu'exceptionnellement. Mais les demandes de ce mécanisme peuvent résulter en des malaises sévères et diminuer le rendement d'une personne au travail. Dans un climat chaud, le corps ne doit pas seulement dégager la chaleur qu'il produit lui-même mais il doit aussi se débarrasser de celle reçue de ses environs. Cet apport de chaleur externe peut être considérable, quelquefois même plusieurs fois celui de la chaleur produite par le corps. La chaleur externe arrive par deux voies: 1) la conduction (contact physique avec de l'air ou des objets plus chauds) et 2) la radiation (énergie transmise par voie aérienne par des objets distants qui sont plus chauds que la peau).

EQUILIBRE DE CHALEUR DU CORPS HUMAIN

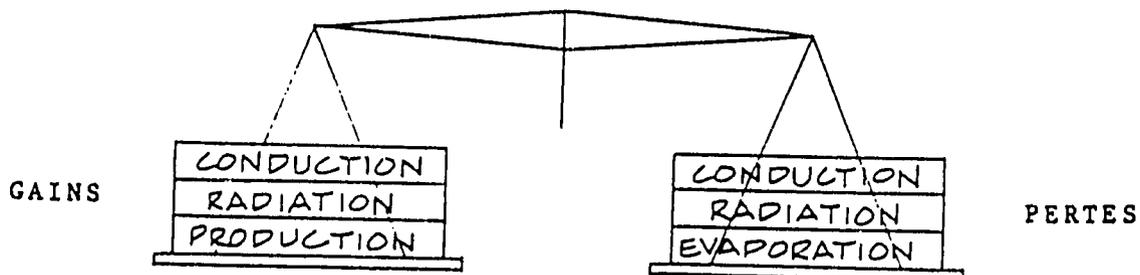


Figure I-1.

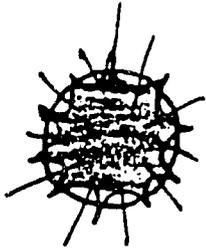
Le corps dégage de l'énergie de trois manières: par 1) conduction, vers des objets ou de l'air plus froid; par 2) radiation, vers un environnement plus frais et par 3) évaporation de la transpiration. La quantité de chaleur produite et reçue par une personne doit être en équilibre exact avec la quantité de chaleur perdue pour que le corps maintienne l'équilibre interne nécessaire à la vie.

Les gains et pertes de chaleur du corps humain par radiation et évaporation sont évidents et bien compris. Si l'air en contact avec le corps est plus chaud que la température de la peau (environ 35°C), le corps absorbera de la chaleur. Si l'air bouge rapidement sur la peau, le corps absorbe encore plus de chaleur. Lorsque l'air est frais, on observe le contraire. L'évaporation de la transpiration enlève la chaleur de vaporisation de la peau. Lorsque la température de l'air dépasse 35°C, l'évaporation compte pour 100% des pertes de chaleur humaines. Si l'air se déplace rapidement, le taux d'évaporation et les pertes de chaleurs en résultant augmentent. La vitesse de vaporisation et, de là, de la perte de chaleur, dépend aussi de la capacité de l'air à absorber l'humidité (humidité relative). Au fur et à mesure de l'augmentation de l'humidité dans l'air, l'effet rafraichissant de l'évaporation diminue.

Gains et pertes, dus à la radiation, ne sont pas aussi facilement reconnaissables. Cependant, ils jouent un rôle important dans l'échange de chaleur de part et d'autre de la balance. On ressent aisément les gains de chaleur qui résultent des rayons du soleil. A l'intérieur d'un bâtiment, le même phénomène de radiation transporte la chaleur vers le corps d'une manière invisible. Cette chaleur provient des murs et des toitures, lorsqu'ils sont plus chauds que la peau. Les premières recherches démontrant les effets négatifs de la radiation ont été entreprises à cause du problème de chaleur près de Djibouti. Ces recherches essayaient d'élucider les raisons du malaise que ressentaient les passagers et l'équipage des navires traversant la Mer Rouge et le Golfe d'Aden, avant l'ère de la climatisation. On découvrit que la température élevée des murs et du pont produisait des radiations dangereuses pour la santé.

Pour maintenir l'équilibre vital de chaleur dans un climat chaud, une double action est nécessaire: 1) éviter les gains de chaleur excessifs (ceci s'accomplit, généralement, en se mettant à l'ombre, par exemple) et 2) accroître les occasions de pertes de chaleur. A l'intérieur d'une construction, la capacité du corps à perdre de la chaleur va dépendre de la température de l'air ambiant et des surfaces solides, et aussi du mouvement de l'air et sa teneur en humidité.

Quatre facteurs, donc, déterminent le taux de perte de chaleur pour l'homme: la température, l'humidité, les mouvements de l'air et la radiation. S'ils agissent de concert, ils peuvent créer, d'une manière efficace, un sens de confort. A l'intérieur d'un bâtiment, leur effet peut être modifié naturellement, par une combinaison de bonne architecture et de matériaux appropriés, ou ils pourront être contrôlés artificiellement par des moyens mécaniques. Les professionnels de l'architecture et de la construction des bâtiments contrôlent les moyens de régularisation et de maintien de l'équilibre calorifique humain.



APPENDICE II

LE SCHEMA DE LA TRAJECTOIRE SOLAIRE

Les positions du soleil, pendant son déplacement à travers le ciel, se conçoivent facilement grâce aux cartes réfléchies du ciel, telles que le schéma de la trajectoire solaire (Figure II-1). Ce schéma consiste en un cercle dont le bord représente l'horizon alors que son centre marque le point du ciel directement au-dessus de l'observateur.

La position du soleil dans le ciel peut être repérée à l'aide de deux angles, l'azimuth et l'altitude (Figure II-2). Sur le schéma de la trajectoire solaire, l'azimuth est donné à l'échelle 0-360° sur le tour du cercle. Il se mesure à partir du nord, dans le sens des aiguilles d'une montre. L'altitude de la position du soleil est donnée par une série d'anneaux concentriques. Elle se mesure au-dessus de l'horizon (0°) jusqu'au zénith (90°).

La trajectoire du soleil dans le ciel est définie par une série de lignes qui commencent au bord est du cercle (lever du soleil) et finissent à l'ouest (coucher du soleil). La courbe la plus au nord représente la trajectoire du soleil le 22 juin, au solstice d'été et la ligne la plus au sud la représente le 22 décembre, au solstice d'hiver. Entre deux, chaque ligne représente la trajectoire pour deux jours de l'année: un jour, pendant la période janvier-juin quand la trajectoire solaire se déplace chaque jour plus au nord, et la seconde pendant la période juin-décembre, lorsque la trajectoire solaire retourne vers le sud. Les courbes plus courtes qui coupent la trajectoire solaire (Figure II-3) représentent les heures du jour. On voit que le soleil se lève autour de 6 heures du matin, traverse les lignes nord-sud à midi et se couche le soir, vers 18 heures.

En utilisant ce schéma, il est possible de trouver l'altitude et l'azimuth, les deux angles qui déterminent la position du soleil, pour n'importe quel moment de l'année. Pour utiliser le diagramme, on choisit une date et une heure à laquelle on veut déterminer la position du soleil. Par exemple, pour le 23 février, à 10 heures du matin, on suit la courbe de cette date jusqu'à son intersection avec la verticale courte, sur la ligne horaire de 10 heures du matin. Cette intersection représente la position du soleil sur le schéma de la trajectoire solaire, le point solaire. Les deux angles requis peuvent se lire sur le schéma directement. L'altitude du soleil se trouve en déterminant la position du point solaire par rapport aux cercles concentriques d'altitude. Dans notre cas, l'altitude est approximativement 53°. En la continuant jusqu'au bord du cercle, cette ligne détermine l'azimuth du soleil, environ 124°. Donc, à Djibouti, le 23 février à 10 heures du matin, l'angle altitude est de 53° et son azimuth, 124°, à partir du nord. Ces deux angles déterminent l'ombre portée d'un brise-soleil sur une façade, qui peut être indiquée d'une manière précise sur un dessin. Grâce à ces deux angles, on peut aussi calculer, avec l'aide de la trigonométrie, l'angle des rayons du soleil frappant une paroi à orientation variable, pour déterminer son gain en chaleur.

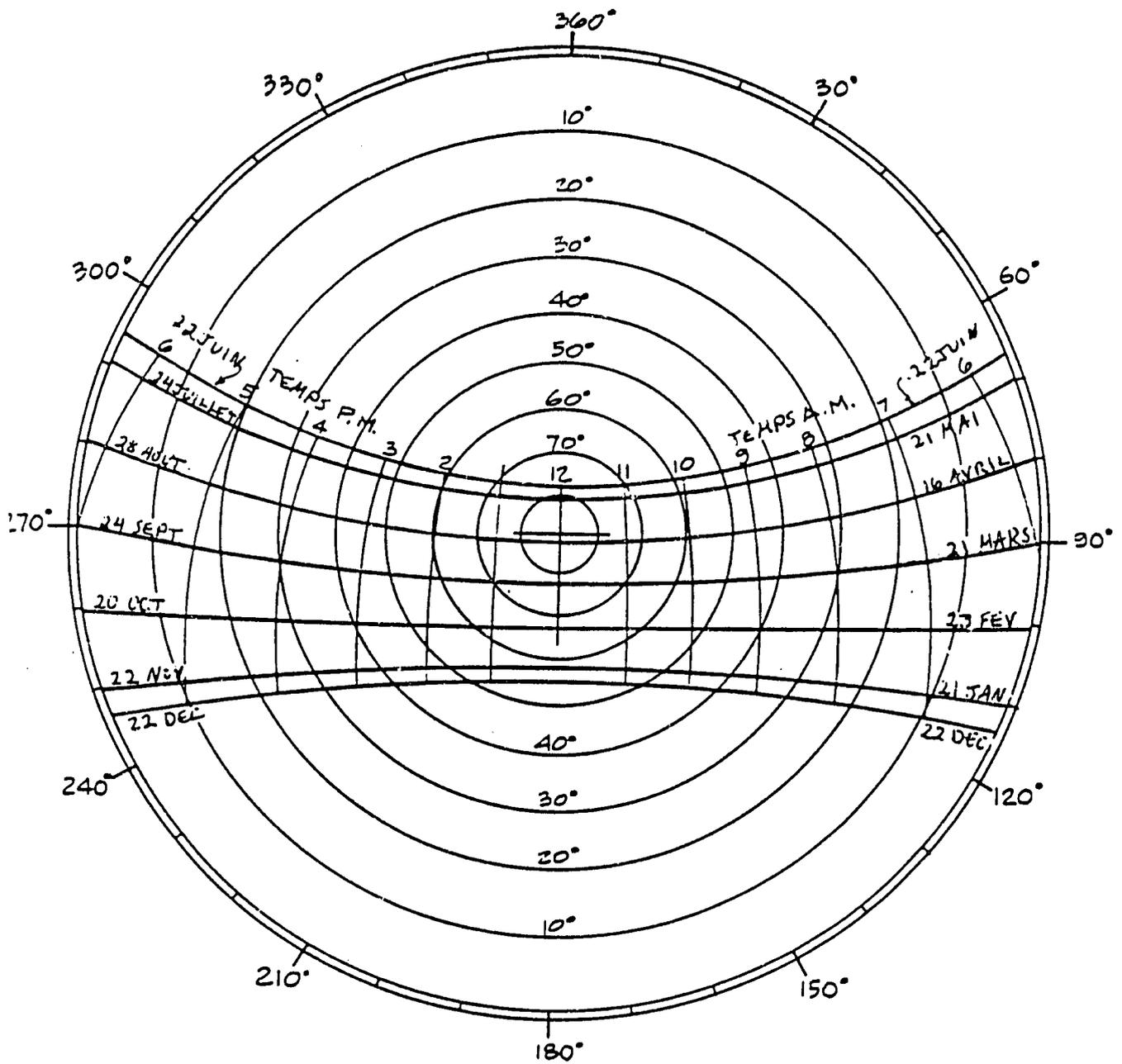


Figure II-1.

COORDONNEES DU SOLEIL

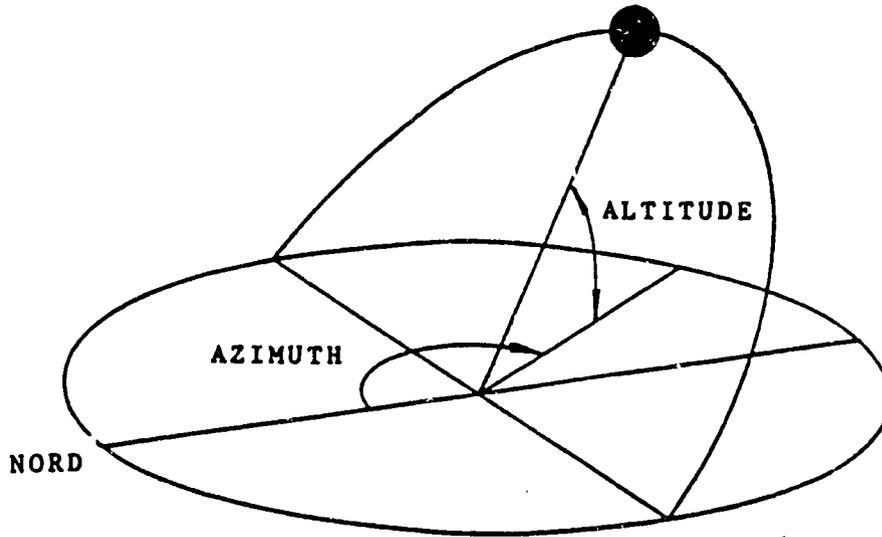


Figure II-2.

TRAJECTOIRES A TRAVERS LE CIEL

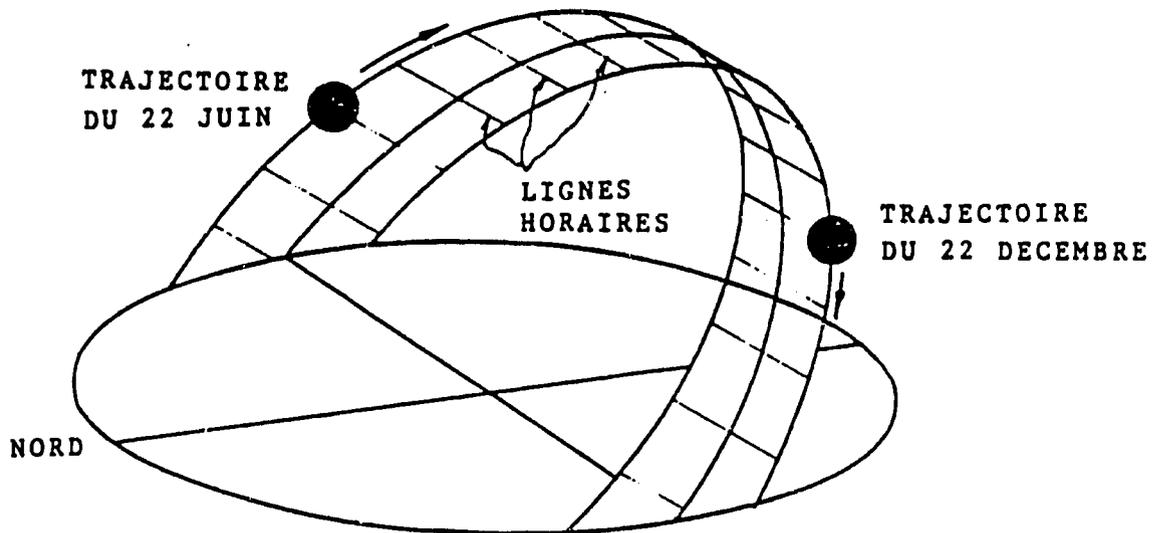
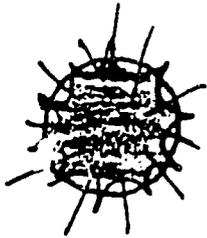


Figure II-3.



APPENDICE III

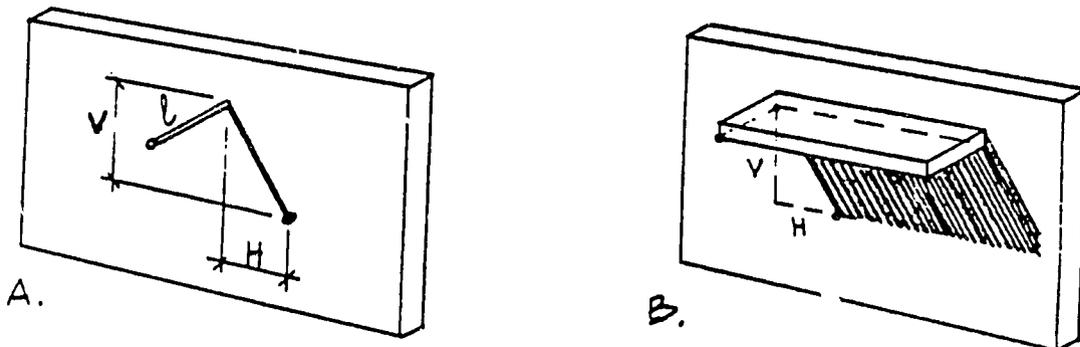
OMBRES PORTEES

Le concept d'ombre portée (Table III-1) simplifie considérablement le problème de la conception correcte de porte-à-faux, de lames réglables et autres brise-soleil.

Les ombres portées verticales et horizontales se calculent comme suit. Une aiguille plantée perpendiculairement dans un mur va, en général, créer une ombre portée oblique lorsque le soleil éclaire le mur. La composante horizontale de cette ombre s'appelle l'ombre portée horizontale. La composante verticale de cette ombre au pied de l'aiguille s'appelle l'ombre portée verticale ("V" en Figure III-1-A).

Example:

Etablir l'ombre portée de brise-soleil verticaux et horizontaux de 1 mètre de large, sur une paroi ouest, à 5 heures du soir, le 22 juin.



Solution:

Une aiguille de longueur unitaire ($l = 1\text{m}$), perpendiculaire à un mur ouest.

La Table III-1 indique:

$V = 0,35$, $h = 0,38$

Donc:

$V = 0,35 \times 1\text{m} = 0,35\text{m}$ vers le bas

$H = 0,38 \times 1\text{m} = 0,38\text{m}$ à droite

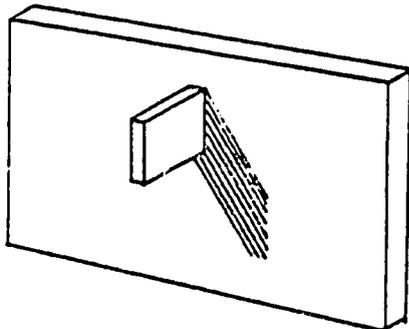
Pour un porte-à-faux horizontal, les points critiques se trouvent en élévation ou en perspective.

Figure III-1.

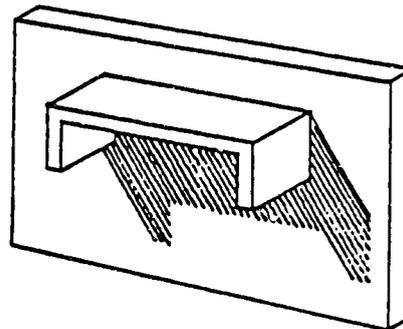
Alors que l'ombre portée verticale ne peut être que dirigée vers le bas, l'ombre portée horizontale ("H") peut être soit à droite, soit à gauche, vue par un observateur se tenant face à la paroi. Les ombres portées horizontales sont accompagnées de la référence D ou G dans les Tables.

La Table III-1 montre l'ombre portée par une aiguille de longueur unitaire, perpendiculaire à un mur; les calculs ont été faits pour différentes heures, pour différents jours, sur des murs verticaux, face aux quatre points cardinaux. La Table peut s'utiliser pour dessiner des brise-soleil précis, les points critiques de l'ombre portées sont établis selon la Table III-1. Par exemple, pour déterminer l'ombre portée par un porte-à-faux de 1 mètre, situé au-dessus d'une fenêtre ouest, le 22 juin à 5 heures de l'après-midi, la Table III-1 donne les chiffres 0,35 verticalement et 0,38 horizontalement et à droite. Donc, un point du bord du porte-à-faux créerait une ombre de 35cm de profondeur et de 38cm à droite (Figure III-1-B).

Si des éléments verticaux de même largeur flanquent la fenêtre, l'ombre aura la configuration des Figures III-2-A et III-2-B. Un porte-à-faux de 1,20m va créer une ombre portée de 42cm de profondeur (120 x 35) et de 45,6 cm (120 x 0,38) vers la droite. La taille et la position du brise-soleil peut se calculer à rebours, à partir d'une configuration désirable l'ombre portée.



A. BRISE-SOLEIL VERTICAL



B. BRISE-SOLEIL HORIZONTAL
ET VERTICAL COMBINES

Figure III-2.

Table III-1. Ombre portée sur un site à 11° de latitude nord

Heure	22 juin		16 mai & 28 juillet		16 avril & 27 août		21 mars & 23 septembre		23 février & 20 octobre		26 janvier & 17 novembre		22 décembre	
	v	h	v	h	v	h	v	h	v	h	v	h	v	h
Mur est														
7 h.	0,35	0,38G	0,34	0,31G	0,29	0,12G	0,27	0,05D	0,24	0,23D	0,19	0,40D	0,18	0,49D
9 h.	1,08	0,40G	1,08	0,29G	1,04	0,05G	0,98	0,19D	0,95	0,45D	0,91	0,67D	0,86	0,78D
11 h.	3,97	0,93G	4,03	0,58G	3,74	0,05D	3,55	0,70D	3,49	1,38D	3,52	2,05D	3,39	2,36D
midi	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
Mur ouest														
13 h.	3,97	0,93D	4,03	0,58D	3,74	0,05G	3,55	0,70G	3,49	1,38G	3,52	2,05G	3,39	2,36G
15 h.	1,08	0,40D	1,08	0,29D	1,04	0,50D	0,98	0,19G	0,95	0,45G	0,91	0,67G	0,86	0,78G
17 h.	0,35	0,38D	0,34	0,31D	0,29	0,12D	0,27	0,05G	0,24	0,23G	0,19	0,40G	0,18	0,49G
Mur nord							Mur sud							
7 h.	0,91	2,61D	1,11	3,27D	2,35	8,14D	5,12	19,08G	1,03	4,33G	0,47	2,48G	0,36	2,05G
9 h.	2,67	2,48D	3,76	3,49D	19,77	19,08D	5,06	5,14G	2,13	2,25G	1,35	1,48G	1,10	1,28G
11 h.	4,26	1,07D	6,98	1,73D	71,29	19,08G	5,06	1,43G	2,53	0,73G	1,71	0,49G	1,44	0,42G
midi	4,70	0	7,12	0	57,29	0	5,14	0	2,61	0	1,73	0	1,48	0
13 h.	4,26	1,07G	6,98	1,73G	71,29	19,08D	5,06	1,43D	2,53	0,73D	1,71	0,49D	1,44	0,42D
15 h.	2,67	2,48G	3,76G	3,49G	19,77	19,08G	5,06	5,14D	2,13	2,25D	1,35	1,48D	1,10	1,28D
17 h.	0,91	2,61G	1,11	3,27G	2,35	8,14G	5,12	19,08D	1,03	4,33D	0,47	2,48D	0,36	2,05D

BIBLIOGRAPHIE

1. ASHRAE. Handbook of Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, Georgia, USA, 1981.
2. Koenigsberger, O.H., et. al. Manual of Tropical Housing and Building. Longman: London and New York, 1974.
3. Koenigsberger, O.H. Roofs in the Warm Humid Tropics. London: Lund Humphries for the Architectural Association, 1965.
4. Lawand, T. Report I-129 For the UN/CNRET. Quebec: Brace Research Institute, June 1978.
5. Lee, Dr. D.H.K. Physiological Objectives in Hot Weather Housing. Washington: US Housing and Home Finance Agency, June 1953.
6. Saini, B.S. Building in Hot, Dry Climates. New York: John Wiley & Sons, 1981.
7. Stulz, R. Elements of Solar Architecture. Swiss Center for Appropriate Technology: St. Gall University, 1980.
8. Taher, Allaoui Mokbel. Aspects remarquables de la climatologie de Djibouti. Rapport personnel, 1982.
9. Tata Institute. Solar Passive Systems for Buildings. Bombay: Bombay House, 1980.
10. United Nations. Climate and House Design. New York, 1971.
11. U.S. Department of Energy. Passive Cooling Handbook. Amherst, Massachusetts: Proceedings of Fifth Natural Passive Cooling Conference, 1980.

CONCERNANT L'AUTEUR

Daniel C. Dunham a fait ses études d'architecture à l'Université de Harvard (USA). Il s'est spécialisé en architecture pour climats arides, en faisant de la recherche à l'Architectural Association, à Londres. Son expérience professionnelle est variée, et M. Dunham a aussi enseigné l'architecture dans les régions tropicales d'Asie et d'Afrique. Il est chargé de cours à la Graduate School of Architecture and Planning de l'Université de Columbia, à New York, où il enseigne l'énergie solaire et la planification dans les pays en voie de développement. Il travaille également comme architecte-conseil auprès d'agences d'entraide au Tiers-Monde, se spécialisant dans les problèmes d'énergie, d'habitat et de développement urbain.

La traduction française a été faite par Ghislaine Hermanuz. Mme. Hermanuz a reçu son diplôme d'architecture de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Lausanne, en Suisse. Elle a aussi étudié la planification aux Etats-Unis, se spécialisant dans les problèmes de développement du Tiers-Monde. Elle enseigne à l'Université de Columbia, et est chargée de cours à la Faculté d'Architecture et d'Urbanisme. Son travail et ses recherches se sont concentrés sur les problèmes d'urbanisme et de développement communautaire, aux Etats-Unis aussi bien qu'aux Antilles, en Algérie et aux Indes.

A PROPOS DE VITA

Volontaires en Assistance Technique (VITA) est une organisation de développement international, privée à but non lucratif. Elle met à la disposition d'individus et de groupes dans des pays en voie de développement une variété d'informations et de ressources techniques visant à encourager l'auto-suffisance. Certaines de ces ressources sont: évaluation des besoins et du support pour le développement des programmes; services de consultants sur le terrain et par correspondance; et la formation dans les systèmes d'information. VITA promouvoit l'utilisation des technologies appropriées à petite échelle, particulièrement dans le domaine des énergies renouvelables. Le centre de documentation de VITA et la liste d'experts techniques volontaires de par le monde lui permettent de répondre à des milliers de requêtes chaque année. VITA publie également une revue trimestrielle et une variété de manuels et de bulletins techniques. Pour plus d'informations, prière de contacter VITA à P.O. Box 12438, Arlington, Virginia 22209 USA.