

AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT WASHINGTON, D. C. 20523 BIBLIOGRAPHIC INPUT SHEET	FOR AID USE ONLY <i>Batch 70</i>
---	-------------------------------------

1. SUBJECT CLASSIFICATION	A. PRIMARY	Urban development and housing	LN00-0000-GG50
	B. SECONDARY	Shelter construction--Tropics	

2. TITLE AND SUBTITLE
 La construction en climat chaud; principes elementaires d'architecture pour attener les effets de la chaleur sur l'homme

3. AUTHOR(S)
 Lee, D.H.K.

4. DOCUMENT DATE 1962	5. NUMBER OF PAGES 125p.	6. ARC NUMBER ARC 728.H842
--------------------------	-----------------------------	-------------------------------

7. REFERENCE ORGANIZATION NAME AND ADDRESS
 AID/AFR/RTAC ; AID/TA/OST

8. SUPPLEMENTARY NOTES (*Sponsoring Organization, Publishers, Availability*)
 (In Collection: techniques am.,62)
 (In French and English. English,85p.: RN-AAE-880)

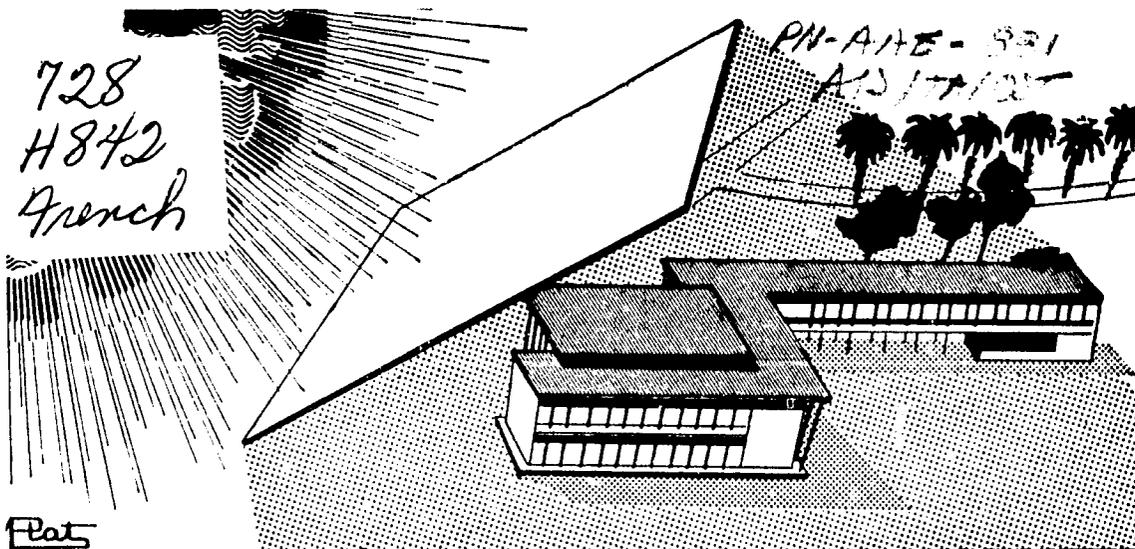
9. ABSTRACT

10. CONTROL NUMBER <i>RN-AAE-881</i>	11. PRICE OF DOCUMENT
12. DESCRIPTORS Climatology Heat tolerance Houses Physiologic effects Tropics	13. PROJECT NUMBER
	14. CONTRACT NUMBER AID/AFR/RTAC
	15. TYPE OF DOCUMENT

728
H842
French

PN-AIE-331

AS/7/25



Flat

COLLECTION TECHNIQUES AMERICAINES



Traduction d'un ouvrage en langue anglaise intitulé

PHYSIOLOGICAL OBJECTIVES IN
HOT WEATHER HOUSING

par Dr. Douglas H. K. Lee
Professor of Physiological Climatology at the
John Hopkins University

élaboré pour

Agency for International Development

et publié par

Housing and Home Finance Agency
Office of International Housing
Washington, D. C. 20410

La présente édition en langue française est publiée par le
REGIONAL TECHNICAL AIDS CENTER (RTAC)

dénommé

Centre Régional d'Éditions Techniques (CRET)
PARIS - FRANCE

qui relève du

Department of State
Agency for International Development
Washington D. C.

Pour tous renseignements au sujet des publications CRET
s'adresser à la

Mission Américaine de l'A. I. D.
Ambassade des États-Unis d'Amérique
(Capitale du pays d'où émane la demande)

LA CONSTRUCTION EN CLIMAT CHAUD

*Principes Elémentaires d'Architecture
pour atténuer les effets de la chaleur
sur l'homme*

*Une Etude par Douglas H. K. LEE
Professeur de Climatologie Physiologique
John Hopkins University
Baltimore Md.*

PREFACE

L'étude qui fait l'objet du présent rapport a été entreprise à la demande de l'International Housing Activities Staff de la Housing and Home Finance Agency, afin de définir en langage simple les principes physiologiques de base qu'il faut observer lors de l'établissement des plans et la construction de maisons pour climats chauds. Ces principes pourraient être utilement appliqués dans le cadre des projets d'amélioration de l'habitat dans les pays sous-développés qui participent au Programme de Coopération Technique.

Le rapport a été élaboré par le Dr Douglas H. K. Lee, Professeur de climatologie physiologique à l'Université Johns Hopkins, pour l'Institute of Inter-American Affairs de la Technical Cooperation Administration qui relève du Département d'Etat des Etats-Unis.

L'International Housing Activities Staff Office of the Administrator de la Housing and Home Finance Agency a fourni des conseils techniques et s'est chargé de la publication du rapport définitif.

JACOB L. CRANE,

*Assistant to the Administrator,
Housing and Home Finance Agency.*

INTRODUCTION

Tout le monde considère que la maison doit protéger ses habitants des contraintes physiques que leur impose l'environnement; mais quand on en vient aux modalités d'application, les opinions divergent considérablement. Certains pensent que la technologie des nations occidentales peut répondre à tout et qu'il faut se conformer aux pratiques de ces pays. A l'opposé, on trouve ceux qui croient que les autochtones, depuis longtemps fixés dans une région, ont découvert le type de protection nécessaire et l'ont incorporé à leur technique de construction.

On voit tout de suite les faiblesses de ces deux positions extrêmes. La technologie occidentale se greffe sur les idéaux culturels occidentaux, sur les ressources matérielles occidentales et sur les conditions de vie occidentales. D'autre part, les techniques indigènes ont été choisies à partir d'une gamme extrêmement limitée de méthodes possibles; elles sont souvent liées de façon inextricable à des considérations religieuses et à des tabous, et elles dépendent d'une situation économique qui, dans bien des cas, est rapidement dépassée. La vérité se trouve donc quelque part entre ces deux extrêmes. Assurément, bien des techniques de construction indigènes sont remarquablement adaptées aux conditions physiques de la région et à la protection des habitants. Il est tout aussi vrai que bien des idées et même des techniques particulières peuvent être empruntées à la civilisation occidentale par d'autres peuples. *Mais, dans chaque cas, il faudra procéder à la sélection avec intelligence et discernement et non pas se contenter d'une vague croyance en la supériorité ou en la valeur d'adaptation de l'une ou l'autre des cultures.*

Dans cette situation confuse, aggravée encore par les suites matérielles et culturelles d'une guerre mondiale, où l'on a trop souvent adopté l'apparat de la civilisation occidentale et non son esprit, la raison doit être le guide souverain. Partant d'une définition claire du problème, de l'étude complète des méthodes d'attaque et de l'application critique de ces méthodes, on peut alors formuler au moins les principes de construction qui serviront de guide à ceux qui assistent des pays sous-développés. Ces principes seront tout à fait valables, au départ du moins, si en les appliquant on tient compte des leçons que l'on peut tirer des techniques de construction indigènes, comme des théories occidentales les plus récentes. Il est souhaitable en effet que les seules modifications rendues nécessaires par le temps et par l'expérience portent sur des détails.

Ces principes devraient être applicables dans de vastes zones, mais les modalités exactes d'application seront inévitablement très différentes d'un endroit à l'autre ou d'un groupe à l'autre. Bien des facteurs vont jouer — plus ou moins impérieusement — sur la façon dont on va réaliser les objectifs : matériaux disponibles, ressources économiques de la population, traditions religieuses ou autres du groupe, modes de vie et habitudes, défense contre les prédateurs (pillards ou bêtes de proie), etc. C'est précisément cette multiplication des exigences et des possibilités qui rend si nécessaire la présence de principes clairement définis. Dès que l'on connaît bien l'objectif à atteindre, on peut alors se débrouiller au mieux pour tirer le maximum de ce dont on dispose et s'approcher aussi près du but qu'il est humainement possible.

La présente brochure se propose de présenter les principes dont l'application va, nous semble-t-il, réduire au minimum les effets directs des climats chauds sur l'homme, dans la mesure du rôle imparti aux logements et abris. Nous avons joint cette brochure à la série de documents relatifs au Programme d'Assistance Technique, car ces principes ont été tirés d'études sur la climatologie humaine et ils peuvent donc ne pas être connus de ceux qui ont reçu une formation traditionnelle en matière d'architecture et d'industries connexes. Leur codification est devenue plus urgente du fait que l'imitation des aspects les plus discutables de la construction occidentale et l'emploi sans distinction de matériaux de récupération, destinés à l'origine à des opérations militaires, sont en train de prendre rapidement la place de pratiques locales valables dans bien des pays, avec des résultats souvent plus tragiques que ridicules.

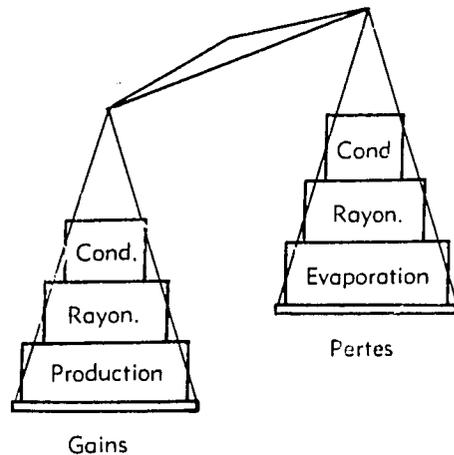
L'expérience a prouvé qu'une bonne partie des malentendus relatifs à l'utilisation du logement, comme protection contre les effets du climat, vient d'une certaine ignorance de la nature du temps et du climat ainsi que du mécanisme suivant lequel les éléments climatiques peuvent agir sur l'homme pour produire certains effets nuisibles. Aussi, pour rendre les principes en question plus intelligibles et pour en donner une image exacte — celles de déductions logiques tirées de l'état actuel des connaissances — nous avons fait précéder leur définition dans cet ouvrage par une analyse simplifiée du climat tropical et subtropical, et par l'explication de leur action sur l'homme. Ensuite nous étudierons d'une façon relativement détaillée les principes de construction qui s'appliquent à un milieu type chaud et sec; nous présenterons ensuite les principes applicables à un milieu type chaud et humide. Pour terminer, nous examinerons les modifications de ces principes de base pour répondre aux combinaisons de types climatiques les plus courants et à certains cas spéciaux. Certaines méthodes d'applications particulières seront mentionnées à titre d'illustration, mais nous n'avons pas cherché à apporter de solution détaillée à la variété infinie des cas qui peuvent se présenter dans ce monde sans cesse en mouvement.

SIGNIFICATION POUR L'HOMME DES MILIEUX AMBIANTS CHAUDS

Tous les automobilistes le savent, par temps chaud leurs voitures ont du mal à se débarrasser de la chaleur qu'elles produisent, ce qui nuit à leur bon rendement, voire même à leur sécurité. L'homme, lui aussi, est une machine qui produit de la chaleur en proportion de son activité et de son mode de fonctionnement; mais c'est une machine pour laquelle la limite permise d'augmentation de la température (1 à 2°) est beaucoup plus faible que pour une automobile et où les dispositifs de réglage thermique sont naturellement plus complexes et sensibles.

Pour avoir une idée juste du rôle que le logement peut jouer sur l'activité de l'homme dans des milieux ambiants chauds, il faut étudier d'abord le mécanisme de réglage thermique de l'homme et l'effet qu'ont sur lui les conditions ambiantes qui peuvent être modifiées par le logement.

L'équilibre thermique humain.



La thermorégulation est essentiellement le maintien de l'équilibre entre les gains de chaleur, d'une part, et les pertes d'autre part. Dès que l'on pense aux régions tropicales et même subtropicales, il semble que le problème dans ce cas soit de se débarrasser suffisamment rapidement de la chaleur mais il ne faut pas oublier que parfois il y a aussi un problème de conservation de la chaleur : dans le désert, la nuit, par exemple, ou lorsqu'on atteint une certaine altitude. Dans chacun des plateaux de la balance de l'équilibre thermique, on trouve un certain nombre d'éléments (voir tableau 1) qui méritent une description.

Même au repos complet l'homme produit une importante quantité de chaleur — la production du métabo-

lisme basal — de l'ordre de 74 calories/heure, pour un homme moyen. Pendant des périodes de courtes durées il peut multiplier ce rendement par 8 en se livrant à des exercices violents; mais sur 24 heures, dans des conditions normales, la production moyenne de chaleur ne dépasse guère 130 % du métabolisme basal pour les travailleurs sédentaires et 300 % pour les travailleurs de force. Les processus physiologiques liés à la nutrition et à la digestion contribuent pour une certaine part à ce total.

Le tableau 1 représente les trois modes d'échange thermique entre le corps et le milieu ambiant : rayonnement, conduction et évaporation. La conduction est le plus simple. Tout le monde sait que si l'on met en contact deux objets de température différente, la chaleur passe du plus chaud vers le plus froid. « Conduction » est le nom donné à cette transmission de

chaleur par contact. Ainsi lorsque l'on met le pied sur un sol chaud, la chaleur passe du sol dans le pied suivant un taux déterminé par un ensemble de coefficients thermiques caractérisant et le sol et le pied. Dans le cas de transmission de la chaleur entre la peau et l'air, le taux de transmission est largement déterminé par l'agitation de l'air. Dans une ambiance parfaitement calme, la transmission de chaleur est lente; mais toute agitation de l'air tendant à remplacer l'air au contact de la peau, donc presque à sa température, par de l'air froid du dehors, accélère la transmission. Il ne faut pas oublier que les échanges de chaleur par conduction se font dans les deux sens soit vers le corps, soit à partir de lui, suivant ce qui est le plus chaud; la peau ou l'air en contact avec elle. *L'agitation de l'air accélère simplement la transmission déjà existante indépendamment de sa direction.*

TABLEAU 1
Equilibre thermique du corps

GAINS	PERTES
1. - Production de chaleur : a) Métabolisme basal; b) Activité; c) Digestion, etc; d) Tension musculaire et frissons pour lutter contre le froid. 2. - Absorption d'énergie rayonnante : a) Du soleil : directe, réfléchie; b) De radiateurs lumineux; c) D'objets chauds non lumineux; 3. - Conduction de chaleur en direction au corps : a) Air à une température supérieure à celle de la peau (1); b) Par contact avec des objets chauds; 4. - Condensation de l'humidité atmosphérique (occasionnelle). (1) Accélérée par l'agitation de l'air (convection).	5. - Rayonnement vers l'extérieur : a) Vers le ciel; b) Vers les objets environnants plus froids. 6. - Conduction de chaleur à partir du corps; a) Vers l'air à une température inférieure à celle de la peau (1); b) Par contact avec des objets plus froids. 7. - Évaporation : a) A partir du tractus respiratoire; b) A partir de la peau (1) : transpiration, sudation, application d'eau.

On peut étudier pratiquement de la même façon la déperdition de chaleur par *évaporation* et par conduction. L'eau qui s'évapore absorbe de la chaleur prélevée sur son entourage immédiat; pour que cette évaporation et le refroidissement qui en découle se poursuivent il faut que la vapeur d'eau puisse quitter le lieu d'évaporation. La facilité avec laquelle la peau se débarrasse de la chaleur par évaporation dépend donc de la différence entre la pression de vapeur au niveau de la surface de la peau et la pression de vapeur de l'air ambiant; de même, la facilité avec laquelle le corps se débarrasse de la chaleur par conduction dépend de la différence de la température de la peau et la température de l'air ambiant. (La tension de vapeur au niveau de la surface de la peau dépend très largement de l'importance de la pellicule d'eau présente sur la peau; celle-ci peut aller de moins de 10 % de la surface de la peau par une journée froide et sèche à 100 % lorsque le corps est baigné de sueur. D'autre part la pression de vapeur de l'air est naturellement déterminée par la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air.) L'agitation de l'air intensifie la déperdition de chaleur par évaporation, de même qu'elle intensifie la transmission calorifique par conduction, en remplaçant l'air saturé en contact avec la peau, par de l'air frais du dehors.

Dans le cas de la conduction, nous avons vu que les échanges peuvent se faire dans les deux sens, mais dans le cas de transmission par évaporation le procédé inverse — c'est-à-dire le gain de chaleur par condensation — se produit rarement; aussi à toutes fins pratiques, nous considérons que *l'agitation de l'air provoque toujours une perte de chaleur par évaporation, alors qu'elle agit dans les deux sens*

dans le cas de la conduction. Le résultat net de l'agitation de l'air dépendra donc de l'importance relative de ces deux processus. A cet égard, on peut considérer que l'intensification de l'agitation de l'air se traduit toujours par l'intensification de la déperdition nette de chaleur, *sauf dans des conditions de chaleur et de sécheresse extrêmes* (par exemple une température de plus de 40,6 °C, une pression de vapeur de moins de 15 mm de mercure et un rayonnement solaire intense).

La physique des échanges thermiques par « rayonnement » peut sembler complexe à juste titre, mais là encore il est possible de ramener le problème à quelques formules simples à des fins de vulgarisation et de calculs approximatifs. Il faut absolument connaître ce mécanisme car l'une des fonctions les plus importantes de la construction dans les pays chauds est d'intercepter le rayonnement solaire auquel le corps serait soumis, et qui produirait un excès de chaleur nuisible. En plein air, l'homme est soumis à deux types assez différents de rayonnements : (1) rayonnement visible et infrarouge de faible longueur d'onde, que nous appellerons rayonnement solaire, pour plus de simplicité, puisqu'il provient du soleil; (2) rayons infrarouges à grande longueur d'onde, que nous appellerons rayonnement thermique, puisqu'il est dû à la différence de température entre la surface de l'homme et celle des objets qui l'entourent, comme le sol, les murs. Le rayonnement se manifeste de cinq façons, ainsi que l'indique le tableau 2 et la figure 1.

L'effet thermique du *rayonnement solaire direct* est familier à tous. En effet, par temps clair avec soleil zénithal, son intensité peut atteindre 868 Kcal par m², par heure. La sur-

face présentée par l'homme à ce rayonnement varie en fonction de la hauteur du soleil (angle formé par le rayon solaire et l'horizon), et la posture de l'homme. Dans les tropiques, le soleil de midi est très haut dans le ciel; par conséquent, le moment où un homme debout reçoit le plus fort rayonnement n'est pas midi, mais de 9 à 10 heures le matin et de 2 à 3 heures l'après-midi, lorsque le soleil brille plus directement sur les parties verticales de son corps. Une partie seulement du rayonnement solaire qui tombe sur lui est absorbée et trans-

formée en chaleur; le reste est réfléchi. Environ moitié du rayonnement solaire se situe dans la partie visible du spectre et la couleur donne une bonne indication de l'importance de la réflexion: le blanc et la peau réfléchissent 90 % et davantage; le noir et la peau 15 % au maximum. Pour la partie invisible du rayonnement solaire indirect — infrarouge onde courte — la couleur a moins d'effet sur la réflexion, tout en restant quand même une sorte de guide: le blanc réfléchit 60 % et le noir 40 %.

TABLEAU 2
Les échanges de chaleur par rayonnement

VOIES	TYPE SPECTRAL
Rayonnement solaire direct	Visible et onde courte infrarouge.
Rayonnement solaire réfléchi par les nuages, etc	Visible et onde courte infrarouge.
Rayonnement solaire réfléchi par le sol	Visible et infrarouge onde courte.
Echange thermique avec le sol, etc. ...	Infrarouge grandes ondes.
Pertes thermiques vers le ciel	Infrarouge grandes ondes.

Longueurs d'ondes

Spectre visible: 0,3 à 0,7 microns.
Infrarouge, ondes courtes: 1,7 à 2,5 microns.
Infrarouge, grandes ondes: supérieur à 2,7 microns, généralement 5 à 20 microns.

Si l'observateur interpose un disque entre son œil et le soleil, il est évident qu'une quantité importante de lumière est réfléchi par des particules présentes dans l'air, même si le temps est très clair. Si le soleil est haut dans un ciel clair, cette quantité représente environ 15 % de l'intensité du rayonnement direct (sur une surface horizontale), lorsque toute la voûte du ciel est exposée. Lorsque le soleil est bas ce pourcentage augmente, bien que la quantité totale soit

inférieure. Une légère brume peut augmenter la réflexion alors qu'elle aura peu d'effet sur le rayonnement direct. L'effet maximal est obtenu lorsque de grands cumulus flottent dans le ciel sans s'interposer toutefois entre l'observateur et le soleil. L'intensité maximale de rayonnement solaire que peut recevoir une surface horizontale en combinant rayonnement solaire direct et rayonnement réfléchi par le ciel, est d'environ 949 Kcal/m²/h.

La lumière du soleil réfléchi par un sol clair et sec, par du sable blanc, par des lacs desséchés et par les nuages, peut atteindre, on le sait, une intensité douloureuse. Ce rayonnement visible réfléchi s'accompagne d'un rayonnement infrarouge réfléchi,

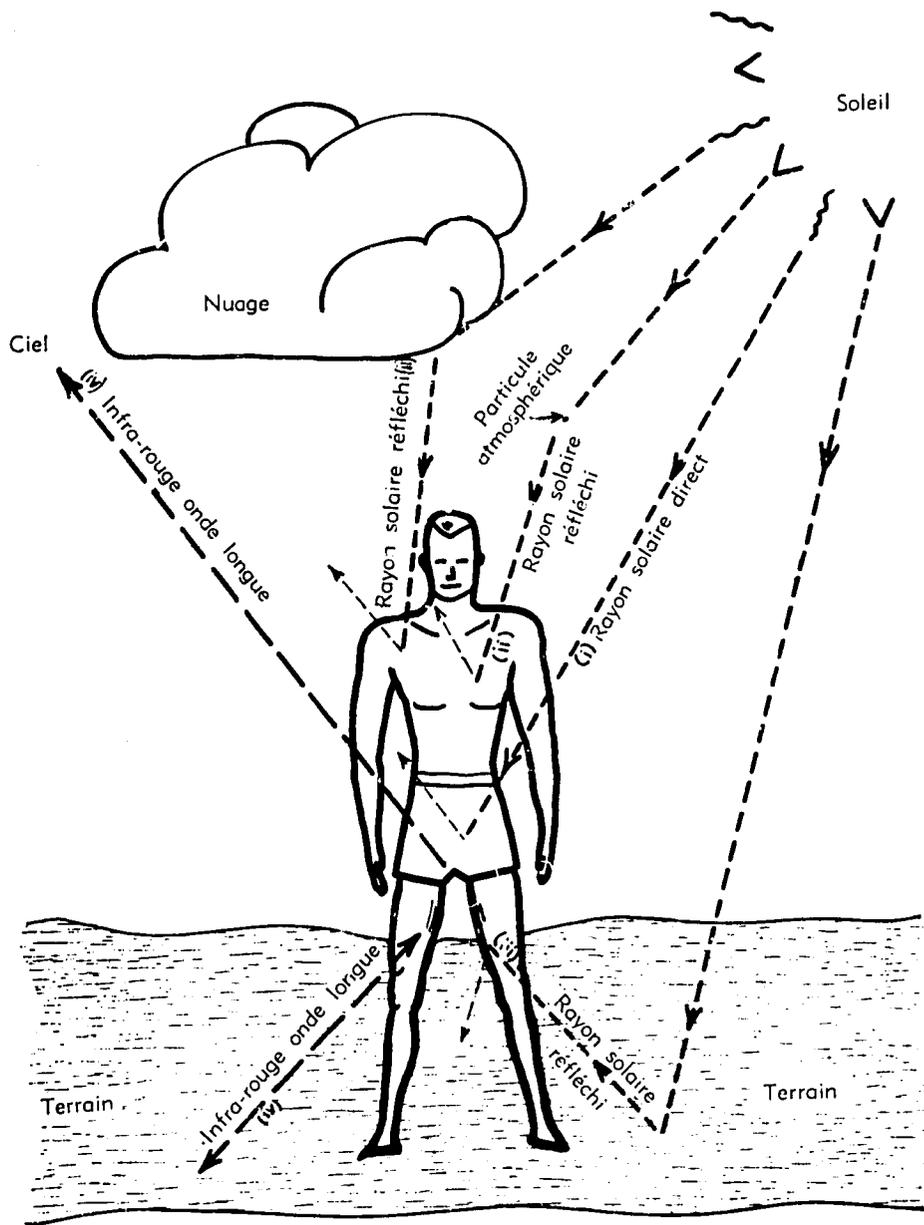


FIGURE 1. — Echange de rayonnement entre l'homme et le milieu, les rayons visibles et infrarouges de faible longueur d'onde émis par le soleil tombent sur le corps (i), directement (ii), après réflexion par les nuages et les particules en suspension dans l'atmosphère (iii), après réflexion par le sol. Des proportions variables de ce rayonnement incident sont réfléchies par la peau ou les vêtements. Entre l'homme et le sol, il y a un échange de rayons infrarouges à ondes longues, et une perte dirigée de l'homme vers le ciel.

de faible longueur d'onde, et la combinaison des deux peut représenter une charge calorifique importante égale, sur la surface verticale d'un homme debout, à un quart, ou plus, de l'intensité du rayonnement solaire sur le sol horizontal. Les matériaux et la peau se comportent à peu près de la même façon pour le rayonnement solaire réfléti par le ciel ou la terre et pour le rayonnement direct.

Si l'on fait abstraction de la réflexion des radiations solaires, *le sol et autres objets environnants échangent de la chaleur rayonnante avec le corps*, s'ils sont à des températures autres que celle de la surface du corps. Dans les régions chaudes et sèches, nous le verrons plus loin, le sol et la surface des bâtiments peuvent devenir beaucoup plus chauds que le corps, de sorte que la quantité de chaleur rayonnant à partir de ces sources peut prendre une certaine importance. Ce rayonnement est du type onde longue, aussi est-il presque complètement absorbé par la plupart des surfaces. *La couleur n'a aucun effet sur les échanges d'ondes longues infrarouges.* Cependant des surfaces de métal polies réfléchissent ces rayons de façon marquée, voire même très importante, aussi présentent-elles certaines qualités protectrices précieuses.

On a négligé trop longtemps la rubrique 5 du tableau 2 : *pertes par rayonnement vers le ciel*, ce qui est pourtant important dans la construction. S'il n'y avait pas de barrières entre l'homme et l'espace, l'homme perdrait rapidement sa chaleur par rayonnement au profit de l'espace dont la température est très basse — 273 °C. Toutefois, l'atmosphère fait office de barrière, de sorte qu'en réalité, un homme, en rase campagne, rayonne vers un hémisphère de température moyenne. Dans les régions

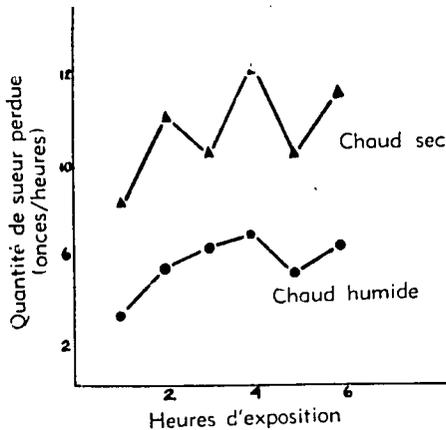
chaudes et humides, cette température n'est guère différente de celle du sol; mais dans les régions sèches, elle peut être beaucoup moins élevée (4,5 °C). S'agissant de la seule voie possible de perte par rayonnement dans de telles conditions, elle prend donc une signification importante.

D'après ce qui précède, on voit que *quatre éléments climatiques affectent les pertes de chaleur de l'homme : la température, l'humidité, l'agitation de l'air, le rayonnement.* Ces éléments n'agissent pas de façon isolée, mais conjointement. Leurs effets doivent être attribués non pas à chacun d'entre eux séparément, mais à leur combinaison. L'effet résultant de ces quatre éléments constitue ce que l'on appelle la *contrainte thermique* imposée à l'individu.

Conséquences de la contrainte thermique.

L'organisme humain est en danger dès l'instant où il ne transmet plus autant de chaleur qu'il en reçoit. Dans le *coup de chaleur*, la température du corps s'élève dangereusement, provoquant l'inconscience et la mort si l'on n'y porte point remède. Heureusement, ces accidents sont *rare*s. Le mécanisme thermorégulateur de l'homme assure fort bien l'adaptation de celui-ci à un milieu naturel chaud; disons qu'un homme normalement sain et résistant ne souffre pas de coup de chaleur dans les conditions climatiques normales, à moins qu'il ne se livre à une activité intense, sous l'effet d'une forte émotion. On a enregistré quelques 190 coups de chaleur dans l'armée américaine, pendant la seconde guerre mondiale; tous se sont produits aux États-Unis, et pendant l'entraînement des jeunes recrues. Dans bien des cas autrefois signalés

comme coup de chaleur ou coup de soleil, il devait certainement s'agir d'infections d'origine microbienne, accompagnées de fièvre, du type paludisme ou autre, combinées au besoin avec une activité excessive, un manque d'eau ou toute autre condition nuisant à l'exercice normal de la thermorégulation.



L'organisme humain dispose d'un excellent mécanisme thermorégulateur qui laisse rarement sa température atteindre des valeurs dangereuses; toutefois, ce mécanisme exige beaucoup de l'organisme, et ce sont précisément ces exigences de la thermorégulation qui interfèrent avec le rendement du moteur humain, et non leur absence. Si l'organisme éprouve de la difficulté à se débarrasser de sa chaleur, les vaisseaux sanguins périphériques se dilatent et laissent passer davantage de sang, à la façon du thermostat qui laisse entrer l'eau dans le radiateur de l'automobile quand le moteur commence à chauffer. Pour compenser cette dilatation des vaisseaux sanguins périphériques qui contiennent alors une plus grande quantité de sang, les vaisseaux sanguins des organes internes doivent subir une constriction, mais cela ne suffit pas toujours. Dans de telles conditions d'irrigation sanguine insuffisante, le cerveau, partie

la plus élevée du corps, peut se trouver insuffisamment baigné de sang. Les tissus du cerveau étant les plus sensibles au manque d'oxygène, le cerveau réagira immédiatement en fonctionnant moins bien et en offrant les symptômes caractéristiques de l'épuisement par la chaleur. Lassitude, maux de têtes, nausées, étourdissements, malaises et finalement des évanouissements caractérisent cet état bien prononcé. Sans aller jusque-là pourtant, il doit exister toute une série de malaises mineurs qui nuisent au bon fonctionnement de la machine humaine. De toute façon, on ne peut s'attendre à ce que les organes internes fonctionnent correctement si leur ration de sang se trouve réduite en permanence au profit de celle de la peau.

De plus, l'homme possède une capacité de sudation remarquable. Un homme effectuant un travail moyennement dur, dans un milieu chaud et sec, peut fournir 1,40 l de sueur en une heure. Ceci ne saurait guère se prolonger au-delà de deux ou trois heures, mais il peut cependant perdre jusqu'à 15 litres en un jour qu'il faut compenser en buvant. Ce sont là de grandes quantités d'eau et, même si la transpiration est moins intense, il y a certainement des périodes pendant lesquelles les pertes dépassent l'alimentation en eau. Dans ces cas-là, l'irrigation sanguine déjà précaire se trouve encore réduite et le risque d'épuisement par la chaleur est encore plus grand.

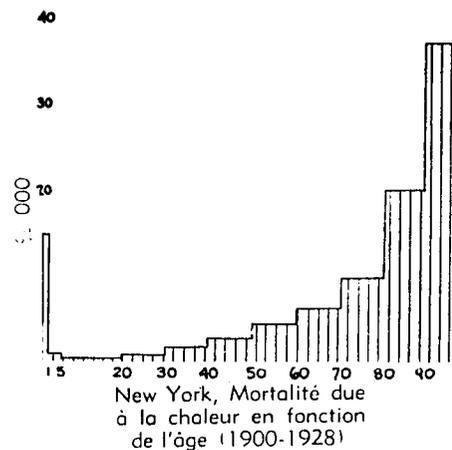
D'autres conséquences indirectes de la contrainte thermique viennent ajouter leurs effets pour amoindrir l'individu: activité digestive réduite du fait de la mauvaise circulation du sang, sensation d'inconfort provenant de la chaleur et de la moiteur de la peau, risques de dermatoses aux en-

droits où la peau moite subit un frottement, carence éventuelle de sel due à la transpiration excessive, et même formation de calculs par suite de la diminution du volume d'urine.

On peut déduire de ce qui précède qu'il ne suffit pas d'assurer les conditions dans lesquelles la température de l'organisme demeure dans des limites raisonnables. Il faut faire mieux, essayer de réaliser les conditions qui éviteront de faire appel au mécanisme thermorégulateur à un point où il interfère sérieusement avec le fonctionnement normal du reste de l'organisme. Ce qui ne veut pas dire qu'il faut maintenir l'homme dans un état de confort permanent — de sérieux arguments s'y opposent — mais dans *certaines conditions, l'amélioration du rendement de la machine humaine vaut bien que l'on s'efforce de porter remède aux conditions climatiques. Tel doit être le but de l'architecture et de la construction dans les pays tropicaux.*

Variations des réactions individuelles.

La sensibilité à la chaleur varie suivant les individus, même dans une communauté bien homogène, c'est un fait connu; la sensibilité d'un individu peut même varier d'un moment à l'autre. Cette gamme de variation ne va certes pas se réduire si l'on compare des gens appartenant à des communautés très différentes, avec des modes de vie différents, des états de santé différents et des milieux ambiants différents. Etant donné que ces variations peuvent affecter, en dernier ressort, les caractéristiques de la construction, il nous faut signaler ici les principaux éléments qui interviennent.



L'étude des statistiques d'état civil révèle que les *bébé*s de moins d'un an et les personnes âgées présentent une sensibilité excessive à la chaleur, du moins lorsqu'ils sont habitués à un climat essentiellement tempéré. Cela est bien naturel, puisqu'au début de son existence, comme vers la fin, l'individu présente une résistance moindre aux contraintes de tous ordres. On remarque généralement, par ailleurs, que les enfants de 1 à 12 ans, et même les adolescents, semblent ressentir la chaleur plus vivement que les adultes. Que cette tolérance soit physiologique ou psychologique, les conséquences sociales n'en sont pas moins réelles.

Les différences de tolérance de la chaleur que l'on impute au *sexe* doivent être en général attribuées à d'autres circonstances concomitantes telles que le vêtement, la nature du travail, ou l'adaptation sociale, etc.

Il semble qu'un régime riche en calories rende la chaleur plus pénible à supporter, dans une certaine mesure, de même qu'un excès de poids ajoute à l'inconfort, surtout s'il a été acquis pendant la seconde moitié de l'existence. Cependant, si le régime descend en dessous de la normale, la tolérance de la chaleur n'en augmente pas pour

autant. La sous-alimentation réduit la résistance à la plupart des contraintes, y compris à celle de la chaleur.

L'un des facteurs les plus importants qui détermine la résistance à la chaleur de personnes en bonne santé, est certainement le *rendement mécanique* dont elles font preuve dans leur travail. Les personnes qui dépensent le moins d'énergie, et produisent par conséquent le moins de chaleur pour un travail donné, ont nettement l'avantage. L'entraînement, la stimulation, les facteurs psychologiques, l'expérience, jouent tous un rôle important et varient largement d'un individu à l'autre, d'un groupe à l'autre, ou même d'un pays à l'autre.

La *santé* affecte, bien entendu, la résistance à la chaleur. Toute maladie diminue la résistance du corps aux différentes agressions, y compris celles de la chaleur. Toute condition entravant la libre circulation du sang, la transpiration, ou augmentant la production de chaleur fait diminuer la résistance à la chaleur. Les maladies qui ont pour effet de diminuer la production de la chaleur, en réduisant généralement l'activité du malade, ont tendance à accroître la résistance à la chaleur au détriment, naturellement, du rendement et de l'activité de l'individu.

Le *vêtement* peut modifier grandement la perte de chaleur d'un individu. Nombreux sont les groupes qui, grâce à la simplicité de leur culture, ont fort bien su adapter leur habillement aux conditions climatiques. Chez les peuples de culture plus complexe, certains éléments interviennent à l'encontre des besoins physiologiques; c'est surtout le cas de ceux qui passent de milieux froids dans des milieux plus chauds. Actuellement, les peuples de culture simple courent un certain danger; voulant, bien naturel-

lement, se montrer égaux aux « Occidentaux », ils adoptent les façons occidentales de se vêtir, qui ne correspondent pas à leurs conditions climatiques. Une telle évolution sociale rend parfois difficile la réalisation des objectifs des programmes d'assistance technique, même pour les responsables les mieux intentionnés.

Il se produit une *acclimatation* à la chaleur et, son importance est certaine et bien reconnue; cependant il est assez difficile d'expliquer son mécanisme exact. En général, il y a deux types de processus d'acclimatation. L'un porte sur l'amélioration de l'écoulement de la chaleur du corps; celui-ci est assez rapide et il est bien en place au bout d'une à trois semaines. Le second concerne la diminution de la production de chaleur; il est plus long à se développer et tend surtout à améliorer le rendement mécanique. Ce dernier comporte des éléments impondérables comme l'entraînement, la stimulation, les facteurs psychologiques et l'expérience, aussi est-il difficile à évaluer et varie-t-il largement d'un individu à l'autre, d'un groupe à l'autre. Il n'en est pas moins réel, pour autant, et c'est ce processus qui détermine généralement le succès définitif de l'acclimatation.

On a beaucoup parlé des *différences raciales* en matière de tolérance, mais on ne dispose pas d'éléments suffisants pour élucider la question. La plupart des renseignements sont inexploitable car ils ne tiennent pas compte des nombreuses circonstances qui pourraient avoir affecté les observations. Il semblerait donc que les différences de résistance à la chaleur existant entre deux groupes de compositions raciales différentes seraient, en grande partie, attribuables à des facteurs tels que des différences dans l'alimentation, l'état

de santé, la stimulation ou l'expérience. Sur la base du peu de documentation dont on dispose, il semblerait que si l'on prend deux groupes en tous points similaires, sauf pour ce qui est de la race, le groupe qui a la plus longue expérience raciale des climats chauds s'adapte légèrement mieux à la chaleur en accomplissant le même travail avec moins d'effort.

Les niveaux de tolérance.

De nombreux chercheurs ont étudié les réactions à la chaleur de sujets placés dans des conditions expérimentales ou de personnes se livrant à des occupations normales. Il n'y a pas deux chercheurs qui aient procédé à des observations dans des conditions

identiques, aussi les résultats obtenus sont-ils difficiles à comparer. L'agitation de l'air, la cadence du travail, la durée du travail, la nature de la réaction mesurée, ainsi que la température et l'humidité variaient d'une observation à l'autre. Les résultats les plus significatifs ont été présentés sous forme de graphique psychrométrique standard (figures 2 et 3) (1). En attendant mieux, ils pourront servir de guide quant aux effets probables des différentes conditions ambiantes.

(1) Le graphique psychrométrique fait l'objet de l'annexe 2. Pour plus de clarté, les lignes correspondantes aux thermomètres humides ne figurent pas au tableau de base des figures 2 et 3, mais on peut trouver leur position en joignant des points appropriés sur les deux graduations des thermomètres humides, le long de la ligne d'humidité 100 % et le long des marges inférieures droites du tableau.

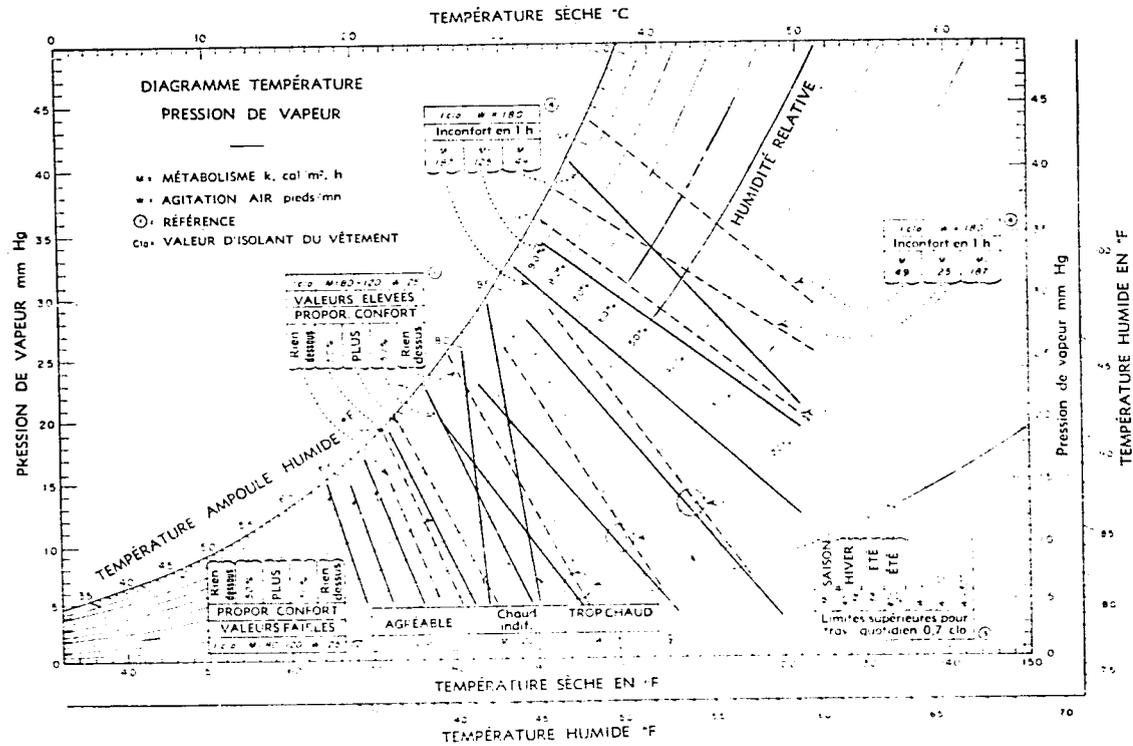


FIGURE 2. — Ce graphique et le graphique suivant peuvent être utilisés de deux façons : 1. Pour déterminer la limite supérieure de température à laquelle une activité donnée peut être exercée sans dépasser les tolérances indiquées — dans ce cas choisir l'encart qui se rapproche le plus de l'activité et des tolérances choisies, et voir quelles sont les combinaisons de température et d'humidité qui correspondent à cette courbe limite. 2. Pour déterminer quelle activité peut être exercée dans des conditions atmosphériques données — dans ce cas déterminer le point correspondant aux conditions et voir quelles activités sont décrites par les lignes passant à proximité de ce point.

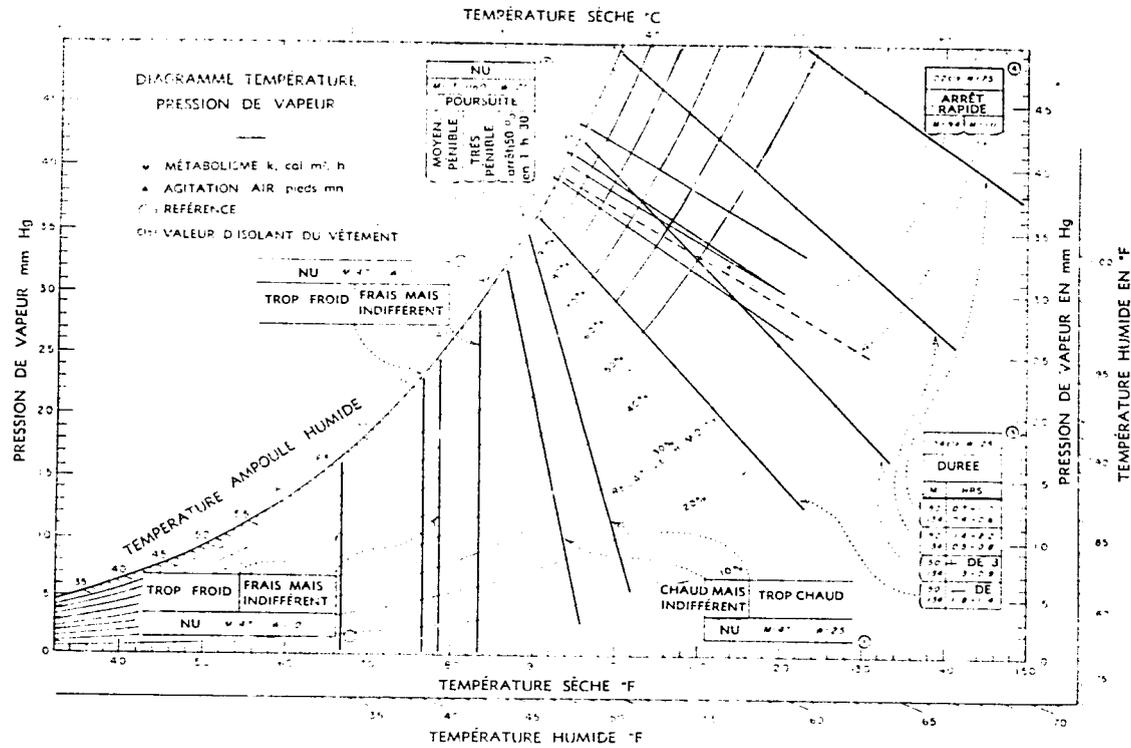
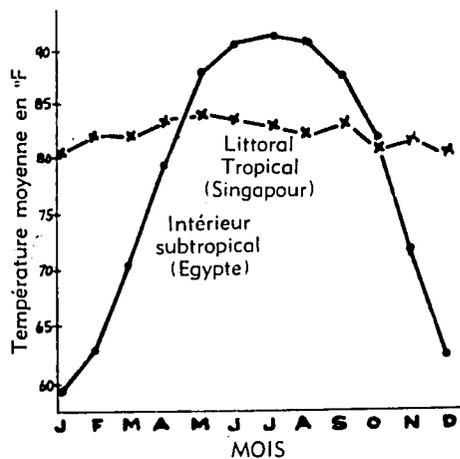


FIGURE 3. — Ce graphique et le graphique précédent peuvent être utilisés de deux façons : 1. Pour déterminer la limite supérieure de température à laquelle une activité donnée peut être exercée sans dépasser les tolérances indiquées — dans ce cas choisir l'encart qui se rapproche le plus de l'activité et des tolérances choisies, et voir quelles sont les combinaisons de température et d'humidité qui correspondent à cette courbe limite. 2. Pour déterminer quelle activité peut être exercée dans des conditions atmosphériques données — dans ce cas déterminer le point correspondant aux conditions et voir quelles activités sont décrites par les lignes passant à proximité de ce point.

ELEMENTS DE CLIMATOLOGIE DES REGIONS TROPICALES ET SUBTROPICALES

De même que la physiologie du corps humain peut nous aider à définir les caractéristiques des constructions dans un milieu chaud, l'étude de la répartition des climats chauds et des mécanismes qui leur ont donné naissance permettra de mieux pallier leurs effets par un ensemble de mesures concertées. En fait, cette brochure se propose d'expliquer *pourquoi* certaines mesures sont nécessaires, et non de donner une liste détaillée d'instructions, sans commentaire. Ce chapitre sera consacré essentiellement aux éléments climatiques — température, humidité, agitation de l'air et rayonnement — qui agissent sur l'équilibre thermique de l'homme, comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent.



La température de l'air.

Le soleil, source de chaleur

En pratique, le régime des températures de toutes zones suffisamment étendues est déterminé par la quantité de chaleur solaire que reçoit la-

dite zone d'une saison à l'autre. Les régions que le soleil frappe directement pendant une grande partie de l'année sont chaudes; celles qu'il touche obliquement pendant une moins grande partie de l'année sont froides. A partir de ce que chacun sait sur les rapports soleil-terre, on peut s'attendre à ce que les régions équatoriales soient les plus chaudes, et que la température s'abaisse progressivement à mesure que l'on s'éloigne de l'équateur en direction des pôles. Si nous réfléchissons un peu — et si nous jetons un coup d'œil sur les cartes météorologiques du monde — nous voyons que cette formule est vraie dans l'ensemble, mais demande à être très nuancée. La diminution de la température de l'équateur vers le pôle n'est pas uniforme, et bien des anomalies apparaissent sur les cartes des isothermes, car un certain nombre de facteurs

viennent perturber cette configuration élémentaire. Pour comprendre la répartition des températures dans une région particulière, il faut connaître ces influences perturbatrices et leur mécanisme.

Effet de la latitude et de la saison

A mesure que l'on s'éloigne de l'équateur, l'angle moyen formé par le soleil et la surface de la terre diminue, ce qui entraîne une réduction de l'intensité de l'échauffement; cependant, la longueur des jours augmente pendant la période de l'année où l'angle est le plus grand, c'est-à-dire pendant l'été. En outre, quand l'angle est grand, l'effet d'une légère diminution de celui-ci est minime. Par suite de ces influences contradictoires, la partie de la surface de la terre qui reçoit le maximum de rayons solaires tout au long d'une belle journée d'été ne se trouve pas au niveau de l'équateur ni même des tropiques, mais entre 30° et 45° de latitude (tableau 3). A ces latitudes, bien entendu, l'ensoleillement maximal en été est contrebalancé par un faible ensoleillement en hiver; aussi l'ensoleillement maximal annuel est-il celui des régions situées aux alentours de 15° de latitude. Cependant, aux latitudes moyennes, l'été fait nettement sentir son effet et il joue un rôle important dans le calcul des constructions.

Effet de la pollution atmosphérique

Lorsque les radiations solaires pénètrent dans l'atmosphère de la terre, une partie de leur énergie est absorbée, spécialement par l'ozone et la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère. Lorsque les rayons du soleil traversent directement l'atmosphère pour frapper verticalement la surface de la terre, cette absorption est de

l'ordre de 15 % de l'énergie totale. Lorsque les rayons du soleil frappent obliquement la surface de la terre, traversant ainsi une couche plus épaisse de l'atmosphère, le pourcentage d'absorption est beaucoup plus élevé. Aux grandes latitudes, en début et en fin de journée, cette absorption accrue de l'atmosphère jointe à l'angle d'incidence plus faible, diminue de beaucoup l'intensité des rayons solaires. Cette perte d'énergie se trouve accentuée par les impuretés contenues dans l'air, la poussière et la fumée par exemple, et par une forte teneur en vapeur d'eau. Elle augmente fortement, bien entendu, lorsque l'eau contenue dans l'atmosphère se condense pour former des nuages. Les endroits où il y a beaucoup de nuages, de fumée, ou de poussière, reçoivent donc en réalité moins de soleil qu'ils le devraient normalement. C'est ainsi que dans les régions tropicales chaudes et humides, les températures sont moins élevées que dans les régions chaudes et sèches.

Effet de la terre et de l'eau

Il est deux fois plus facile de chauffer un sol sec qu'un volume d'eau équivalent. De plus, l'eau perd une partie de sa chaleur par évaporation, ce qui n'est pas le cas du sol sec. Aussi, avec une même quantité de radiation solaire la terre sèche atteindra une température bien supérieure à celle de l'eau ou de la terre humide. Il en découle que l'air, qui s'échauffe surtout au contact de la surface de la terre, présentera des températures plus élevées lorsqu'il aura été au contact d'un sol sec exposé au soleil que lorsqu'il aura été au contact d'eau ou d'un sol humide présentant la même exposition — sans parler du rôle d'écran joué par les nuages qui accompagnent toujours la présence d'humidité.

TABLEAU 3

Quantité totale de rayonnement solaire (Kcal/m²) reçue par une surface horizontale,
par une belle journée du milieu du mois (1)

Latitude	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Octobre	Nov.	Déc.	Moyenne
0°	4 899,678	5 200,821	5 501,964	5 450,417	5 070,597	4 750,463	4 802,010	5 100,440	5 301,202	5 151,987	5 002,772	4 850,844	5 100,440
15°	4 001,675	4 552,414	5 301,202	5 851,941	6 003,869	6 052,703	6 052,703	5 952,322	5 501,964	4 802,010	4 202,437	3 752,079	5 151,987
30°	2 799,816	3 600,151	4 802,010	5 751,560	6 451,514	6 652,276	6 503,061	5 952,322	5 002,772	3 950,128	3 100,959	2 550,220	4 750,463
45°	1 399,908	2 349,458	3 600,151	5 002,772	6 101,537	6 652,276	6 402,680	5 651,179	4 251,271	2 799,816	1 749,885	1 199,146	3 901,294

(1) Données communiquées par F. Loewe, Commonwealth of Australia Meteorological Bureau.

dité. Il s'ensuit aussi qu'en général, l'air atteint des températures élevées lorsque le degré d'humidité est faible ou qu'une forte humidité s'accompagne d'une température moyennement élevée. A une latitude donnée, en été, on peut s'attendre donc à ce que la température de l'air soit en général moins élevée au-dessus de grandes étendues d'eau et plus élevée au-dessus de grandes étendues de terre sèche. Toutefois, l'inverse peut très bien se produire en hiver, car la terre se refroidit plus rapidement que l'eau, lorsqu'elle n'est plus exposée aux rayons du soleil, étant aussi sensible à la présence du soleil qu'à son absence. Les variations annuelles de la température de l'air seront plus élevées au-dessus de grandes étendues de terre sèche et moins élevées au-dessus de grandes étendues d'eau; les variations des températures diurnes se comporteront de façon similaire.

Effet des vents et de l'agitation des masses d'air

L'explication jusqu'à présent donnée pour les variations géographiques et saisonnières de la température de l'air serait largement suffisante si l'air restait toujours à la même place. Mais en fait, l'air se déplace continuellement sur toute l'étendue de la surface de la terre, parfois pour notre plaisir, parfois pour notre ennui. Les vents apportent un air dont la température dépend de ce qu'il a rencontré tout au long de son voyage. L'air venant de l'océan est généralement doux et humide; celui qui vient des terres présente une température plus accentuée, vers le chaud ou le froid, et une plus grande sécheresse. Celui qui vient des régions polaires est froid, celui qui vient des régions équatoriales est chaud. Tous les traits de climatologie reproduisent une carte

générale de la distribution des vents dans le monde, mais les personnes qui s'intéressent à l'effet du vent sur la température d'une région donnée auront tout intérêt à se reporter à une carte de la répartition réelle des vents. A la figure 4, nous trouvons une carte du monde; il serait cependant bon de s'adresser aux Services de la Météorologie du pays intéressé, pour plus amples informations.

Effet de l'altitude

Dans l'atmosphère libre, la température diminue en même temps que l'altitude augmente, à raison de 0,65 °C pour 100 mètres. Au niveau du sol, on pourrait s'attendre à ce que l'air se comporte de la même façon vis-à-vis de l'altitude, mais une série de facteurs locaux viennent bouleverser un peu partout cet état de chose trop simple. Les reliefs locaux abritent certains endroits des vents, et en laissent d'autres entièrement exposés. L'air froid a tendance à s'infiltrer dans les creux du relief et l'air chaud a tendance à monter le long des élévations, inversant ainsi l'échelle des températures telle qu'on aurait pu le concevoir en raison de l'altitude. Pendant la nuit, un sol exposé à un ciel clair peut perdre par rayonnement une quantité de chaleur considérable et abaisser notablement la température de l'air à son contact si l'air est calme, produisant là encore une inversion.

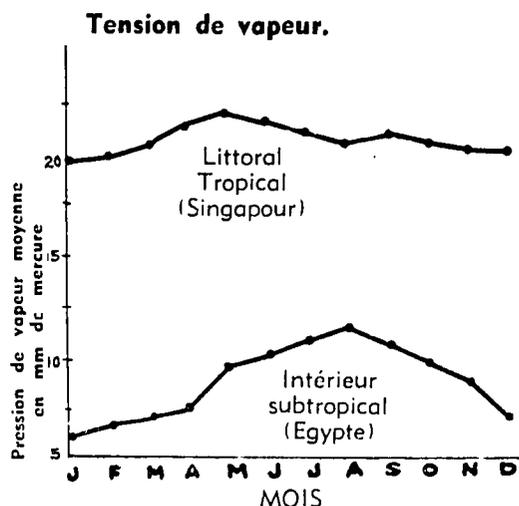
Avec ces exceptions locales, et souvent temporaires, la température de l'air diminue en fonction de l'altitude en suivant à peu près le taux indiqué. Il est remarquable qu'une bonne partie des plus hauts sommets du monde se trouvent dans les régions tropicales ou à proximité. L'équateur traverse

les Andes et les régions montagneuses d'Afrique, il passe à proximité du cœur montagneux de la Nouvelle-Guinée, avec ses sommets neigeux surprenants. Le massif de l'Himalaya et la partie sud des Montagnes Rocheuses s'étendent au nord du Tropique du Cancer. Ces reliefs élevés viennent ajouter à la variété considérable de climats que l'on rencontre entre le trentième degré latitude nord et le trentième degré latitude sud.

Puisque la température baisse quand l'altitude augmente, on croit parfois que les hautes terres tropicales sont comparables à des régions plus plates et plus éloignées de l'équateur: que le Kenya, par exemple, est comparable au littoral méditerranéen. Cela n'est pas le cas, même si les régimes des températures sont similaires; en effet, à l'équateur, la longueur des jours varie peu tout au long de l'année alors que l'on enregistre des différences prononcées aux latitudes supérieures. Cette différence dans les variations saisonnières de la longueur des jours a un effet important sur les récoltes principalement, mais elle entre aussi dans bien des considérations relatives à la construction des bâtiments.

Connaissance des conditions locales

D'après ce qui précède, il doit être facile pour celui qui s'intéresse aux phénomènes climatiques d'une région particulière d'établir un schéma de base de l'évolution de la température en étudiant chacun des facteurs à tour de rôle. Sur cette base, l'intéressé peut s'adresser au Service météorologique local pour demander des renseignements plus détaillés, principalement au sujet des perturbations temporaires.



Dans le chapitre précédent, nous avons indiqué que la tension de vapeur de l'air, c'est-à-dire pratiquement la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air, détermine la facilité avec laquelle la peau peut se débarrasser de la chaleur par évaporation; de même, la température de l'air détermine la facilité avec laquelle la peau peut se débarrasser de la chaleur par conduction. Naturellement, la tension de vapeur de l'air dépend des quantités relatives d'humidité dont il s'est chargé — généralement par évaporation de l'eau superficielle — et qu'il a perdue — généralement sous forme de précipitation. La distribution géographique de la tension de vapeur est compliquée par un facteur, souvent déterminant: à savoir que l'air ne peut se charger que d'une quantité limitée de vapeur d'eau. La quantité qu'il peut contenir est très faible aux basses températures, mais elle s'élève considérablement lorsque l'air se réchauffe. L'air chaud qui a absorbé pratiquement toute l'humidité qu'il peut contenir (c'est-à-dire proche de la saturation) doit perdre une partie de cette humidité lorsqu'il se refroidit. La vapeur d'eau excédentaire se condense alors en particules

liquides, qui forment d'abord des nuages, puis tombent en pluie (ou neige) si les particules deviennent suffisamment denses pour former des gouttes.

Les tensions de vapeur ont tendance à être *plus élevées au voisinage de l'équateur*, et à diminuer à mesure que l'on s'approche des pôles; en effet, la chaleur solaire qui fait évaporer l'eau est plus intense à proximité de l'équateur et l'air est plus chaud et par conséquent plus apte à se charger d'humidité. Elles ont tendance à être *plus élevées au-dessus de vastes étendues d'eau* qu'au-dessus de grandes étendues de terre, car, dans le premier cas, une plus grande quantité d'eau peut s'évaporer. Répétons-le, *on rencontre rarement ensemble des températures atmosphériques élevées et de hautes tensions de vapeur*. Plus la quantité de chaleur solaire servant à évaporer l'eau est importante, moins il en reste pour chauffer le sol et l'air. Au-dessus des régions montagneuses, la pression de vapeur descend si les basses températures refroidissent l'air jusqu'au point de condensation de la vapeur. Les vents se chargent de faire passer l'air d'un endroit à l'autre, ce qui s'accompagne de changements dans la pression de vapeur; ainsi, la pression de vapeur de l'air au-dessus des terres peut augmenter du fait d'un vent soufflant de la mer, tandis que les parties sous le vent des montagnes peuvent recevoir de l'air desséché en cours de route par des précipitations. La figure 5 donne une idée approximative de la distribution des tensions de vapeur dans le monde.

On pourrait se demander ce que représentent les tensions de vapeur en termes d'*humidité relative*, aussi est-il bon de fournir quelques explications sur leurs rapports mutuels.

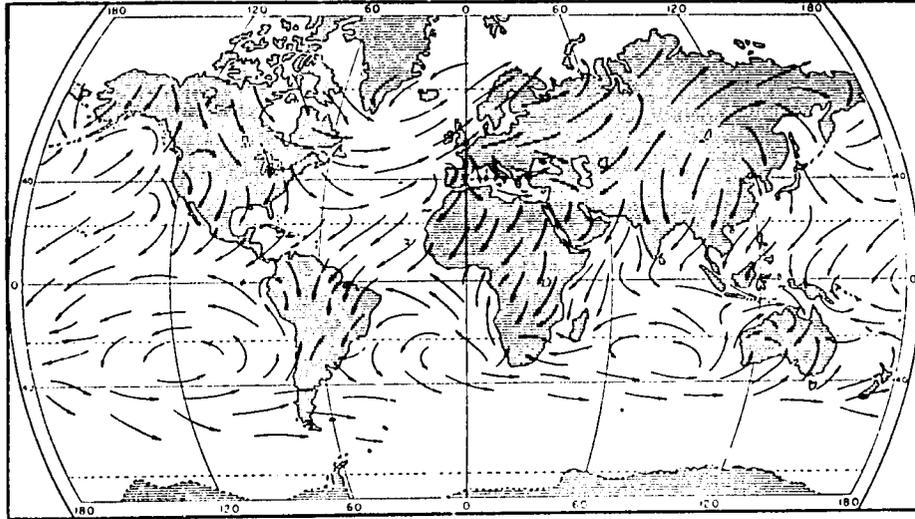


FIGURE 4 (a). — Les vents dans le monde, janvier. (Données océaniques d'après W. F. McDonald.)



FIGURE 4 (b). — Les vents dans le monde, juillet. (Données océaniques d'après W. F. McDonald.)

La tension de vapeur, avons-nous indiqué, est une mesure directe de la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air. Par contre, l'humidité relative est le rapport entre la quantité de vapeur d'eau effectivement présente dans l'air, et la quantité qui y serait contenue si l'air était saturé, à la même température. Puisque la quantité de vapeur d'eau que l'air peut contenir augmente rapidement avec sa température, l'humidité relative correspondant à une tension de vapeur donnée va varier avec la température; pour tirer l'une de l'autre, il faut connaître la température. Par exemple, une même tension de vapeur de 20 mm de mercure, correspond à une humidité relative de 100 % à 22 °C, de 50 % à 33,9 °C, et de 30 % seulement à 43,3 °C.

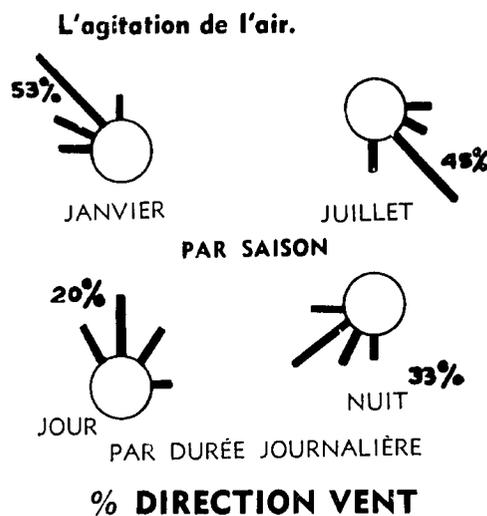
Nous avons l'habitude de définir l'humidité atmosphérique, en termes d'humidité relative, surtout parce que la teneur d'eau des matières absorbantes inanimées, comme le papier et le coton, est étroitement liée à l'humidité relative. Ces substances peuvent en effet prendre la température de l'air avec lequel elles sont en contact. Par contre, la peau et les poumons des animaux à sang chaud gardent une température plus constante et, à partir d'eux, l'évaporation intervient au sein d'une couche d'air de contact à la même température. Pour cette raison, l'humidité relative ne fournit guère d'indication sur la quantité de vapeur d'eau que l'atmosphère peut absorber à partir de la peau et des poumons, et il nous faut tout d'abord convertir l'humidité atmosphérique en tension de vapeur.

Si l'on se reporte au graphique psychrométrique de l'annexe 2 (fig. 15), on remarque que le rapport entre la température (sèche), la température du thermomètre humide, l'humidité

relative, et la tension de vapeur d'une atmosphère est tel que l'on peut calculer tous les facteurs dès que l'on en connaît deux. Ces graphiques sont précieux non seulement pour faire des conversions, mais aussi pour déterminer les variations climatiques, ou pour indiquer les rapports entre certains processus — les réactions humaines par exemple, ou la teneur en eau de la laine — et les conditions atmosphériques.

Le « point de rosée » qui apparaît maintenant de plus en plus souvent dans les tableaux météorologiques, et « l'humidité absolue » fréquemment utilisée par les ingénieurs, sont étroitement liés à la pression de vapeur. Les tensions de vapeur sont exprimées généralement en millimètres de mercure (mm/Hg), unité métrique conventionnelle pour les pressions barométriques. On peut également les exprimer en pouces de mercure (1 pouce = 25,4 mm). Les météorologistes prennent maintenant pour unité le *millibar*, un millibar étant à peu près égal à 0,75 mm de mercure.

L'étude du régime des tensions de vapeur dans une région donnée à partir de données météorologiques est assez délicate. Il faudrait connaître la moyenne des tensions de vapeur calculée pour chaque jour du mois; mais ce que l'on obtient généralement, c'est la température moyenne pour le mois et l'humidité relative moyenne. Grâce à ces deux chiffres, on peut calculer une tension de vapeur moyenne suivant le graphique psychrométrique qui s'écartera de 1 ou 2 mm de la tension de vapeur moyenne réelle. Si l'on peut obtenir des chiffres quotidiens auprès des services météorologiques, la validité du résultat mérite bien que l'on prenne la peine de refaire les calculs.



Les caractéristiques des vents — fréquence de la force et de la direction — présentent de l'importance du point de vue mécanique pour le planificateur, l'architecte et l'entrepreneur qui doivent construire un ouvrage capable de résister à ces contraintes. Le régime des vents permet également d'utiliser au mieux ceux-ci pour assurer la ventilation et la circulation interne de l'air; nous avons déjà dit quelques mots plus haut sur le régime des vents.

Au voisinage de l'équateur et débordant légèrement vers le nord, se trouve la zone des calmes équatoriaux appelée le « pot au noir ». Dans cette zone, l'agitation de l'air est pratiquement nulle à moins qu'elle ne provienne de la topographie locale, de montagnes abruptes surgissant au milieu d'une plaine par exemple; la pluie tombe verticalement. Au nord et au sud du « pot au noir », on rencontre les deux ceintures des *alizés* où le vent souffle en permanence, spécialement au-dessus des océans, à des vitesses moyennes de 16 à 32 km/h suivant la saison. Dans l'hémisphère Nord, les alizés soufflent du nord-est et dans l'hémisphère Sud, du sud-est.

Au-dessus des continents, en été, ces alizés sont généralement remplacés par des vents soufflant de différentes directions vers le centre du continent. En progressant vers le pôle, après la zone des alizés, on rencontre la zone des vents d'ouest, entre le 40° et 50° degré de latitude.

Pour l'individu, et dans une très large part pour sa maison, c'est la topographie locale qui détermine souvent le régime des vents. Les vents ont tendance à suivre l'axe des vallées; les reliefs qui font obstacle aux vents donnent naissance à des courants ascendants du côté au vent, ils renversent les remous de courant au-dessus de la crête sur la partie sous le vent et, si la pente est forte, ils abritent la base de la partie sous le vent. D'après Brooks (1), la vitesse du vent commence à diminuer du côté au vent d'un simple brise-vent à une distance égale à six fois environ la hauteur de l'obstacle. La vitesse la plus faible (15 à 40 % du vent libre) se rencontre du côté sous le vent à une distance moyenne égale à trois ou quatre fois la hauteur de l'obstacle; le vent récupère 75 à 80 % de sa vitesse entière à une distance représentant six à douze fois la hauteur de l'obstacle.

L'énergie rayonnante.

Le rayonnement solaire direct

A partir de ce qui précède sur la température de l'air et si l'on se reporte aux figures de l'annexe 3 relatives à l'incidence du rayonnement solaire sur des surfaces variées pendant les différentes saisons et à des latitudes différentes, on peut déduire les généralités suivantes :

(1) BROOKS, C.E.P. *Climate in Everyday Life*. Philosophical Library, New York, 1951. pp. 270 à 272.

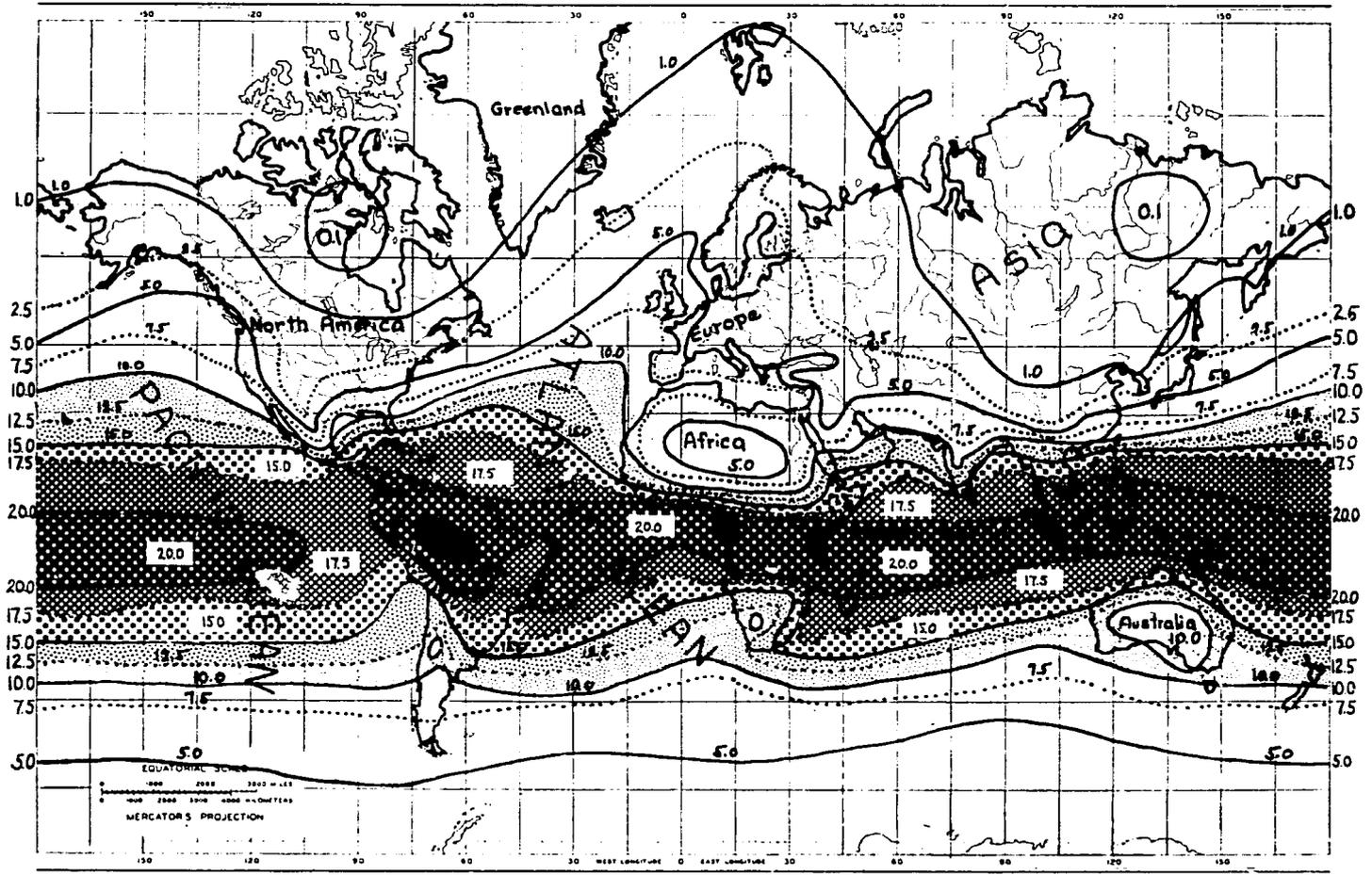
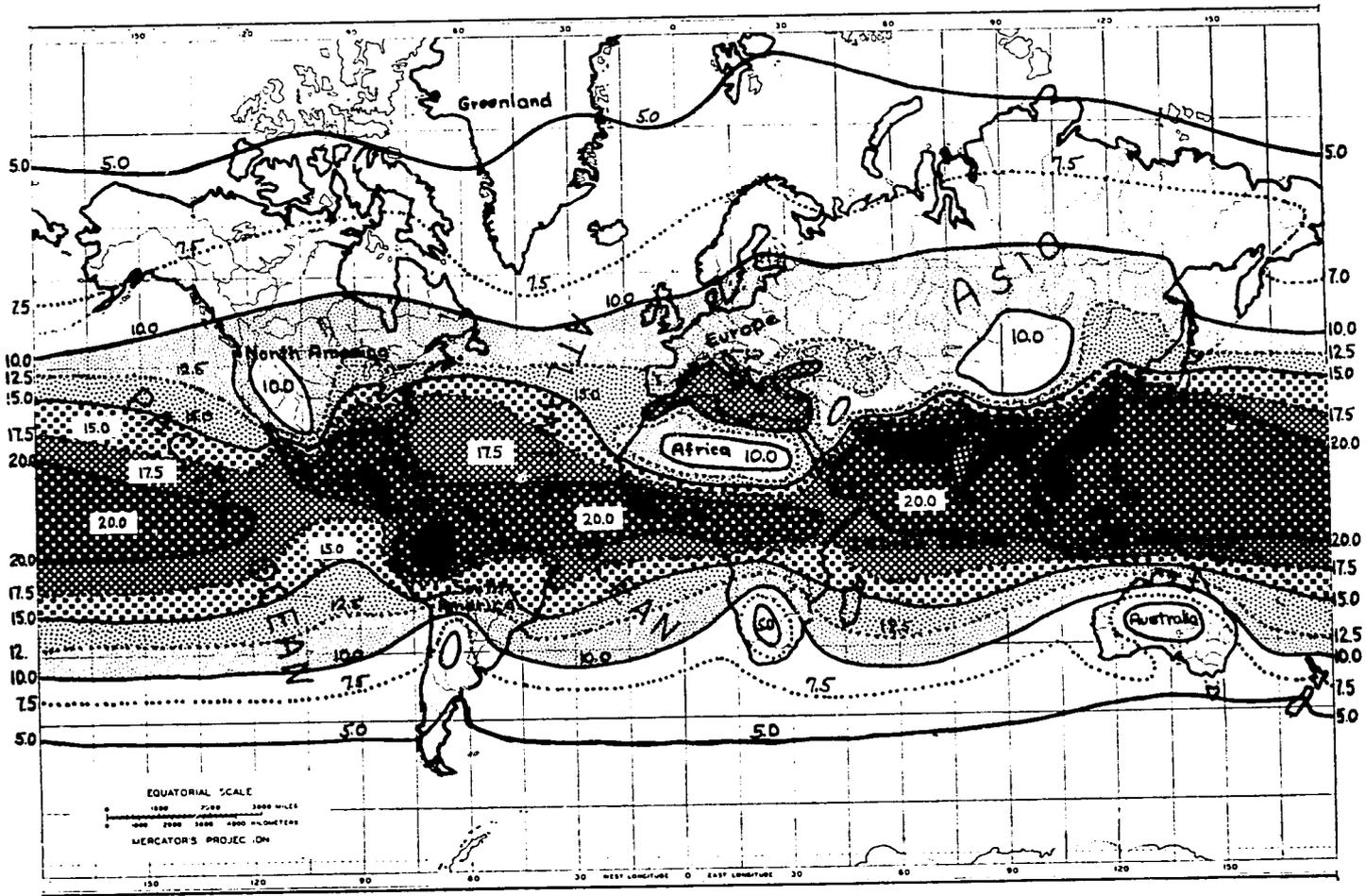
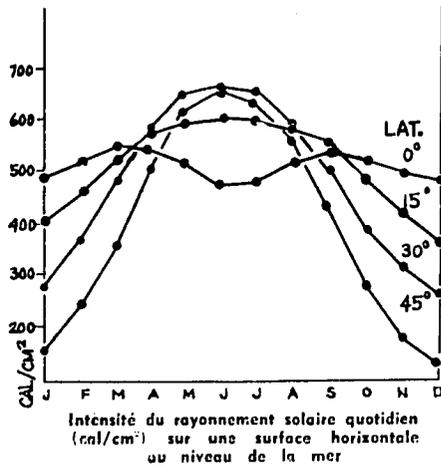


Figure 5. — Distribution des tensions de vapeur (mm) : (a) en janvier, (b) en juillet (d'après Szaeva-Kovai). Noter le déplacement vers le sud de la zone de tensions de vapeurs intermédiaires en janvier, et son déplacement vers le nord en juillet. Noter également la sécheresse relative au-dessus des masses continentales et l'influence de la Méditerranée en juillet.





a) On obtient une incidence maximale de rayonnement solaire sur une surface horizontale d'environ 145 langley/min (870 Kcal/m²/h, soit 320 B.t.u./pied²/h) par une belle journée lorsque le soleil est à peu près au zénith, c'est-à-dire n'importe où entre le 30° degré latitude Nord et le 30° degré latitude Sud, à midi, pendant la saison appropriée.

b) On rencontre le maximum d'incidence totale pour toute l'année dans les endroits présentant un ciel clair aux environs du 15° degré latitude Nord ou Sud.

c) On rencontre le maximum d'incidence totale pour une journée de plein été dans les lieux présentant un ciel clair aux environs du 40° degré Nord ou Sud.

d) Plus la nébulosité d'une région est grande, plus l'incidence du rayonnement au niveau de la surface de la terre est faible. (Le régime des pluies peut servir de guide, sans garantie d'infailibilité, dans les prévisions relatives à la nébulosité.)

e) La présence de poussières en quantités importantes, dans une région, réduit quelque peu l'effet du rayonnement.

Le rayonnement solaire réfléchi par les nuages, etc.

Les régions dont le ciel est fréquemment parsemé de cumulus de densité moyenne (la côte de La Louisiane en U.S.A., par exemple), peuvent recevoir une quantité beaucoup plus importante de rayons sur une surface horizontale que les régions dont les cieux sont tout à fait clairs (l'Arizona par exemple), par suite de la réflexion par les nuages sans interférence compensatrice avec le rayonnement direct.

Le rayonnement solaire réfléchi par le terrain

Si l'on consulte le tableau 4, on voit que le pourcentage de rayonnement solaire incident réfléchi par le terrain varie de 7 % pour les arbres au feuillage sombre, à 42 % pour les plans salins. Le sable de corail blanc peut donner une réflexion encore plus élevée. Puisqu'une surface verticale reçoit moitié de l'intensité du rayonnement solaire incident, ce rayonnement solaire réfléchi peut constituer une contrainte importante pour l'homme ou la construction ainsi exposée. Etant donné que l'on rencontre à la fois un rayonnement solaire intense et un pouvoir réfléchissant élevé du terrain dans les régions arides des continents de latitude moyenne, ces conditions sont le corollaire évident des climats chauds et secs. Dans les milieux chauds et humides, le rayonnement solaire incident et le pouvoir réfléchissant du terrain se trouvent réduits.

Les températures au sol et le rayonnement thermique

Dans les milieux chauds et humides, les températures à la surface du sol diffèrent très peu de celles de l'air. Par contre, dans les milieux secs et

chauds, les températures à la surface du sol peuvent atteindre 70 °C et même plus; ainsi, près de Yuma, dans la région aride au sud-est des Etats-Unis, la moyenne des températures du sol varie pendant les beaux jours d'été entre 45 °C (la température de l'air étant de 36 °C) à 62 °C (la température atteignant 46 °C), suivant les heures du jour (1). Dans de telles conditions, toutes surfaces exposées à un échange thermique par rayonnement avec le sol acquiert une quantité appréciable de chaleur.

TABLEAU 4
Pourcentage
de rayonnement solaire incident
réfléchi de façon diffuse (1)

NATURE DE LA SURFACI	ESTIMATION DU % RÉFLÉCHI
Sol nu, sec	10-25
Sol nu, humide	8-9
Sable, sec	18-30
Sable, humide	9-18
Marne noire, sèche	14
Marne noire, humide	8
Roche	12-15
Herbe sèche	32
Prés verts	3-15
Feuilles vertes	25-32
Fourrés sombres	5
Déserts	24-28
Banes de sel	42
Briques, suivant couleur	23-48
Asphalte	15
Zone urbaine	10

(1) Données recueillies par les observateurs du U.S. Quartermaster Corps.

(1) Données tirées en majeure partie de *Handbook of Chemistry and Physics*, Chemical Rubber Publishing Co., Cleveland 1949, pp. 2294 à 2296 et tables météorologiques smithsoniennes, Institution smithsonienne, 1951, pp. 442, 443.

Température du ciel et rayonnement thermique

L'écran atmosphérique interposé entre la surface de la terre et l'espace froid se comporte comme s'il avait une certaine température, absorbant le rayonnement thermique des objets plus chauds et, à l'occasion, envoyant un rayonnement thermique sur les objets plus froids situés en dessous de lui. (Voir chapitre premier.) Dans les milieux chauds et humides, cette température du ciel ne diffère pas beaucoup de celle de l'air à proximité de la surface de la terre. Toutefois, lorsque l'atmosphère est sèche, les températures du « ciel » peuvent être notablement plus froides, en particulier si l'air comporte relativement peu de poussière, et elles permettent la déperdition d'une quantité importante de chaleur en direction du ciel par rayonnement. Les valeurs diurnes de la température moyenne du ciel mesurées dans la région aride du sud-ouest des Etats-Unis (1), à la même heure que les températures de la surface du sol mentionnées précédemment, varient entre 26,7 °C et 41,7 °C. Dans les endroits où la tension de vapeur est plus basse, la température du ciel est certainement plus basse. Le tableau 5 indique les températures du ciel récemment mesurées pendant la nuit près de Yuma (Arizona). On a trouvé des chiffres plus bas (4,4 °C) pour le ciel au zénith de la Vallée de la Mort (Californie) où les tensions de vapeurs sont plus faibles (1).

(1) Données recueillies par les observateurs du U.S. Quartermaster Corps.

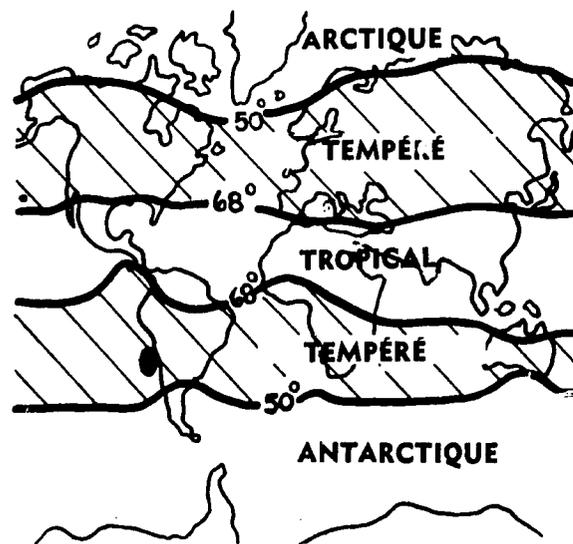
TABLEAU 5

Températures du ciel (en °C)
mesurées pendant une nuit d'été près de Yuma, Arizona (1)

Angle au-dessus de l'horizon (°)	21 h	22 h	23 h	24 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h
0	31,1	29,4	27,8	27,8	27,8	26,1	25,6	25,6	24,4	26,1
10	28,9	27,8	26,7	26,7	25,6	25	23,3	23,3	22,8	24,4
20	27,8	26,1	24,4	24,4	24,4	22,8	22,2	21,1	21,7	22,2
30	25,6	23,9	22,2	22,2	22,2	21,1	20,6	19,4	18,9	20
40	23,9	21,7	20	21,1	20	18,3	17,8	17,2	17,2	18,3
50	22,8	20,6	17,8	19,4	18,9	17,2	17,2	15,6	16,1	17,2
60	22,2	20	17,8	18,3	17,8	16,7	16,1	15	13,9	15,6
70	21,1	18,9	17,8	18,3	17,2	16,7	15,6	15	13,3	14,4
80	19,4	17,8	17,2	17,8	16,1	16,1	15	13,9	12,8	13,9
90	17,8	17,8	17,2	17,8	16,1	16,1	13,9	13,9	12,8	13,9
Température de l'air	32,8	30	27,8	28,9	27,8	27,2	26,1	26,1	24,4	26,1

(1) Tension de vapeur 15 mm de mercure. A 18 heures, une tempête de poussière a laissé quelques fines particules en suspension dans l'air, mais la nuit était claire.

Classification des climats.



Par « climat » d'une région, on entend en réalité l'évolution générale ou l'état du temps dans cette région. Alors que les différences de temps sont bien nettes, il n'est pas toujours facile d'établir un classement des climats en raison du nombre et de la

complexité des facteurs qu'ils font intervenir. A quelques exceptions près, les climats de régions voisines passent insensiblement d'une catégorie dans l'autre. En raison de la nature graduelle de ces transitions et aussi de la variété des réactions humaines à la

contrainte du climat, les physiologistes n'aiment guère diviser les climats en catégories arbitraires. Toutefois, bien des activités de l'homme réclament un certain classement pratique des climats, ne serait-ce que pour indiquer les conditions générales dans lesquelles ils risquent de se trouver.

Pour faciliter certaines activités pratiques, la construction par exemple, il est admissible de diviser les innombrables climats du monde en un nombre limité de catégories; celui qui procède à cette répartition comme celui qui s'y réfère ne doivent cependant pas oublier les *limitations d'un tel classement*. Lorsque l'on trace une ligne de séparation, l'un veut la déplacer vers le nord, l'autre vers le sud. Si l'on prend comme point de départ 30°, il se trouvera toujours quelqu'un pour demander : « Et pourquoi pas 29° ou 40° ? » En outre, les données sur lesquelles s'appuient ces divisions ne sont pas toujours très sûres. Au mieux elles représentent les conditions existant en certains points occupés par les stations d'observation, lesquels points présentent une extrême variété : sommets de bâtiments, rues des villes, aéroports situés à plusieurs kilomètres de la ville dont ils portent le nom, oasis dans le désert, roches nues. Là encore, la plupart des chiffres connus portent sur des valeurs moyennes et ne donnent pratiquement pas d'indications sur l'amplitude des variations. Si l'on dit que la température moyenne d'un endroit donnée est de 25 °C pour le mois de juillet, on ne saura pas si pendant un ou deux jours la température a atteint 35° ou, au contraire, elle n'a jamais dépassé 30°. Naturellement, les indigènes se souviennent des journées exceptionnelles et sont portés à protester contre une moyenne qui ne

donne pas une idée exacte de ce qu'ils ont dû supporter.

Le cartographe, lui, doit bien travailler avec les chiffres qu'on lui donne. Le produit de son travail ne représente pas la vérité absolue mais l'approche la plus voisine de la vérité vu les éléments d'information dont on dispose. La seule vertu réelle en est l'utilité.

Dans le chapitre précédent, nous avons signalé que c'est l'effet conjoint des éléments climatiques — température, humidité, agitation de l'air, rayonnement — qui est important pour l'homme. Il serait donc parfaitement raisonnable de s'attendre à ce que la classification des climats prenne en considération les quatre éléments. Jusqu'à présent, en pratique, il n'a pas été possible de tenir compte de plus de deux éléments : température et humidité. Les conditions réelles du rayonnement dans les différentes parties du monde ne sont pas encore suffisamment connues pour que l'on puisse inclure ce facteur. Pour ce qui est de l'agitation de l'air, il y a une telle variété dans l'emplacement exact, les dimensions et l'orientation d'un objet donné ou d'un homme, que l'on ne peut donner de chiffre significatif pouvant figurer dans une classification des climats. Tout ce que l'on peut faire c'est :

a) Indiquer la fréquence générale de la répartition des vents (figure 5); et

b) Indiquer la mesure dans laquelle le jeu des conditions climatiques de base, dans l'hypothèse d'une agitation de l'air déterminée, se trouverait modifiée par d'autres mouvements d'air éventuels.

Dans la présente brochure, on trouvera trois cartes (figure 6) s'efforçant de classer les climats du monde en fonction de leur « caractère tropical ».

Ce classement part des températures et tensions de vapeur dominantes pendant les mois de janvier et de juillet. Voici à quoi correspondent les appellations :

Températures moyennes

Plus de 30 °C	Très chaud
20 à 30 °C	Chaud
10 à 20 °C	Tempéré
Au-dessous de 10 °C ..	Frais

Tension de vapeur moyenne

Au-dessus de 15 mm de mercure	Humide
Au-dessous de 15 mm de mercure	Sec

Une fois que l'on a tracé les lignes délimitant les différentes zones de température et de pression de vapeur, pour janvier et juillet, la carte du monde se trouve découpée en un grand nombre de secteurs dont chacun est défini par quatre caractéristiques :

Température « été » : très chaud, chaud ou tempéré.

Tension de vapeur « été » : humide ou sec.

Température « hiver » : chaud, tempéré ou frais.

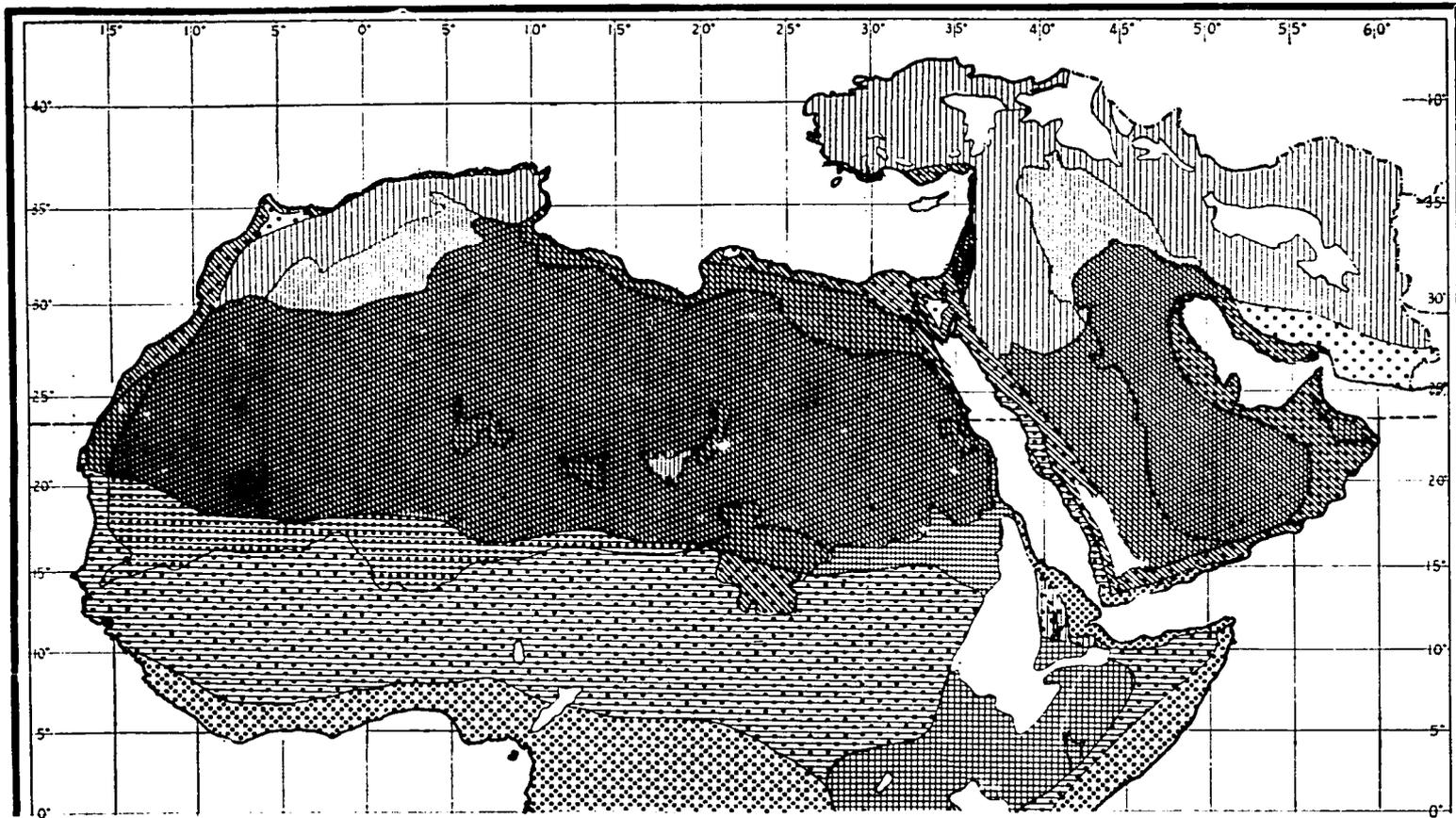
Tension de vapeur « hiver » : humide ou sec.

Ces quatre caractéristiques sont indiquées grâce à des hachures différentes dont la signification est donnée dans la légende de chaque carte. (Les régions tempérées et froides présentent rarement des tensions de vapeur supérieures à 15 mm de mercure, aussi n'ont-elles pas fait l'objet d'une subdivision en fonction de la tension de vapeur.)

Les limites de températures utilisées ici sont celles adoptées par le United States Quartermaster Corps dont nous nous sommes inspirés largement pour ces cartes. La tension de vapeur de 15 mm de mercure est une limite arbitraire qui peut parfois donner une idée exagérée de l'humidité de certains endroits. Cependant on estime qu'une tension de vapeur d'une valeur moyenne de 15 mm de mercure prend une signification physiologique bien définie si elle porte sur un nombre important de jours. Cette opinion s'est trouvée confirmée par les expériences récentes près de Yuma dans ce que l'on considère normalement comme un désert très chaud et sec.

Nous supposons que les intéressés vont se pencher sur une partie bien déterminée de la carte et procéder à leur propre interprétation. Nous ne nous livrerons pas ici à un examen détaillé des cartes. Signalons toutefois qu'elles révèlent la présence de milieux très chauds bien au-delà de ce que l'on considère normalement comme les « tropiques ». En réalité, les *régions présentant une température élevée se situent surtout en dehors* de la zone comprise entre le tropique du Capricorne et le tropique du Cancer. La plupart de ces régions chaudes sont sèches, mais certaines (la région du golfe Persique, par exemple), se chargent de grande quantité d'humidité tirée, entre autres, des mers voisines. Par contre, les *tropiques géographiques présentent parfois des températures moins élevées mais une humidité plus forte.* (Voir également « la température de l'air ».)

Un autre point de grande importance apparaît à l'observation, même la plus superficielle : la futilité de toute tentative de diviser par quelques coups de crayon, la carte du monde en larges zones de climats uniformes.



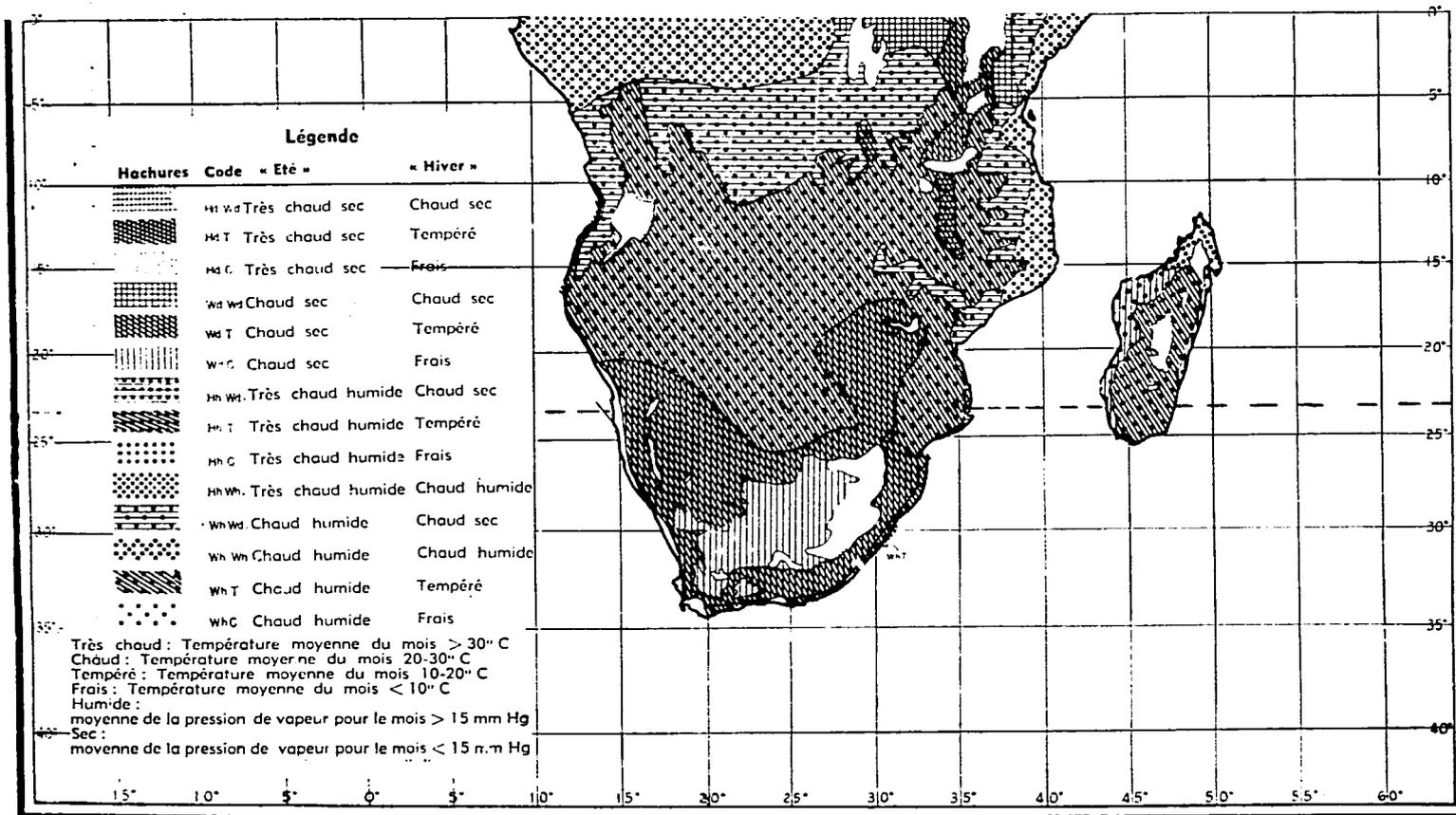
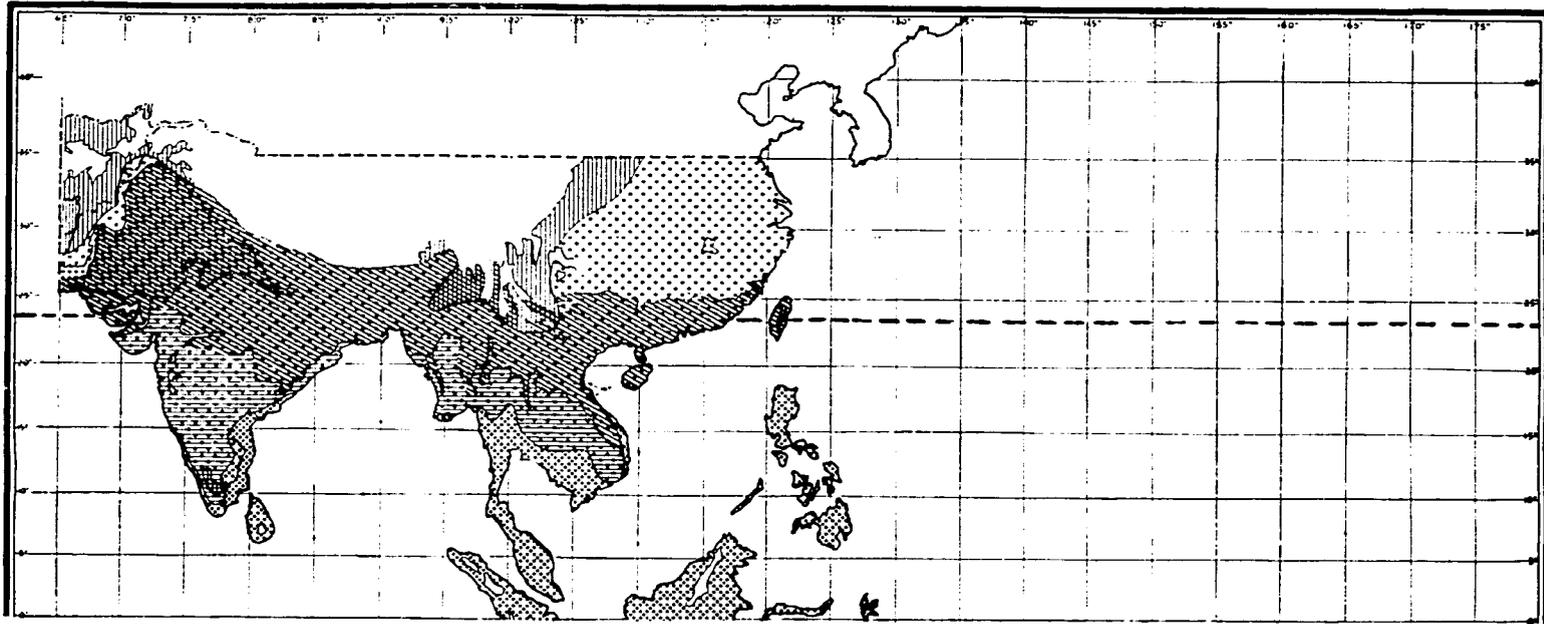


FIGURE 6 (a). — Principaux types de climats en Afrique et en Arabie.



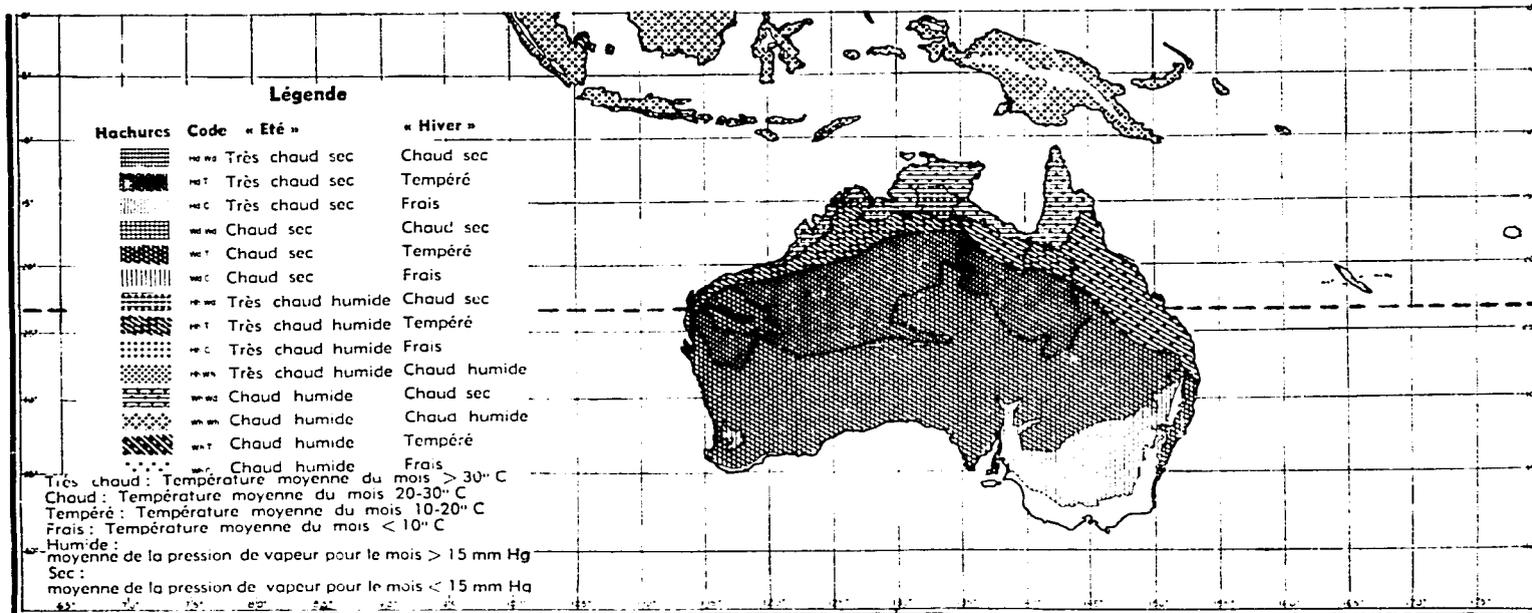
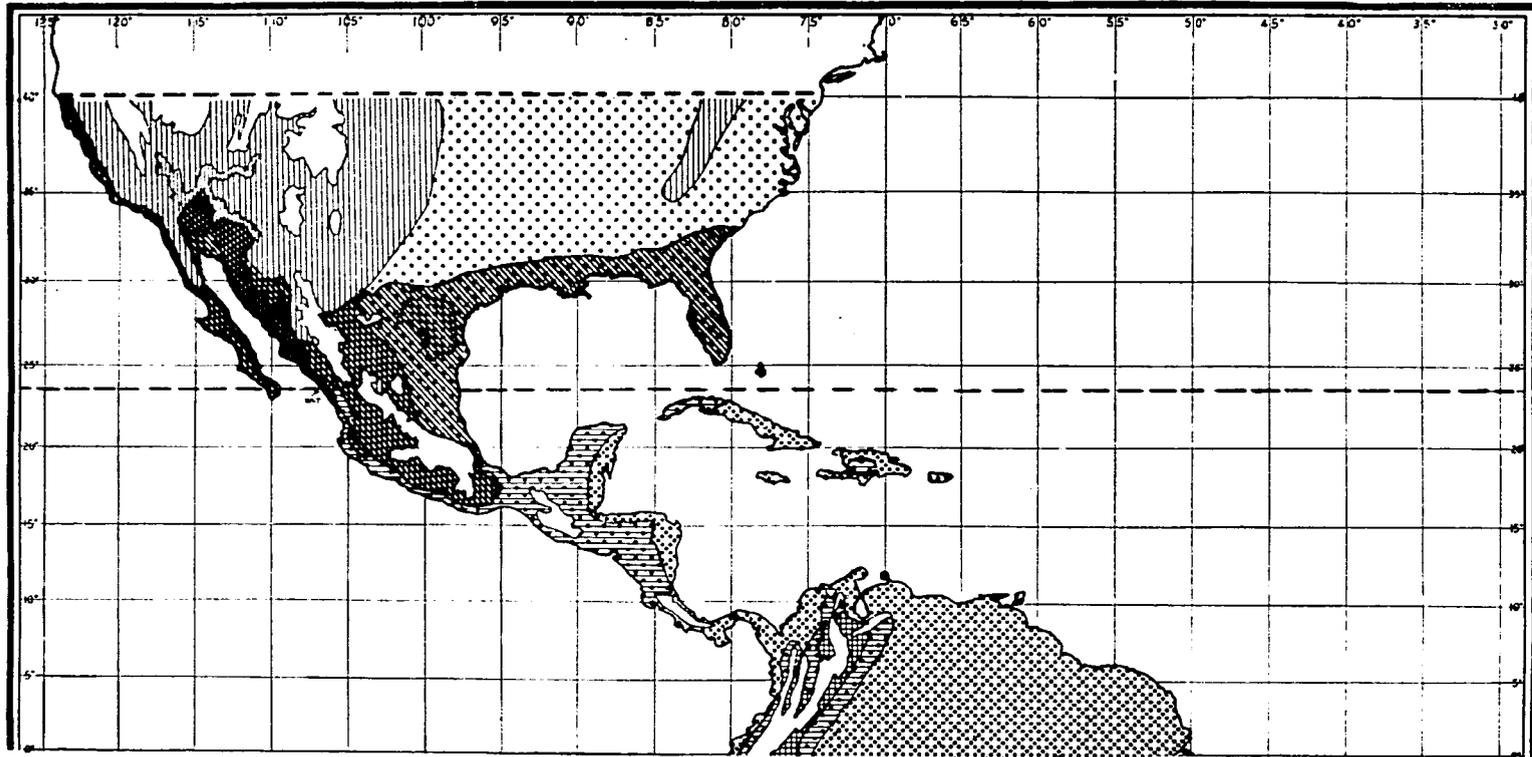


FIGURE 6 (b). — Principaux types de climats au Sud-Est Asiatique et en Australie.



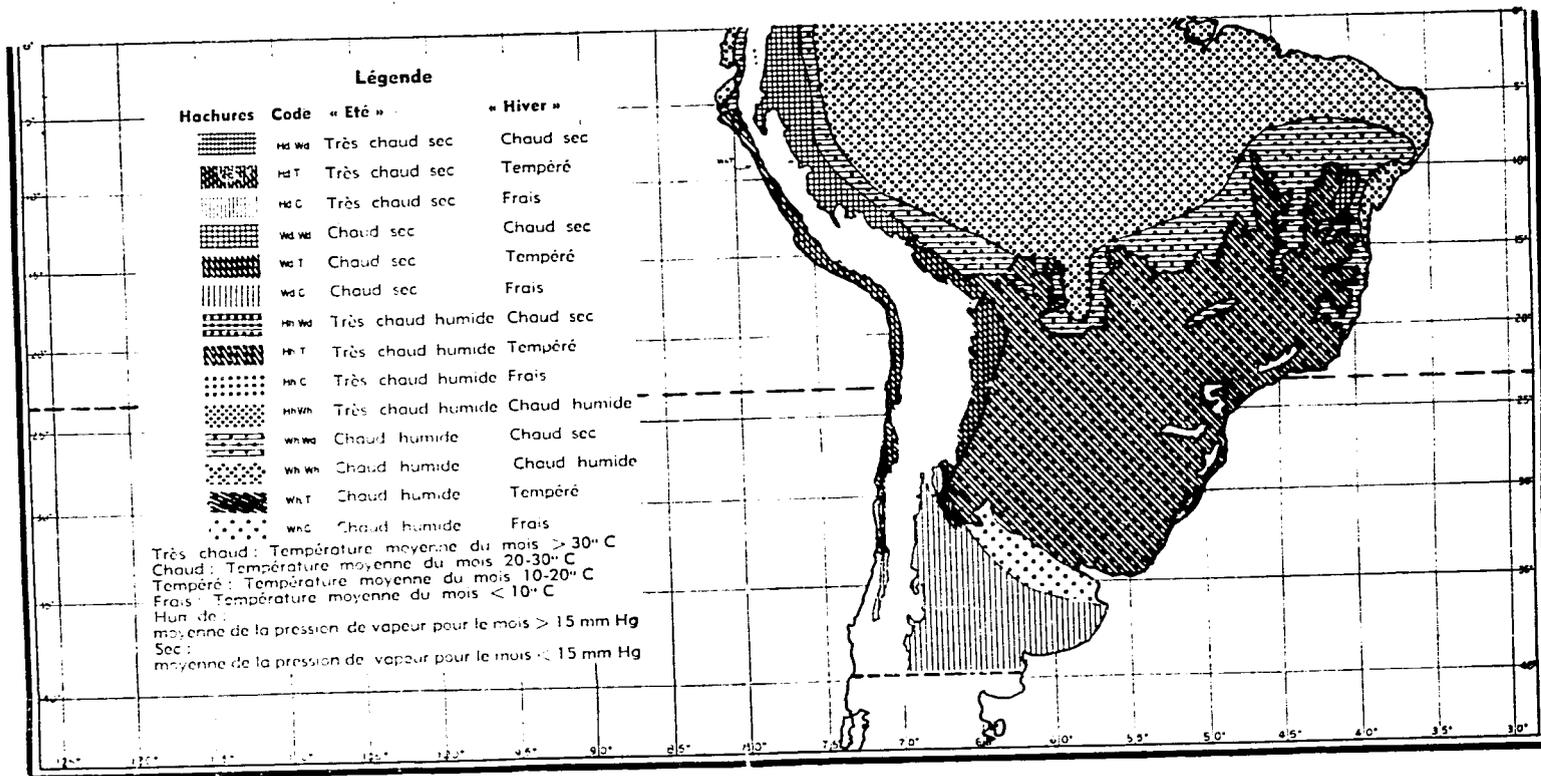


FIGURE 6 (c). -- Principaux types de climats en Amérique.

Ainsi, la division simple en cinq zones suivant les lignes de Supan, telle que la représente la petite carte, est parfaitement inadéquate. Si nous suivons la ligne de l'équateur qui traverse l'Afrique d'est en ouest, nous rencontrons successivement un climat perpétuellement chaud et humide, un climat chaud et humide-chaud et sec, un climat perpétuellement chaud et sec, un

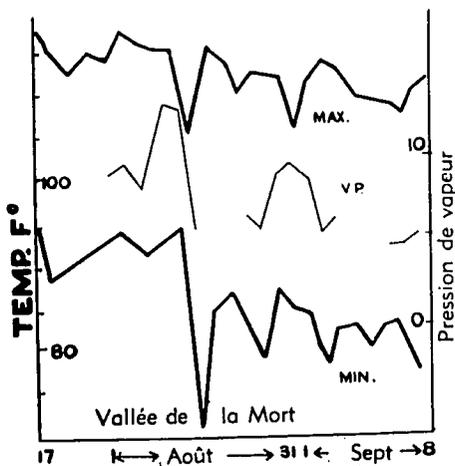
climat chaud et sec-tempéré, et un climat perpétuellement tempéré; puis nous retombons dans des zones intermédiaires pour aboutir enfin à un climat perpétuellement chaud et humide. Cela pourra surprendre ceux qui ne connaissent pas les régions « tropicales ». Cependant, je puis apaiser les doutes et confirmer que ces variations correspondent bien à la réalité.

L'HABITAT, PROTECTION CONTRE LES CONDITIONS CLIMATIQUES DANS LES MILIEUX CHAUDS ET HUMIDES

A partir des considérations précédentes sur les effets des milieux chauds et très chauds sur l'homme, et sur la nature générale des climats chauds proprement dits, il est possible d'élaborer des principes systématiques, auxquels se référer pour la construction des maisons dans de telles conditions. Dans le chapitre précédent, les termes « chauds et secs » et « chauds et humides » ont servi à désigner des circonstances assez différentes. Nous avons vu que, bien entendu, les conditions réelles ne rentrent pas toujours exactement dans l'une ou l'autre de ces deux catégories, mais cette distinction se reproduit avec suffisamment de régularité pour qu'on puisse l'utiliser à des fins de classement général. Nous avons encore une autre bonne raison d'établir cette distinction ici, car les différences essentielles qui caractérisent la température et la tension de vapeur dans ces deux types de milieux, requièrent des efforts et des méthodes de protection très différents. Dans ce chapitre, nous allons étudier en détail la situation créée par un milieu chaud et sec.

Dans le chapitre suivant, nous étudierons le cas des milieux chauds et humides, sans avoir besoin, cette fois, de nous arrêter à des détails si nombreux.

Nature des milieux chauds et secs.



Comme leur nom l'indique, ces milieux ambiants sont caractérisés par une température élevée de l'air (supérieure souvent à la température de la peau), par un air sec et par un sol sec. Dans ces conditions, les nuages sont rares et il y a peu de vapeur humide dans l'air pour faire écran aux rayons du soleil, de sorte que l'intensité du rayonnement solaire direct se trouve renforcé, portant le sol à un degré de chaleur et de sécheresse encore plus accentué, augmentant la température déjà élevée de l'air et sa sécheresse jusqu'à ce qu'un peu de froid ou d'air humide arrive d'ailleurs

pour briser ce cercle vicieux. La sécheresse du sol ne favorise guère la végétation, aussi le sol sec et nu reflète-t-il le rayonnement solaire, augmentant ainsi la force du rayonnement sur toute surface exposée aux rayons réfléchis. Dans cette situation : *température élevée de l'air, rayonnement solaire direct intense, et réflexion intense du rayonnement solaire par le sol*, on ne peut guère trouver que deux consolations : 1° l'air est sec (de façon absolue et relative) ce qui facilite l'évaporation éventuelle; 2° le ciel est clair, ce qui permet de renvoyer par rayonnement une quantité importante de chaleur vers l'espace (voir chapitre premier). Si, pour une raison quelconque l'une de ces conditions vient à disparaître, soit du fait de l'arrivée d'une masse d'air humide venant de l'extérieur sans qu'il se forme de

nuages, soit par la présence de parois montagneuses formant caches, la situation devient littéralement intolérable.

La figure 7 et le tableau 6 schématisent l'effet d'un milieu chaud et sec pour un homme non protégé; la distribution géographique de ces milieux ambiants est indiqué par les cartes de la figure 6.

Dans le premier chapitre, nous avons vu que la thermorégulation de l'organisme implique quatre types de processus : (1) production de chaleur par le corps; (2) échanges thermiques avec le milieu ambiant par rayonnement; (3) échange thermique par conduction; (4) perte de chaleur par évaporation. Il est à la fois logique et pratique de suivre le même plan général pour dégager les principes de protection contre les milieux chauds et

TABLEAU 6
Caractéristiques importantes des milieux ambiants chauds et secs

CARACTÉRISTIQUES	AMPLEUR	EFFET SUR LA THERMORÉGULATION
Rayonnement solaire direct	Elevé, peu d'ombre naturelle	Accroissement <i>marqué</i> des gains de chaleur.
Rayonnement solaire réfléchi par les nuages, etc.	Modéré	Léger accroissement des gains de chaleur.
Rayonnement solaire réfléchi par le sol, etc.	Elevé à modéré	Accroissement <i>marqué</i> à modéré au gain de chaleur.
Echange thermique par rayonnement avec le sol, etc.	Modéré pour le corps	Accroissement <i>léger</i> des gains de chaleur.
Pertes thermiques par rayonnement vers le sol	Modéré	Accroissement <i>modéré</i> des pertes de chaleur.
Température de l'air	Souvent supérieure à la température de la peau	Représente éventuellement un accroissement <i>modéré</i> des gains de chaleur.
Tension de vapeur de l'air	Généralement faible	<i>Important</i> véhicule des pertes de chaleur essentiel pour rétablir l'équilibre.
Agitation de l'air	Variable, souvent élevée	Provoque une <i>perte</i> de chaleur quand la pression de vapeur est élevée, mais un <i>gain</i> lorsque la température est très élevée.

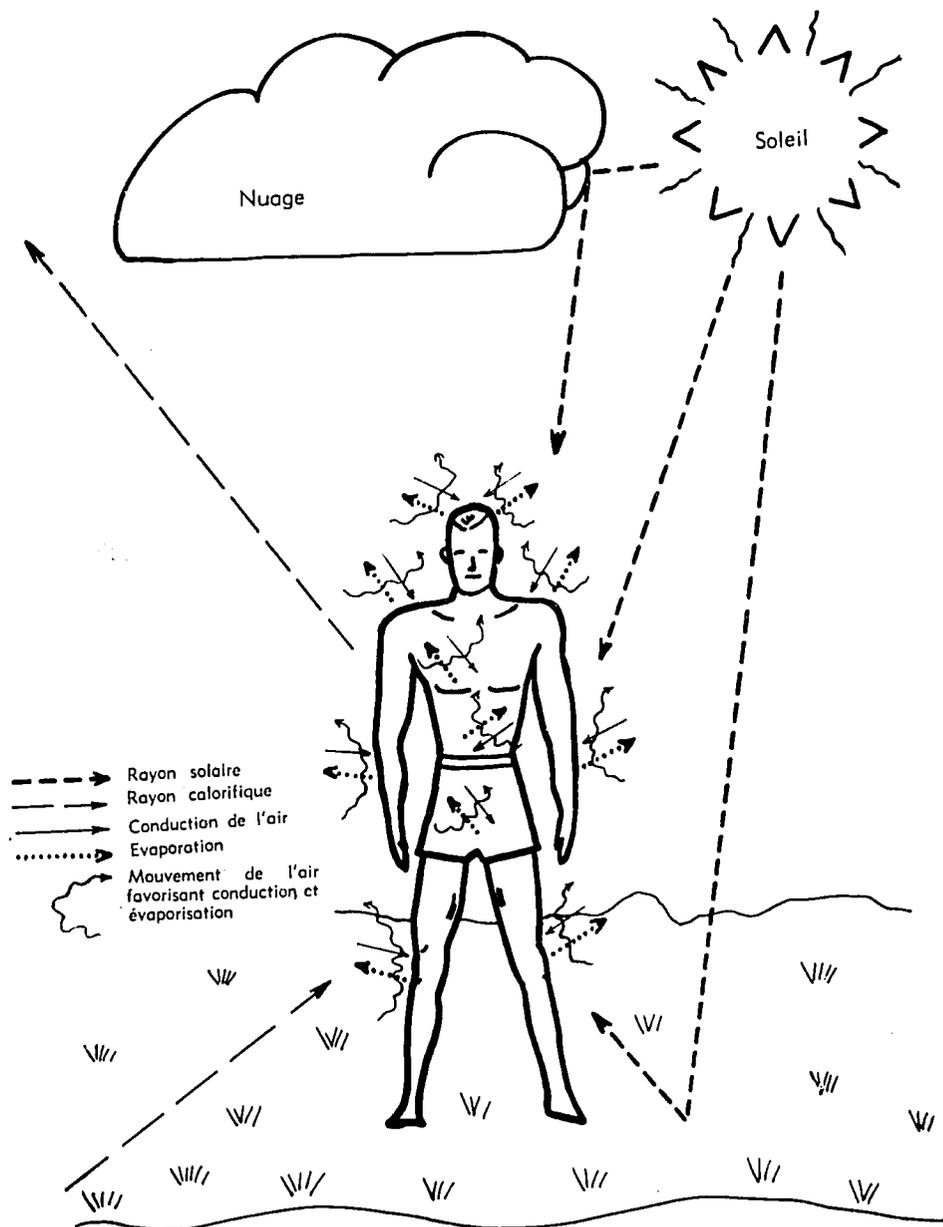
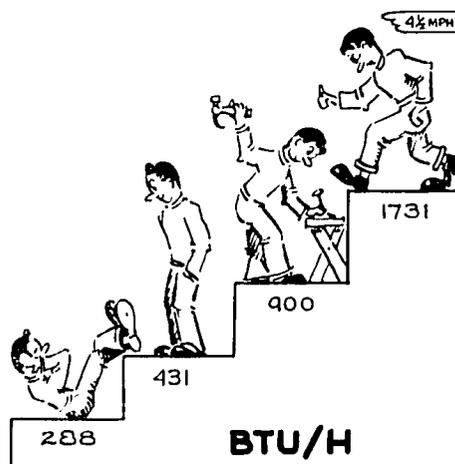


FIGURE 7. — Echanges thermiques dans un milieu chaud et sec, noter l'importance de l'incidence des rayons solaires, le gain de chaleur provenant du rayonnement infrarouge, ondes longues, émanant du sol chaud et la perte d'infrarouge vers le ciel dégagé. Une certaine quantité de chaleur est gagnée par conduction mais l'essentiel est perdu par évaporation; l'agitation de l'air accélère quelque peu ces deux procédés.

secs, à partir des caractéristiques connues desdits milieux. Il s'agit, en fait, de trouver différentes façons d'aider l'organisme humain qui a du mal à maintenir son équilibre thermique, à réduire ses gains de chaleur et à augmenter ses pertes grâce à l'habitation. Il n'est donc pas nécessaire d'étudier l'effet propre de chaque opération sur le confort de l'individu. Dans la plupart des cas, l'efficacité d'une opération est évaluée en fonction de l'amélioration qu'elle apporte dans les conditions atmosphériques intérieures, et à travers elles dans l'équilibre thermique de l'organisme.

Principes régissant la réduction de la production de chaleur du corps humain.



Les civilisations « occidentales » se sont beaucoup préoccupées des moyens permettant de faciliter le travail de la main-d'œuvre. C'est là un objectif respectable, mais les méthodes employées ont trop souvent tourné au culte du « truc » et l'on a

souvent confondu l'effet facile et le résultat réel. Il est effectivement souhaitable que l'on réduise les travaux inutiles et la production de chaleur qu'ils entraînent dans les pays chauds, mais il serait ridicule, pour ne pas dire plus, d'identifier l'économie de travail dans beaucoup de ces régions avec l'adoption systématique de l'équipement occidental. Il faut commencer par revenir aux principes de base de l'organisation rationnelle du travail et appliquer ces principes aux situations que l'on rencontre effectivement dans ces régions. L'un des principes de base est une disposition pratique; l'architecte peut appliquer ce principe sans faire appel — ou peu — à un équipement spécial. Les méthodes n'ont rien de révolutionnaires, elles sont bien connues et souvent invoquées pour la construction dans les climats tempérés; cependant, elles sont relativement plus importantes dans les milieux chauds. *Accessibilité de l'eau, du combustible et des réserves d'aliments au point d'utilisation; accessibilité et construction hygiénique de lieux de dépôts des ordures; surfaces faciles à nettoyer; réduction au minimum des escaliers; protection du sol*, voici des exemples familiers que l'on peut appliquer directement aux constructions les plus modestes. Les avantages physiologiques de l'organisation rationnelle du travail sont moins orientés vers la limitation de la production de chaleur d'un individu que vers la réduction du nombre d'individus occupés. On a généralement accordé moins d'importance à cette dernière considération dans les pays chauds que dans les pays occidentaux tempérés, mais, avec l'évolution de la situation sociale et les progrès de l'industrialisation, il se pourrait que l'on s'intéresse davantage à l'individu.

**Principes
tendant à réduire les gains
et à augmenter
les pertes de chaleur de l'organisme
par rayonnement.**

Le tableau 6 indique clairement que l'une des fonctions de protection les plus importantes d'une maison dans un milieu chaud et sec est d'abriter l'occupant du rayonnement venant de l'extérieur. Cependant, l'érection d'un écran entraîne parfois des complications que l'on n'avait pas toujours prévues. L'une de ces complications est que l'écran finit par s'échauffer et qu'une partie de cette chaleur est transmise à l'intérieur. Si l'espace au-dessous est bien ventilé, cela n'a guère d'importance; mais si la ventilation est insuffisante, la chaleur transmise s'accumule, annulant ainsi une bonne partie de l'utilité de l'écran. A cet égard, signalons qu'un certain nombre d'autres circonstances — en particulier la réflexion et l'émission d'un rayonnement à partir du sol environnant, l'air chaud ambiant — obligent souvent à fermer les ouvertures des bâtiments, dans les climats chauds et secs, la limiter ou contrôler soigneusement la ventilation. Dans de telles circonstances, il est essentiel de veiller : (1) à ce que l'écran proprement dit soit le moins possible exposé aux rayonnements; (2) à ce qu'il passe aussi peu de chaleur que possible à l'intérieur. Aussi, est-il bon de savoir qu'il existe une série de principes se rapportant à la protection contre le rayonnement que l'on peut substituer les uns aux autres, suivant la situation.

Les diagrammes de la figure 8 indiquent que *le toit est invariablement la surface qui est exposée au maximum de rayonnement* dans toute la zone qui s'étend du 30° degré latitude nord au 30° degré latitude sud. Pour ce

qui est des murs, celui qui fait face à l'équateur est généralement soumis à un rayonnement modéré pendant toute la journée, tandis que les murs à l'est et à l'ouest subissent un rayonnement plus intense pendant une partie de la journée. (Cependant, n'oublions pas que le toit peut perdre deux fois plus de chaleur que les murs (par unité de surface horizontale) sous forme de rayonnement d'ondes longues vers le ciel (voir ci-dessous), et que pendant une nuit claire, ce dégagement de chaleur par le toit peut être très important.

L'ombre extérieure

Dans la mesure où l'ombre de certains objets extérieurs, des *arbres* par exemple, peuvent servir à intercepter le rayonnement solaire sur la maison, *il faut assurément les mettre à profit*, sans oublier toutefois certains de leurs désavantages : chutes de feuilles et de branches, voies d'accès pour les voitures. Cependant, dans la plupart des régions chaudes et sèches, les arbres sont rares et peu ombrageux, sauf le long des cours d'eau ou des canaux d'irrigation, mais le risque d'inondations subites écarte souvent les habitations des cours d'eau. *Les buissons, les broussailles ou les écrans artificiels placés sur les murs est et ouest* de la maison constituent une bonne protection contre le rayonnement car c'est le soleil du matin et du soir, bas dans le ciel, qui est surtout à redouter. Ils ont moins d'effet lorsqu'ils sont placés le long du mur équatorial qui reçoit les rayons du soleil haut dans le ciel, mais ils contribuent à éliminer le rayonnement réfléchi et émis par le sol. Les falaises projettent une bonne ombre, mais à certains moments de la journée elles risquent de réfléchir davantage les rayons du soleil que d'en tenir à

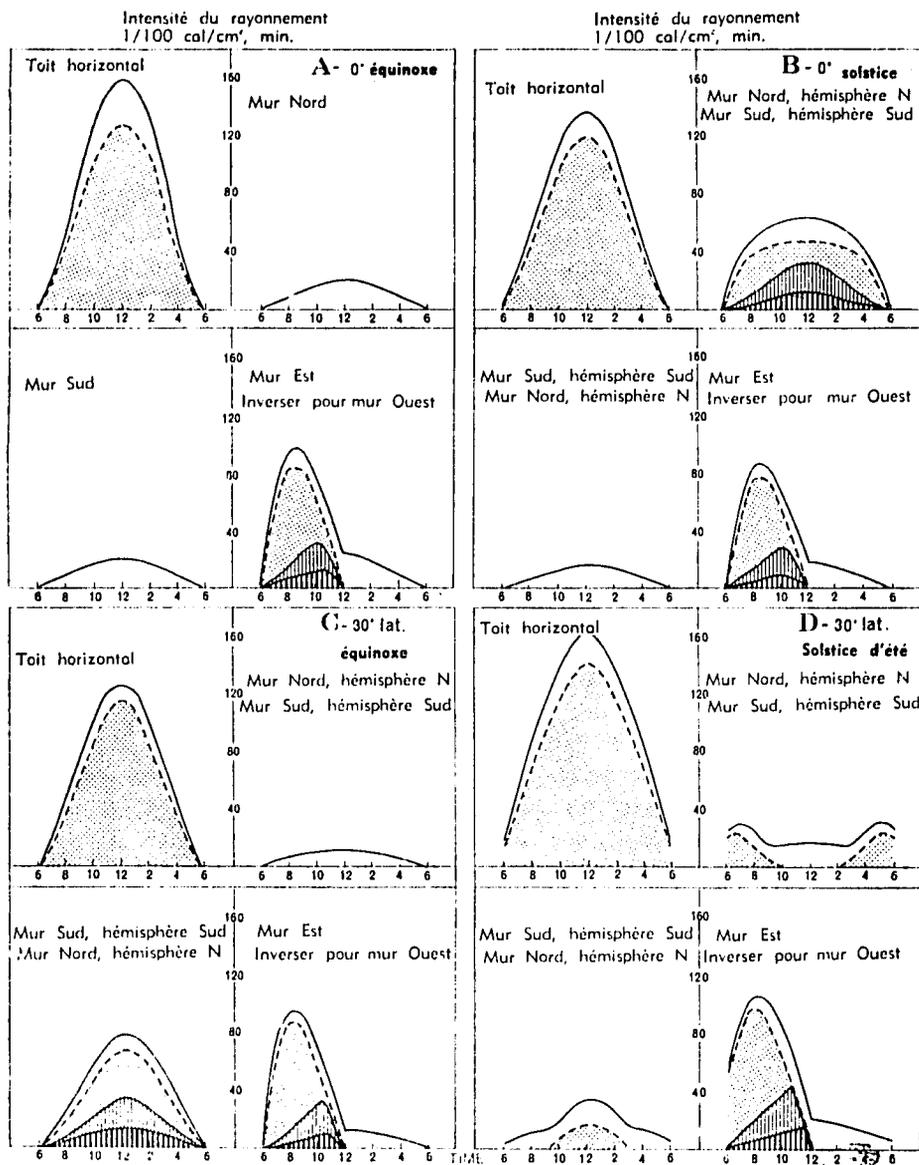
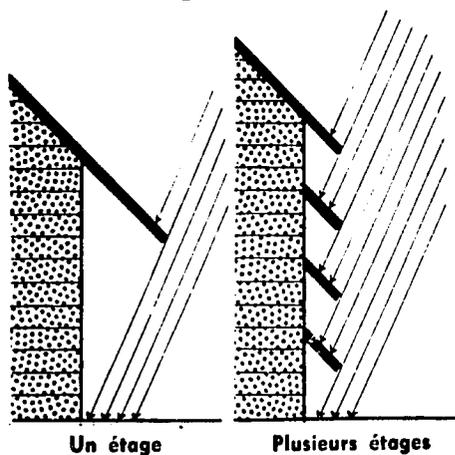


FIGURE 8. — Le rayonnement sur le toit et les murs, intensité maximale du rayonnement tombant sur un toit horizontal et des murs aux différentes heures du jour. Le trait plein au-dessus de la plage blanche représente le rayonnement total du soleil, du ciel et du terrain; le pointillé au-dessus de la plage grise, le rayonnement direct du soleil; le trait plein au-dessus de la plage de hachure claire, le rayonnement arrêté par une avancée horizontale en haut du mur égale aux $3/10^e$ de la hauteur du mur; le trait plein au-dessus des hachures foncées, le rayonnement arrêté par une avancée horizontale au sommet du mur égale au $1/10^e$ de la hauteur du mur. (Communiqué par l'American Geographical Society of New York).

l'abri, sans parler des dangers d'éboulement. Bien entendu, une maison peut abriter une autre maison et les rangées de maisons orientées d'est en ouest peuvent s'abriter mutuellement à condition de ne pas gêner la circulation de l'air. On peut considérer que l'aboutissement de ce procédé est la réunion de plusieurs maisons en une seule rangée d'immeubles, ce qui équivaut pratiquement à une seule grande maison. Cette caractéristique que l'on rencontre fréquemment dans l'architecture indigène convient parfaitement aux climats chauds et secs où l'isolement est plus important que la circulation de l'air. On peut obtenir à peu près le même effet avec les maisons isolées d'apparence plus recherchée en les flanquant d'ailes à l'est et à l'ouest (murs ou dépendances).

Diminution de la réflexion par le sol

Si possible, on plantera de l'herbe ou des plantes rampantes qui réduiront de façon considérable la quantité de chaleur solaire réfléchi par le sol et l'émission thermique. En l'absence d'une telle végétation, on choisira une couleur sombre pour le sol ou le ciment exposé avoisinant le bâtiment (voir planche III d). Du fait de la couleur foncée, la température de la surface augmente mais dans les



régions où l'ensoleillement est fort, l'accroissement du rayonnement thermique qui en résulte est généralement très largement compensé par la diminution du rayonnement réfléchi. On choisira également une teinte sombre pour le dessus des marquises et auvents, surtout lorsque ceux-ci risquent de réfléchir les rayons du soleil dans les fenêtres.

Persiennes, auvents, stores

Il est très difficile d'abriter un toit avec un dispositif qui ne serait pas partie intégrante de ce toit; par contre, on peut facilement abriter les parois verticales. Toute avancée au-dessus d'un mur exposé au soleil va projeter une ombre qui augmentera avec la longueur de l'avancée. Ce dispositif est efficace surtout lorsque le soleil est haut dans le ciel, et s'applique de façon idéale au mur situé face à l'équateur, ou bien aux murs nord et sud des bâtiments situés au voisinage de l'équateur. Ces écrans chauffés dégagent leur chaleur dans l'air ambiant, surtout si un orifice d'aération est pratiqué près du sommet de façon à laisser passer l'air chaud. Lorsque le soleil est presque toujours très haut dans le ciel, comme c'est le cas à l'équateur, ces auvents peuvent être tout simplement une continuation du toit. Parfois, il est préférable de ne pas abriter complètement le mur à l'aide d'une seule avancée, à cause de la hauteur du mur, de la force du vent, de considérations esthétiques, etc.; on peut obtenir le même résultat en plaçant plusieurs petites avancées à différentes hauteurs. Il est particulièrement conseillé de placer des auvents de ce genre au-dessus des portes et des fenêtres qui, autrement, emmagasinent les radiations. (Voir planche I c, II c, III d.) Ils peuvent en même temps servir d'abri contre la

pluie ou se combiner à toute sorte de dispositifs architecturaux. La figure 8 donne la mesure de la protection contre le rayonnement assurée par ces auvents. On peut également se servir d'écrans verticaux pour abriter des fenêtres du soleil du matin ou du soir sur les murs équatoriaux (planche IIa).

... Il nous faut maintenant présenter quelques remarques sur la protection des fenêtres vitrées. L'effet de « serre », c'est-à-dire la faculté que possède le verre de laisser pénétrer les rayons solaires dont la longueur d'onde est relativement faible, en laissant sortir très peu de radiations thermiques, à ondes longues, vers l'extérieur, est très utile pour faire pousser des tomates dans les climats froids, mais est tout à fait hors de propos lorsqu'il fait chaud et sec. *Les persiennes, stores ou volets* absorbent des quantités variables de rayons incidents. S'ils sont placés entre la vitre et l'extérieur, ils peuvent dégager la chaleur absorbée dans l'air ambiant; mais s'ils sont placés entre la vitre et l'intérieur de la maison, cette chaleur passe à l'intérieur. *Il faut donc placer ces objets à l'extérieur* où ils sont deux fois plus efficaces. (Voir planche II.) Les dispositifs adoptés en Amérique du Nord sont particulièrement mal conçus de ce point de vue. Si l'on veut régler la position de ces volets, il est facile d'installer un système de commande que l'on puisse atteindre par la fenêtre ouverte, et il n'est guère plus difficile de se servir d'un système de commande installé à l'intérieur.

L'arrosage de l'extérieur

Arroser d'eau le toit ou les murs exposés au soleil peut être un moyen très efficace pour réduire l'échauffement du bâtiment, mais il ne faut pas oublier que seule l'évaporation au

niveau de la surface est de quelque utilité et que l'eau qui s'évapore à quelque distance de celle-ci n'a pratiquement aucune utilité. L'arrosage doit être intermittent pour permettre une évaporation effective à partir de la surface. Si l'eau est disponible en quantité limitée, comme c'est généralement le cas dans les zones chaudes et sèches, il faudra que les surfaces inclinées ou verticales soient poreuses. Il va sans dire que les couches plus profondes de la maçonnerie devront comporter un matériau imperméable pour éviter les infiltrations.

Sur un toit en terrasse, on peut également laisser une nappe d'eau de 2 à 5 cm. Ce moyen est certainement moins efficace, car les rayons solaires passent à travers la nappe d'eau et sont absorbés par la surface du toit de sorte que la capacité d'isolement de l'eau est pratiquement annulée; en outre, l'évaporation se produit à une certaine distance du point d'échauffement maximal. Cependant, la présence d'une nappe d'eau permanente nécessite une hydrofugation plus parfaite et le poids de la nappe d'eau est à prendre en considération également. De plus, un toit en terrasse est moins sensible aux mouvements de l'air, surtout s'il a une balustrade, et l'évaporation s'y fait plus lentement.

Projection solaire minimale

Plus la surface présentée au soleil par la maison est faible (projection solaire), plus l'échauffement total provoqué par le soleil est faible. Le tableau 7 indique le coefficient de projection solaire pour les principaux types d'architecture, la surface de base étant la même mais les latitudes, les saisons, les moments de la journée et l'orientation étant différents. On a recueilli ces données sur des maquettes à l'aide de l'instrument appelé

TABLEAU 7

Projection solaire (m²) des bâtiments, une surface de base de 100 m²

TYPE	ORIENTA- TION (1)	LATITUDE 0°					LATITUDE 30° N.					
		Equinoxe		Solstice		Moyenne	Eté			Hiver		
		12 h	15 h	12 h	15 h		12 h	15 h	Moyenne	12 h	15 h	Moyenne
Cube 2 étages	N.	54	81	71	95	76	58	82	70	76	95	85
	N.-O.	54	95	89	89	82	60	92	77	96	77	86
	O.	54	77	72	93	74	58	79	69	82	96	89
Carré 1 étage	N.	109	113	113	110	111	110	117	114	94	99	96
	N.-O.	109	120	123	115	117	110	122	116	115	88	101
	O.	109	102	118	114	111	110	108	108	104	99	101
Rectangle 1 ét.	N.	108	121	119	112	115	102	102	102	108	92	100
	N.-O.	108	119	125	103	114	102	120	113 (2)	112	73	115 (2)
	O.	108	113	108	116	112	102	115	108	89	95	93
Carré 4 étages	N.	28	77	55	98	65	34	76	55	78	111	95
	N.-O.	28	98	68	87	71	34	92	63	103	84	94
	O.	28	74	56	96	64	34	72	53	80	112	96
Dalle 4 étages	O.	28	41	90	103	65	38	53	46	149	139	144
	N.-O.	28	121	76	79	76	38	114	77 (2)	123	48	110 (2)
	O.	28	133	39	134	83	38	122	81	47	140	94

(1) Les bâtiments ont des toits simples à pignon avec faite perpendiculaire à l'orientation.

(2) Les moyennes pour les types à base rectangulaire, d'orientation intermédiaire, incluent des projections de 0900 (non indiqué à part dans ce tableau).

TABLEAU 8

Incidence du rayonnement solaire (Kcal/heure) sur les bâtiments par m² de surface de base.

TYPE	ORIENTA- TION (2)	LATITUDE 0°					LATITUDE 30° N.					
		Equinoxe		Solstice		Moyenne	Été			Hiver		
		12 h	15 h	12 h	15 h		12 h	15 h	Moyenne	12 h	15 h	Moyenne
Cube 2 étages	N.	442,219	577,869	542,600	632,129	548,026	523,609	737,936	632,129	556,165	466,636	512,757
	N.-O.	442,219	678,250	678,250	591,434	596,860	539,887	827,465	683,676	702,667	377,107	539,887
	O.	442,219	550,739	548,026	618,564	539,887	523,609	710,801	618,564	599,573	472,062	537,174
Carré 1 étage	N.	889,864	805,761	862,734	732,510	822,039	990,245	1 052,644	1 022,801	689,102	485,627	588,721
	N.-O.	889,864	857,308	938,698	765,066	862,734	990,245	1 098,765	1 044,505	843,743	431,367	637,555
	O.	889,864	727,084	954,976	756,927	819,326	990,245	973,967	982,106	762,353	485,627	623,990
Rectangle 1 ét.	N.	881,725	862,734	906,142	743,362	849,169	919,707	919,707	919,707	792,196	453,071	623,990
	N.-O.	881,725	849,169	952,263	683,676	841,030	919,707	1 079,774	1 001,097	819,326	358,116	718,945
	O.	881,725	805,761	822,039	770,492	819,326	919,707	1 036,366	979,393	651,120	466,636	558,878
Carré 4 étages	N.	227,892	550,739	420,515	651,120	463,923	306,569	683,676	496,479	572,443	545,313	558,878
	N.-O.	227,892	699,954	518,183	577,869	507,331	306,569	827,465	567,017	754,214	412,376	583,295
	O.	227,892	529,035	425,941	637,555	455,784	306,569	648,407	477,488	586,008	550,739	569,730
Dalle 4 étage	N.	227,892	293,004	686,389	683,676	472,062	341,838	477,488	409,663	1 090,626	683,676	887,151
	N.-O.	227,892	862,734	580,582	526,322	550,739	341,838	1 025,514	683,676	900,716	236,031	705,380
	O.	227,892	949,550	298,430	889,864	591,434	341,838	1 098,765	721,658	344,551	686,389	515,470

(1) Les bâtiments ont des toits simples à pignon avec faite perpendiculaire à l'orientation.

(2) Les moyennes pour les types à base rectangulaire, d'orientation intermédiaire, incluent des projections de 0900 (non indiquées à part dans ce tableau).

« héliodon », décrit dans l'annexe I. Le tableau 8 contient les chiffres relatifs à l'échauffement par le soleil qui en résulte, compte tenu du fait que l'intensité des rayons dépend également de l'épaisseur de l'atmosphère, que ceux-ci doivent traverser avant d'atteindre la surface de la terre.

D'après ces tableaux, *on voit que, pendant la saison chaude, le minimum d'échauffement relatif dû au soleil, correspond au bâtiment élevé (1) en forme de dalle, dont l'axe longitudinal est orienté d'est en ouest*; en outre ce type de bâtiment présente l'avantage de recevoir un rayonnement plus intense pendant la saison froide, pour les latitudes moyennes. Il convient donc, non seulement aux régions situées entre l'équateur et les tropiques, mais aussi aux régions subtropicales avec des hivers froids et des étés chauds.

Le grand (1) bâtiment de base carrée présente également un faible échauffement solaire pendant la saison chaude, indépendamment de son orientation; pendant la saison froide, il ne reçoit guère de rayons. Par conséquent, il convient davantage aux endroits où la saison chaude est remplacée par un hiver doux. Assez curieusement, on rencontre ce type de construction en Arabie, dans l'Hadramaout (planche IVb), bien qu'il n'y ait certainement pas été adopté pour des raisons climatiques.

Ceci est encore vrai, à un moindre degré, pour le bâtiment du type dalle, dont l'axe longitudinal est orienté du nord-est au sud-ouest, ou du nord au sud, ainsi que pour le bâtiment cubique à deux étages.

Le bâtiment à un étage, carré ou rectangulaire, présente l'échauffement solaire maximale pendant les périodes de chaleur, quand cela serait à éviter,

mais perd cette qualité pendant la période froide, alors qu'elle serait la bienvenue. Pourtant, tel est le type de bâtiment qui a été introduit, suivant la coutume occidentale, dans un grand nombre de pays chauds!

Une question que l'on pose souvent est celle de l'effet de la pente du toit sur l'échauffement provoqué par le soleil. La réponse est très simple; tant que l'altitude du soleil (c'est-à-dire l'angle formé par ses rayons avec l'horizontale) est supérieure à la pente du toit (angle formé par le toit avec l'horizontale) la forme de cette partie du toit n'a aucun effet sur la projection solaire de la maison; par contre, lorsque la pente du toit est supérieure à l'altitude du soleil (comme ce doit être presque toujours le cas pour les pignons verticaux), la hauteur de cette partie au-dessus de la base contribue à la projection solaire. On peut le démontrer en recourant à la trigonométrie ou bien avec l'héliodon. Dans les régions tropicales où le soleil est relativement haut pendant la plus grande partie de la journée, la *pente du toit a peu d'effet sur l'échauffement provoqué par le soleil.*

Coefficient de réflexion et pouvoir émissif élevés

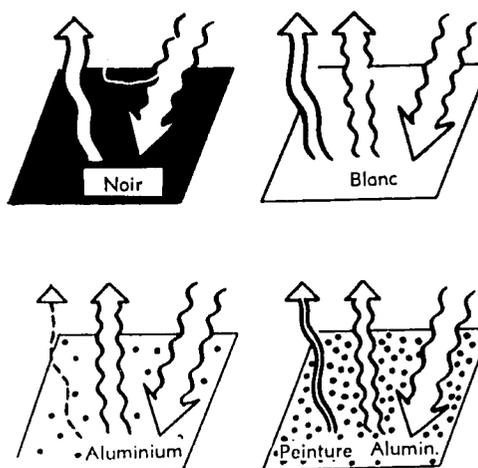
L'élévation de la température d'un ouvrage est limitée par les deux facteurs suivants: la proportion de rayons incidents réfléchis par la surface et la facilité avec laquelle l'énergie absorbée est émise à nouveau sous forme de rayonnement thermique. Cependant, pour bien mettre à profit ces caractéristiques, il faut étudier un peu les lois de la physique qui aboutissent à ce résultat.

Comme nous l'avons indiqué dans le premier chapitre, la *couleur donne une assez bonne indication du coefficient de réflexion pour les rayons so-*

(1) Page 56 de la traduction.

laire, mais n'est d'aucun secours pour le coefficient de réflexion relatif au rayonnement thermique. Pour ce qui est de ce dernier, la plupart des surfaces se comportent comme des « corps noirs » extrêmement peu réfléchissants; mais les métaux polis, eux, réfléchissent des pourcentages élevés du rayonnement thermique. Etant donné que l'émission d'un rayonnement par les surfaces aux températures ordinaires rentrent exclusivement dans la catégorie « thermique » à ondes longues, le pouvoir émissif est tout simplement la réciproque de ces coefficients de réflexion pour le rayonnement thermique. Le tableau 9 donne les coefficients de réflexion d'un certain nombre de surfaces type.

Par suite de la différence de leur comportement vis-à-vis du rayonnement solaire et thermique, l'effet net d'une surface donnée varie en fonction des circonstances. Une surface blanche est plus fraîche qu'une surface d'aluminium poli lorsqu'elle est



exposée au soleil et que le ciel est clair, comme c'est généralement le cas de la surface des toits dans un climat chaud et sec; en effet, la surface blanche absorbe une plus grande quantité de rayons solaires, mais elle rayonne bien davantage de chaleur en direction du ciel plus froid. Par contre, en cas d'exposition au soleil et au sol chaud comme cela se produit pour les murs, l'aluminium poli

TABLEAU 9

Coefficient de réflexion et pouvoir émissif de quelques surfaces (1)

SURFACE	% de réflexion du rayonnement solaire	% de réflexion de la chaleur	% d'émission de chaleur
Argent poli	93	98	2
Aluminium poli	85	92	8
Cuivre poli	75	85	15
Peinture blanche au plomb	75	5	95
Surface chromée	72	80	20
Carton ou papier blanc	60-70	5	95
Peinture vert clair	50	5	95
Peinture à l'aluminium	45	45	55
Bois, pin	40	5	95
Briques couleurs variées	23-48	5	95
Peinture grise	25	5	95
Noir mat	3	5	95

(1) Données tirées essentiellement du *Handbook of Chemistry and Physics*, Rubber Chemical Publishing Co., Cleveland, 1949, pp. 2294-2296.

N.B. — D'un échantillon à l'autre d'un même matériau, les variations sont souvent considérables. Les chiffres indiqués ici à titre d'information ne sont pas des moyennes tirées d'échantillons nombreux.

est plus frais car la surface blanche ne peut pas mettre à profit son pouvoir émissif supérieur.

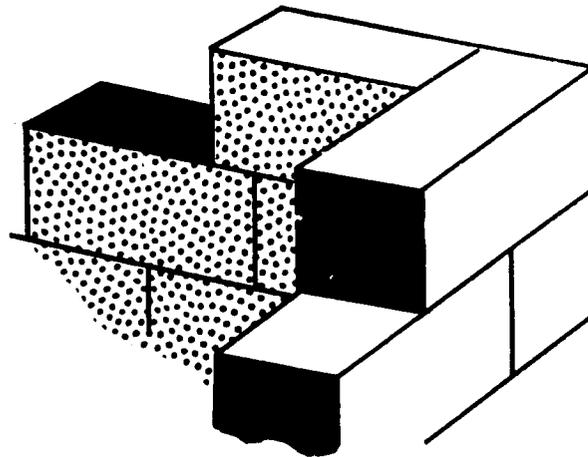
Précisons ici la différence qui existe entre une surface d'aluminium poli et une autre simplement recouverte de peinture à l'aluminium. Dans la peinture, le métal est fragmenté en particules, il présente donc une surface irrégulière au rayonnement. Dans le cas des rayons solaires, de faible longueur d'onde, ceci se traduit par une diminution du coefficient de réflexion qui passe de 85 à 45 %; avec les rayons thermiques, à ondes longues, on passe de 92 à 45 %. Exposée au soleil et à un ciel clair, une surface enduite d'une peinture à l'aluminium est nettement plus chaude qu'une surface peinte en blanc car elle absorbe davantage et émet moins. Sa température sera probablement à peu près celle d'une surface d'aluminium poli. Par contre une surface recouverte d'une peinture à l'aluminium exposée au soleil et à un sol chaud sera un peu plus chaude qu'une surface blanche et beaucoup plus chaude qu'une surface en aluminium poli.

La convection sur les surfaces exposées au rayonnement

Les surfaces exposées à un rayon-

nement intense sont échauffées par cette partie du rayonnement qui n'est pas réfléchi mais absorbé. Cette chaleur tend à se transmettre vers l'intérieur à travers la matière du toit ou du mur, à moins qu'on ne l'élimine de quelque autre façon. Puisque la température d'une surface qui absorbe beaucoup de rayons est généralement supérieure à celle de l'air, le mouvement de l'air ambiant sur la surface va éliminer une partie de la chaleur et réduire ainsi la quantité de chaleur qui sera transmise vers l'intérieur. L'architecte devra donc mettre à profit toutes les possibilités dont on dispose pour favoriser le mouvement de l'air sur les surfaces exposées au rayonnement, ou du moins pour ne pas gêner les courants d'air naturels. Parmi ces moyens de favoriser la convection vers l'extérieur, citons le choix d'un emplacement élevé ou à flanc de coteau. L'orientation des pentes du toit en fonction des vents dominants, *l'élimination des parapets, zone « morte » entre des toits voisins, préservation de couloir pour le vent entre des bâtiments voisins (à moins que les bâtiments ne s'abritent mutuellement), construction de bâtiment élevé.*

L'isolation



Le mot « isolation » que l'on utilise si fréquemment s'applique en réalité à deux types de barrières au passage de la chaleur. Le type le plus simple et le mieux est ce que l'on appelle l'isolation « par résistance »; il empêche le passage de la chaleur d'un endroit plus chaud en permanence à un endroit plus froid en permanence, grâce à des matériaux présentant une faible « conductivité » thermique (voir tableau 10). Il convient parfaitement à la protection des chaudières, des canalisations de vapeur. Mais dans les climats chauds, la plupart des échauffements contre lesquels nous avons à lutter ne sont pas permanents mais fluctuants; la température de l'air et le rayonnement augmentent pendant le jour et baissent pendant la nuit; les processus de pro-

duction de chaleur, tels que la cuisson, peuvent se limiter à un seul moment de la journée. Dans de telles circonstances, le meilleur isolant sera celui qui emmagasinera une grande quantité de chaleur pendant la période d'échauffement, et qui la restituera ensuite. Dans ce cas d'isolation par accumulation, il ne s'agit plus simplement de conductivité calorifique du matériau mais de la combinaison de celle-ci avec la chaleur spécifique et la densité du matériau qui forment ce que l'on appelle le coefficient de diffusion calorifique. Le tableau 10 indique la conductivité et le coefficient de diffusion de quelques matériaux courants; on en trouvera une explication plus détaillée dans les paragraphes suivants.

TABLEAU 10
Propriétés isolantes de certains matériaux

MATÉRIAUX	Conducti- bilité gcal/cm	Chaleur spécifique gcal	Densité g	CS×D	Diffusion cm ²
	cm ² /sec/°C	g/°C	cm ³		sec.
Bois	0,0003	0,42	0,40	0,168	0,0018
Marbre	0,0070	0,21	2,80	0,588	0,0119
Eau	0,0015	1,00	1,00	1,000	0,0015
Argile sèche ..	0,0020	0,22	2,60	0,57	0,0035
Acier	0,1100	0,11	7,80	0,86	0,1282
Air	0,00006	0,25	0,00115	0,0003	0,2000

Lorsque l'on envoie continuellement de la chaleur sur une face d'un isolant et qu'on laisse suffisamment de temps pour que l'équilibre se réalise, il se produit une variation régulière de potentiel de température dans chacune des parties de l'isolant et la seule propriété qui détermine le taux de transmission de la chaleur entre des points fixes, à température fixe, est le coefficient de conductibilité

thermique. On sait que l'air au repos a un coefficient calorifique très faible et que les matériaux comme le bois sec, le liège, la fibre de verre et la laine isolante, dont les interstices contiennent de l'air, sont parmi les meilleurs isolants dans des conditions de chaleur constante.

La situation se complique lorsque la chaleur appliquée sur la face extérieure croît et décroît. Lorsque la

chaleur s'applique pour la première fois sur la face externe, elle est d'abord utilisée pour chauffer les particules de cette surface; une fois ces particules chaudes, la chaleur se transmet à la couche suivante (figure 9). Il se produit là encore un temps d'arrêt et la chaleur sert à chauffer les particules de cette couche. Ce processus se poursuit à travers le matériau, en progressant de couche en couche. Le coefficient de conductibilité du matériau détermine la facilité avec laquelle la chaleur passe d'une couche chaude à la couche suivante: mais ce n'est là qu'un aspect du processus. Il est bien évident, que le taux de progression du front de chaleur au sein du

matériau dépend également de la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer chacune des couches. Ainsi, s'il faut 90 % de la chaleur qui pénètre dans une couche en une minute pour élever la température de cette couche de 1 °C, il n'en reste plus que 10% pour poursuivre la progression. Par contre, si 10 % suffisent à échauffer la couche de 1 °C, 90 % de la chaleur sera transmise. La quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 °C un gramme de matériau constitue ce que l'on appelle la chaleur spécifique. Le taux suivant lequel une quantité de chaleur appliquée sur la surface d'un matériau se propage à travers celui-ci constitue ce

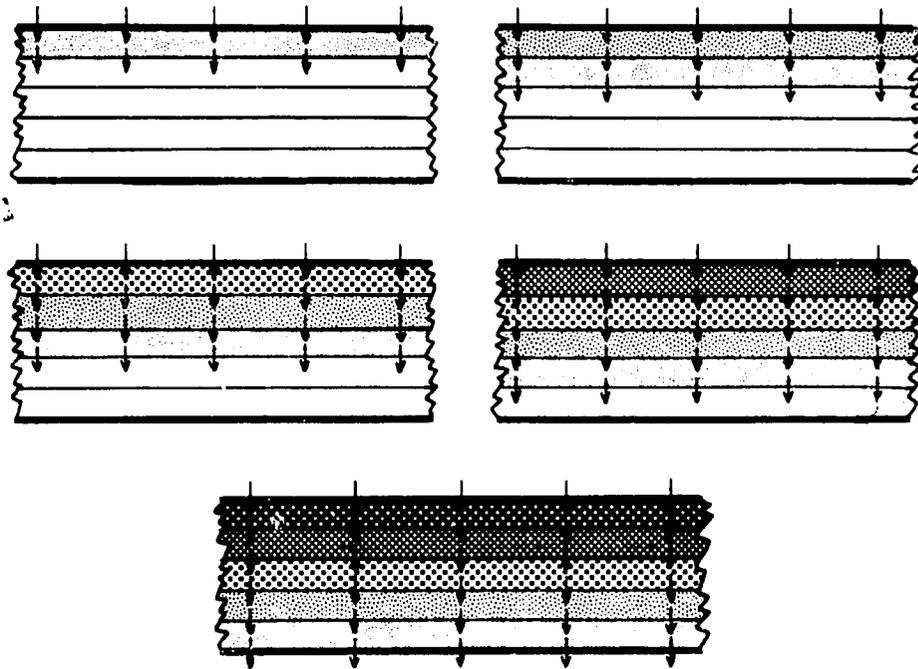


FIGURE 9. — Les étapes successives du passage de la chaleur dans un matériau (la densité du pointillé indique la quantité de chaleur). Lorsque la chaleur est appliquée pour la première fois à un isolant massif, elle sert surtout à chauffer la couche externe. Une fois cette couche externe portée à une certaine température, la chaleur pénètre seulement dans la couche plus profonde. Ce processus se poursuit jusqu'à ce qu'il se produise un gradient régulier dans toute l'épaisseur de l'isolant. Lorsque l'application de la chaleur sur la paroi externe se fait suivant un cycle, il se produit un flux et un reflux de chaleur au sein de l'isolant qui l'emmagasine temporairement pendant l'application et qui la restitue pendant les intervalles.

que l'on appelle le coefficient de diffusion calorifique; celui-ci fait intervenir non seulement le coefficient de conductibilité thermique, mais aussi la chaleur spécifique du matériau et sa densité (g/cm^3).

D'après le tableau 10, nous voyons que l'air au repos, qui était un si bon isolant contre un flux régulier, perd toute efficacité comme barrière à un flux périodique en raison de sa très faible densité. Malgré son coefficient de conductibilité très élevée, l'acier constitue une barrière légèrement supérieure à l'air contre les flux périodiques en raison de sa densité élevée. En fait, c'est le bois qui présente la meilleure solution, car il unit un faible coefficient de conductibilité à une densité modérée pour donner un faible coefficient de diffusion. Les faibles coefficients de diffusion de matériaux plus massifs, tels que l'argile et la pierre, méritent d'être mentionnés car ces matériaux sont couramment utilisés dans les pays chauds et secs.

Le retard dans la transmission de la chaleur à travers des ouvrages de maçonnerie normaux, en raison de leur faible coefficient de diffusion, est tout à fait considérable. A 10 cm de profondeur, dans la brique, l'augmentation de la température n'est que de 10 % de celle enregistrée à l'extérieur une heure après l'application de la chaleur, de 30 % au bout de quatre heures et de 70 % au bout de seize heures, même lorsque la chaleur demeure en permanence (figure 10). Lorsque la quantité de chaleur appliquée atteint périodiquement un maximum puis diminue, comme c'est généralement le cas avec le soleil on enregistre un flux et un reflux périodique de la température à l'intérieur du matériau. Pendant la période, la température moyenne est homogène

au sein du matériau indépendamment de la profondeur, mais les fluctuations en deçà et en delà de cette moyenne sont atténuées et le moment de l'élévation maximale retardé à mesure que la profondeur augmente. A 10 cm de profondeur, dans la brique, l'augmentation maximale de la température ne représente que 30 % de celle enregistrée au-dehors et elle intervient avec six heures de retard; à 20 cm de profondeur, elle ne sera que de 15 % et le retard sera de neuf heures.

L'isolation par accumulation de la chaleur, qui dépend davantage d'un faible coefficient de diffusion calorifique que d'une faible conductibilité, est particulièrement conseillé pour les toitures, spécialement dans les climats chauds et secs, où la clarté du ciel donne lieu à une inversion périodique du rayonnement. A un moindre degré, ce type d'isolation est également conseillé pour les murs, dans les climats chauds et secs, car l'ombre y est généralement rare, et le sol extrêmement réfléchissant. C'est le genre de construction qui caractérise l'architecture arabe, espagnole et hispano-américaine (voir planche I).

Convection sur les surfaces intérieures

A l'extérieur, le mouvement de l'air sur les surfaces chauffées permet, nous l'avons vu, d'éliminer une partie de la chaleur qui se transmettrait autrement par conduction à travers le matériau; de même, la convection sur les surfaces intérieures du bâtiment va éliminer la chaleur qui a réussi à pénétrer. Ceci est particulièrement important pour le plafond. Si les courants d'air peuvent être provoqués de façon à ce que l'air chaud soit évacué sans se mêler à l'air ambiant dans le bâtiment, on peut ainsi se protéger utilement lorsque les autres dispositifs et isolants sont inefficaces.

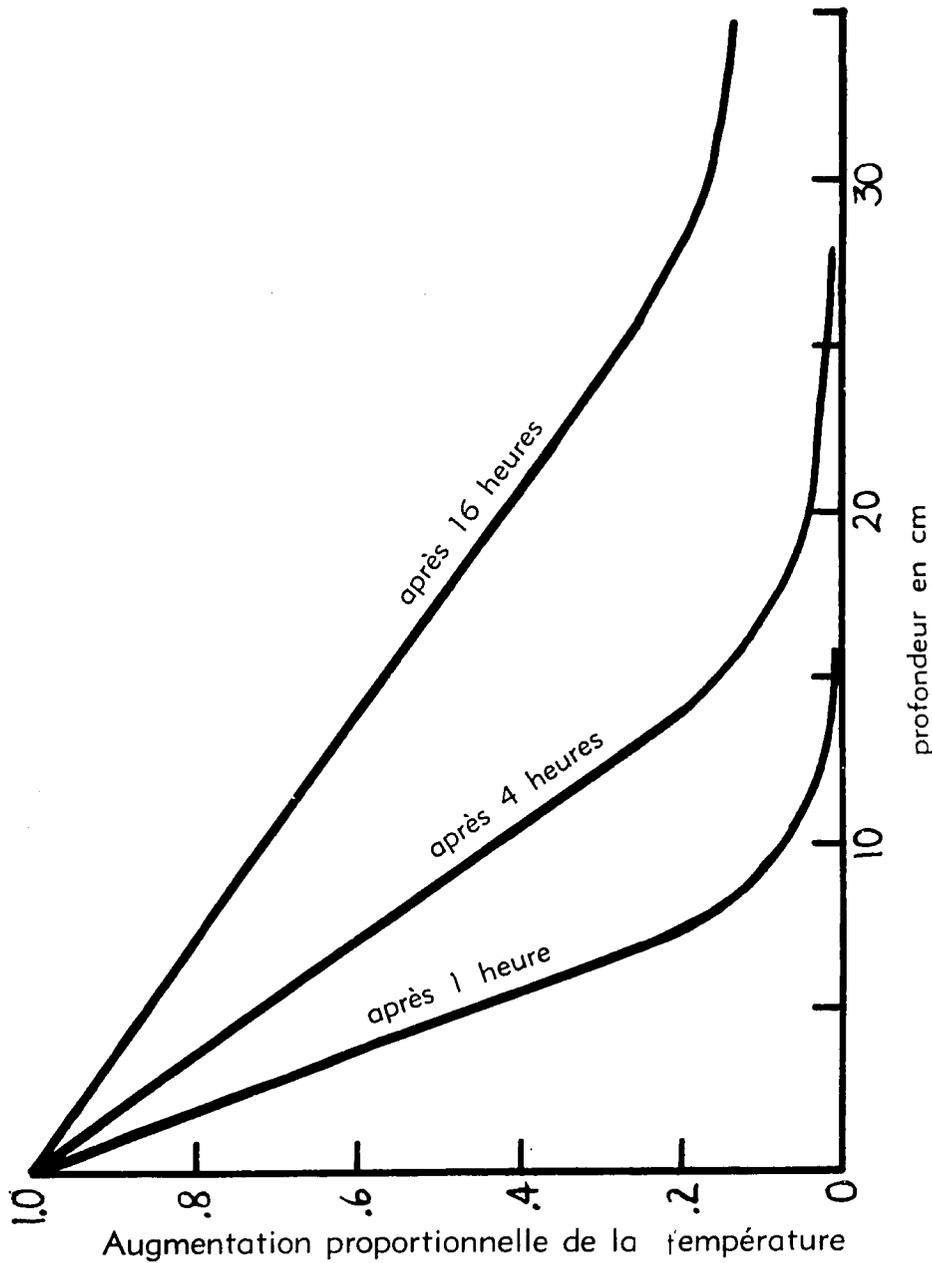
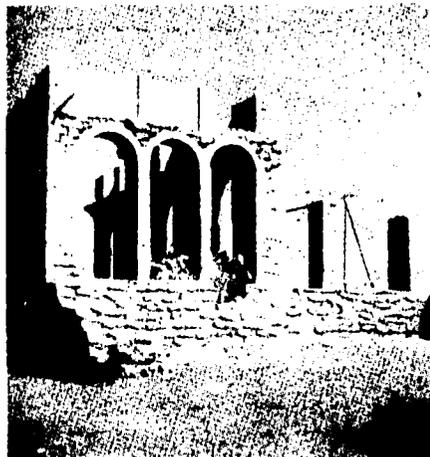


FIGURE 10. — La diffusion de la chaleur dans la maçonnerie (données de Thoburn W. C., Heating, Piping and Air Conditioning, 18 (9), 120-125, 1946). Le taux d'élévation de la température en un point quelconque dans la masse de l'isolant est plus lent qu'à la surface. Plus le point est profond, plus l'augmentation est lente. En cas d'application cyclique de la chaleur sur la face externe de l'isolant, il se peut que la chaleur reflue avant que la température ait beaucoup augmenté dans les parties les plus profondes. Les isolants massifs sont particulièrement efficaces contre les échauffements cycliques.

PLANCHE I



a) Une maison de balayeur, Uttar Pradesh, Inde. L'isolation par accumulation fournie par les murs de terre est annulée par la porte toujours ouverte et par le toit de chaume en mauvais état. Pas de ventilation complète pour la saison chaude et humide. Ecoulement d'eau rudimentaire pour la saison humide. Pas de passage pour la fumée. (Photo Lee.)



b) Maison indigène, Bahrein, Golfe Persique. La pierre de corail assure l'isolation par accumulation. En hiver, on peut se tenir sur le toit en terrasse à parapet et y dormir en été. Les larges ouvertures pratiquées dans les murs sont munies de volets pour le contrôle de la ventilation et la sécurité. (Photo Lee.)



c) Hôtel Lucknow, Inde. La construction massive assure l'isolation par accumulation, mais les avancées sont insuffisantes pour donner de l'ombre. La hauteur des plafonds est excessive et rend très difficile le chauffage des pièces en hiver. (Photo Lee.)

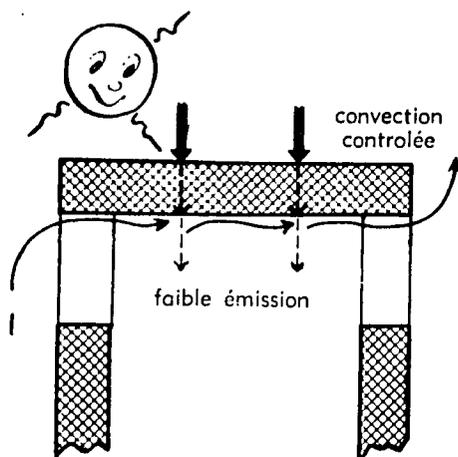


d) Résidence de luxe, Lucknow, Inde. La vaste véranda abrite les murs pendant la saison sèche et fournit un espace habitable pendant la saison chaude et humide. La construction massive assure l'isolation par accumulation. (Photo Lee.)

Grâce à des orifices d'aération judicieusement placés, l'air chaud peut s'éliminer de lui-même. Pour des raisons qui apparaîtront lorsque nous

étudierons la conduction, il faut, dans ce cas, *contrôler le débit d'air*, de façon à ce que cet air ne se répande pas partout à l'intérieur de la maison.

*Faible pouvoir émissif
des surfaces intérieures*



Il semblerait logique que l'on conseille des surfaces intérieures à faible pouvoir émissif, un plafond revêtu d'aluminium poli, par exemple, de sorte que pour une température donnée la chaleur rayonnée vers l'intérieur de la pièce soit moins importante. Cependant, il ne faut pas oublier que la chaleur qui ne s'échappe pas de la surface s'accumule au voisinage de celle-ci à moins qu'elle ne

soit éliminée par convection. L'augmentation de la température qui en résulterait intensifierait le rayonnement, annihilant ainsi en partie les avantages du faible pouvoir émissif. Dans de telles circonstances, il est conseillé de prévoir une circulation d'air sur la surface pour entraîner la chaleur vers l'extérieur. Dans les pièces contenant des objets chauds, tels que fourneau, on ne placera pas de surface réfléchissante, car la chaleur rayonnante serait tout simplement renvoyée dans la pièce.

Hauteur du plafond

On considère généralement, et particulièrement en Inde, qu'un plafond élevé apporte nécessairement la fraîcheur. Un plafond chaud à faible distance de la tête est nettement désagréable, mais il ne s'ensuit pas que la fraîcheur va augmenter proportionnellement à la hauteur du plafond. Le plafond émet deux sortes de chaleur : celle qui rayonne du plafond vers le corps des occupants de la pièce, et celle qui provient par conduction de l'air chaud emmagasiné à proximité

TABLEAU 11

*Effet de la hauteur du plafond sur l'augmentation de la chaleur rayonnante pour une personne debout (1) (2)
(Kcal/heure)*

Largeur de la pièce (m)	Hauteur sous plafond 2,40 m				Hauteur sous plafond 3,60 m			
	35 °C	40 °C	46 °C	51 °C	35 °C	40 °C	46 °C	51 °C
2,4	5	15,50	26,75	29,5	3,2	9,50	16,2	22,7
3	5,75	17,75	30,25	44	3,7	11,7	20,25	29
3,6	6,50	20,25	34,6	50	4,2	13,2	22,2	33,2
6	8,25	26,25	44,2	54,5	6,50	19,7	33,75	48,75
9	9,50	29,25	50	72	7,7	24,5	41,7	60
12	10,25	31,50	54,2	79,5	8,7	27,2	46,75	67,25

- (1) Production de chaleur au repos, à titre de comparaison : 72,5 Kcal/heure.
(2) La température de la surface du vêtement étant estimée à 32 °C.

du plafond. Si, en construisant un plafond élevé, on crée un réservoir d'air chaud, toute amélioration due à la diminution du rayonnement peut être largement, sinon totalement, contrebalancée par l'augmentation de la conduction. C'est précisément ce qui se passe avec la plupart des hauts plafonds. Le calcul de la quantité de chaleur rayonnante provenant d'un plafond révèle que celle-ci n'est pas très importante à moins que le plafond ne soit anormalement chaud. D'après le tableau 11, nous voyons qu'un plafond de 2,40 m à 11 °C rayonne une quantité de chaleur qui n'excède pas les trois quarts de la production de chaleur d'un homme au repos, à moins qu'il ne s'agisse d'un très grand plafond. Une personne assise et abritée par une table recevra environ moitié de la quantité de chaleur figurant sur le tableau. La plupart du temps, quand on relève le plafond de 1,20 m encore, on obtient une réduction minime de la chaleur rayonnante déjà peu importante au départ.

D'après la Australian Commonwealth Experimental Building Station (1), les hauts plafonds nuisent au confort pour les raisons suivantes :

- (1) Ils réduisent l'ombre portée sur les murs extérieurs par les avancées du toit;
- (2) Ils présentent l'inconvénient d'amener le haut des fenêtres au niveau du plafond, ce qui nuit au mouvement de l'air;
- (3) Ils augmentent le volume d'air et la surface des murs à chauffer en hiver. (Voir planche 1c.)

Il ne semble pas qu'il y ait lieu

(1) J. W. DRYSDALE, *Natural Ventilation, Ceiling Height and Room Size*, doc. 22, Commonwealth Experimental Building Station, 1947.

de porter la hauteur des plafonds des salles d'habitation au-delà des 2,40 m considérés comme satisfaisants dans les régions tempérées. Le génie des architectes devrait plutôt s'employer à réduire la transmission de chaleur au plafond, à en limiter le pouvoir émissif et à assurer l'élimination par convection de l'air échauffé par le contact du plafond.

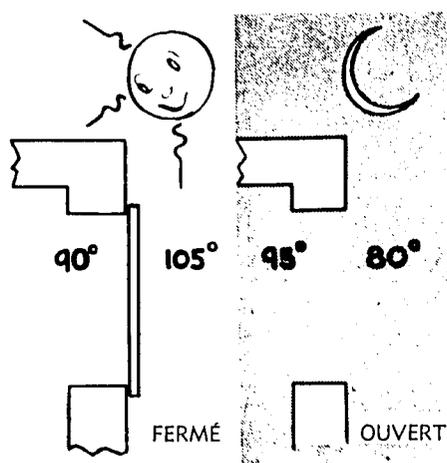
Principes tendant à réduire les gains et à intensifier les pertes de chaleur du corps par conduction

Dans un milieu chaud et sec, avec ses écarts de température caractéristiques entre le jour et la nuit et ses écarts encore plus accentués entre l'été et l'hiver, il arrive souvent pendant les périodes chaudes que la température de l'air au-dehors soit supérieure à celle des murs et des objets situés à l'intérieur d'un bâtiment. Dans de telles circonstances, il est évidemment conseillé d'accentuer les traits qui abaissent la température à l'intérieur du bâtiment et d'empêcher l'entrée de l'air chaud ambiant.

Isolation

Nous avons déjà indiqué comment l'isolation « par accumulation », utilisant des matériaux au faible coefficient de diffusion calorifique de préférence à des matériaux de faible conductibilité, retarde nettement la transmission de la chaleur rayonnante périodiquement appliquée à l'extérieur. Ceci s'applique également à la transmission de chaleur provenant de l'air extérieur, mais en général les quantités de chaleur sont plus faibles. En fonction de quoi, le genre de construction qui réduit au minimum l'échauffement par rayonnement convient également pour réduire au minimum

l'échauffement par conduction à partir de l'air ambiant chaud. Si l'on peut prévoir la construction de façon à ce que la surface interne atteigne son maximum de température douze heures environ après la surface externe, la chaleur pénétrera à l'intérieur au moment où elle sera moins gênante, voire même où elle sera la bienvenue; et la phase de refroidissement atteindra son maximum au moment le plus opportun.



Ventilation contrôlée

Cependant, la fraîcheur des surfaces intérieures sera de peu d'utilité si l'air chaud ambiant peut entrer librement par les ouvertures de la maison. Il faut donc étudier le toit et les murs de façon à ce que l'entrée de l'air ambiant chaud soit réduite au minimum pendant la période chaude de la journée, mais que l'air froid de la nuit ou des journées fraîches puissent pénétrer. Ce principe de la « ventilation contrôlée » est très important et fort bien illustré dans la plupart des architectures indigènes des zones désertiques (planches Id et IVd). Pour ce faire, on pratique d'assez petites ouvertures pour les portes et les fenêtres et on les munit de volets qui peuvent être hermétiquement clos ou

largement ouverts suivant le cas. Les fenêtres vitrées que l'on peut ouvrir ou fermer sont presque aussi efficaces à condition d'être abritées des rayons du soleil, en outre elles présentent l'avantage de laisser entrer la lumière. Parfois, il est conseillé de placer de petites fenêtres en haut des pièces de façon à éviter que les rayons ne tombent directement sur les occupants de la pièce.

Précédemment, nous avons déconseillé le refroidissement du plafond par convection pour minimiser l'admission d'air extérieur chaud, mais si de grandes quantités de chaleur s'accumulent au niveau du plafond, des deux maux il faut choisir le moindre, surtout lorsqu'on a la possibilité de bien contrôler l'admission d'air.

Ventilation de l'espace sous le toit

L'efficacité d'un matériau isolant massif augmente régulièrement avec son épaisseur, mais ce n'est pas le cas de l'air. A mesure que l'épaisseur de la couche d'air augmente, sa valeur isolante augmente de moins en moins rapidement et à partir d'un certain moment, s'arrête. Ceci provient de ce que les différences de température créent des courants au sein de l'air; ces courants sont bloqués lorsque la couche d'air est mince, mais ils peuvent véhiculer la chaleur lorsque l'épaisseur de la couche d'air augmente. En pratique on peut considérer que la valeur isolante d'une couche d'air est proportionnelle à son épaisseur jusqu'à 6 mm, puis cesse d'augmenter à partir de là.

Nous en déduisons donc que les minces couches d'air de moins de 6 mm qui se trouvent prises entre les couches de matériaux de construction sont extrêmement efficaces à condition de ne pas être ventilées.

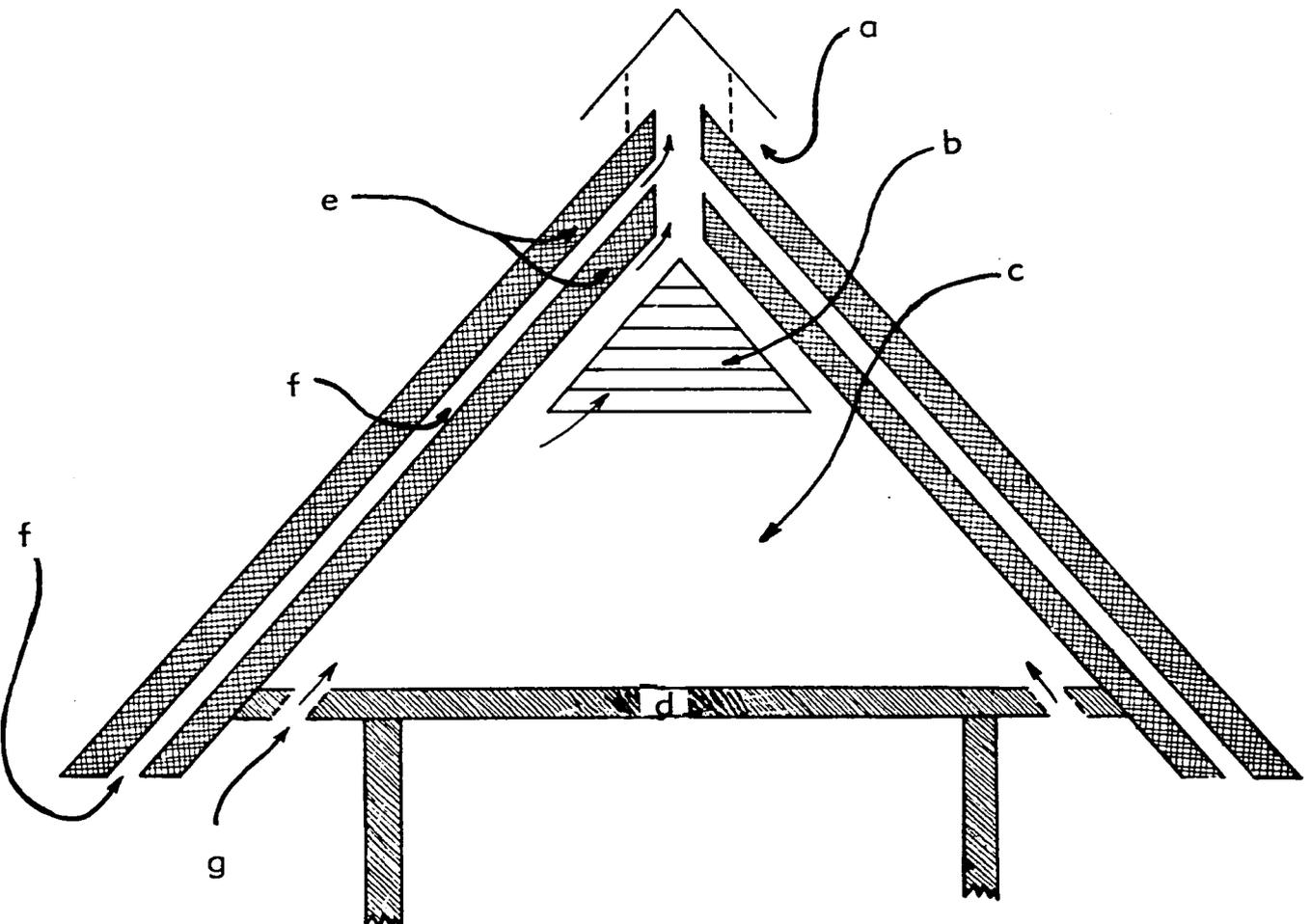
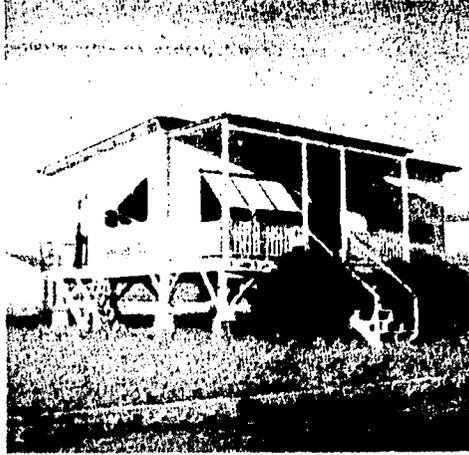


Figure 11. — Ventilation des combles (a) Orifice du faite pour l'aération des combles. (b) Orifice du pignon pour la ventilation des combles. (c) Combles; utile à condition que l'on ait prévu une ventilation dirigée. (d) Plafonds. (e) Petits matelas d'air dans le matériau, très efficaces s'ils sont emprisonnés de façon étanches. (f) Interstices entre les structures; peu efficaces, peut être améliorée en permettant la ventilation par convection thermique. (g) Bouche d'aération pour les combles.

PLANCHE II



a) Bureaux Rio de Janeiro, Brésil. Des volets verticaux permanents sur la face nord abritent les fenêtres du soleil. Ce principe peut très facilement être appliqué aux logements à bon marché. On peut également mettre des volets réglables. (Communiqué par R. L. Pendleton et American Geographical Society.)



c) Pavillon du littoral Porto Rico. Les murs ne sont pas abrités, les escaliers sont exposés à la pluie, les piliers sont trop bas pour que l'on puisse utiliser l'espace couvert sous la maison. On remarque des protections contre les termites sur les piliers principaux, mais non sous les escaliers. La véranda ne donne guère d'abri. (Communiqué par R. L. Pendleton et American Geographical Society.)



b) Appartements Belém, Brésil. Persiennes à lattes de bois. L'ensemble peut être levé ou abaissé. La partie inférieure peut être poussée. Lattes à angle réglable. Très bon arrangement à généraliser. (Communiqué par R. L. Pendleton et American Geographical Society.)



d) Styles ancien et moderne, New Iberia, Louisiane. Le grand porche style colonial donne peu d'ombre, mais les croisées sont bien venues. Le bungalow donne beaucoup d'ombre. Dans les deux cas, les mansardes et les lucarnes sont à déconseiller. (Photo Lee.)

Par contre, lorsque la couche d'air est plus importante, par exemple entre un toit en pointe et un plafond, la ventilation est à recommander, surtout si le toit n'est pas très bien isolé et l'on peut arranger le passage de l'air de façon à ce qu'il entraîne l'air chaud directement au contact du toit vers l'extérieur, en évitant la surface supérieure du plafond (voir planche IIIb). On peut faire entrer l'air extérieur par des bouches d'air placées près du toit de façon à ce que l'air chaud ambiant ne pénètre pas dans le reste du bâtiment (voir figure 11). Dans les climats chauds, il ne faut pas transformer les combles en pièces d'habitation mansardées.

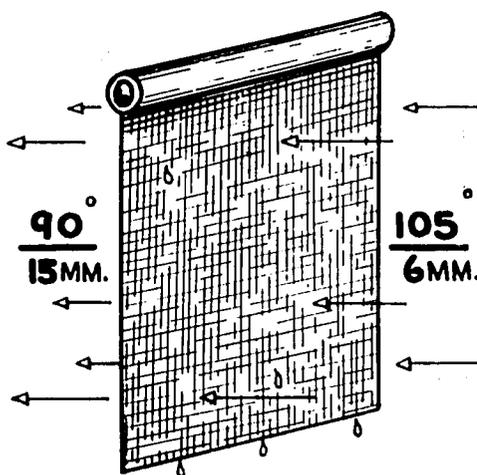
Le refroidissement du sol

La terre emmagasine si bien la chaleur que les variations diurnes d'échauffement de sa surface ne pénètrent pas à plus de 60 cm et les variations saisonnières ne se font plus sentir au-delà de 4,50 m. A de plus grandes profondeurs, la terre garde une température constante qui ne diffère guère de celle de la moyenne annuelle de la température de l'air. Si l'on fait passer l'air sur une couche de terre importante à plus de 3,50 m de profondeur, avant qu'il ne pénètre dans la maison, en été on obtient de l'air frais et en hiver de l'air chaud. Dans une certaine mesure, on applique ce principe dans le cas des fondations ordinaires sur caves, mais on peut en augmenter l'effet en faisant passer l'air dans un long tunnel (ou souterrain) avant qu'il ne pénètre dans le bâtiment. Ce principe est très astucieusement appliqué dans un hôpital en Inde (Clara Swain Hospital, Bareilly, Uttar Pradesh) et au Pakistan, à Lahore, par le Professeur Thoburn. On peut se servir d'air ambiant ou

d'air recyclé. Le circuit profond peut être complété par un circuit superficiel, à 60 cm environ, qui fournira de l'air frais pendant la journée et de l'air chaud pendant la nuit. Lorsque l'on peut trouver des terrassiers qui ne demandent pas trop cher, on peut faire creuser, sans trop de frais, une tranchée pour le circuit, poser une canalisation et couvrir la tranchée pour former un tunnel, surtout si l'on fait exécuter ces travaux au moment de la construction de la maison.

Le refroidissement par évaporation

Si l'air passe au-dessus d'une nappe d'eau et qu'il se produise une évaporation, l'air se refroidit mais se charge de vapeur. Dans cet air « conditionné », il est plus facile pour l'homme de perdre de la chaleur par conduction que par évaporation. Cependant, le résultat final se traduit toujours par une amélioration, à condition que le mécanisme d'évaporation ne gêne pas la circulation de l'air. Dans un milieu chaud et sec, l'amélioration sera nette, mais dans un milieu chaud et humide elle sera moins sensible et risquera même de se transformer en désavantage, si l'installation nuit à la circulation de l'air.



Depuis des temps très anciens on connaît les vertus du refroidissement par évaporation et toutes sortes de dispositifs portant des noms variés ont été réalisés un peu partout. Aux fins de la construction, on peut diviser ces dispositifs en deux groupes : ceux qui refroidissent l'air, et ceux qui refroidissent les structures. Nous avons déjà décrit ces derniers.

Le *rideau d'eau* est tout simplement constitué par un morceau d'étoffe hydrophile, grosse toile, tissu éponge, etc, que l'on garde humide et que l'on place de façon à ce que l'air le traverse avant d'atteindre les occupants de la pièce. L'humidité peut être entretenue au moyen d'un filet d'eau coulant d'un réservoir rempli périodiquement, ou d'un tuyau perforé, placé sur la canalisation d'eau, ou bien par aspersion. On peut réaliser un dispositif très simple qui permette de remplacer facilement les matériaux qui se détériorent. Cette installation présente de petits inconvénients : moisissure, rouille, larves de moustiques, mais en général les habitants en prennent leur parti. Le plus souvent, on compte sur l'agitation naturelle de l'air pour que celui-ci traverse le rideau. *Il faut donc absolument que le rideau soit mince et facilement perméable à l'air.* Un modèle d'usage courant en Inde, fait de tiges de millet étroitement tressées, ne sert pratiquement à rien.

La *boîte de réfrigération* est déjà plus propre et peut s'incorporer dans un mur, mais elle nécessite la présence d'énergie motrice. Il s'agit tout simplement d'une boîte contenant des matières hydrophiles, comme les cendres ou la laine de bois sur quoi l'eau tombe goutte à goutte. La boîte est ouverte aux deux bouts qui sont garnis simplement d'un treillage de retenue, l'une de ces extrémités donnant sur la pièce et l'autre sur l'exté-

rieur. Pour que l'air traverse cette installation, il faut qu'il soit pulsé par un ventilateur. Le ventilateur domestique ordinaire n'est pas conçu pour faire franchir un obstacle à l'air et il faut donc choisir un ventilateur pouvant remplir cet office.

Refroidissement par installation réfrigérante

Dans un climat chaud et sec le refroidissement par évaporation est si efficace qu'il n'est guère utile de recourir à un dispositif de réfrigération; mais dans certaines régions techniquement évoluées ou très riches on peut y faire appel. Dans de telles circonstances, la condensation de l'eau contenue dans l'air est faible, aussi le problème du dégivrage et de l'évacuation de l'eau est-il secondaire; par contre, pour éliminer la chaleur du compresseur, il faut souvent prévoir des serpentins de grande taille ou un système de refroidissement par évaporation.

Principes tendant à diminuer la libération de chaleur dans le bâtiment.

Lorsque l'organisme humain se débarrasse difficilement de sa chaleur dans l'air ambiant, il est bien évident qu'il n'est pas souhaitable d'augmenter la teneur thermique de cet air, soit en augmentant sa température par addition de chaleur « sensible », soit en augmentant sa pression de vapeur par addition de chaleur « latente ». C'est pourtant ce que font la cuisine, l'éclairage, et bien des opérations industrielles. La solution doit être cherchée dans deux directions : (1) augmenter la proportion de chaleur dégagée par le combustible qui est absorbée par l'opération, ce qui diminue d'autant la chaleur qui s'échappe dans la pièce; et (2) évacuer la chaleur qui s'échappe dans

la pièce de façon à ce qu'elle n'atteigne pas les occupants. La première mesure est doublement importante lorsque le combustible est rare ou cher, comme c'est souvent le cas dans les régions chaudes et sèches.

La plupart des méthodes généralement pratiquées pour la cuisine sont absolument déplorables du point de vue de l'utilisation rationnelle du combustible. Une faible partie seulement de la chaleur libérée par une flamme nue ou dans la cuisinière à bois que l'on rencontre dans la plupart des campagnes sert à la cuisson des aliments. On pourrait augmenter le rendement du combustible et contrôler la chaleur libérée *en entourant la chambre de combustion d'un dispositif isolant du type « par accumulation »* (voir page 60 « l'isolation »), sauf bien entendu le passage de la chaleur qui sert à la cuisson des aliments. On peut utiliser des feuilles d'aluminium soit pour réfléchir la chaleur rayonnante vers l'intérieur de la cuisinière, soit pour minimiser l'émission de chaleur à partir de celle-ci. Pour que l'isolement soit bon, il faut que la surface polie ne soit en contact qu'avec une couche d'air au repos. Pour ce faire, *on laissera une mince couche d'air (pas plus de 6 mm) dans le bâti isolant, et on garnira les deux côtés de feuilles d'aluminium.* On pourra également fixer des feuilles d'aluminium sur les parties de la surface externe de la cuisinière qui sont relativement à l'abri. (Voir figure 12.)

On contrôlera l'appel d'air dans la chambre de combustion, de façon à ce qu'il suffise pour entretenir la combustion au taux désiré sans user inutilement le combustible en envoyant une grande partie de la chaleur dans la cheminée. Les cuisinières qui utilisent des combustibles liquides ou gazeux

ou les cuisinières électriques sont généralement mieux conçues que la cuisinière traditionnelle à bois, mais elles sont en général plus compliquées et plus coûteuses. Pourtant cette différence de prix à l'achat pourra être justifiée lorsque le combustible solide est rare.

La meilleure façon de minimiser l'action de la chaleur libérée ou de la vapeur sur les occupants est d'ouvrir largement à l'air ambiant la source de chaleur et de vapeur; lorsque cela est impossible ou insuffisant, il est bon de prévoir *une circulation d'air contrôlée au-dessus de la source de chaleur* vers l'extérieur, évitant les occupants de la pièce. Comme dans le cas de ventilation par convection (voir plus haut), la bouche d'air doit être placée près de l'appareil de façon à ne pas augmenter le débit d'air dans le reste du bâtiment lorsque la température extérieure est élevée. La chaleur peut faire office de force motrice, mais on pourra mettre à contribution les mouvements de l'air extérieur ou se servir d'un ventilateur.

On peut évacuer la chaleur « sensible » produite par une lampe en plaçant cette lampe sous un orifice débouchant sur l'extérieur. Si quelqu'un doit travailler à proximité d'une lampe, il peut se protéger de la chaleur rayonnante par un filtre qui n'entraînera pas de diminution appréciable de la lumière. *Pour réaliser un filtre simple, il suffit de cimenter deux plaques de verre à une bande de métal pour former un récipient plat, de 2 cm 1/2 d'épaisseur environ, et de le remplir d'eau.* Les rayons infrarouges sont absorbés par l'eau dont la capacité calorifique est telle qu'elle n'aura certainement pas le temps de s'échauffer suffisamment pour renvoyer le rayonnement. Une matière

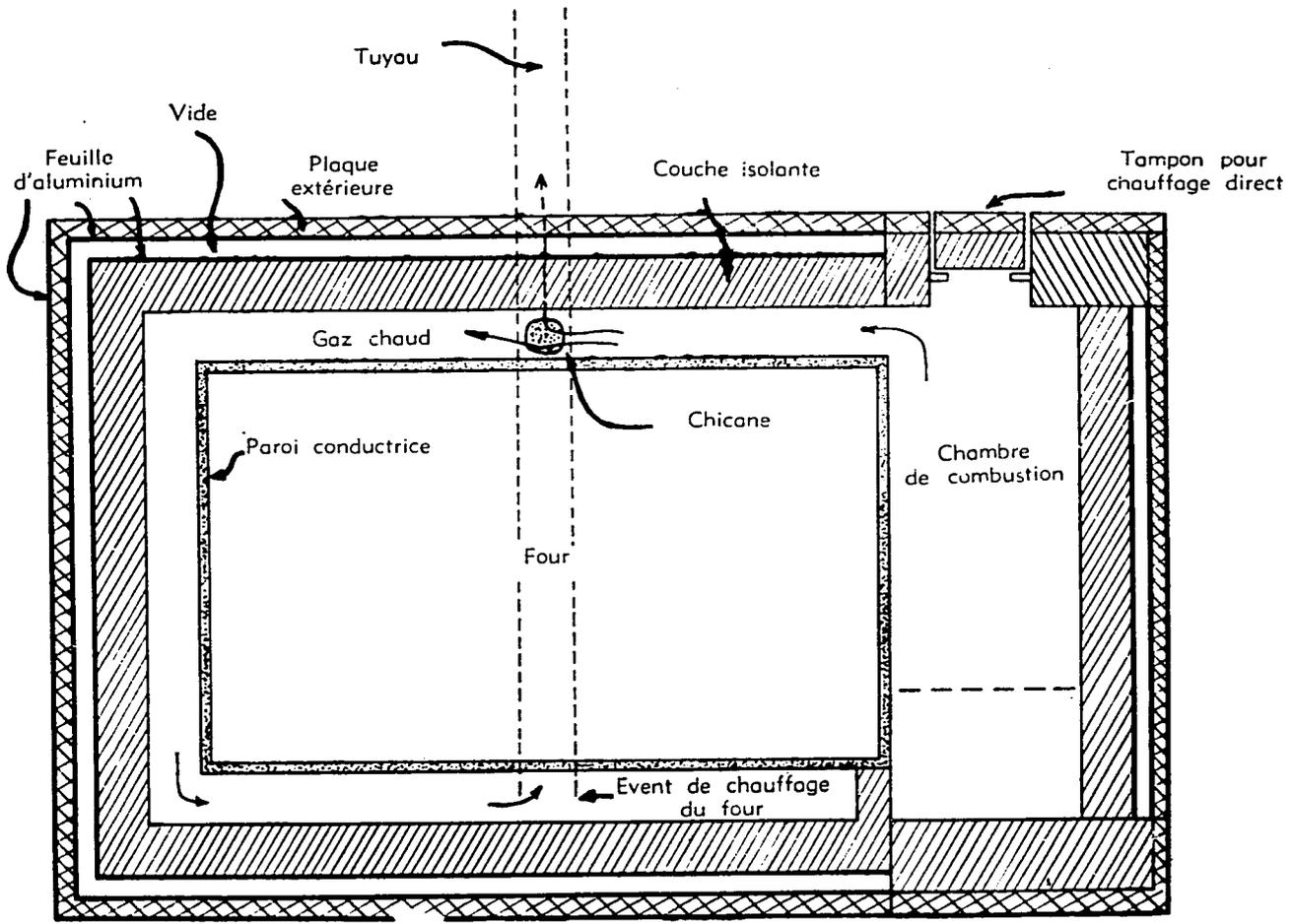


Figure 12. — Emploi d'un isolant et de feuille d'aluminium dans une cuisinière à bois avec four. L'isolant par accumulation aide à garder une chaleur constante en dépit des fluctuations de l'intensité du feu, et évite que la chaleur ne s'échappe dans la pièce. Deux couches opposées de feuilles réfléchissantes, séparées par un espace, servent d'isolant contre les pertes de chaleur rayonnante. Cet effet peut être renforcé en garnissant d'une feuille d'aluminium les surfaces extérieures dont on ne se sert pas. Four que le feu preme bien, il faut que les gaz passent directement de la chambre de combustible dans le tuyau. Une fois le feu en marche, on peut déplacer la chicane pour que les gaz chauds circulent autour du four avant de s'échapper par le tuyau.

plastique résistant bien à la chaleur peut remplacer à la fois le verre et le métal, mais elle risque de perdre sa transparence si elle est rayée.

Résumé.

Les principes qui ont été énoncés à la suite d'une enquête sur les besoins physiologiques de l'organisme

humain dans un milieu ambiant chaud et sec, sont indiqués sur la partie gauche du tableau 12, et les principales applications qui en découlent sont résumées sur la droite du tableau. Il existe une correspondance générale entre l'ordre dans lequel les principes, d'une part, les applications,

TABLEAU 12

Résumé des principes et applications importantes dans un milieu chaud et sec

PRINCIPE	APPLICATIONS IMPORTANTES
Réduction de la production de chaleur de l'organisme	Espace de rangement bien conçu. Plan bien conçu et conservation de l'espace habitable.
Disposition pratique, entretien facile.	Installations pratiques. Surfaces faciles à entretenir.
Diminution des gains et augmentation des pertes de l'organisme par rayonnement	Si possible, arbres donnant de l'ombre surtout au toit. Si possible, buissons donnant de l'ombre surtout à l'est et à l'ouest. Rangées de bâtiments orientés est-ouest.
Ombre extérieure.	Ailes exposées à l'est et à l'ouest, donnant de l'ombre, non habitées.
Diminution de la réflexion par le sol.	Végétation couvrant le sol, si possible.
Persiennes, auvents, stores.	Couleur sombre pour le sol exposé au soleil.
Arrosage de l'extérieur.	Avancées et autres projections horizontales pour l'exposition à l'équateur.
Projection solaire minimale.	Marquises, auvents, volets, etc., surtout exposés à l'équateur.
Coefficient de réflexion et pouvoir émissif élevé.	Projection verticale à côté des ouvertures des fenêtres exposées à l'équateur.
Convection sur les surfaces exposées au rayonnement.	Arrosage du toit et des murs exposés au rayonnement.
Isolation (par accumulation).	Mince couche d'eau sur le toit en terrasse.
Convection sur les surfaces à l'intérieur.	Exposition au nord pour les bâtiments ne servant pas à l'habitation, forme de dalles ou de carrés élevés.
Faible pouvoir émissif des surfaces à l'intérieur.	Teintes claires pour les surfaces exposées aux rayons du soleil.
Hauteur de plafonds modérée.	Eviter les parapets et autres obstacles à la circulation du vent.
	Toiture en bois, terre, pierre, ou autres matériaux à faible pouvoir émissif. Plafonds ne dépassant généralement pas 3 mètres.

PRINCIPE	APPLICATIONS IMPORTANTES
<p><i>Réduction des gains et intensification des pertes de chaleur de l'organisme par conduction</i></p> <p>Isolation. Ventilation contrôlée. Ventilation du toit. Refroidissement du sol. Refroidissement par évaporation. Refroidissement par installation frigorifique.</p>	<p>Murs continus avec isolation par accumulation en cas d'exposition au rayonnement. Portes, fenêtres, etc., pouvant être hermétiquement fermées et facilement ouvertes. Ventilation du toit et espace entre les couches successives de la toiture. Rideau d'eau ou boîte de réfrigération avec ventilateur. Admission d'air traversant un tunnel de terre. Construction sur cave. Conditionnement d'air par réfrigération. Isolement par accumulation autour du foyer et de la chambre de combustion. Garnissage de la paroi du fourneau avec de la feuille d'aluminium emprisonnant une mince couche d'air.</p>
<p><i>Réduction de la chaleur libérée dans le bâtiment</i></p> <p>Réduire au minimum la chaleur libérée. Evacuer la chaleur libérée.</p>	<p>Si les prix le permettent, combustible liquide ou gazeux ou appareils électriques. Bouches d'aération au-dessus du fourneau donnant sur l'extérieur. Bouches d'aération et écran interceptant les rayons infrarouges pour les lampes.</p>

d'autre part, sont énoncés; naturellement, certains principes portent sur plusieurs applications et la nature exacte d'une application donnée peut être le résultat d'un compromis entre les exigences de deux ou plusieurs

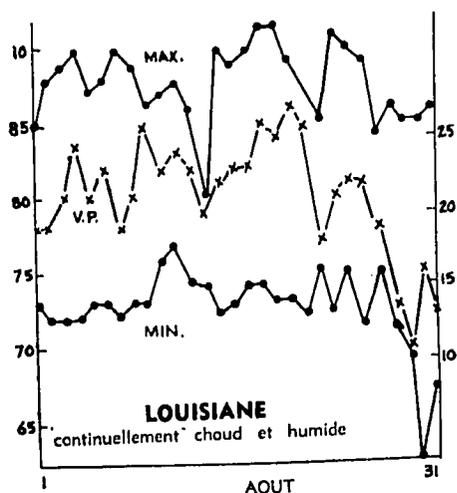
principes. Ce tableau résumé sera, croyons-nous, un document de référence pratique pour une consultation rapide; il faudra cependant se référer au texte pour trouver des explications détaillées et circonstanciées.

L'HABITAT, PROTECTION CONTRE LES CONDITIONS CLIMATIQUES DANS LES MILIEUX CHAUDS ET HUMIDES

Dans le chapitre précédent, nous avons étudié en détail le rôle protecteur de la maison dans les climats chauds et secs. Certains des principes établis et des méthodes proposées, — économie du travail et contrôle de la chaleur libérée — s'appliquent également aux milieux ambiants chauds et humides; dans d'autres cas, les contrastes sont nets en raison de la différence entre les températures et degrés d'humidité dominants dans ces deux types de milieux. Pour éviter les répétitions, nous mentionnerons seulement les principes déjà étudiés et là encore applicables, et nous insisterons sur les cas où les objectifs à atteindre dans un climat chaud et humide diffèrent de ceux préconisés pour un milieu ambiant chaud et sec.

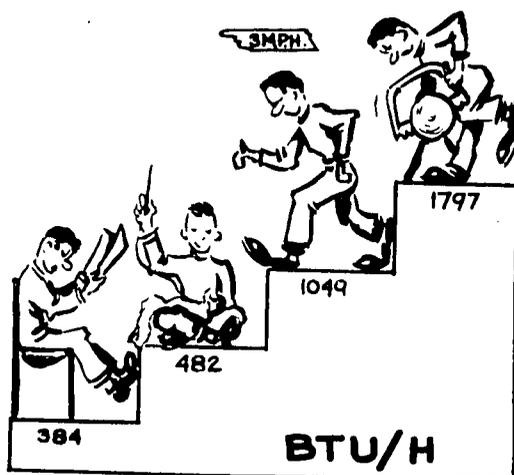
Nature des milieux chauds et humides.

Par opposition aux milieux chauds et secs, ils se caractérisent par des températures moyennement élevées



(dépassant rarement celles de la peau) par un air et un sol humides. Les nuages et la vapeur humide filtrent généralement une partie des rayons du soleil; le sol humide et l'eau, à l'état libre, ont une capacité calorifique élevée et ne s'échauffent pas trop facilement. A la première occasion, la vapeur se condense et tombe en pluie; là encore, le cycle des événements tend à se reproduire automatiquement. En fait, près de l'équateur, les écarts sont minimes, à moins que la topographie locale — le rapport entre les montagnes et les vents — n'introduise des variations saisonnières. Naturellement, si l'on s'écarte de l'équateur, la marche du soleil et les vents saisonniers donnent naissance à des variations, de sorte que les conditions ambiantes typiquement chaudes et humides se limitent à une

période de l'année. L'humidité jointe à une chaleur modérée favorise le développement de la végétation et cette dernière diminue d'autant le rayonnement à cause de son faible pouvoir réfléchissant. On en déduira donc que la chaleur due au rayonnement n'est généralement pas très importante, que l'on peut se débarrasser de la chaleur par conduction, de sorte que la quantité de chaleur que l'organisme doit éliminer par évaporation n'excède pas de beaucoup celle produite par le métabolisme. Malheureusement, l'évaporation est généralement difficile. Pour créer une pression de vapeur suffisamment supérieure à celle de l'air ambiant, il faut que la peau produise énormément d'humidité. Quelquefois, un véritable bain de sueur ne suffit pas à créer la différence nécessaire; en outre, la moiteur de la peau est nettement désagréable et risque d'entraîner certains troubles. L'agitation de l'air favorise l'évaporation, mais la jungle constitue souvent un obstacle efficace au mouvement de l'air.



La figure 13 et le tableau 13 représentent la situation d'un homme non protégé dans un milieu ambiant chaud

et humide; la distribution géographique de tels milieux est indiquée sur les cartes de la figure 6.

Nous allons adopter le même plan que précédemment.

Principes tendant à réduire la production de chaleur du corps humain.

Il est au moins aussi important d'éliminer la production de chaleur non indispensable dans les milieux chauds et humides que dans les milieux chauds et secs. Certains estiment même que c'est encore plus nécessaire, car, pour beaucoup, l'humidité et la moiteur donnent une sensation d'inconfort particulièrement désagréable; en outre, il est plus difficile d'entretenir les intérieurs à cause de la présence de moisissures, d'insectes et de l'humidité généralisée. *La facilité d'accès aux réserves, aux dépôts d'ordures, des surfaces et des ustensiles faciles à entretenir, des escaliers réduits au minimum, la protection du sol, tels sont les éléments d'importance primordiale valables également pour les constructions à bon marché.*

Puisque la propreté du sol est une chose importante qui peut absorber un certain nombre d'heures de travail tous les jours, dans les climats humides, nous allons évoquer ici la question de la construction du plancher. Pour bien faire, les planchers devraient être conformes à certaines normes minimales : (1) être agréables à la marche et suffisamment solides pour supporter les occupants de la maison avec les installations et les meubles nécessaires; (2) être d'un entretien facile; (3) ne pas être humides; (4) être suffisamment durables; (5) être conçus de façon à ne pas abriter d'insectes, de rongeurs et

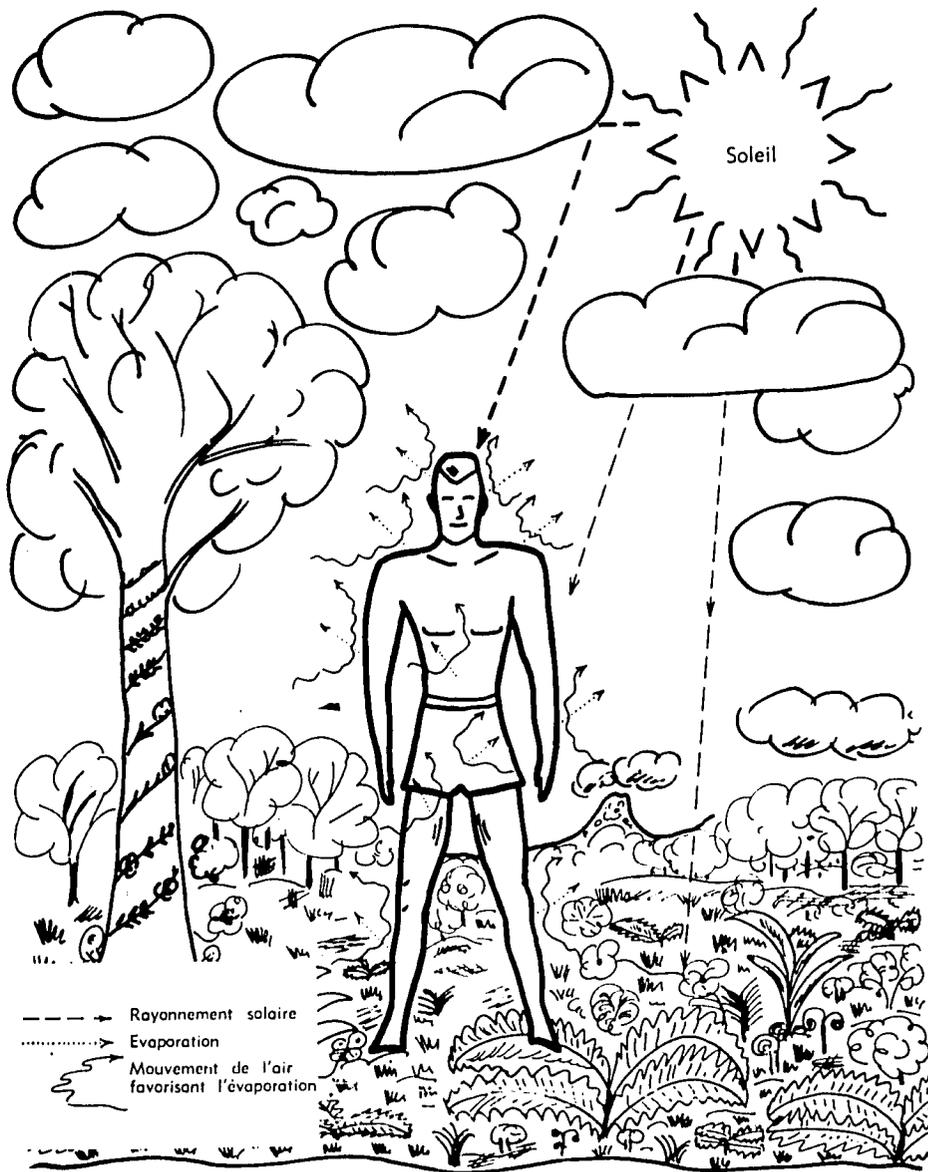


FIGURE 13. — Les échanges thermiques dans un milieu chaud et humide, noter l'incidence intermittente du rayonnement solaire direct et l'absence de réflexion par le sol. Cependant, la réflexion par les nuages peut être considérable. Noter aussi l'absence d'échange de rayons infrarouges, ondes longues avec le sol ou le ciel. Il n'y a pratiquement pas d'échange thermique par conduction. La perte de chaleur par évaporation est difficile, mais énormément accélérée par l'agitation de l'air.

TABLEAU 13

Caractéristiques importantes des milieux ambiants chauds et humides

CARACTÉRISTIQUES	AMPLEUR	EFFET SUR LA THERMORÉGULATION
Rayonnement solaire direct	Moyen à élevé, beaucoup d'ombre	Accroissement <i>moyen</i> à nettement marqué des gains de chaleur.
Rayonnement solaire réfléchi par les nuages, etc.	Modéré	Léger accroissement des gains de chaleur.
Rayonnement solaire réfléchi par le sol, etc.	Faible	Peu d'effet.
Echange thermique par rayonnement avec le sol, etc.	Modéré	Négligeable.
Pertes de chaleur par rayonnement vers le ciel	Faible	Eventuellement, <i>pertes légères</i> de chaleur.
Température de l'air	Légèrement inférieure à la température de la peau	Faible accroissement des pertes de chaleur.
Pression de vapeur de l'air	Elevée	Limite les possibilités de pertes de chaleur essentielles pour rétablir l'équilibre.
Agitation de l'air	Variable	Favorise les pertes de chaleur.

autres parasites. Dans les régions tropicales humides, il est bien moins facile de respecter ces normes que dans les régions tempérées, surtout lorsqu'interviennent les questions de prix.

Un sol de *terre battue* garde une température relativement constante, légèrement inférieure à la température moyenne de l'air, mais il risque d'être humide, voire même très humide, la plupart du temps, et de produire ainsi une couche d'air humide dans son voisinage. Il est difficile à entretenir, il abrite de nombreux parasites et devient facilement insalubre si les conditions d'hygiène ne sont pas irréprochables. Son principal avantage est son prix négligeable (voir planches Ia, IIIc). On peut remédier en partie à certains inconvénients des sols de terre battue en stabilisant la terre avec du

ciment, des matériaux bitumineux ou autres produits chimiques qui le rendent moins absorbant et plus facile à entretenir.

Un matériau semi absorbant reposant sur un sol de terre (le bois par exemple) tend à suivre d'un peu plus près la température de l'air, à être un peu moins humide que la terre proprement dite; naturellement, il risque d'être inondé, comme le sol qui le supporte. Il est généralement plus facile à entretenir, bien que la saleté s'accumule rapidement dans les interstices entre les différents éléments. Les dégâts dus au champignon et aux termites risquent d'être importants et il faut en tenir compte dans le calcul du prix de revient de la construction.

Les matériaux imperméables posés sur la terre (béton ou carrelage, par exemple) conservent une température

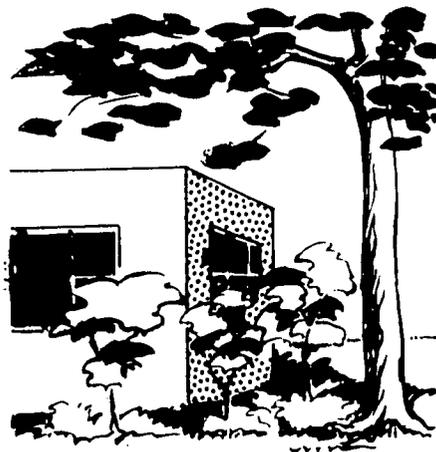
relativement constante correspondant à peu près à la température moyenne de l'air; ils sont relativement secs, à moins que leur température ne tombe au-dessous du point de rosée de l'air dans la maison. Ils sont d'un entretien facile et peuvent être lavés à grande eau, sans en souffrir le moins du monde; naturellement, il est préférable qu'il y ait une continuité dans la maçonnerie. La pénétration des parasites se trouve éliminée ainsi que le risque de contamination. Ce type de matériau est durable.

Lorsque le plancher *ne repose pas à même la terre*, la plupart des considérations ci-dessus se trouvent modifiées. En général, le plancher est plus sec et un peu plus frais. On peut utiliser des matériaux semi absorbants à meilleur marché et la continuité de structure a moins d'importance. Les interstices peuvent augmenter la ventilation du sol qui contient généralement une couche d'air stagnant et permettre l'écoulement de l'eau de lavage. Si l'on peut avoir accès à la surface du dessous, on peut nettoyer les interstices et la terre. Généralement, pour empêcher l'entrée des parasites et de la vermine, on fait des parois extérieures d'un seul tenant, du plancher au sol, à la façon d'une gaine. La détérioration des matériaux du plancher sera vraisemblablement lente. Dans les régions où il y a des termites, on place des protections métalliques entre le plancher et les murs et les poteaux, piliers du support ou murs de fondations (voir planche IIc). Les supports proprement dits doivent résister aux termites; on les exécutera de préférence en maçonnerie ou en béton. Dans certaines régions, on pourra se servir de poteaux de bois dur, traités au créosote, au pentachlorophénol, ou autres liquides protecteurs. De toute façon il faudra avoir accès aux murs

de fondation ou aux supports pour les vérifier périodiquement. Si les pilotis sont suffisamment élevés, l'espace ainsi pratiqué peut trouver de nombreuses utilisations: séchoir pour la lessive, salle de jeux, etc. (voir chapitre 6).

Principes tendant à réduire les gains et à augmenter les pertes de chaleur de l'organisme par rayonnement.

Bien que l'intensité moyenne du rayonnement solaire direct soit moins grande dans les milieux ambiants chauds et humides, elle reste pourtant très importante sur le toit et atteint parfois des intensités proches de celles qui caractérisent les régions chaudes et sèches. Par contre, les murs sont soumis, par le sol, à un rayonnement réfléchi et thermique moins intense. Les différents principes évoqués dans le chapitre précédent pour la protection contre le rayonnement restent, dans l'ensemble, valables pour le toit, mais dans une moindre mesure; pour les murs, il faudra les modifier.



L'ombre extérieure

Les arbres, généralement abondants, peuvent servir à abriter le toit, les murs et le sol environnant, mais

il faut compter avec les chutes de branches, avec les animaux qu'ils hébergent, comme les maringouins et les chauves-souris, et avec la voie d'accès qu'ils constituent pour les visiteurs indésirables — hommes ou animaux. La maison du type bungalow pourra mettre à profit l'ombre fournie par les arbres, ce qui permet de réduire ainsi la plus forte projection du toit (planche II*d*). *Dans ce cas, il n'est pas souhaitable que les maisons s'abritent mutuellement*, car leur proximité limiterait la circulation de l'air extrêmement nécessaire entre les maisons et à l'intérieur. La même critique s'applique aux buissons ou autres plantes formant un écran trop touffu. En outre, il est bon d'isoler ces maisons largement ouvertes (voir ci-dessous) pour respecter l'intimité de chacun. C'est là un inconvénient pour les maisons comprenant plusieurs appartements.

Diminution de la réflexion par le sol

Dans les milieux chauds et humides, la végétation couvre généralement le sol et l'on tirera avantage de cette diminution de la réflexion et de la chaleur émise par le sol. Le degré hygrométrique de l'air ambiant ne subit pas de modification sensible lorsque l'on remplace la terre couverte d'herbe par du ciment ou autres surfaces à séchage rapide, mais on risque ainsi d'augmenter à la fois la réflexion et l'émission de chaleur; de telles surfaces sont donc à déconseiller à proximité du bâtiment.

Persiennes, auvents, stores

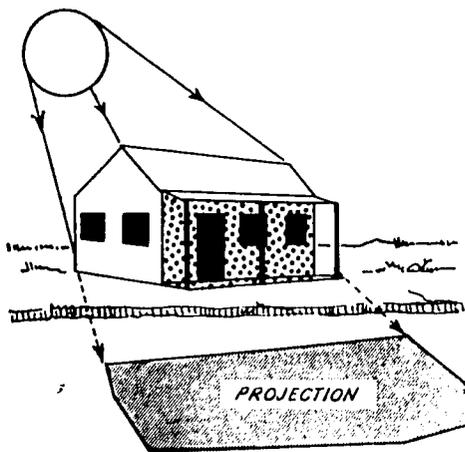
Ces dispositifs judicieusement utilisés (voir chapitre précédent), combinés à l'écran formé par les arbres et les buissons, peuvent éviter d'avoir recours à une ligne continue de murs pour se protéger contre le rayonne-

ment; ceci est particulièrement intéressant dans les cas où l'on recherche une ventilation maximale par les courants d'air ambiants, comme nous le verrons par la suite. Malgré un rayonnement d'intensité moyenne réduite, les *dispositifs projetant de l'ombre* sur les murs conservent une importance notable dans les milieux ambiants chauds et humides, car ils peuvent *se substituer aux murs* proprement dits. Ces dispositifs peuvent être tout simplement la continuation d'un toit en pente ou bien être fixés à des pièces de charpente verticales; on peut aussi les incorporer aux abris contre la pluie dominant les ouvertures et à d'autres éléments d'architecture. La véranda (voir chapitre 6 et planches I*b*, II*d*, III) est simplement l'aboutissement logique de ce type de dispositif. Tous les auvents, persiennes, doivent être munis d'orifices d'aération pour l'évacuation de l'air chaud.

Projection solaire minimale

Si les parois verticales du bâtiment sont bien protégées par la végétation ou par des auvents contre le rayonnement solaire direct, elles n'interviennent pas comme véhicule de la chaleur solaire dans la maison. Les quantités de cette chaleur absorbées par les auvents sont renvoyées dans l'air ambiant et n'ajoutent rien à la température de la maison. Dans ce cas, il faut simplement *réduire au minimum la projection solaire du toit*. Lorsque le soleil est haut dans le ciel, cette projection est proportionnelle à la surface horizontale couverte par le toit, la forme du toit n'intervenant que si sa pente est supérieure à l'altitude du soleil. Dans de telles conditions, le toit d'une *maison à plusieurs étages* a une projection solaire inférieure à celle d'une maison à un étage présentant la même surface

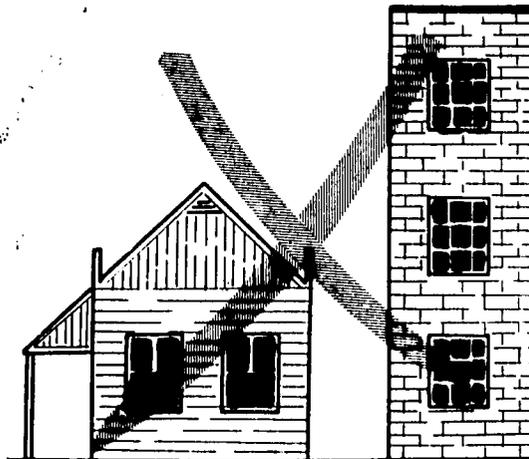
de base, mais à mesure que la hauteur des murs augmente, il devient plus difficile de les mettre à l'ombre, aussi faut-il parfois choisir une solution de compromis. La hauteur augmente la convection par le mouvement naturel de l'air (voir ci-dessous), mais elle inflige aussi de plus grandes contraintes mécaniques sur les constructions relativement légères qui sont courantes dans ces régions.



Coefficient de réflexion et pouvoir émissif élevés

Le coefficient de réflexion du rayonnement solaire incident demeure élevé, mais l'émission en retour est moins importante que dans les milieux ambiants secs, car la vapeur d'eau contenue dans l'air filtre une grande partie des pertes de chaleur par rayonnement vers le ciel, la température du ciel étant plus voisine de celle de l'air ambiant. (On peut s'en rendre compte la nuit lorsque l'on sort de sous une marquise; dans un climat chaud et humide, on a une moins grande sensation de fraîcheur que dans un climat chaud et sec.) La supériorité d'une toiture peinte en blanc comparée à une surface de métal poli est donc moins nette (voir chapitre

précédent) dans les milieux ambiants chauds et humides.



Convection sur les surfaces exposées au rayonnement

Dans ce cas encore, elle est souhaitable car les surfaces sont souvent humides et le mouvement de l'air va entraîner une évaporation produisant du froid. Pendant les périodes sèches, on peut arroser le toit (voir chapitre précédent) pour parfaire cet effet. Plus le toit est élevé par rapport au sol, plus la circulation d'air au-dessus est importante. C'est pour cela que, généralement en Amérique Latine, au Siam et en Australie, on construit les maisons sur pilotis (voir planches IIc, IIIa). *Les bâtiments construits sur une élévation* vont bénéficier, eux aussi, d'une circulation plus intense de l'air. Cependant, il ne faut pas oublier de tenir compte des effets mécaniques des vents. On évitera de placer sur les toits des *parapets faisant obstacle au mouvement de l'air*.

Isolation

Comme le toit est exposé à un échauffement périodique sous l'effet des rayons du soleil, on adoptera de préférence l'isolation par accumulation (voir chapitre précédent); mais, du fait

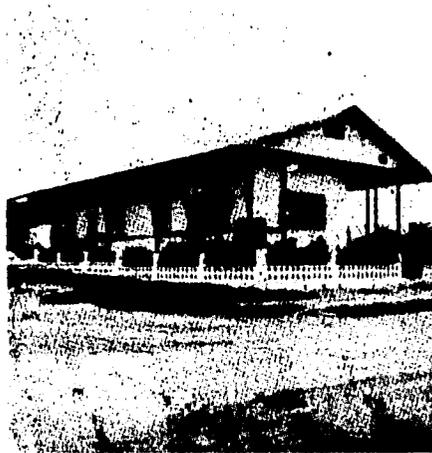
PLANCHE III



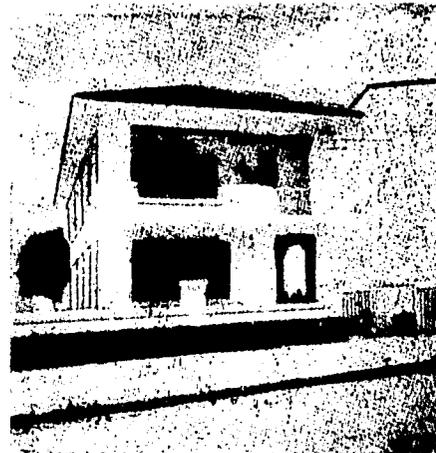
a) Résidence, Siam. Noter la vaste véranda, les retombées du toit et la toiture au-dessus de l'escalier. La cuisine est à part (à gauche) mais le passage n'est pas couvert. Pas de ventilation des combles et l'espace en dessous de la maison est inutilisable. (Communiqué par R. L. Pendleton et American Geographical Society.)



c) Bonne construction indigène, Nouvelle-Guinée. Peu d'obstacle à la brise naturelle. Les avancées du toit sont suffisantes pour abriter du soleil vertical. Les toits de chaume abritent des parasites et sont très inflammables. Les pilotis rendent le sol sec et frais. Dans cette région la pluie tombe verticalement. (Communiqué par l'Armée américaine.)



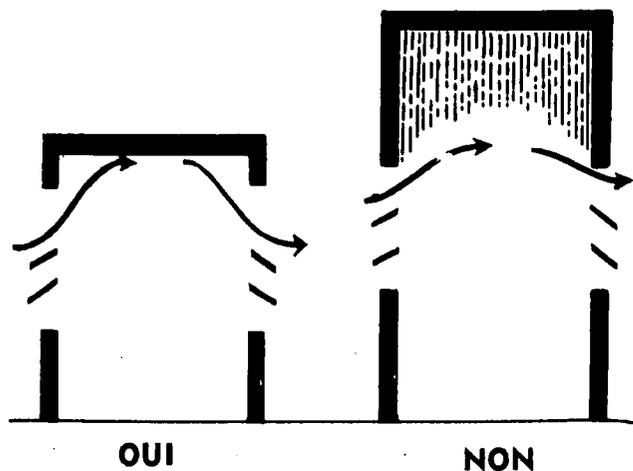
b) Bungalow Leopoldville, Congo Belge. Bonne construction à bon marché. Noter l'avancée du toit, la ventilation des combles, la ventilation transversale des pièces. Les murs légers sont suffisants pour un climat équatorial. (Communiqué par R. L. Pendleton et American Geographical Society.)



d) Résidence de luxe, Belém, Brésil. Bonne ventilation et vérandas pour un climat chaud et humide. Rez-de-chaussée insuffisamment protégé. Réflexion désagréable provenant des murs des maisons voisines. Les larges avancées du toit sont à retenir. (Communiqué par R. L. Pendleton et American Geographical Society.)

que la quantité de chaleur est en moyenne inférieure à celle rencontrée dans les climats chauds et secs, les normes imposées à l'isolement pourront être moins sévères. Les murs bien protégés n'auront pas besoin d'être isolés contre la chaleur rayonnante (planche IIIb, c). (Ceci ne veut pas dire que l'on évitera d'employer du ciment ou autre type d'isolant par accumulation pour les murs si l'on en a à sa disposition; simplement, ce n'est pas obligatoire.)

Dans les climats chauds et humides, les murs ont tellement peu d'importance tant que le temps est beau que l'on aménagera à chaque fois que possible des espaces pour vivre en plein air. Les arbres fournissent l'ombre, les buissons et les haies mettent à l'abri contre les regards indiscrets et l'on peut vivre parfaitement en plein air, tout au moins pendant une grande partie des heures du jour. Pour ce faire, on peut fort bien utiliser l'espace ménagé entre les pilotis sous la maison (voir planche IIIa).



Convection sur les surfaces intérieures et ventilation de l'espace sous le toit

Ce système peut compenser les insuffisances de l'isolant, mais dans les milieux chauds et humides on n'a pas besoin de situer la bouche d'aération près du plafond et le courant d'air peut être intégré à la ventilation générale que nous étudierons par la suite.

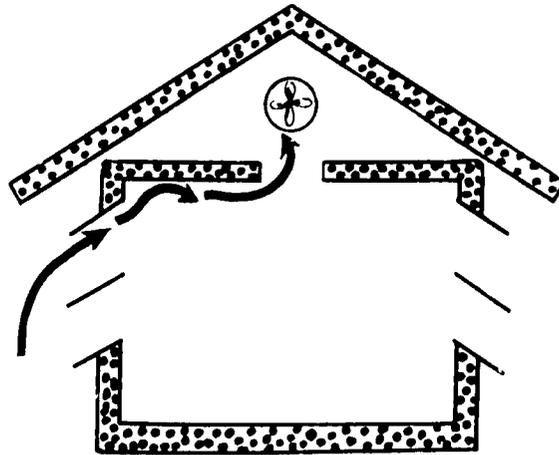
Faible pouvoir émissif des surfaces intérieures

On peut appliquer là les suggestions relatives aux milieux chauds et secs (voir chapitre précédent) à condition

toujours que le courant d'air serve à évacuer la chaleur de la surface qui l'émet plus difficilement.

Hauteur du plafond

Les plafonds très hauts sont encore plus déconseillés que dans les climats chauds et secs (voir chapitre précédent) car la température du plafond risque d'être moins élevée. En fait, il est vivement souhaitable que les plafonds soient suffisamment bas pour que le haut des fenêtres arrive au niveau du plafond, ce qui permet l'évacuation par ventilation de l'air chaud et humide.



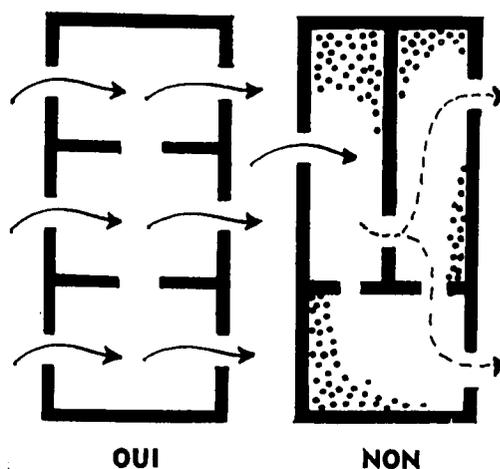
**Principes
tendant à réduire les gains
et à intensifier les pertes de chaleur
de l'organisme par évaporation.**

Dans les climats chauds et secs, l'évaporation se produit si naturellement que l'évaporation à partir de la peau n'a pas besoin d'être favorisée de façon spéciale tant que la peau peut produire suffisamment d'humidité; mais dans un milieu chaud et humide, l'évaporation dans un air chargé d'humidité se fait difficilement. D'autre part, l'échange de chaleur par conduction devient pratiquement insignifiant. *Les fondations sur caves ou autres dispositifs d'échange thermique avec le sol ne sont généralement pas efficaces* dans ces climats et risquent d'entraîner des complications du fait que la nappe phréatique est habituellement élevée. C'est la raison pour laquelle nous avons remplacé la rubrique consacrée à la conduction dans les climats chauds et secs par une rubrique consacrée à l'évaporation. Signalons toutefois que l'arrosage d'un toit chauffé par le soleil peut donner d'assez bons résultats pour qu'on le prenne en considération (voir chapitre précédent).

Ventilation (volume du débit)

A moins que l'on utilise quelque procédé de déshydratation, la pression de vapeur à l'intérieur de la maison est généralement supérieure à la pression de vapeur de l'air extérieur, du fait de la transpiration, du lavage et de la cuisine. Dans ces conditions, *il est bon que l'air intérieur soit remplacé par l'air extérieur*. Plus cette substitution est fréquente, plus il est facile d'empêcher la pression de vapeur d'eau à l'intérieur de s'élever. Ce remplacement de l'air intérieur par l'air extérieur est ce que l'on appelle la *ventilation*, et on l'exprime sous forme de débit d'air en m³/minute. Il s'agit essentiellement d'un rythme d'échanges de volumes. La ventilation est assurée en partie par des courants d'air naturels entrant par les ouvertures judicieusement disposées en fonction de la direction du vent, l'une face au vent pour l'entrée de l'air, et l'autre à l'abri du vent pour sa sortie (voir planche Ia et III). *Les contours, l'orientation de la maison et la disposition des bâtiments avoisinants* vont avoir une influence marquée sur l'efficacité de la ventilation naturelle. Dans les maisons qui disposent d'une instal-

lation électrique, on peut compléter la ventilation naturelle par des ventilateurs.



Mouvement de l'air (vitesse du débit)

Plus l'air se déplace rapidement à la surface de la peau, plus l'évaporation se trouve facilitée. Dans les climats chauds et humides, où l'évaporation est difficile, il faut non seulement abaisser la pression de vapeur moyenne de l'air dans la pièce par la ventilation, mais il faut aussi accélérer la vitesse à laquelle l'air se déplace sur la peau. Là encore, on peut faire appel aux courants d'air naturels, comme pour la ventilation, mais *il est conseillé également de prévoir des ventilateurs.*

Lorsque l'on doit compter surtout sur les courants d'air naturels, les conditions externes signalées pour leur effet sur la ventilation — contours, orientations, dispositions des bâtiments voisins, emplacements des ouvertures — doivent être complétées par des astuces de construction. La vitesse d'arrivée de l'air peut être maintenue si l'air est canalisé *par des cloisons* dans les zones occupées au lieu de se trouver ralenti par des tourbillons dans des coins de pièce inoccupée. Les cloisons ne doivent pas être placées

en travers du courant d'air, mais si c'est parfois inévitable, dans ce cas, elles comporteront plusieurs ouvertures et on laissera un jour entre la cloison et le plafond et entre la cloison et le plancher.

Les ouvertures pratiquées dans les murs doivent non seulement être aussi grandes que possible mais de plus être *parfaitement dégagées*; c'est un point qu'il ne faut pas oublier quand on envisage la protection contre les insectes. Dans les régions tropicales où les insectes ne sont pas porteurs de maladies graves, et où l'emploi d'un ventilateur n'est pas possible, les habitants préfèrent souvent s'accommoder de la présence des insectes plutôt que d'empêcher la brise de pénétrer dans la maison. Il semble que la circulation de l'air soit facilitée lorsque les ouvertures abritées du vent sont plus grandes que celles exposées au vent.

Dans la zone équatoriale, on *protège de la pluie* les embrasures au moyen de simples avancées en surplomb car les vents poussent rarement la pluie obliquement; dans les autres régions c'est beaucoup plus délicat. Les vérandas ouvertes peuvent être évacuées quand il pleut; les *persiennes* ou *jalousies* permettent de régler les ouvertures, à condition qu'elles joignent bien et qu'il y ait quelqu'un dans la maison pour les manœuvrer. Les *stores* que l'on peut rouler, en rotin ou autre matériau, constituent un compromis d'une efficacité relative et qui convient surtout aux vérandas.

En général, on ne trouve plus d'esclaves pour manœuvrer les éventails (« panka ») aussi faut-il installer l'électricité dans la maison avant de songer à tout moyen mécanique de renforcer la circulation naturelle de l'air. Les ventilateurs ultra-rapides qui soufflent dans une direction fixe ne sont pas

très pratiques dans les intérieurs, car la vitesse déplace les objets et donne une sensation désagréable sur la peau. Dans une certaine mesure les courants d'air tourbillonnants sont préférables aux courants d'air linéaires pour rafraîchir le corps; on adoptera donc de préférence des ventilateurs moins rapides créant une turbulence généralisée. *Les grands ventilateurs relativement lents fixés au plafond* sont tout à fait conseillés. (On considère parfois que ces ventilateurs ne sont pas assez modernes; cependant ils sont bien plus efficaces que la plupart de leurs remplaçants « modernes ». Les ventilateurs muraux oscillants, de vitesse moyenne et de plus petite taille, constituent un compromis acceptable. On a mis au point dernièrement un modèle maintenant très populaire aux Etats-Unis; il s'agit d'un ventilateur de vitesse moyenne soufflant vers le haut en direction d'un cône qui dévie le courant d'air vers l'extérieur et vers le haut. Cet appareil portatif peut être placé sur le plancher, ou à proximité, dans la position que l'on trouve la plus pratique. Son grand avantage est de ne pas déplacer les papiers et objets légers posés sur les tables ou les bureaux.

Déshydratation

Dans les climats chauds et secs, la climatisation de l'air a essentiellement pour tâche d'abaisser la température de l'air, sans que l'on se soucie trop de son humidité; dans les climats chauds et humides, on s'efforce surtout d'abaisser la pression de vapeur, sans trop se préoccuper de la température. La méthode de déshydratation la plus courante est certainement le *refroidissement de l'air au-dessous du point de rosée*, de façon à condenser une proportion appréciable de la vapeur contenue dans l'air. Une autre

méthode prévoit l'*absorption* de la vapeur par du gel de silice, régénéré ensuite à la chaleur. Il se passera certainement bien des années encore avant que l'une ou l'autre de ces méthodes puissent être couramment appliquées dans ce que l'on considère généralement comme les pays sous-développés. Dans la mesure où l'on peut envisager une application partielle, *il faut accorder la priorité aux chambres à coucher, aux salles dans lesquelles on exécute un travail difficile, aux salles de spectacles et aux hôpitaux.*

Principes tendant à limiter la chaleur libérée dans le bâtiment.

Le bois étant généralement très abondant, le fourneau à bois, d'un prix peu élevé, présente bien des avantages dans les régions chaudes et humides, mais le problème de la protection de l'utilisateur contre la chaleur libérée reste très important. Les commentaires présentés à ce titre dans le chapitre précédent s'appliquent aussi bien aux climats chauds et humides qu'aux climats chauds et secs. Sont à conseiller vivement : *un dispositif isolant du type par accumulation, une couche d'air emprisonnée entre des feuilles de matériaux réfléchissants dans la paroi du four, une surface extérieure à faible pouvoir émissif et l'évacuation de l'air chaud et humide par un courant d'air dirigé.*

Résumé.

Le tableau 14 résume les principes et applications les plus importants préconisés pour les bâtiments dans les climats chauds et humides, de façon à répondre aux besoins physiologiques de l'organisme humain. Comme pour le tableau 12, il existe une correspondance générale entre les deux colonnes

du tableau, mais certaines rubriques d'une colonne doivent être associées à deux ou plusieurs titres de l'autre colonne. Ce tableau constitue un résumé pratique, facile à consulter, mais il est conseillé de se reporter au texte.

TABLEAU 14

Résumé des principes et applications importantes dans les milieux ambiants chauds et humides

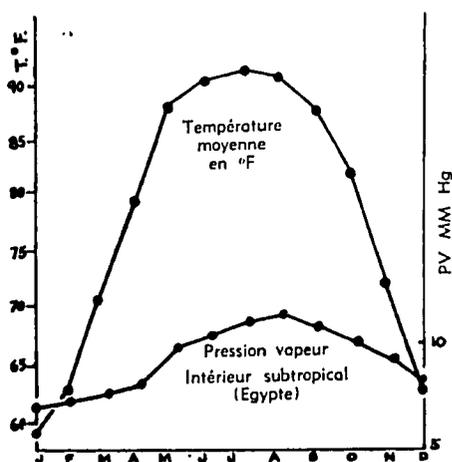
PRINCIPES	APPLICATIONS IMPORTANTES
<p><i>Réduction de la production de chaleur de l'organisme</i></p> <p>Disposition pratique, entretien facile.</p> <p><i>Diminution des gains et augmentation des pertes de l'organisme par rayonnement</i></p> <p>Ombre extérieure.</p> <p>Diminution de la réflexion par le sol.</p> <p>Persiennes, auvents, stores.</p> <p>Arrosage de l'extérieur.</p> <p>Projection solaire minimale.</p> <p>Pouvoir réfléchissant élevé de l'extérieur.</p> <p>Convection sur les surfaces exposées au rayonnement.</p> <p>Isolement du toit (par accumulation).</p> <p>Convection sur les surfaces intérieures.</p> <p>Faible pouvoir émissif des surfaces intérieures.</p> <p>Plafond de hauteur moyenne.</p>	<p>Espace de rangement bien conçu.</p> <p>Plan bien conçu et conservation de l'espace habitable.</p> <p>Installation pratique.</p> <p>Surfaces faciles à entretenir, en particulier pour le plancher.</p> <p>Ombres fournies par les arbres surtout sur le toit.</p> <p>Ombres fournies par les buissons, etc., surtout pour les expositions est et ouest mais sans couper le vent.</p> <p>Séparation des bâtiments.</p> <p>Végétation sur le sol.</p> <p>Avancées et autres projections horizontales sur les façades exposées à l'équateur.</p> <p>Auvents, vérandas, etc., spécialement sur les façades exposées à l'équateur.</p> <p>Projections verticales à côté des embrasures des fenêtres exposées à l'équateur.</p> <p>Arrosage ou nappe d'eau sur le toit par temps sec.</p> <p>Projection solaire minimale du toit; couleur claire ou métal poli pour les surfaces exposées aux rayons du soleil.</p> <p>Eviter les parapets ou les obstacles qui créent les autres toits au passage du vent.</p>
<p><i>Intensification des pertes de l'organisme par évaporation</i></p> <p>Ventilation (volume).</p> <p>Mouvement de l'air (vitesse).</p> <p>Déshydratation.</p>	<p>Toiture en bois, pierres ou tout autre matériau au pouvoir émissif faible.</p> <p>Plafond ne dépassant généralement pas 2,40 m.</p> <p>Ouvertures aussi grandes que possible pour le passage de la brise, avec persiennes, volets, etc., contre la pluie.</p> <p>Ventilation dirigée traversant le bâtiment sans obstacle.</p>

<p><i>Diminution de la chaleur libérée dans le bâtiment</i></p> <p>Réduire au minimum la chaleur et la vapeur libérées.</p> <p>Evacuation de la vapeur et de chaleur libérées.</p>	<p>Ventilation des combles et espaces entre les couches successives de la toiture.</p> <p>Ventilateurs provoquant une turbulence.</p> <p>Déshydratation par réfrigération et absorption.</p> <p>Isolement par accumulation autour du foyer et de la chambre de combustion.</p> <p>Minces couches d'air emprisonnées entre des feuilles d'aluminium dans la paroi du four.</p> <p>Combustible liquide ou gazeux, ou appareils électriques lorsque les prix le permettent.</p> <p>Event débouchant sur l'extérieur au-dessus du fourneau.</p> <p>Events et écrans infrarouges pour les lampes.</p>

LES EFFETS CORRECTEURS DES FLUCTUATIONS CLIMATIQUES

Dans les chapitres précédents, nous avons considéré l'architecture de la maison en fonction de deux séries de conditions nettement tranchées que nous avons appelées « climats chauds et secs » et « climats chauds et humides ». Pour plus de clarté dans la présentation des principes fondamentaux, nous avons considéré que le bâtiment serait soumis de façon plus ou moins permanente à l'un ou l'autre de ces deux climats contrastés. Il est effectivement vrai que le climat est plus ou moins perpétuellement chaud et humide dans une grande partie des basses terres des régions équatoriales; par contre, dans bien d'autres parties du monde, le climat est chaud et sec, ou chaud et humide, pendant une saison et différent pendant les autres saisons. Les cartes de la figure 6 en donnent une image nette. Dans ce chapitre, nous nous proposons d'étudier les modifications à apporter éventuellement aux plans prévus pour des milieux ambiants typiquement chauds et secs ou chauds et humides pendant toute l'année. Naturellement, nous n'allons pas pouvoir envisager tous les cas possibles, mais nous indiquerons la façon dont on peut arriver à un compromis.

Alternance de climats chaud-sec et frais-tempéré.



Le facteur géographique — latitude, situation continentale, régime des vents — qui rendent bien des régions chaudes et sèches pendant l'été, en font des régions fraîches en hiver. L'importance de l'écart annuel des températures se reflète dans une certaine mesure dans les écarts quotidiens, de sorte que même en été les nuits fraîches ne présentent rien d'exceptionnel. Les régions arides d'Afrique du Nord, d'Arabie, d'Australie, certaines parties du continent américain, présentent des fluctuations climatiques de cette nature, aussi les constructions devront-elles assurer la protection, non seulement contre la chaleur et la sécheresse, mais aussi contre le froid.

Le tableau 15 résume les possibilités d'application des conceptions envisagées pour les climats chauds et secs et aux climats tempérés frais. A première vue, il semble que ce tableau fasse état de nombreuses antinomies rendant le compromis bien difficile; à la réflexion on remarquera qu'il est possible d'apporter des solutions très simples. Les arbres à feuilles caduques, donnent de l'ombre en été, mais n'interceptent pas les rayons du soleil en hiver. Les persiennes; et autres dispositifs du même genre, peuvent avoir des dimensions et des inclinaisons telles qu'elles mettent à l'abri du soleil d'été, haut dans le ciel, mais laissent passer la majeure partie des rayons du soleil d'hiver qui viennent frapper les murs et les fenêtres. En outre, on peut faire des persiennes escamotables (planche IIb). D'après le tableau 8, on voit que les grands bâtiments carrés, particulièrement ceux du type dalle avec l'axe longitudinal orienté d'est en ouest, présentent une projection solaire faible en été mais importante en hiver. On peut modifier utilement ce type élémentaire prévu pour un milieu chaud et sec en aménageant une surface ensoleillée à l'extérieur de la partie principale isolée, mais abritée du vent où l'on pourra profiter du soleil en hiver. Il serait parfait que cet espace soit entièrement vitré, mais il faut prévoir quelque chose de moins coûteux pour les petits budgets.

Les caractéristiques des surfaces extérieures relatives à l'échange de chaleur par rayonnement — coefficient de réflexion, pouvoir émissif, et circulation par convection — ne sont pas si facilement adaptables et doivent être déterminés en fonction de l'importance relative des gains de chaleur en été et des pertes de chaleur en hiver pour chaque cas. La fréquence

des nuages pendant les deux saisons est également un facteur déterminant.

Le tableau 15 révèle un fait important : *l'isolement par accumulation* qui est si important comme protection contre la chaleur en été, *est également important comme protection contre les pertes de chaleur en hiver*. L'intérêt réside non seulement dans le rôle protecteur essentiel de l'isolant mais aussi dans les modifications importantes que sa présence entraîne dans le plan de la maison. Il est fort heureux que son rôle soit si efficace pendant les deux saisons extrêmes. Il est tout aussi heureux que le même système permette de chauffer l'air par le sol en hiver et de le refroidir en été.

En hiver, la convection à l'intérieur est à éviter, ce qui est facile grâce à la ventilation contrôlée dont l'importance a été signalée pour les climats chauds et secs; il suffit tout simplement que les ouvertures soient hermétiquement fermées pour éviter la convection en hiver, tout comme pendant les heures chaudes des jours d'été. Les installations destinées à rafraîchir l'atmosphère par évaporation ou par installation d'un système de climatisation de l'air ne sont pas utilisées pendant les périodes froides; le seul inconvénient est peut-être de laisser dormir le capital investi. On peut facilement modifier les systèmes de protection des cuisinières, etc., de façon à ce que la chaleur chauffe l'ensemble de la maison.

Tout bien considéré, le plan prévu pour les climats chauds et secs peut être modifié assez facilement pour convenir à un climat avec alternance de saisons chaudes et sèches et de saisons fraîches et tempérées.

TABLEAU 15

*Applicabilité des dispositifs prévus pour un milieu chaud et sec
aux autres conditions saisonnières*

CARACTÉRISTIQUES	COMPATIBILITÉ AVEC UN MILIEU FRAIS TEMPÉRÉ	COMPATIBILITÉ AVEC UN MILIEU CHAUD HUMIDE
Réduction de la chaleur produite par l'organisme	Sans importance.	Demeure importante
Ombres extérieures	Non souhaitable.	Demeure importante
Diminution du rayonnement du sol	Non souhaitable.	Demeure importante
Auvents, persiennes, etc...	Effet minime souhaitable.	Demeure important. Efficace sur le toit.
Refroidissement par eau ..	Non souhaitable.	Demeure importante
Projection solaire minimale	Projection plus grande souhaitable.	Demeure importante.
Coefficient de réflexion élevé	Non souhaitable.	Demeure important. Négligeable.
Pouvoir émissif élevé	Non souhaitable.	Demeure importante
Convection externe	Souhaitable contre les inversions de la température.	Demeure important sur le toit, négligeable pour les murs.
Isolement	Non souhaitable.	Demeure souhaitable.
Faible pouvoir émissif interne	Souhaitable.	Négligeable.
Ventilation contrôlée	Fermée.	Grande ouverte.
Ventilation des combles ..	Fermée.	Ouverte.
Refroidissement par le sol	Fonctionne pour le chauffage.	Sans effet.
Refroidissement par évaporation	Inutile.	Relativement inefficace.
Refroidissement par installation de conditionnement d'air	Inutile.	Sert à la déshydratation.
Réduction de la chaleur libérée	Chaleur éventuellement nécessaire.	Demeure importante

Alternance de climats chaud-sec et chaud-humide.

En Inde, les climats des moussons sont caractérisés par deux saisons chaudes : la première chaude et sèche, la seconde chaude et humide; cette succession se rencontre également dans d'autres régions subtropicales. Certaines régions que l'on considère généralement comme chaudes et sèches connaissent de courtes périodes de pluie en été, et pendant ces périodes elles revêtent une partie des caractères

des régions chaudes et humides. Les maisons conçues pour un climat chaud et sec risquent de devenir très inconfortables lorsque le temps devient chaud et humide, à moins que l'on ait prévu des modifications du plan de base pour climat chaud et sec.

Le tableau 15 permet de voir comment on peut adapter les dispositifs prévus pour les climats chauds et secs aux climats chauds et humides. Les antinomies sont peu nombreuses mais assez importantes. Un peu de réflexion

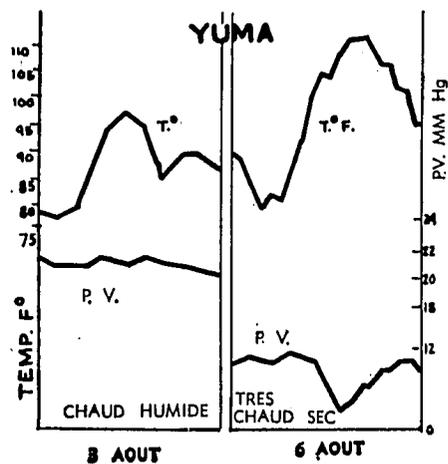


PLANCHE IV

a) Résidence, Townsville, Australie. La véranda est rendue pratiquement inutile par le vitrage, de plus elle isole les pièces de l'intérieur. Les ouvertures, sur la partie inférieure, sont une compensation insuffisante. L'escalier n'est pas abrité. (Communiqué par la Commonwealth Experimental Building Station.)



b) Hadramaout, Arabie. Ce type de construction caractéristique se traduit par une projection solaire minimale en été mais importante en hiver. Les bâtiments serrés les uns contre les autres s'abritent mutuellement. Noter l'espace habité sur les toits. Les petites fenêtres permettent de contrôler la ventilation. (Communiqué par H. von Wissmann.)



permet de trouver des solutions satisfaisantes, faute de quoi les occupants de la maison risqueraient de souffrir inutilement. Pour les habitations à bon marché, l'essentiel est de prévoir de vastes embrasures pour les portes et les fenêtres, tout en s'efforçant de respecter la ventilation transversale, telle qu'elle a été décrite pour les climats chauds et humides (voir chapitre précédent). Alors que la fermeture de ces ouvertures n'a guère d'importance dans les climats perpétuellement chauds et humides, sauf en cas de pluie, lorsqu'il y a alternance d'un climat chaud et sec et d'un climat chaud et humide, il faut veiller soigneusement à ce que celles-ci puissent être fermées et hermétiquement fermées pendant la période chaude et sèche. En outre, le mur entre les ouvertures doit être du type isolant par accumulation et non de construction relativement légère comme il suffit dans les climats perpétuellement chauds et humides. La ventilation des combles prévue pour les climats chauds et secs convient également aux périodes chaudes et humides sans avoir à être modifiée.

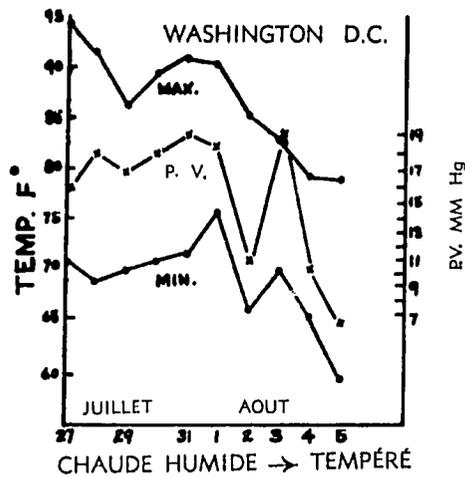
Si possible, on installera des ventilateurs dans les maisons. Les installations de climatisation peuvent être

utilisées pour la déshydratation pendant les périodes chaudes et humides et pour le refroidissement pendant les périodes chaudes et sèches; mais il faut des installations spéciales. En Inde, par exemple, les gens se plaignent souvent que les conditionneurs d'air tombent en panne pendant la mousson; en réalité, ces réfrigérateurs qui refroidissent correctement un air sec n'arrivent pas à déshydrater un air humide. En outre, le fonctionnement continu dans des atmosphères humides givre les réfrigérateurs, aussi faut-il prévoir des arrêts périodiques pour le dégivrage.

Compte tenu de ces modifications, il est tout à fait possible de prévoir une construction qui donne également satisfaction pendant la saison chaude et sèche et pendant la saison chaude et humide.

Alternance d'un climat chaud-humide et d'un climat plus frais.

Au voisinage de l'équateur, les régions côtières et insulaires jouissent d'un climat à peu près perpétuellement chaud et humide, mais des régions semblables, plus proches des tropiques du Cancer et du Capricorne, enregistrent des variations saisonnières plus importantes, de sorte que celles qui sont chaudes et humides en été ont des hivers tempérés (voir les cartes de la figure 6). A des latitudes plus élevées encore, certaines régions connaissent un temps chaud et humide pendant une bonne partie de l'été, mais ont des hivers effectivement froids. Le tableau 16 indique brièvement comment des dispositifs conçus pour les climats chauds et humides peuvent être adaptés aux climats tempérés et froids.



Chaud, humide et tempéré

Il ressort de ce tableau qu'il est très facile de concilier les exigences relatives à l'alternance d'une saison tempérée et d'une saison chaude et humide. Les principales modifications apportées au plan de base pour la saison chaude et humide, sont l'inclusion d'un isolant dans le mur entre les ouvertures des portes et des fenêtres, un choix de modèles de portes et de fenêtres que l'on puisse fermer pendant les périodes froides; les fermetures n'ont pas besoin d'être très hermétiques, à moins que le bâti-

TABEAU 16

Applicabilité des dispositifs prévus pour une saison chaude et humide à d'autres saisons

CARACTÉRISTIQUES	COMPATIBILITÉ AVEC UN CLIMAT TEMPÉRÉ	COMPATIBILITÉ AVEC UN CLIMAT TEMPÉRÉ FROID
Diminution de la production de chaleur de l'organisme.	Insignifiante.	La production de chaleur doit parfois être favorisée.
Ombres extérieures.	Insignifiantes.	Non souhaitables.
Diminution de la réflexion du sol.	Insignifiante.	Insignifiante.
Volets, persiennes, etc.	Insignifiante.	Minimum d'effet souhaitable.
Projection solaire minimale	Insignifiante.	Projection plus importante nécessaire.
Coefficient de réflexion .. élevé.	Insignifiante.	Compensé par la faible émission qui en résulte.
Convection externe.	Insignifiante.	Non souhaitable.
Isolement du toit.	Insignifiante.	Souhaitable contre l'inversion du parcours de la chaleur.
Isolement des murs sans importance.	Un certain isolement est souhaitable.	Bon isolement souhaitable contre l'inversion du parcours de la chaleur.
Convection interne.	Non souhaitable.	Non souhaitable.
Pouvoir émissif interne faible.	Insignifiant.	La faible absorption qui en résulte est souhaitable.
Ventilation intense.	Insignifiant.	Non souhaitable.
Agitation intense de l'air	Non souhaitable.	Non souhaitable.
Ventilation des combles ..	Insignifiant.	Non souhaitable.
Déshydratation.	Inutile.	Inutile.
Contrôle de la chaleur libérée.	Non indispensable.	Chaleur éventuellement nécessaire.

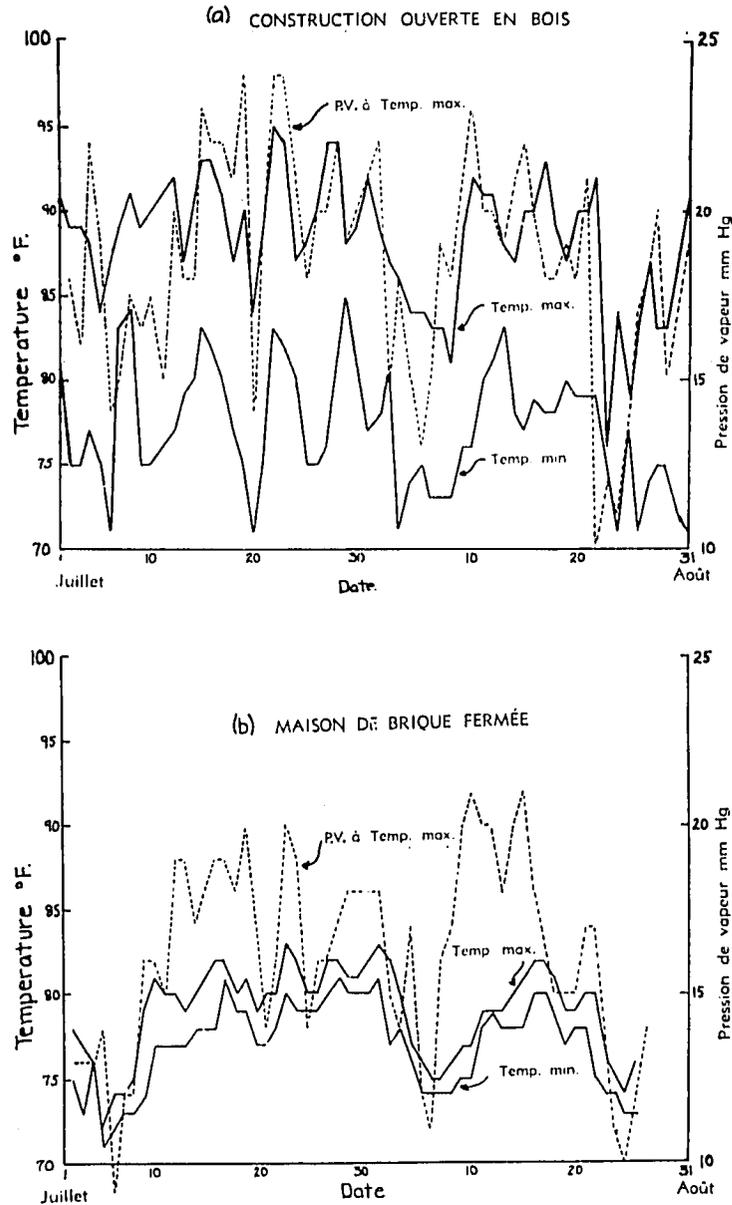


FIGURE 14. — Effets de la fermeture et de l'isolation d'une pièce dans un climat variable, les conditions ambiantes sont pratiquement les mêmes dans les deux cas. Dans la construction ouverte, en bois, les cycles marqués des températures diurnes et les fluctuations marquées d'un jour à l'autre sont le reflet des conditions extérieures variables. Dans la maison de briques fermée, le cycle diurne est peu important, la température maximale est particulièrement réduite. Les fluctuations d'un jour à l'autre sont également moins sensibles. Les conditions de température sont nettement stabilisées et la moyenne abaissée par une construction fermée, en briques, dans un climat avec alternance chaud tempéré. La pression de vapeur n'est guère affectée par ces différences dans la construction.

ment ne doit fournir également une protection pendant des périodes chaudes et sèches.

Chaud, humide et frais, tempéré

Il est plus délicat, cette fois, de concilier les exigences relatives à l'alternance d'une saison chaude et humide et d'une saison froide (tableau 16). Les questions d'ombre peuvent être traitées de la façon recommandée pour l'alternance de saisons chaudes et sèches et tempérées fraîches : arbres à feuilles caduques pour fournir de l'ombrage à l'extérieur, volets réglables qui abritent du soleil ardent mais qui laissent passer le soleil moins brutal, ou encore persiennes et stores escamotables. On peut aussi construire des bâtiments élevés, en forme de dalle, de façon à obtenir une faible projection solaire en été et une projection plus importante en hiver. Dans de telles circonstances, l'aluminium poli semble trouver une application toute indiquée pour l'extérieur. Son coefficient élevé de réflexion des rayons solaires est un avantage en été mais ne constitue pas vraiment un inconvénient en hiver puisqu'il y a très peu de soleil. Son pouvoir émissif faible de rayons infrarouges est un avantage en hiver mais ne constitue pas vraiment un inconvénient en été puisque la teneur hygrométrique élevée de l'air fait obstacle de toute façon à ce rayonnement vers l'extérieur. D'autres métaux polis présentent un comportement à peu près similaire bien que moins accentué.

Il n'y a pas grand-chose à proposer pour le contrôle saisonnier de la convection externe, à moins qu'il y ait une répartition saisonnière marquée de la direction des vents, auquel cas on pourra se servir des obstacles naturels comme coupe-vent en hiver.

L'isolation du type par accumulation est primordial s'il faut se pro-

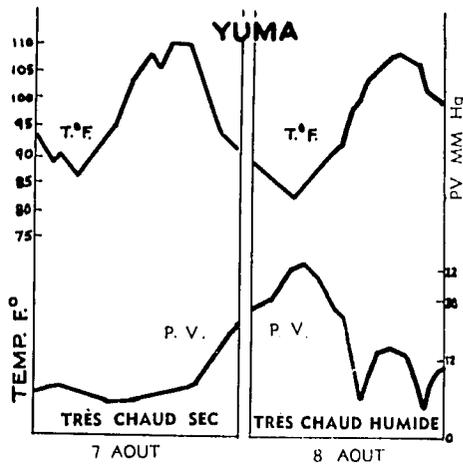
téger contre un hiver froid. Il arrive fréquemment que les périodes chaudes et humides en été soient coupées par des intervalles plus tempérés, et dans ce cas l'isolant par accumulation assure une heureuse stabilisation des températures internes, à condition que la ventilation soit réduite au minimum par la fermeture des fenêtres et des portes pendant les périodes chaudes, et que le mouvement de l'air soit assuré uniquement par des ventilateurs placés à l'intérieur. (Voir figure 14.) En bref, dans de telles conditions, si les murs et le toit constituent un bon isolant par accumulation, on obtient de meilleurs résultats en construisant le bâtiment en vue des périodes froides et en prévoyant des ventilateurs pour les périodes chaudes et humides, plutôt qu'en procédant de la façon inverse. On choisira entre ces deux possibilités : bâtir essentiellement en prévision de l'hiver ou bâtir essentiellement en prévision de l'été, en fonction d'un certain nombre de facteurs comme l'investissement initial, les coutumes, la durée relative des périodes chaudes et des intervalles.

Pour éviter les courants d'air désagréables en hiver, les portes et fenêtres qu'on laissera ouvertes en été devront pouvoir être hermétiquement fermées. Si l'hiver est assez rigoureux, on pourra prévoir une seconde protection extérieure, volets ou double fenêtre, à condition qu'elle soit très simple. Dans beaucoup de pays, on se sert maintenant de minces feuilles de matière plastique avec des griffes ou des écrous à oreille pour la fixation.

Mouvement d'air humide dans les zones chaudes et sèches.

Sur le littoral sud-ouest du Golfe Persique et, dans une moindre mesure, au-dessus des terres basses de la côte sud-ouest de la Mer Rouge et au-des-

sus du bassin au nord du Golfe de Californie, des masses d'air maritime humide arrivent à faible altitude au-dessus de ce qui serait autrement le désert-type, chaud et sec. (Voir cartes de la figure 6.) Il arrive que ces terres humides ne forment pas de nuages qui intercepteraient les rayons du soleil, de sorte que les malheureux habitants bénéficient à la fois d'un rayonnement et d'une température intenses et d'une humidité élevée. Souvent dans le Golfe Persique, et parfois dans les autres régions, ces conditions peuvent devenir non seulement pénibles mais absolument intolérables.



Bien que ni la fréquence (1), ni les effets physiologiques de telles conditions aient été étudiés en détail, il est

bien évident qu'il faut soit déshydrater l'atmosphère, soit entretenir une agitation assez intense de l'air au contact de la peau pour éviter les accidents.

Dans ce cas, le refroidissement par évaporation est moins efficace que dans les climats typiquement chauds et secs, et si le dispositif nuit au mouvement de l'air, l'air « climatisé » peut devenir plus désagréable que l'air ambiant.

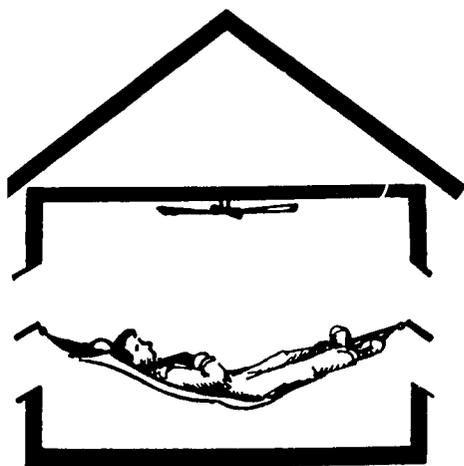
Dans ces régions, les caractéristiques préconisées pour les climats typiquement chauds et secs doivent être modifiées comme suit : *possibilité d'assurer une circulation d'air libre ou forcée plus importante, si nécessaire; limitation au minimum de tout obstacle au mouvement de l'air (dispositifs de refroidissement par évaporation); importance encore plus grande de l'isolation et des autres dispositifs de protection contre la chaleur; soit en choisissant des appareils de climatisation de l'air qui puissent à la fois assurer la déshydratation et le refroidissement.*

(1) Les cartes de la figure 6 donnent à penser qu'il existe d'autres régions, en particulier en Inde et en Australie, où des conditions semblables doivent se produire pendant un nombre assez important de jours.

CONSIDERATIONS FONCTIONNELLES

Pour bien des occupants, les aspects du bâtiment qui affectent les activités quotidiennes sont beaucoup plus importants que les principes généraux d'architecture ou de construction, indépendamment du confort que ceux-ci pourraient leur apporter quotidiennement. Dans les régions chaudes, certains de ces aspects fonctionnels sont bien enracinés dans l'esprit des gens du fait de coutumes particulières ou de l'expérience acquise au cours de nombreuses années. Ils méritent par conséquent d'être étudiés à part, bien qu'il s'agisse souvent de cas particuliers des principes déjà mentionnés.

La chambre à coucher.



Pendant les nuits chaudes et humides et parfois pendant les nuits exceptionnellement chaudes et sèches, il est souvent difficile de trouver le sommeil. Tous les médecins savent qu'il ne faut pas prendre au pied de la lettre les déclarations de ce genre : « Je n'ai pas pu fermer l'œil de la nuit » ; mais le fait que l'individu

éprouve ce sentiment indique que quelque chose ne va pas et qu'après une telle nuit il ne pourra pas donner sa pleine mesure, en particulier dans un travail intellectuel non contrôlé. Il est donc élémentaire d'accorder une attention spéciale à la chambre à coucher, au choix de son emplacement, à sa disposition et à son mobilier.

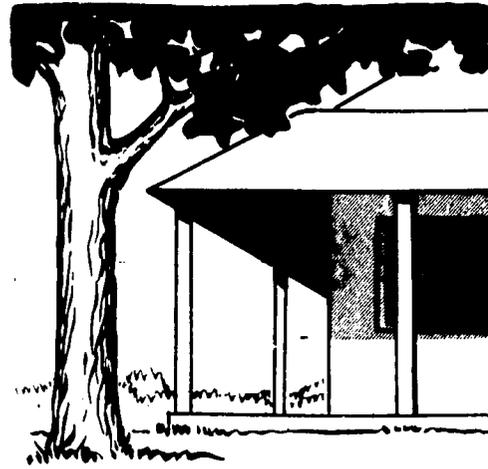
Dans les zones chaudes et sèches, on devrait profiter au maximum pendant la nuit du rayonnement vers le ciel relativement frais, ainsi que de l'air frais en dormant en plein air. La pluie, les insectes et autres visiteurs indésirables, le manque d'intimité, le soleil matinal sont des éléments à prendre en considération; avec un peu d'habitude, on considère qu'il s'agit là de petites difficultés faciles à surmonter. Dans les zones chaudes et humides, ou bien lorsqu'il n'est pas possible de dormir dehors pour d'autres raisons, les chambres

seront orientées vers le *nord-est* (sud-est dans l'hémisphère Sud), elles laisseront largement pénétrer l'air frais de la nuit grâce, si possible, à un ventilateur. Les ouvertures devraient descendre jusqu'au niveau du sol. Si les ouvertures sont garnies de treillages ou si l'on se sert d'une moustiquaire, il est vivement recommandé de placer un ventilateur entre les treillages ou à l'intérieur de la moustiquaire ; on estime généralement qu'il ne faut pas que le débit réel d'air au-dessus du dormeur dépasse 45 m/mn, et que ce mouvement doit être de nature intermittente, fluctuante ou turbulente. Si la maison dispose d'une installation d'air climatisé, son emploi est tout à fait indiqué pour les chambres à coucher, mais il faut chercher simplement à *éliminer le degré de chaleur incommode* et non pas à obtenir une atmosphère vraiment tempérée.

L'un des principaux obstacles au sommeil pendant une nuit chaude est le lit occidental courant. Issu de pays aux hivers froids, il réduit au minimum la surface de la peau exposée à l'air, même si le dormeur est nu.

Dans les pays chauds et humides, le meuble le mieux adapté au sommeil, du point de vue thermique, est le *hamac de corde*, surtout s'il est maintenu déployé à la tête et au pied par des tiges transversales. Les dormeurs habitués à une couche plus moelleuse placeront entre eux et le filet quelque chose de mince, poreux et absorbant.

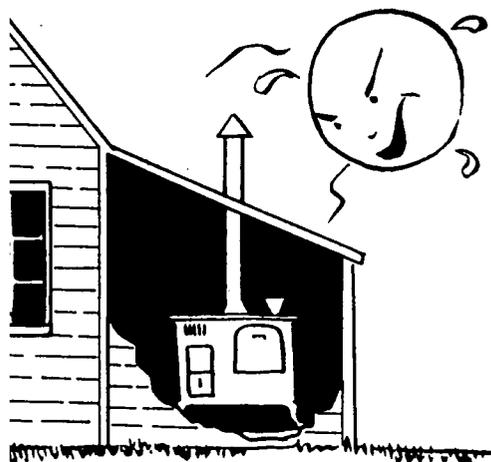
Il faut absolument écarter le caoutchouc mousse et toutes les matières plastiques, à moins qu'elles ne soient extrêmement alvéolées. L'ingéniosité de chacun permettra de modifier le hamac de façon à donner une stabilité ou d'une place plus grande que celles fournies par l'article standard.



Véranda

La véranda est tout simplement une sorte de volet fixé à la maison, suffisamment vaste pour fournir un espace abrité dans un climat où le mouvement naturel de l'air est une chose précieuse (voir planches *Id*, *II d*, *III a*, *III d*), elle est beaucoup plus fonctionnelle dans les climats chauds et humides que dans les climats chauds et secs. Ne contenant que des chaises et des persiennes ne craignant pas les intempéries, elles peuvent être abandonnées aux éléments en cas de mauvais temps. S'il faut se protéger contre les insectes, si l'on installe des ventilateurs électriques pour la convection forcée, si les variations saisonnières du climat font préférer les panneaux mobiles aux murs isolants, la véranda perd alors de son utilité. Mais la principale critique que l'on pourrait adresser à la véranda, vient de l'habileté avec laquelle l'homme en fait mauvais usage. Petit à petit, une excuse justifiée s'ajoutant à l'autre, l'habitant de la véranda en arrive à la transformer en une pièce complètement fermée (planche *IV a*). Outre qu'elle fournit une moins bonne protection qu'une pièce correctement conçue, la véranda transforme le reste de la maison en donjon sinistre que

seuls peuvent rendre habitable l'air conditionné et l'éclairage fluorescent.



La cuisine

Dans les climats chauds, la première solution qui vient à l'esprit est d'isoler la cuisine du reste de la maison, de façon à ce que la chaleur et les odeurs ne pénètrent pas dans l'appartement. Cette solution n'est satisfaisante que si la cuisine est faite par des domestiques. La maîtresse de maison qui doit faire à elle seule tout le travail veut que la cuisine soit aussi proche que possible de la salle à manger et, en fait, dans l'intimité, elle préférera servir les repas dans la cuisine même. En outre, repousser le problème n'est pas nécessairement le résoudre, du moins pour ceux qui travaillent dans la cuisine.

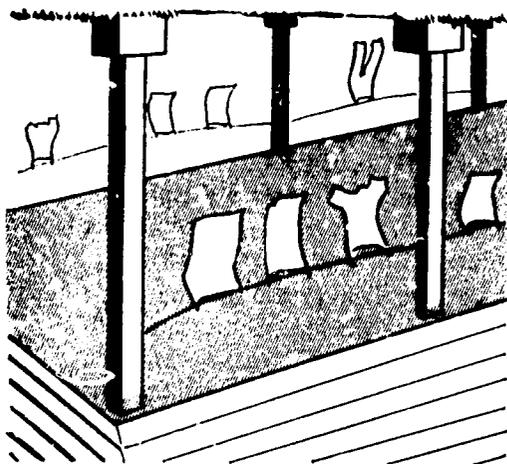
Pour les habitations à bon marché, et pour les familles sans domestique, il faut considérer la cuisine comme partie intégrante du bâtiment. Pour ce type de logements, l'emplacement de la cuisine est trop souvent dicté par un plan normalisé, par l'emplacement de la rue, par les installations d'eau, gaz, électricité; lorsqu'un certain choix est possible, il va porter en pre-

mier lieu sur le côté abrité de la maison; on prendra en considération ensuite la direction du vent dominant. Il faudra que la cuisine soit au moins aussi bien protégée du milieu ambiant chaud que le reste de la maison. En Australie, on rencontre trop souvent un état de chose inacceptable: des maisons bien construites, avec des plafonds, ont souvent une cuisine non plafonnée, couverte simplement d'un toit de tôle. Dans les climats chauds et secs, la ventilation spéciale évacuera la chaleur du fourneau, sans l'envoyer en premier lieu sur la cuisinière. Dans les climats chauds et humides, la ventilation libre, dirigée là encore du fourneau vers l'extérieur, est tout à fait recommandée. Dans les climats chauds et secs, le refroidissement par évaporation, ou dans les climats chauds et humides, la climatisation de l'air, peuvent ajouter au confort, mais doivent être considérés uniquement comme complément de la ventilation au-dessus du fourneau; les appareils de chauffage doivent être construits de façon à ce que la chaleur libérée soit limitée au minimum (voir chapitre III). Pour ce qui est de l'économie des efforts, nous renvoyons le lecteur à la rubrique du chapitre III consacré à l'implantation rationnelle, avec accès à l'espace de rangement, aux lieux de dépôt des ordures et à la zone de service.

Lorsque l'on peut bâtir la cuisine à part, elle bénéficie alors d'une meilleure ventilation. Dans ce cas, bien entendu la projection solaire est plus grande. Le mieux est de traiter cette pièce isolée comme un bâtiment et de lui appliquer les principes déjà définis pour les conditions climatiques correspondantes. Il faut également abriter du soleil et de la pluie le passage communiquant avec la maison (voir planche IIIa).

La buanderie

Pour les gens habitués à laver leurs vêtements dans la rivière, la buanderie reste du domaine de l'abstraction. Dès qu'ils commencent à s'entasser dans les villes, ce besoin se manifeste. Le lavage proprement dit ne réclame pas beaucoup de place, mais le séchage du linge réclame davantage d'espace. Le problème n'est pas grave lorsque le temps est chaud et sec : à peine étendus, les vêtements légers sont déjà secs; par temps chaud et humide, l'opération est beaucoup plus lente et il faut prévoir un espace plus vaste, à l'abri de la pluie de préférence. C'est parfois fort difficile dans le cas de petits pavillons très rapprochés, ou d'immeubles divisés en appartements; cette raison vient s'ajouter à celles précédemment indiquées pour déconseiller la construction d'immeubles divisés en appartements dans les climats chauds et humides. *Cependant, on peut prévoir un préau commun qui servira tantôt à étendre la lessive, tantôt à abriter les jeux.*



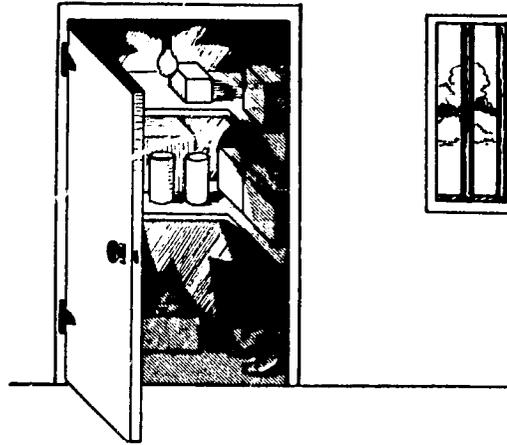
Sécurité et rangement

Les communautés où le sens social est si développé que les maisons n'ont pas à être protégées contre les voleurs sont bien rares. Le degré de protec-

tion que l'on estime nécessaire peut aller de la simple barrière à la forteresse. A mesure que l'on s'élève dans l'échelle des besoins ressentis, cette conception devient de plus en plus le principe directeur dans la construction. (Voir planches Ia et IVb.) Parfois, les mesures de sécurité se confondent heureusement avec la protection contre le milieu ambiant. C'est ainsi que les murailles épaisses et les petites ouvertures garnies de volets de la maison arabe répondent parfaitement à ces deux exigences. Dans les milieux ambiants chauds et humides, la clôture de l'espace habité nuit nécessairement au mouvement de l'air, à moins que la communauté ne soit suffisamment avancée techniquement pour disposer de ventilateurs ou de conditionneurs d'air. La maison perchée dans les arbres concilie de façon excellente ces exigences contradictoires, mais elle n'est guère adaptée à la vie moderne.

Les maisons sur pilotis, très courantes au Siam (planche IIIa), en Australie (planche IVa), et dans les régions tropicales américaines (planche IIc), constituent un heureux compromis; si nécessaire, on peut ajouter des barres ou autres dispositifs de protection contre les intrus. Ce type d'architecture présente bien d'autres avantages : bonne ventilation, espace couvert pour étendre le linge et pour les jeux, aussi sa généralisation n'a-t-elle rien de surprenant.

Venons-en maintenant aux espaces de rangement : il ne suffit pas pour cela d'être à l'abri des voleurs. La Bible place les mites et la rouille sur le même plan que les voleurs. Dans les climats chauds et humides, la détérioration est particulièrement à craindre, car l'atmosphère favorise la croissance de champignons qui détruisent, décolorent ou attaquent



toutes sortes de matériaux. Une chute de température relativement faible peut porter les objets au-dessous du point de rosée, et la condensation de l'humidité atmosphérique qui en résulte met en danger les objets. Cela peut se produire tout aussi bien dans un récipient fermé s'il a été ouvert pour la dernière fois dans une atmosphère particulièrement chaude et humide. Dans ce type de climat, il faut donc absolument que les espaces de rangement soient secs et propres. Un moyen très simple, utilisé partout où l'on dispose de courant électrique,

est de *laisser une ampoule allumée dans tous les placards*. L'élévation de la température ainsi obtenue minimise les risques de condensation en évitant d'atteindre le point de rosée pendant la nuit ou pendant les périodes plus froides. Les objets doivent être éloignés les uns des autres de façon à ce que toute humidité éventuellement condensée puisse facilement s'évaporer. Naturellement, si les conditions économiques le permettent on peut faire appel à des systèmes plus perfectionnés, comme le dessiccateur au gel de silice.

REMERCIEMENTS

L'auteur exprime sa reconnaissance pour l'aide variée qui lui a été apportée dans la préparation de cet ouvrage : par le United States Quartermaster Corps — données sur les températures et les rayonnements; Mc Graw-Hill Publishing Co — cartes de la répartition des vents; American Geographical Society — diagrammes de rayonnements solaires sur le toit et les murs et photographies; le Dr Robert Pendleton, le Professeur H. von Wissmann, le Commonwealth Experimental Building Station et l'Armée Américaine — photographies; le Professeur W. C. Thoburn — diagrammes et données sur la pénétration de la chaleur dans la maçonnerie. Les tableaux sur le rayonnement solaire ont été communiqués à l'auteur en 1942 par le Dr F. Loewe, pour d'autres applications. Les cartes des climats ont été préparées sous la direction de l'auteur par C. von Koschembahr, les grands dessins par R. Detwiler, les petits dessins par F.K. Hilton et le diagramme des tolérances par Elisabeth Mason. L'héliodon a été réalisé par le Johns Hopkins Institute of Cooperative Research et les projections ont été calculées par F.K. Hilton.

Tout au long de ses travaux, l'auteur a bénéficié de la collaboration et des critiques constructives des membres de l'United States Housing and Home Finance Agency, et en particulier de B. Douglas Stone S.V. Arnason and Phil Bubes. Plusieurs experts à qui le manuscrit avait été distribué ont formulé des critiques et des suggestions précieuses dont l'essentiel a été incorporé à la version définitive.

ANNEXE I

L'HELIODON

La vogue des instruments servant à retracer le mouvement apparent du soleil remonte à la première théorie de la cosmogonie; mais l'application d'un tel appareil aux problèmes de la construction est, semble-t-il, tout à fait récente. Dufton, Attaché au Centre Expérimental du Bâtiment, près de Londres, a mis au point un instrument qu'il a appelé héliodon aux alentours de 1930 (1). Cet instrument a ensuite été quelque peu modifié par des chercheurs australiens et décrit dans un document daté de 1948 (2). A son tour l'auteur du présent ouvrage a apporté une modification à l'appareil dont la présentation compacte actuelle est essentiellement due à un groupe d'étudiants (3) de l'Ecole d'Hygiène Johns Hopkins.

L'héliodon se compose essentiellement d'une lampe émettant des rayons lumineux approximativement parallèles, représentant le soleil, et d'un plateau portant une maquette de maison que l'on peut déplacer par rapport au « soleil » de façon à reproduire les mouvements relatifs imposés

à une vraie maison par la saison, l'heure du jour, la latitude et l'orientation. La répartition de la lumière et de l'ombre, sur et dans la maquette, reproduit en miniature la répartition de la lumière solaire et de l'ombre, sur une vraie maison dans de telles conditions.

Les planches *Va* et *b* représentent des photographies du modèle actuel. Tout d'abord on met de niveau le bâti rigide (A), et l'on place la lampe représentant le soleil dans la ligne de l'axe optique en l'éloignant de façon à conserver quand même un contraste suffisant. (Les ouvertures minuscules sur les montants du plateau permettent de voir la lampe sur le voyant (B) de la contre-plaque lorsque l'instrument est réglé à la déclinaison 0° et 6 a.m.) Plus la lampe est proche, moins le bord des ombres est contrasté et plus l'ombre paraît agrandie.

Le bouton molleté (C) commande le mouvement des secteurs (D B) et de la traverse qu'ils supportent, suivant un angle de $23^\circ 1/2$ de part et d'autre de la verticale, autour de la ligne horizontale passant par les sommets des secteurs et qui traversent également le centre du plateau. Ce mouvement, perpendiculaire aux rayons incidents du « soleil », imite le changement d'inclinaison de l'axe de la terre par rapport au soleil au

(1) Dufton, A.F., J. Sci. Inst., 9, 251-256, 1932.

(2) Phillips, R.O., Sunshine and Shade in Australia. Dupl. Doc. 23, C'wlth. Exp. Bldg. Sta., 1948.

(3) Brown, R.Z. et Jackson, W.B., and Schein, M.W.

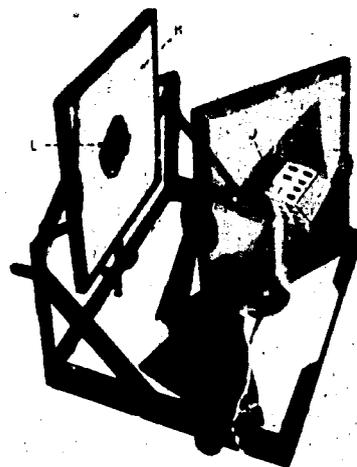
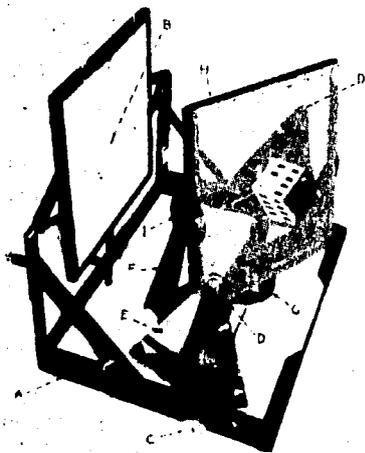
cours de sa trajectoire annuelle, c'est-à-dire l'effet des saisons. L'un des secteurs porte des graduations (E), visibles par une fenêtre pratiquée dans le montant grâce à quoi on peut régler le secteur à la date ou déclinaisons voulues.

La traverse porte une goupille autour de laquelle tourne une monture en U (F) pour reproduire la rotation quotidienne de la terre, c'est-à-dire l'effet du moment de la journée. La position de la monture en U est indiquée par le mouvement d'une aiguille sur un cadran gradué (G) fixé sur la traverse. A son tour, la monture porte le plateau (H) qui tourne librement autour d'un axe entre les deux extrémités des branches de l'U. Ce mouvement reproduit l'effet de latitude, ou déplacement angulaire du plan hori-

zontal en un point particulier de la surface de la terre par rapport à l'équateur. La latitude est indiquée sur un disque (I) fixé au plateau et visible par une fenêtre pratiquée dans l'une des branches de l'U.

Le plateau représente le plan horizontal à l'emplacement désiré, et on peut donner à la maquette l'orientation voulue en fonction des points cardinaux en la faisant tourner sur le plateau.

La distribution de la lumière et de l'ombre (J) sur et dans la maquette, indique, je le rappelle, la répartition de la lumière solaire et de l'ombre, sur une maison réelle de ce type, pour la saison, l'heure du jour, la latitude et l'orientation, correspondant à celles choisies pour la maquette.



On aperçoit mieux la répartition sur le sol en plaçant une feuille de papier blanc sur le plateau avant de fixer la maquette. La monture doit rester transparente de façon à ce que l'interruption du rayon solaire provoquée par la maquette se reproduise sur la contre-plaque (K), perpendicu-

laire aux rayons solaires. La zone d'ombre (L) ainsi formée sur la contre-plaque est la mesure directe du rayonnement solaire total tombant sur la maison, à condition de connaître la valeur réelle ou hypothétique (comme c'est généralement le cas) de l'intensité du rayonnement solaire. Si l'on

place une feuille de papier millimétrique sur la contre-plaque et que l'on fasse le tracé de l'ombre, on peut calculer la surface de l'ombre en comptant les petits carrés. On peut également déterminer cette surface à l'aide d'un planimètre ou en découpant et en pesant le tracé sur une balance très sensible.

L'appareil représenté ici est conçu de façon à pouvoir être utilisé, soit avec un « soleil » disposé horizontalement (ce qui permet de travailler à une certaine distance pour minimiser la distorsion) soit avec un « soleil » disposé verticalement (pratique pour faire une démonstration à des observateurs circulant autour de l'appareil).

Cet appareil peut servir :

(1) A indiquer la répartition de la lumière solaire et de l'ombre sur une maison aux différentes saisons de l'année;

(2) A mesurer le rayonnement solaire infligé à un ouvrage dans différentes conditions;

(3) A étudier les avantages des différents types de construction, en fonction de la protection ou de l'utilisation de la chaleur solaire;

(4) A construire les tableaux et les courbes du rayonnement solaire sans avoir recours à des calculs compliqués.

ANNEXE II

Le graphique Psychrométrique

Le graphique psychrométrique (figure 15) représente les rapports entre quatre variables thermiques : la température (sèche), la température humide, l'humidité relative, et la tension de vapeur — dont la nature est telle que si l'on connaît la valeur de deux quelconques de ces variables, on peut calculer la valeur correspondante des deux autres.

La *température sèche* est celle donnée par un thermomètre ordinaire, exposé à l'air, mais protégé contre toute source importante d'énergie rayonnante. La valeur de la température sèche est indiquée en degrés F en abscisse.

La *température humide* est donnée par un thermomètre dont le bulbe est recouvert d'un manchon humide sur lequel passe un courant d'air assez rapide. La valeur de la température humide en degrés F est indiquée sur la courbe à gauche du tableau, d'où partent des lignes obliques.

L'*humidité relative* est mesurée directement par le changement de longueur d'une fibre, un cheveu par exemple, suivant qu'elle absorbe ou perd de l'humidité. Les différentes valeurs de l'humidité relative apparaissent sur le graphique sous forme d'une série de lignes courbes.

La *tension de vapeur* n'est généralement pas mesurée directement, mais déterminée à partir du graphique, à partir de la température sèche, et *soit* de la température humide, *soit* de l'humidité relative. Les valeurs de la tension de vapeur exprimée en millimètres de mercure sont indiquées en ordonnée sur la droite du graphique, d'où partent des lignes horizontales.

Le *point de rosée* est la température à laquelle l'air contenant une certaine quantité de vapeur d'eau arrive à saturation et provoque un dépôt d'humidité condensée. Sur le graphique, les points de rosée sont représentés par les points d'intersection entre les courbes de température sèche et la courbe d'humidité relative 100 %, ou en d'autres termes par les points où les températures sèche et humide coïncident.

Exemples d'utilisation du tableau.

1) *Soit une température sèche de 93 °F, une température humide de 72 °F. Quelles sont les valeurs correspondantes de l'humidité relative, de la tension de vapeur et du point de rosée?*

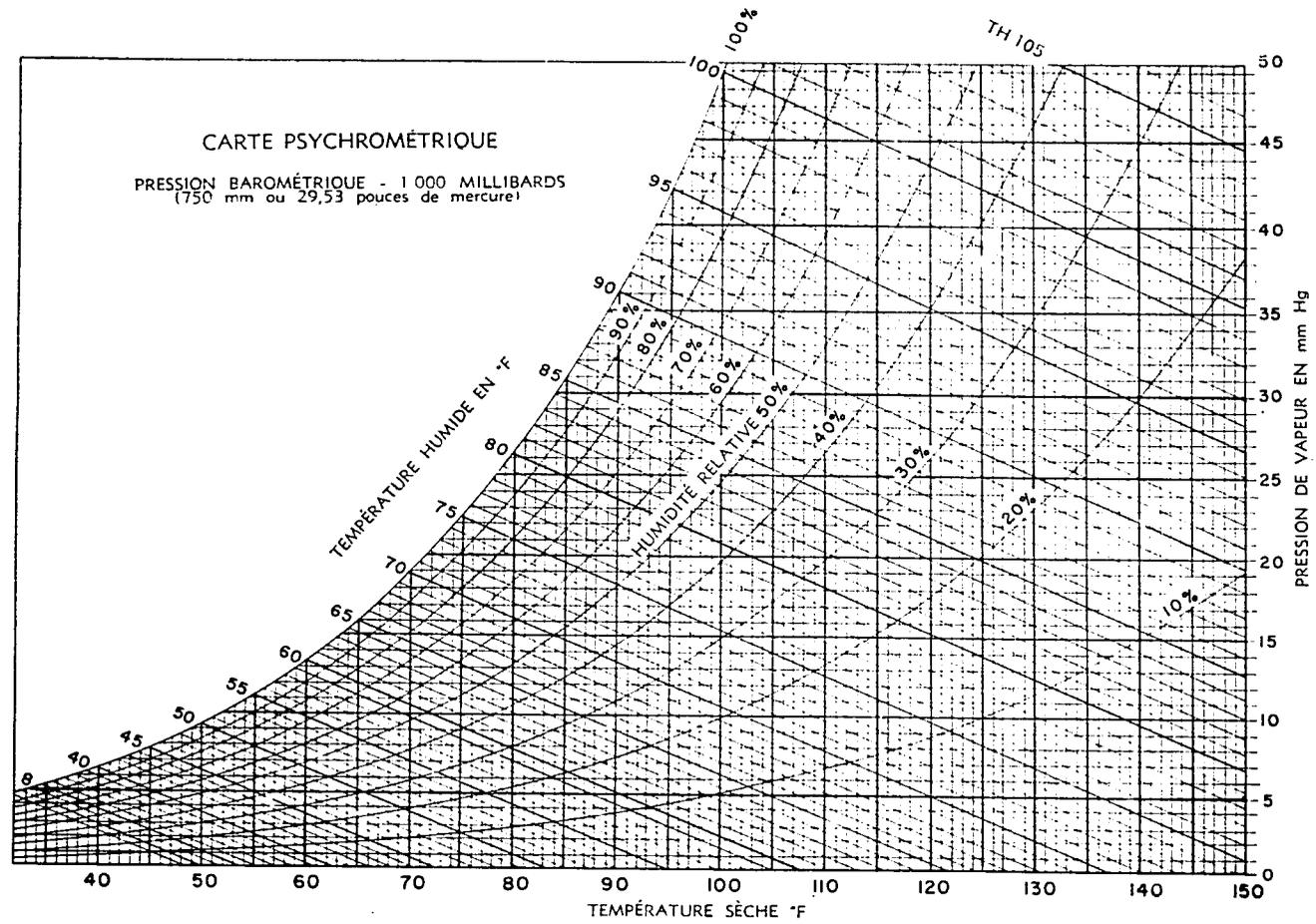


FIGURE 15. — Graphique psychrométrique. Pression barométrique : 1 000 millibars (755 millimètres ou 29,53 pouces de mercure).

Suivons la ligne verticale correspondant à 93 °F pour la température sèche jusqu'à ce qu'elle rencontre l'oblique correspondant à la température humide de 72 °F. Leur point d'intersection se trouve au 6/10^e environ de l'espace entre les courbes d'humidité relatives de 30 % et de 40 %; Ainsi l'humidité relative correspondant à ces deux températures est d'environ 30 %. Suivons les lignes horizontales partant de ce point vers la droite; nous voyons que la tension de vapeur correspondante est d'environ 14,5 mm de mercure. Suivons les lignes horizontales qui partent de ce point vers la gauche, et nous verrons que l'air arrive à saturation si sa température tombe à 62 °F environ, le point de rosée pour cette atmosphère est donc de 62,5 °F.

2) *Soit une température de 93 °F, une humidité relative de 36 %. Quelles sont les valeurs correspondantes de la température humide, de la tension de vapeur et du point de rosée?*

Suivons la ligne verticale correspondant à une température sèche de 93 °F jusqu'à ce qu'elle arrive aux 6/10^e de la distance entre les courbes d'humidité relative 30 % et 40 %. Ce point est situé sur la ligne oblique

correspondant à une température humide de 72 °F. En suivant la ligne horizontale qui part de ce point vers la droite, nous trouvons une tension de vapeur de 14,5 mm de mercure, et vers la gauche un point de rosée de 62,5 °F.

3) *Soit une température de l'air de 100 °F, une tension de vapeur de 25 mm de mercure. La température de l'air tombe à 65 °F. Quelle va être alors son humidité relative?*

La ligne horizontale correspondant à une tension de vapeur de 25 mm de mercure rencontre la courbe d'humidité relative 100 % à 78 °F. L'air va donc conserver sa pression de vapeur de 25 mm de mercure, mais l'humidité relative va augmenter progressivement lorsque la température passera de 100 à 78 °F. A ce point-là, l'humidité va commencer à se condenser et l'air va perdre progressivement de son humidité et sa tension de vapeur va s'abaisser, tout en maintenant une humidité relative de 100 %. A 65 °F, la tension de vapeur sera de 16 mm de mercure. Si la température de l'air passe à nouveau à 100 °F, son humidité relative sera de 31 % seulement au lieu des 50 % originels. (Ce principe est celui de la déshydratation par réfrigération.)

ANNEXE III

Tableau de l'incidence des rayons solaires

Les tableaux 17, 18 et 19 donnent l'incidence des rayons solaires par ciel clair à différentes heures de la journée sur des surfaces variées, à quatre latitudes différentes pendant les quatre saisons.

TABLEAU 17

Variations journalières du rayonnement solaire sur une surface horizontale (1) (Kcal/m²/h)

DATES	°N latitude	5	6	7	8	9	10	11	matin 12 après-midi
		7	6	5	4	3	2	1	
20 mars et 23 septembre	0			105,807	309,282	499,192	648,407	754,214	792,196
	15			103,094	303,856	488,340	645,694	754,214	794,909
	30			92,242	263,161	442,219	580,582	672,824	699,954
	45			78,677	219,753	358,116	458,497	534,461	556,165
21 juin	0			84,103	257,735	436,793	552,878	653,833	683,676
	15		24,417	173,632	366,255	550,739	702,667	792,196	832,891
	30		73,251	238,744	425,941	594,147	343,710	822,039	862,734
	45		143,789	293,004	444,932	580,582	694,528	767,779	792,196
21 décembre	0			94,955	263,161	436,793	575,156	672,824	713,519
	15			29,843	173,632	336,412	474,775	558,878	580,582
	30				78,677	217,040	330,986	406,950	431,367
	45					78,677	162,780	222,466	238,744

(1) Les données relatives aux tableaux 17, 18, 19, ont été communiquées par F. Loewe, Commonwealth of Australia Meteorological Bureau.

TABLEAU 18

*Variations quotidiennes du rayonnement solaire (Kcal/m²/h)
sur une surface verticale orientée vers l'est (matin) ou l'ouest (après-midi)*

DATES	°N latitude	5	6	7	8	9	10	11	matin 12 après-midi
		7	6	5	4	3	2	1	
20 mars et 23 septembre	0			393,385	531,748	499,192	374,394	200,762	
	15			401,524	542,600	507,331	382,533	217,040	
	30			409,663	539,887	510,044	387,959	206,188	
	45			412,376	534,461	501,905	377,107	200,762	
21 juin	0			317,421	461,210	436,793	330,986	149,215	
	15		203,475	455,784	526,322	485,627	371,681	198,049	
	30		336,412	526,322	575,156	510,044	382,533	203,475	
	45	227,892	466,638	569,730	580,582	510,044	377,107	198,049	
21 décembre	0			347,264	461,210	436,793	336,412	203,475	
	15			198,049	406,950	450,358	322,847	179,058	
	30				322,847	377,107	311,995	168,206	
	45					293,004	274,013	154,641	

TABLEAU 19

Variations journalières du rayonnement solaire (Kcal/m²/h) sur une surface verticale exposée au sud (nord)

DATE	°N latitude	5 7	6 6	7 5	8 4	9 3	10 2	11 1	matin 12 après-midi
20 mars et 23 septembre	0			29,843	78,677	132,937	176,345	200,762	219,753
	15			54,260	157,354	260,448	339,125	393,385	415,089
	30			81,390	225,179	363,542	466,636	539,887	561,591
	45								
21 juin	0			(168,206)	(252,309)	(287,578)	(306,569)	(322,847)	(330,986)
	15		(89,529)	(168,206)	(179,058)	(168,206)	(154,641)	(124,798)	(124,798)
	30		(124,798)	(132,937)	(84,103)	(24,417)	40,695	84,103	84,103
	45	(113,946)	(143,789)	(73,251)	29,843	143,789	227,892	293,004	311,590
21 décembre	0			138,363	222,466	252,309	268,587	276,726	276,726
	15			94,955	252,309	360,829	420,515	450,358	400,000
	30				233,318	396,098	510,044	569,730	594,147
	45					322,847	485,627	588,721	618,564

ANNEXE IV

Références importantes

- Atkinson, G. A. *Building in the Tropics*, Roy. Inst. Brit. Arch. J., 313-20, 1950. Revue succincte des travaux récents effectués dans le Commonwealth britannique.
- Building Research Advisory Board. Conf. Rpt. No. 1, *National Research Weather and the Building Industry*, Council (U.S.), Washington, D. C., 1950. Compte rendu détaillé des débats de la Conférence.
- Building Research Station (U.K.). *Housing and Town Planning in the West Indies*, Lib. Bibliog. No. 134, 1948; *The Design of Buildings for Warm Climates*, Lib. Bibliog. No. 142, 1950; « *Low Cost Housing and Town Planning in Colonial Territories* », Lib. Bibliog. No. 149; 1950. Listes de près de deux cents références.
- Building Research Station (U.K.) *Aided Self-Help Housing and Application to the Houses of Different Groups of Tropical Peoples*, Note No. D. 154, 1951. Vingt pages consacrées à des déplacements en Afrique et dans les Caraïbes.
- Carrero, T. *Housing in Puerto Rico*, P. R. Planning Board, Santurce, 1950. Compte rendu statistique illustré des grands progrès récents.
- Committee on the Hygiene of Housing. *Basic Principles of Healthful Housing*, Am. Pub. Hlth. Assoc., New York, 1950; *Planning the Home for Occupancy*, Pub. Admin. Service, Chicago, Ill., 1950.
- Drew, J. B., and Fry, E. M. *Village Housing in the Tropics, with Special Reference to West Africa*, Lund Humphries, London, 1947. Simple exposé illustré insistant sur la planification.
- Drysdale, J. W. *Natural Ventilation, Ceiling Height, and Room Size*, Dupl. Doc. No. 22, C'with. Exp. Bldg. Sta. (Australia), 1947; *The Thermal Behaviour of Buildings*, Ibid. No. 33; *The Thermal Behaviour of Dwellings*, Tech. Study No. 34, C'with. Exp. Bldg. Sta., 1950; *Climate and Design of Buildings — Physiological Study No. 3*, Ibid. No. 35; *Designing Houses for Australian Climates*, Bull. No. 6, C'with Exp. Bldg. Sta., 1952.
- Drysdale, J. W. *The Design of Buildings for Hot Climates*, J. Inst. Heat. Vent. Engrs., 17, 467-84, 1950. Résumé des résultats des études systématiques en Australie.
- Grocott, J. F. *Comfort Cooling in the Tropics*, J. Inst. Heat Vent. Engr., 16, 36-79, 1948. Etude exhaustive des effets des facteurs climatiques sur l'architecture du point de vue du confort. Traite de la théorie, du matériel et des perspectives.
- House Beautiful. *Climate Control Project*, Bull. Am. Inst. Arch., 1949-52, esp. Sept. 1949; Jan., Mar., May, July, 1950; Jan., Sept. 1951. Exposé sous forme de diagramme des conditions climatiques dans des régions clés des Etats-Unis avec recommandations relatives à l'architecture.
- Housing and Home Finance Agency (U.S.). *Climate and Architecture*, Mimeo., 1951. Bibliographies de cent soixante-quinze références.
- Landsberg, H. *Use of Climatological Data in Heating and Cooling Design*, Heat. Piping and Air Condit., 19 (9), 121-125, 1947. L'importance de la fréquence, considérée de préférence à la moyenne, dans le choix d'une installation.

- Little, Arthur D., Inc. *Preliminary Report on Egyptian Village Housing, Building Materials and Methods of Construction to Administrator, Technical Cooperation Administration*, Multi., 1952. Plan de construction de logements convenables en Egypte.
- Newburgh, L. H. (Ed.). *Physiology of Heat Regulation*, Saunders, Philadelphia, Pa., 1949. Le meilleur texte paru sur ce sujet. Les principes énoncés pour le vêtement s'appliquent également au logement.
- O'Dwyer, J. J. *Some Aspects of Air Conditioning in the Tropics*, J. Inst. Heat. Vent. Engrs., 18, 84-105, 1950.
- Ogilvie, G.C.W. *The Housing of Africans in the Urban Areas of Kenya*, Kenya Information Office, Nairobi, 1964. Plans de constructions.
- Roux, A. J. A. *Periodic Heat Flow through Building Components — Heat Transfer from the Outside Surface of Homogeneous Wall Panels to the Inside Air*, Nat. Bldg. Res. Inst. (S. Africa), Series DR-4, 1950; *Heat Exchange at the Outside Surface with Special Reference to the Application of Sol-Air Temperature*, Ibid., DR-8, 1950; *Heat Transfer through Homogeneous Wall Panels from the Outdoor Climatic Environment to the Indoor Air*, Ibid., DR-9, 1951. L'auteur fait largement appel aux notions de physique.
- Roux, A. J. A. and Van Straaten, J. F. *Some Practical Aspects of the Thermal and Ventilation Conditions in Dwellings*, Nat. Bldg. Res. Inst. (S. Africa), Series DS 10, 1950. Analyse détaillée de la répartition des températures et de la ventilation dans une maison expérimentale en fonction des conditions ambiantes.
- Thoburn, W. C. *The Comfort Problem in Northern India*, Heat. Piping and Air Condit., 18 (9), 120-125, 1946. Etude claire de l'isolation par accumulation et du refroidissement par le sol.
- United Nations. *Housing in the Tropics, Housing and Town and Country Planning Bull. 6, 1952. (U. N. Pub. No. 1952 IV 2)*. Excellente étude avec 100 pages de texte et une bibliographie annotée de 428 références.
- Violich, F. *Low-cost Housing in Latin America*, Dept. of Economic and Social Affairs, Pan American Union, Washington, D. C., 1949. Etude panoramique illustrée.
- Winslow, C-E. A., and Herrington, L. P. *Temperature and Human Life*, Princeton, N. J., 1949. Bon exposé des réactions de l'organisme humain aux contraintes thermiques avec application à la construction.

TABLE DES MATIERES

PRÉFACE	9
INTRODUCTION	11
SIGNIFICATION POUR L'HOMME DES MILIEUX AMBIANTS CHAUDS	13
L'équilibre thermique humain	13
Conséquences de la contrainte thermique	18
Variation des réactions individuelles	20
Les niveaux de tolérance	22
ELÉMENTS DE CLIMATOLOGIE DES RÉGIONS TROPICALES ET SUBTROPICALES	25
<i>La température de l'air</i>	25
Le soleil, source de chaleur	25
Effet de la latitude et de la saison	26
Effet de la pollution atmosphérique	26
Effet de la terre et de l'eau	26
Effet des vents et de l'agitation des masses d'air	27
Effet de l'altitude	28
Connaissances des conditions locales	29
<i>Tension de vapeur</i>	29
<i>Agitation de l'air</i>	32
<i>L'énergie rayonnante</i>	32
Le rayonnement solaire direct	32
Le rayonnement solaire réfléchi par les nuages	35
Le rayonnement solaire réfléchi par le terrain	35
Les températures au sol et le rayonnement thermique	35
Température du ciel et rayonnement thermique	36
<i>Classification des climats</i>	37

L'HABITAT, PROTECTION CONTRE LES CONDITIONS CLIMATIQUES DANS DES MILIEUX CHAUDS ET SECS	47
Nature des milieux chauds et secs	47
Principes régissant la réduction de la production de chaleur du corps humain	50
Principes tendant à réduire les gains et à augmenter les pertes de chaleur de l'organisme par rayonnement	51
L'ombre extérieure	51
Diminution de la réflexion par le sol	53
Persiennes, auvents, stores	53
L'arrosage de l'extérieur	54
Projection solaire minimale	54
Coefficient de réflexion et pouvoir émissif élevés	57
Convection sur les surfaces exposées au rayonnement d'isolation ..	59
Convection sur les surfaces intérieures	62
Faible pouvoir émissif des surfaces intérieures	65
Hauteur du plafond	65
Principes tendant à réduire les gains et à intensifier les pertes de chaleur du corps par conduction	66
Isolation	66
Ventilation contrôlée	67
Ventilation de l'espace sous le toit	67
Refroidissement du sol	70
Refroidissement par évaporation	70
Refroidissement par installation réfrigérante	71
Principe tendant à diminuer la libération de chaleur dans le bâtiment	71
Résumé	74
 L'HABITAT, PROTECTION CONTRE LES CONDITIONS CLIMATIQUES DANS LES MILIEUX CHAUDS ET HUMIDES	 77
Nature des milieux chauds et humides	77
Principes tendant à réduire la production de chaleur du corps humain.	78
Principes tendant à réduire les gains et à augmenter les pertes de chaleur de l'organisme par rayonnement	81
Ombre extérieure	81
Diminution de la réflexion par le sol	82
Persiennes, auvents, stores	82
Projection solaire minimale	82
Coefficient de réflexion et pouvoir émissif élevé	83
Convection sur les surfaces exposées au rayonnement	83

L'isolation	83
Convection sur les surfaces intérieures et ventilation de l'espace sous le toit	85
Faible pouvoir émissif des surfaces intérieures	85
Hauteur du plafond	85
Principes tendant à réduire les gains et à intensifier les pertes de chaleur de l'organisme par évaporation	86
Ventilation	86
Mouvement de l'air (vitesse du débit)	87
Déshydratation	88
Principes tendant à limiter la chaleur libérée dans le bâtiment	88
Résumé	88
LES EFFETS CORRECTEURS DES FLUCTUATIONS CLIMATIQUES	91
Alternance de climats chaud-sec et frais-tempéré	91
Alternance de climats chaud-sec et chaud-humide	93
Alternance d'un climat chaud-humide et d'un climat plus frais	95
Chaud, humide et tempéré	96
Chaud, humide et frais-tempéré	98
Mouvement d'air humide dans les zones chaudes et sèches	98
CONSIDÉRATIONS FONCTIONNELLES	101
La chambre à coucher	101
Véranda	102
La cuisine	103
La buanderie	104
Sécurité et rangement	104
REMERCIEMENTS	107
ANNEXES :	
Annexe 1. — L'héliodon	109
Annexe 2. — Le graphique psychrométrique	113
Annexe 3. — Tableau de l'incidence des rayons solaires	117
Annexe 4. — Références importantes	121

ACHEVÉ D'IMPRIMER
SUR LES PRESSES DES
ÉTABLISSEMENTS DALEX
A MONTROUGE (SEINE)
