

Académie royale  
des  
Sciences coloniales

—  
CLASSE  
DES SCIENCES TECHNIQUES

—  
Mémoires in-8°. Nouvelle série.  
Tome VIII, fasc. 4.

Koninklijke Academie  
voor  
Koloniale Wetenschappen

—  
KLASSE  
DER TECHNISCHE WETENSCHAPPEN

—  
Verhandelingen in-8°. Nieuwe reeks.  
Boek VIII, aflev. 4.

---

# Le climat de l'habitation au Congo belge

I. Considérations générales

PAR

**A. LEBRUN**

MÉDECIN HYGIÉNISTE, CHEF DU SERVICE DE L'HYGIÈNE  
DE LA VILLE DE LÉOPOLDVILLE.

ET

**N. VANDER ELST**

DIRECTEUR DU SERVICE MÉTÉOROLOGIQUE DU CONGO BELGE,  
MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES COLONIALES

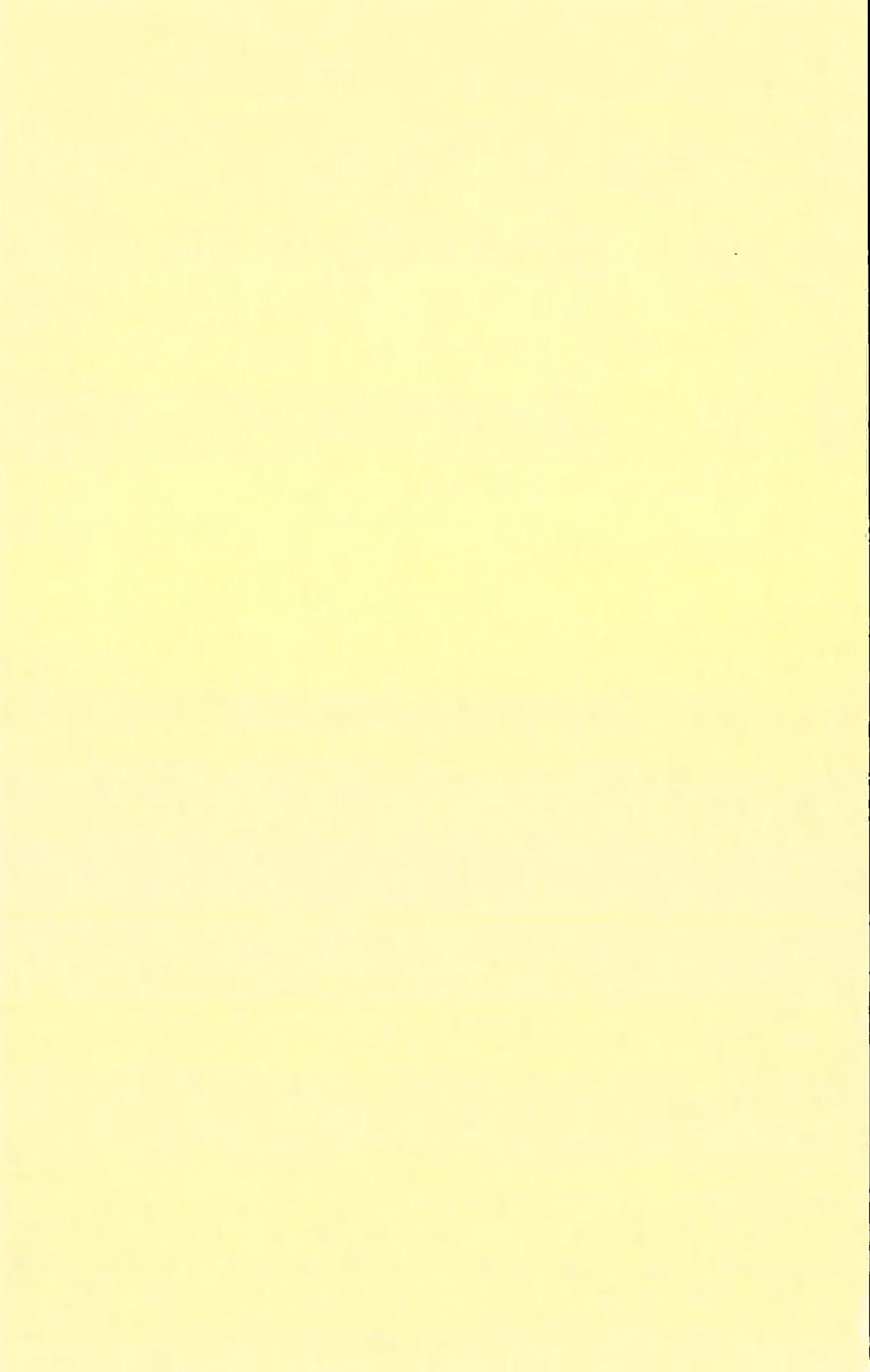


Rue de Livourne, 80A  
BRUXELLES 5

Livornostraat, 80A  
BRUSSEL 5

—  
1958

PRIX : F 50  
PRIJS:





# Le climat de l'habitation au Congo belge

## I. Considérations générales

PAR

**A. LEBRUN**

MÉDECIN HYGIÉNISTE, CHEF DU SERVICE DE L'HYGIÈNE  
DE LA VILLE DE LÉOPOLDVILLE.

ET

**N. VANDER ELST**

DIRECTEUR DU SERVICE MÉTÉOROLOGIQUE DU CONGO BELGE,  
MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES COLONIALES.

---

Mémoire présenté à la séance du 20 décembre 1957.

---

## PRÉSENTATION

Dans le travail que j'ai l'honneur de présenter, les auteurs poursuivent l'étude que j'ai abordée moi-même en 1940 [10] et qui fut reprise par M. A. VANDENPLAS en 1950 à propos des relations de l'homme et du climat au Congo belge [20]. Ils ont cherché à grouper, en un ensemble maniable, les nombreuses considérations générales et les éléments techniques particuliers qui conditionnent les problèmes du climat de l'habitation en pays chaud. Le but est de fournir un ouvrage de référence aux architectes, urbanistes, hygiénistes et à toute personne intéressée à ces questions.

La première partie, qui constitue le présent mémoire, donne les bases physiques et physiologiques à considérer en matière de climatologie du bâtiment. De ces considérations découlent des conséquences pratiques et des conclusions que ni les hautes autorités ni les techniciens de la Colonie ne doivent ignorer. Le chapitre IV, en particulier, développe un aspect souvent méconnu : celui des conséquences à longue échéance d'une thermorégulation difficile ou insuffisante de l'organisme humain. Les auteurs ont d'ailleurs forgé à cet effet le néologisme de « créolisation », qui peint d'une façon frappante le lent mais inexorable processus d'évolution dans lequel une société transformée par la technologie européenne, perd ou voit dévier ses habitudes et son efficacité de récente acquisition, lorsque le climat dans lequel vivent ces hommes est défavorable. L'intérêt pratique de ces considérations est d'autant plus grand qu'il semble possible de retarder ou d'enrayer, par des mesures appro-

priées de la technique moderne, l'évolution néfaste ainsi mise en évidence.

Les généralités relatives à ces mesures sont exposées dans le dernier chapitre qui annonce également que la seconde partie, objet d'un mémoire en préparation, contiendra des données physiques et des éléments pratiques destinés à guider la construction, le « planning » et la législation en ces matières.

Le 20 décembre 1957,  
E.-J. DEVROEY.

# LE CLIMAT DE L'HABITATION AU CONGO BELGE

---

## PREMIÈRE PARTIE

---

### CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES

#### CHAPITRE I

##### Introduction

E.-J. DEVROEY [10] (\*) et A. VANDENPLAS [20] ont consacré, à dix ans d'intervalle, des études de première importance sur les relations entre le climat et le confort de l'homme au Congo belge. Tous deux signalaient combien il était nécessaire de poursuivre l'étude détaillée de chacune des données de ces problèmes si complexes.

Depuis 1950, en plus des statistiques publiées systématiquement par le Service météorologique du Congo belge et par l'INÉAC, un certain nombre de travaux spéciaux ont vu le jour : celui de F. BUCKENS (IRSAC) [5] et ceux du Service météorologique [7, 8, 9, 12, 19]. D'autres sont en préparation, notamment pour les données du rayonnement tombant sur des plans verticaux au Katanga. La possibilité de telles études particulières est illimitée, chacune apportant seulement l'une ou l'autre précision mathématique ou expérimentale. Or il ne suffit pas d'accumuler des théories ou des mesures dans un pro-

(\*) Les [ ] renvoient à la bibliographie, page 49.

blème aussi touffu ; un coup d'œil d'ensemble doit être donné périodiquement pour que l'effort de synthèse s'exerce chaque fois que l'analyse a quelque peu progressé.

Le présent travail tente de faire l'une de ces révisions périodiques de la question, et fait ainsi suite à [10] et [20]. Cependant, l'intérêt de plus en plus grand que le public montre à ces questions nous conduit à ajouter quelques considérations sur les phénomènes physiques et physiologiques auxquels est soumis l'organisme humain dans les climats chauds du Congo. Ces considérations ne sont pas nouvelles, mais nous ne les avons trouvées nulle part sous une forme résumée qui permette au non-spécialiste d'en avoir une idée assez complète sans toutefois s'égarer dans les détails.

Nous rappelons ainsi les bases physiques et physiologiques qui interviennent dans ces problèmes de climat du logement : elles constituent en quelque sorte les limites entre lesquelles il faudra rechercher, d'une part, les conclusions inspirées par les mesures et les expériences et, d'autre part, les solutions techniques ou juridiques que demanderaient éventuellement les cas particuliers étudiés.

Qu'il soit nécessaire d'étudier les conditions climatiques régnant dans les habitations des autochtones et des Européens, est d'une telle évidence que nous n'y reviendrons plus. Cette nécessité est pourtant oubliée ou méconnue trop souvent au Congo, ainsi que le montrent tant d'indices, notamment l'arbitraire qui préside au choix des dispositions architecturales, la méfiance et le scepticisme qui accueillent des techniques nouvelles, perturbatrices des habitudes et des choses établies ; tel est le cas pour le conditionnement d'air, les heures de travail, l'implantation de grandes zones vertes, l'emploi de certains bois de construction, etc.

Nous rappellerons seulement les points suivants qui sont abondamment prouvés :

1<sup>o</sup> La santé, le rendement du travail et la conservation des qualités mentales et physiques, sont étroitement liés à des conditions climatiques assez bien définies ;

2<sup>o</sup> L'adaptabilité *permanente* de l'homme aux climats s'écartant de ces conditions est impossible et sa survivance dans ces climats n'est possible que par des mesures protectrices lui permettant d'y échapper à intervalles réguliers pendant des périodes assez longues ;

3<sup>o</sup> Enfin, contrairement à une croyance encore répandue, la race n'a pratiquement pas d'incidence dans la question d'adaptabilité, alors que les coutumes en ont beaucoup.

Ceci permet de préciser déjà qu'au Congo belge, les indigènes auront autant de profit que les Européens à retirer d'une étude systématique de l'écoclimatologie humaine, qui est l'étude du climat considéré comme milieu dans lequel l'homme vit et agit. En outre, le point 2<sup>o</sup> ci-dessus suggère que, parmi les moyens de défense employés par l'homme contre le climat, le plus important peut-être sera le logement qu'il a imaginé comme abri. L'étude du climat de ce logement est l'objet des pages qui suivent. C'est donc un chapitre particulier de l'écoclimatologie humaine, dans lequel nous entendrons « logement » dans son sens restreint de local construit par l'homme pour sa protection contre le climat. Cette protection lui est imposée par la nature et il a répondu à cette obligation en inventant des dispositifs de plus en plus variés — et généralement efficaces — pour se protéger contre les intempéries bien marquées : pluie, grand vent, froid, forte chaleur. Pendant une longue partie de son évolution historique, il n'a pas attaché grande importance à des éléments moins perceptibles ou moins nettement désagréables, comme l'humidité, le manque ou l'excès de ventilation et même le rayonne-

ment. Ses réalisations ont eu parfois le bonheur de le protéger mieux qu'il ne l'avait obscurément cherché, mais ces exceptions ne doivent pas faire oublier les cas plus nombreux où, par suite d'une protection insuffisante, le groupe humain s'est étiolé et a été anéanti par un conquérant ou bien s'est régénéré en un climat plus propice par la migration de ses meilleurs éléments.

Dans le monde moderne, où l'on n'a plus la ressource des migrations, il s'agit de survivre là où l'on se trouve. Il faut donc se défendre contre le climat local et une technique appropriée doit être mise en œuvre dans ce but.

Le choix de cette technique ne pourra se faire rationnellement qu'en examinant d'abord les bases physiques et physiologiques du problème, et ce problème, nous l'avons choisi aussi restreint que possible : celui de la protection de l'homme contre la chaleur, dans son habitation. Les variables physiques y sont déjà nombreuses : température, humidité, énergie rayonnée dans diverses longueurs d'onde, ventilation, pollution atmosphérique, éclairage, nature des matériaux, données architecturales et urbanistiques. Les éléments physiologiques sont encore bien plus nombreux, mais un phénomène les domine : celui de la thermorégulation de l'organisme humain. Nous allons nous y arrêter avec le seul souci d'en examiner les aspects qui intéressent le climat de l'habitation.

\* \* \*

## CHAPITRE II

### Bases physiques de la thermorégulation chez l'homme.

Les effets de la température ambiante sur les êtres vivants ont intéressé les physiologistes depuis plusieurs siècles, mais le problème très compliqué qu'il s'agissait de démêler n'a fait de progrès certains qu'au cours du 19<sup>e</sup> siècle. Détail piquant que les coloniaux nous pardonneront de citer, c'est en étudiant le cancrelat que BUTSCHLI, en 1874 [6], découvrit que le métabolisme de cet insecte était remarquablement proportionnel à la température ambiante ! Ce résultat fut vite étendu aux animaux dits « à sang froid ». Il apparut, au contraire, que la production de chaleur chez les animaux supérieurs « à sang chaud » et chez l'homme, n'était pas proportionnelle à la température de l'environnement et qu'une certaine thermorégulation, produisant l'*homéothermie*, expliquait comment des fonctions délicates pouvaient être maintenues dans ces organismes compliqués, malgré de grandes variations de la température ambiante.

L'être vivant produit, par le seul fait de vivre, une énergie calorifique. Il puise de l'énergie potentielle dans le milieu extérieur, avant tout dans sa nourriture ; il l'extrait par un processus d'oxydation et l'utilise en élaborant les substances nécessaires à sa structure et à son fonctionnement. Ce fonctionnement comporte non seulement les réactions et mouvements nécessaires au maintien de la vie, mais aussi ceux qui intéressent le domaine extérieur : le travail physique et intellectuel. Or les processus physiques et chimiques dont l'homme

est le siège sont soumis aux lois de la thermodynamique. L'ensemble des transformations énergétiques qui se passent dans son corps conduisent à la dégradation en chaleur d'une partie de l'énergie du système.

Ainsi donc, l'organisme produit à chaque instant un certaine quantité de chaleur ; d'autre part, il en reçoit ou en perd par échange avec le milieu ambiant.

L'homéothermie consiste alors dans le maintien d'une température constante des organes et tissus profonds, cette température correspondant à l'activité biologique optimum. Aucun facteur, autant que l'homéothermie, n'a contribué à établir la supériorité des formes les plus élevées de la vie.

Pour obtenir cet équilibre entre les processus d'échauffement et de refroidissement, le corps contrôle automatiquement ceux de ces processus qui dépendent de lui. Comme dans certaines machines, il y a donc dans le corps des organes sensibles au bilan calorifique instantané, c'est-à-dire aux excédents ou aux déficits de chaleur par rapport au régime d'équilibre; il s'y trouve aussi des organes de contrôle, mis en action par les organes détecteurs, qui agissent sur certaines fonctions pour rétablir l'équilibre; Toujours comme dans une machine, chacun de ces contrôles n'a qu'un domaine d'action limité et peut se trouver dans l'incapacité de corriger un déséquilibre excessif. C'est le cas de l'organisme malade, mais c'est aussi le cas de l'organisme se défendant contre un environnement défavorable.

Nous définirons comme défavorable une ambiance dans laquelle les processus de la thermorégulation humaine ne suffisent plus pour réaliser facilement l'homéothermie. Ceci nous définit, incidemment, la notion d'adaptabilité permanente à la température : nous dirons que l'organisme s'adapte s'il évolue de manière à trouver favorable un environnement qui lui était défavorable et qui n'a pas changé de caractéristiques physiques.

Dans le cadre de ces définitions, il est constaté que l'organisme humain est extrêmement peu adaptable à la température et que cette faible adaptation se fait lentement et au détriment de l'individu considéré cette fois, non plus comme une machine thermique, mais comme un être intelligent membre d'une société humaine.

Un mot encore sur l'équilibre réalisé dans l'homéothermie. La température normale des tissus et des organes profonds se situe aux environs de 37° C. La peau est notablement plus froide et, quand elle est exposée à l'air, suit assez bien les variations de la température extérieure, lorsque celle-ci est entre 15 et 25 degrés environ. La vie peut se maintenir lorsque la température des organes profonds varie légèrement, mais la tolérance est petite et une élévation de quelques degrés de la température interne entraîne des troubles graves et la mort.

Voyons maintenant en quoi consistent les apports et les pertes de calories qui interviennent dans le bilan thermique et quels sont les principaux mécanismes que l'organisme met en œuvre pour essayer d'obtenir l'homéothermie. Nous ne considérerons que les phénomènes relatifs aux conditions rencontrées dans les régions équatoriales.

## I. Apports de chaleur.

### A. MÉTABOLISME.

La quantité de chaleur produite par l'organisme a reçu le nom de métabolisme (\*). Lorsque l'homme est à jeun, au repos et dans une atmosphère tiède, ce dégagement de chaleur est réduit au minimum, soit environ 70 à 75 kilocalories par heure (ou l'équivalent calorifique

(\*) En réalité ce terme, d'abord employé pour les transformations de la nourriture, désigne aujourd'hui l'ensemble des échanges énergétiques qui ont leur siège dans l'organisme. Par une extension souvent usitée, l'énergie totale mise en jeu dans ces échanges est aussi appelée métabolisme. C'est le sens que nous lui donnons dans ces pages.

d'une puissance de quelque 90 watts). C'est le métabolisme basal. Lorsque l'homme travaille, le métabolisme augmente dans des proportions considérables, car le rendement thermodynamique de l'organisme, n'est que de l'ordre de 20 % ce qui implique que chaque watt de puissance utilisée à un travail extérieur est accompagné de l'équivalent calorifique de 4 ou 5 watts qui viennent s'ajouter au métabolisme basal. Le seul point qu'il y a lieu de faire nettement ressortir ici, c'est que la moindre activité physique (100 watts, développés en travail extérieur, correspondent, pour un homme de 80 kilos, à monter en une demi-minute, c'est-à-dire à son aise, un escalier d'un étage) fait passer le métabolisme à des valeurs plusieurs fois plus grandes que le métabolisme basal (6 fois dans l'exemple cité). Cette considération ne doit jamais être perdue de vue dans le cas des climats chauds où l'élimination des calories est particulièrement difficile.

#### B. ABSORPTION D'ÉNERGIE RADIANTE.

L'organisme est soumis au rayonnement provenant de son environnement. Cette énergie rayonnée lui arrive sous forme de rayonnement ultra-violet, de rayonnement visible, de rayonnement infra-rouge et de rayonnement thermique de grande longueur d'onde.

1° *Rayonnement solaire.* Il provient du soleil soit directement, soit par réflexion sur les nuages, le sol et les objets, soit encore du ciel par l'effet de diffusion que provoque l'atmosphère. Ce rayonnement « global » comporte l'ultra-violet, le visible et l'infra-rouge. Son énergie moyenne atteint à Léopoldville 600 kilocalories par heure et par mètre carré [12] sur une surface horizontale. La valeur moyenne calculée sur les jours de beau temps seulement, atteint 800 kcal/h m<sup>2</sup>. La quantité reçue par le corps dépend de la hauteur du soleil et de la position de chaque partie du corps. Le vêtement protège en outre une partie importante de la surface de l'homme,

surface qui est de l'ordre de  $1,9 \text{ m}^2$ . Comme l'homme est d'habitude en station verticale ce n'est pas à midi, mais bien entre 9 et 10 heures, le matin, et entre 14 et 15 heures, l'après-midi, qu'il reçoit la plus grande énergie radiante. Il en absorbe une partie et réfléchit le reste. BLUM [3] a calculé que l'homme reçoit en moyenne, sous les tropiques, un rayonnement global de  $139 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$ , soit près de 3,5 fois le métabolisme basal.

La moitié environ de l'énergie de ce rayonnement tombe dans la partie visible et ultra-violette du spectre. L'autre moitié correspond à l'infra-rouge. Or si la couleur de la peau et des vêtements donne une bonne indication de la capacité de réflexion dans le visible (où le blanc réfléchit jusqu'à 90 % alors que le noir ne réfléchit que 15 % ou moins), il n'en est pas de même dans l'infra-rouge (la réflexion pour le blanc et le noir approchant de 50 %).

2° *Rayonnement thermique.* Un corps émet, par rayonnement, une énergie proportionnelle à la quatrième puissance de sa température absolue. Le sol, les murs et les objets émettent donc un rayonnement qui tombe sur le corps humain. Il est de grande longueur d'onde et très peu réfléchi par la plupart des surfaces ; bien que plus faible que l'énergie solaire, cette énergie est par contre presque entièrement absorbée. On s'en protège aussi plus difficilement, car ce rayonnement émane des murs intérieurs, des planchers, des plafonds et il conduit, dans le bilan thermique, à un apport positif dès que la température de ces objets est plus élevée que celle de la surface de la peau et des vêtements.

Rappelons qu'une des techniques modernes de chauffage des maisons est le chauffage par rayonnement, où les murs, le plancher ou le plafond sont à peine plus chauds que le corps ; ceci permet cependant, sans autre moyen de chauffage, de rendre, en plein hiver, une

chambre confortablement habitable. Cet exemple fait toucher du doigt l'importance du rayonnement thermique de grande longueur d'onde dont les effets sont indépendants de la température de l'air ambiant.

### C. APPORTS PAR CONDUCTION ET CONVECTION.

Le passage des calories de l'air au corps se fait soit par conduction, soit par convection. De ces deux processus, la conduction est le phénomène primaire : elle consiste dans l'échauffement de la surface la plus froide (ici, la peau et les vêtements) par contact avec l'autre plus chaude (ici, l'air). Mais la surface chaude se refroidit en donnant des calories à la surface froide et le flux de chaleur diminue à mesure que la différence de température entre les deux surfaces devient plus petite. Si la surface chaude est renouvelée constamment (ici, par le mouvement de l'air), un flux de chaleur plus grand passe, par conduction, dans la surface froide : c'est le cas de la convection. Les deux phénomènes sont donc intimement liés et la convection est elle-même une fonction de la ventilation.

La conduction et la convection ne donnent d'apports positifs de chaleur que si l'air a une température supérieure à celle du corps.

## II. Pertes de chaleur.

### A. ÉMISSION D'ÉNERGIE RADIANTE.

Comme nous l'avons vu à propos des objets, au paragraphe I. B. 2<sup>o</sup> (page 13), le corps humain rayonnera aussi de l'énergie proportionnellement à la 4<sup>e</sup> puissance de sa température superficielle. Ces calories sont enlevées à la peau et aux vêtements qui se refroidissent d'autant

mais qui, en compensation partielle, absorbent des calories dans l'intérieur de l'organisme par conduction.

Il en résulte un flux de chaleur vers l'extérieur. Il est à noter que c'est la différence entre les flux reçus et émis par le corps, qui représente l'apport ou la perte de calories par rayonnement thermique: Ce n'est donc pas la surface totale du corps qui est en jeu dans ce phénomène, mais seulement, comme l'a montré BOHNENKAMP [4], la surface du corps réellement exposée aux échanges radiatifs avec les surfaces environnantes.

Quand il n'y a pas de parois, c'est-à-dire lorsque l'individu est exposé librement à l'extérieur, le sol est la seule surface proche qui lui envoie du rayonnement thermique de grande longueur d'onde à la température qu'a le sol à ce moment. Le ciel, c'est-à-dire les nuages ou l'atmosphère jusqu'à ses confins, lui envoie seulement du rayonnement thermique à une très basse température correspondant à environ  $-43^{\circ}$ . Théoriquement donc, la peau qui ne « verrait » que le ciel bleu recevrait moins qu'elle ne donne et elle émettrait un flux de chaleur à des températures de plus en plus basses jusqu'au moment où elle se serait refroidie jusqu'à  $-43^{\circ}$  C.

En fait, les couches d'air intermédiaires, surtout quand elles sont humides comme au Congo, jouent un rôle de barrière et le rayonnement s'équilibrerait à une température intermédiaire.

En résumé, les quantités de chaleur radiante de grande longueur d'onde émise et reçue, sont fonction de la surface du corps exposée au rayonnement, de sa position par rapport aux parois environnantes, des températures et du pouvoir émissif de ces parois et de la peau [13] quand le corps est entouré de tous côtés par des parois très froides. Elle est particulièrement importante quand les parois latérales et le plafond ont disparu et que l'homme se trouve debout sur le sol à l'extérieur, loin de tout objet: le ciel joue alors le rôle de paroi très

froide. Ceci est à noter dans les régions équatoriales où le fait de se trouver à l'intérieur d'une pièce enlève immédiatement à l'organisme la possibilité de perdre des calories par ce processus.

### B. CONDUCTION ET CONVECTION.

La perte de chaleur par conduction et convection se produit comme décrit au paragraphe I. C. (page 12) pour les gains de chaleur, mais en considérant cette fois l'air comme étant plus froid que le corps.

Ajoutons seulement que la conductibilité de l'air étant très faible, ce n'est que quand la circulation de celui-ci entraîne des échanges par convection que le phénomène a de l'importance. L'état sec ou mouillé de la peau modifie les conditions de contact avec l'air (en dehors de toute question d'évaporation) et fait varier le coefficient global de transmission de chaleur entre les tissus superficiels de l'organisme et l'air.

### C. ÉVAPORATION.

L'organisme produit à tout instant de la sueur à la surface de la peau, mais la quantité produite peut varier dans des proportions énormes suivant les conditions internes et externes. Le mécanisme complexe de cette sécrétion sera commenté au chapitre suivant. Nous nous contenterons d'indiquer ici qu'il permet à l'organisme de perdre une quantité variable de chaleur par évaporation. Celle-ci est possible dès que la tension de vapeur saturante de l'eau à la température de la peau est supérieure à la tension de vapeur de l'eau réellement contenue dans l'air ambiant. La quantité d'eau évaporée par unité de temps sera proportionnelle à la différence de ces tensions de vapeur. On voit immédiatement que si l'humidité de l'air ambiant correspond à une tension

de vapeur égale à la tension de vapeur saturante à la température de la peau, il ne pourra pas y avoir d'évaporation : ceci est notamment le cas quand l'air est saturé et a la même température que la peau.

Si l'air ambiant est saturé mais est à une température inférieure à celle de la peau, l'évaporation reste possible (bien que le contraire soit souvent énoncé), car une différence de tension de vapeur subsiste et fait passer l'eau de sueur de la phase liquide à la phase gazeuse. Cependant, l'air ne pouvant se sursaturer appréciablement, il se produit une condensation de la vapeur à quelque distance de la surface évaporante. Le cas est bien connu en météorologie où l'on voit une surface mouillée chaude (une route congolaise après la pluie, par exemple) « fumer » dans une atmosphère plus froide ayant une humidité relative de 100 %. Pour la peau, ce qui compte c'est la première partie du phénomène : l'évaporation. La seconde partie du phénomène (condensation) réchauffe l'air, mais ceci n'a qu'un effet secondaire sur la peau car, en général, la ventilation renouvelle l'air en contact avec la peau et éloigne ainsi ces calories de condensation. La notion de point de rosée permet d'exprimer simplement la règle : l'évaporation est possible tant que le point de rosée de l'air est inférieur à la température de la peau.

Chaque gramme d'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux en absorbant 0,58 calorie ; cette chaleur est enlevée à la peau. L'air immédiatement en contact avec la peau absorbe cette vapeur, c'est-à-dire que son humidité augmente, et la différence de tension de vapeur qui produit l'évaporation a donc tendance à diminuer. Mais si l'air circule et entraîne au loin la vapeur d'eau émanant de la peau, la différence de tension de vapeur se maintient d'autant mieux que l'entraînement de la vapeur par la ventilation est plus rapide. L'évaporation est donc un puissant moyen de rafraîchissement de

l'organisme et la ventilation la favorise très fortement. Nous verrons que la perte de chaleur par ce processus est si variable, que l'évaporation constitue, en climat chaud, le moyen principal de thermorégulation dont dispose l'organisme.

Les vêtements ont des effets divers sur les pertes de chaleur par évaporation : ces effets sont enchevêtrés et nous n'en dégagerons que les résultantes principales en climat chaud. Tout d'abord, les vêtements empêchent fortement la ventilation de la peau et ralentissent l'évaporation. Ensuite, en cas de transpiration abondante, les vêtements absorbent une partie importante de la sueur liquide dont l'évaporation ne se fait donc plus au niveau de la peau mais à l'extérieur du vêtement. C'est celui-ci qui se refroidit par évaporation, ce qui est beaucoup moins efficace pour la thermorégulation. Comme nous le verrons au chapitre suivant, il en résulte une augmentation inutile de la température de la peau et de l'activité des glandes sudoripares. Le sujet met en jeu des moyens trop grands pour l'échange thermique nécessaire à l'homéothermie ; il risque de se refroidir trop brusquement si, pour l'une ou l'autre cause (arrêt d'un travail musculaire ou augmentation de la ventilation, par exemple), une aussi grande vitesse d'échange de calories avec l'air extérieur n'était plus nécessaire. Or, il se trouve à ce moment couvert d'un vêtement plus ou moins mouillé qui non seulement continue à s'évaporer et à se refroidir, mais qui modifie la nature du contact entre la peau et le milieu extérieur, ce qui multiplie considérablement les pertes par conduction et convection.

\* \* \*

## CHAPITRE III

### **Bases physiologiques de la thermorégulation chez l'homme**

Nous avons vu au chapitre précédent que l'organisme produit et reçoit de la chaleur et que, d'autre part, il en perd au profit du milieu extérieur. Pour que l'homéothermie soit réalisée, il faut que le bilan thermique, c'est-à-dire la somme algébrique de ces quantités de chaleur gagnées ou perdues, soit nul.

Il s'agit donc pour l'organisme d'écouler ses calories vers l'extérieur pour obtenir ce bilan nul et cela d'une manière automatiquement variable au cours des modifications de l'activité physique et des conditions ambiantes. Or, comme tout automobiliste le sait, il peut être difficile de libérer une machine de la chaleur qu'elle produit et cette difficulté est d'autant plus grande qu'il fait plus chaud. L'homme est logé à la même enseigne mais, alors que le moteur d'automobile tolère sans grave danger des variations de température de plusieurs dizaines de degrés, l'organisme humain n'en tolère que de très faibles, généralement 2 et tout au plus 3° C. Aussi est-il pourvu de mécanismes complexes et très sensibles pour assurer l'homéothermie avec une efficacité d'ailleurs admirable. Nous allons les examiner sommairement du point de vue de la réaction à une ambiance chaude.

#### **I. Régulation vasculaire.**

Pour maintenir sa température entre des limites si rapprochées, le corps possède un premier moyen de défense dans la possibilité de modifier la capacité calori-

fique et la conductivité des extrémités et des tissus superficiels. Dans un confort normal, la température des pieds sera par exemple de 26 à 27° C, les cuisses et le haut des bras à 31 ou 32° C, la tête environ 34° et les organes profonds à 37 ou 37,5° C. Entre ces derniers et la surface de la peau, il y aura donc un gradient de température maintenant le flux de chaleur de l'intérieur vers l'extérieur au travers de la résistance thermique des tissus exactement comme un gradient de potentiel maintiendra le passage d'un courant électrique à travers une résistance. Mais, ces tissus sont parcourus par un immense réseau de vaisseaux sanguins. Tant que dans ces derniers circule le même débit de sang, la résistance thermique de l'ensemble est constante. Si ces vaisseaux se dilatent et que la pression sanguine se maintient, le débit de sang augmente et la circulation périphérique, c'est-à-dire la quantité de sang circulant par unité de temps dans les tissus superficiels, devient plus intense. De 50 à 60 % du sang mis en mouvement par le cœur peut ainsi prendre part à une circulation d'échange avec l'extérieur, comme l'eau envoyée du moteur d'une auto dans le radiateur où elle se refroidit. Si, en outre, le cœur augmente son rythme et la force de ses pulsations, le débit s'en accroît encore d'autant. Tout se passe donc dans notre analogie électrique, comme si la résistance constituée par l'ensemble des tissus entre les organes profonds et la périphérie était mise en parallèle avec une autre résistance variable dans de fortes proportions, ce qui équivaut à considérer que la conductivité thermique des tissus périphériques varie : elle augmente avec la vasodilatation.

Un effet secondaire, mais non négligeable, de ce phénomène est la variation de sensation de chaleur qui peut entraîner l'individu à modifier son comportement ou son attitude, à se déplacer, à se découvrir.

Un autre effet secondaire, qui se produit en même

temps que ceux de la régulation vasculaire, mais qui n'est pas commandé par les variations de la température ambiante tant que la vasodilatation suffit à la tâche, est l'évaporation de transpiration « insensible ». La quantité de chaleur enlevée à l'organisme par cet effet est à peu près un quart du métabolisme quelque soit celui-ci dans un domaine allant du repos jusqu'à l'activité normale de la vie quotidienne sans effort violent [21, 11, 17].

Après en avoir décrit le mécanisme, voyons les effets de la régulation vasculaire dans le cas d'une augmentation de la température ambiante (ou dans le cas de calories reçues par rayonnement sans augmentation de la température de l'air). Le corps réagit en permettant à ses parties les plus froides d'élever leur température, envoyant ainsi à la périphérie des calories prises à sa réserve profonde. La température de la peau s'élève. Si la température extérieure est plus basse que celle de la peau, celle-ci en s'échauffant augmente la différence de température entre sa surface et l'air et augmente dans les pertes par conduction et convection. La perte par rayonnement augmente également (ou le gain diminue, voir page 14).

Si au contraire, la température de l'air est plus élevée que celle de la peau, l'échauffement de celle-ci diminue les gains par conduction et convection. Dans tous les cas, la réaction a un résultat défensif, soit pour augmenter la perte de calories, soit pour diminuer le gain de chaleur.

Le mécanisme de vasodilatation est déclenché par deux systèmes sensibles distincts. L'un, central, est situé dans quelques petits centres de l'hypothalamus, et agit sur tous les vaisseaux. L'autre, local, est un réflexe qui agit presque instantanément sur les vaisseaux de la partie de la peau affectée par une élévation de température. On remarque déjà la complexité du

système d'indication et de commande : d'une part, il agit sur l'ensemble du corps, d'autre part, une attention spéciale et rapide est donnée aux parties les plus affectées, tout à fait comme un corps de pompiers bien informé attaquerait un incendie.

Un phénomène d'acclimatation s'observe [17] pour la vasodilatation provoquée dans la thermorégulation : beaucoup d'individus non acclimatés, exposés soudain à une chaleur intense, présentent des troubles circulatoires dus à l'effort imposé au système cardiovasculaire. Si l'homme n'effectue aucun travail, sa tension diminue, son pouls s'accélère ; dans les cas extrêmes, il peut tomber en syncope. Au contraire, l'individu acclimaté a un volume circulatoire accru, d'abord temporairement par du plasma soutiré aux autres fluides de l'organisme, mais bientôt par une réelle augmentation du volume sanguin. La tension et le pouls restent normaux.

Cependant, l'augmentation des échanges par la vasodilatation ne peut suffire qu'entre certaines limites de température qui dépendent elles-mêmes du métabolisme de l'organisme au moment considéré. Dans le cas le plus favorable, c'est-à-dire quand la production de calories n'est pas plus forte que celle du métabolisme basal, la régulation par voie de vasodilatation devient insuffisante quand la peau atteint une température moyenne de 32° C.

Ceci n'est toutefois qu'une moyenne car, aux différentes parties du corps correspondent des températures critiques de la peau à partir desquelles un nouveau phénomène (la transpiration active) va intervenir : environ 33,5° pour la tête, 34,5° pour le tronc et les bras, 35,5° pour les extrémités [21]. Ces températures de la peau sont celles d'un individu nu dont le métabolisme est minimum : n'effectuant aucun travail physique et en position couchée. Elles correspondent à une température de l'air de 30 à 33° C [21] quand le rayonnement thermique se fait à la même température.

Dès que l'homme travaille et qu'il est habillé, la température moyenne critique descend très fort. Pour en donner une idée, signalons qu'un sujet immobile normalement vêtu, atteindra la limite critique à partir de laquelle la transpiration active se produit, pour une température ambiante de 25° C environ [21].

## II. Régulation par évaporation.

Dès que les pertes de chaleur par accroissement du débit de circulation périphérique sont insuffisantes pour maintenir un bilan thermique nul, la température profonde commence à s'élever et la température rectale en est une assez fidèle indication. Le sang provenant de ces régions centrales de l'organisme arrive dans les centres sensibles de l'hypothalamus et ceux-ci excitent les glandes sudoripares à produire de la sueur. Nous avons vu comment une quantité appréciable de calories peut être éliminée vers l'extérieur par ce processus. La première manière que l'organisme emploie pour la régulation de celui-ci est la variation de la portion de surface du corps mouillée par la sueur. Un réflexe (local) intervient ici aussi pour que les parties les plus affectées par l'élévation de la température ambiante soient particulièrement protégées. Il est utile d'insister sur cette variation de la surface mouillée en fonction des conditions locales : ainsi, si la ventilation augmente, la surface mouillée diminue et le déphasage en temps entre les deux variations est petit. Les vêtements vont accroître considérablement ce déphasage et, dans le cas d'une augmentation de ventilation par exemple, l'organisme vêtu pourra en arriver à maintenir une sudation trop forte longtemps après que la ventilation a augmenté ; il peut en résulter des refroidissements excessifs à rapprocher de ceux indiqués au chapitre II, C (page 18).

Du point de vue quantitatif, nous avons vu que dans la zone de température où la thermorégulation vasculaire suffit, 25 % des calories du métabolisme étaient éliminées par évaporation. Dès que l'on dépasse la température critique à partir de laquelle la vasodilatation ne suffit plus et que la sueur apparaît, la perte par évaporation augmente extrêmement vite. Elle n'est plus proportionnelle au métabolisme cependant car, bien que pouvant passer de quelque 20 kilocalories par mètre carré et par heure à plus de 100 kcal/m<sup>2</sup> h, elle dépend, une fois le corps entièrement mouillé, des possibilités d'évaporation offertes par l'ambiance (point de rosée et ventilation).

Ce qui nous intéresse en matière de climat du logement, c'est que cette considérable augmentation de la transpiration se passe dans une zone de température moyenne de la peau allant, pour un sujet nu au repos, de 32 à 35° C seulement. Au delà, l'organisme est livré aux seules conditions physiques, et si celles-ci ne permettent pas l'évacuation assez rapide des calories par évaporation, l'homéothermie devient impossible.

### III. Divers.

a) *Variation du métabolisme.* En plus des deux systèmes autorégulateurs dont nous venons de parler, il faut encore mentionner la diminution du métabolisme. Certes, une importante diminution dans la production de chaleur par le corps, est obtenue consciemment dès que l'homme qui a trop chaud cesse son activité. Mais une diminution inconsciente et automatique, bien que de faible amplitude, survient lorsque l'ambiance s'échauffe au delà d'une certaine température. L'effet, surtout bien marqué pour les femmes, conduit chez elles à un métabolisme basal de 14 à 20 % plus faible que chez les hommes.

Il est établi qu'un facteur nutritionnel intervient également dans cette question : une diminution générale du métabolisme correspondant à un certain travail, se constate chez les individus peu ou mal nourris. En somme, le rendement thermique de l'organisme mal nourri augmente comme si, n'ayant que peu de ressources au delà de celles qui lui sont indispensables pour son fonctionnement, cet organisme les utilise avec la meilleure économie possible quand il s'agit de fournir du travail extérieur. LADELL indique [14] que c'est sans doute le cas de l'indigène africain, ce qui lui donne une capacité un peu meilleure que l'Européen à résister à la chaleur ; il est aussi capable, dès l'arrêt du travail, de revenir plus près du métabolisme basal de l'homme qui dort. Il est paradoxal mais pourtant vrai de songer que, mieux nourri, l'indigène pourrait moins bien supporter la chaleur. C'est une raison de plus pour tâcher de donner des logements rationnels à nos évolués.

b) *Capacité calorifique du corps*. Comme l'homéothermie peut se réaliser non pas pour une température unique des tissus profonds, mais pour une température moyenne située entre 37 et 39° (à l'extrême 40°C), la quantité de chaleur stockée dans les quelque 70 kilos de matière de l'organisme augmentera avec la température moyenne du corps. Celle-ci pouvant augmenter à la fois dans la peau et dans le centre de l'organisme, il y aura donc des calories qui pourront être accumulées au moins temporairement sans devoir être évacuées. En d'autres mots, si les termes du bilan en régime d'équilibre sont uniquement ceux que nous avons énumérés au chapitre II (pages 11 à 17), en régime transitoire au contraire, un terme supplémentaire, proportionnel à la capacité calorifique et à la température moyenne du corps dans son ensemble, doit être ajouté à l'équation du bilan.

c) *Variations raciales.* Il est intéressant de noter ici une différence raciale dans le degré d'importance de la perte de calories par évaporation de la sueur. Le nombre de glandes sudoripares par unité de surface de la peau varie de race à race : l'homme à pigmentation noire a une plus grande densité superficielle de ces glandes et peut donc éliminer de la chaleur plus facilement que l'homme blanc. Cette différence ne change rien aux conclusions des paragraphes précédents, mais elle doit être prise en considération dans certains cas particuliers, notamment en ce qui concerne les refroidissements à craindre pour les occupants de locaux ventilés d'une manière excessive.

## CHAPITRE IV

### **Conséquences d'une thermorégulation difficile ou insuffisante et remarques générales.**

Nous ne nous attarderons pas outre mesure aux accidents immédiats dus aux hautes températures. En effet, ces accidents sont relativement rares et sont, en général, l'apanage de certains individus : soldats en campagne, mineurs au travail dans les mines profondes et chaudes, ou travailleurs imprudents exerçant leur activité en plein soleil.

Le moindre de ces accidents est la syncope banale, due simplement à une insuffisance passagère du centre vasomoteur.

A un stade ultérieur, on connaît le collapsus thermique où l'embaras circulatoire est consécutif à un déséquilibre hydroionique notable. Le centre thermorégulateur est simplement dérégulé, mais la température reste dans des limites compatibles avec l'existence : il s'agit d'un simple collapsus dû à la déchloruration et à la déshydratation résultant d'une sudation excessive.

Le troisième stade est le « coup de chaleur » caractérisé par un dérèglement notable de la thermolyse : soit que l'évaporation devienne impossible, par excès d'humidité atmosphérique, soit que le mécanisme sudoral s'épuise. La température corporelle s'élève alors progressivement et peut atteindre 43 à 45°, amenant le décès.

Toute autre est l'action à longue échéance d'une température élevée subie pendant un temps suffisam-

ment long. Selon MILLS [15] la température est d'ailleurs un facteur dont l'incidence sur la vie de l'homme se marque bien au delà de son confort à l'instant envisagé.

En effet, toute l'histoire de l'humanité est là pour nous démontrer qu'en certains endroits ce facteur est la cause d'une stagnation physique et intellectuelle, maintenant tout un peuple dans une vie végétative tandis que dans d'autres lieux, où la température plus clémente reste à un niveau plus favorable à l'activité humaine, elle permet l'essor de grandes civilisations à la base desquelles se trouvaient l'énergie et l'esprit d'initiative particulièrement remarquable des populations intéressées.

Aucune nation, aucune civilisation ne peuvent se développer complètement dans des conditions climatiques défavorables. Il suffit pour s'en convaincre de considérer par exemple l'Afrique noire ou la Laponie, ou encore certaines sociétés créoles.

L'histoire du globe terrestre nous apprend qu'il y eut dans les temps passés, des périodes, sinon des cycles successifs, de réchauffement et de refroidissement de notre planète, et que les époques chaudes correspondaient à une stagnation, voire à une régression relative des civilisations des peuples les plus méridionaux au profit des peuples septentrionaux. C'est ainsi que l'apogée de la civilisation gréco-romaine s'est placée pendant un millénaire « froid », tandis que le moyen âge s'est placé pendant un millénaire « chaud ».

Au moment où l'Europe centrale et méridionale connaissait ce réchauffement qui faisait pousser les raisins en Angleterre et les céréales en Islande, sa civilisation subissait une éclipse relative au bénéfice des peuples nordiques qui, sortant de leur léthargie au neuvième siècle, entraient dans une phase d'exploration et d'établissement.

Après cette « vague de chaleur », l'Europe connaissait

à nouveau une période de refroidissement qui, amenant des conditions plus favorables pour l'espèce humaine, conduisait à un progrès artistique, scientifique et industriel depuis la Renaissance jusqu'à nos jours. Les climatologues nous disent aujourd'hui que l'Europe se réchauffe.

Le dernier réchauffement général du globe s'est, par ailleurs, traduit au cours des siècles par la disparition des brillantes civilisations égyptiennes et phéniciennes, au profit des Grecs, puis des Romains et des peuples de plus en plus septentrionaux.

Ces phénomènes généraux sont la résultante des phénomènes particuliers qui affectent chaque individu.

Ainsi qu'il a été dit précédemment, pour chaque calorie produite sous forme de travail, l'organisme doit en dissiper 4 ou 5 sous forme de chaleur. Dans les régions tempérées, cette dissipation se fait sans difficulté particulière. Dans les régions chaudes, l'organisme est soumis à des modifications importantes.

Pour faire face à des conditions défavorables momentanées, nous avons vu que l'organisme réagit en dilatant ses vaisseaux sanguins superficiels et en faisant fonctionner ses glandes sudoripares jusqu'à rétablissement de l'équilibre.

Lorsque les conditions défavorables s'étalent sur de longues périodes, comme c'est le cas en climat tropical, la perturbation physiologique amorcée s'affirme dans d'importantes adaptations de nature à modifier sensiblement le comportement de l'organisme.

Ces modifications ont pour but essentiel la diminution de la production de calories, c'est-à-dire la diminution des combustions, phénomènes qui sont accompagnés notamment par un ralentissement ou une mise au repos du fonctionnement de certaines glandes à sécrétions internes comme la glande thyroïde, la surrénale, les gonades et peut-être aussi la pituitaire. Or, ces glandes

sont précisément celles dont la sécrétion conditionne le dynamisme physique et intellectuel de l'individu.

En même temps que les combustions se ralentissent, le dynamisme physique et intellectuel (c'est-à-dire la productivité de l'individu) s'abaisse. L'individu, d'actif qu'il était, devient passif, de caractère indifférent, fuyant l'initiative personnelle pour se réfugier dans une quiétude confortable. Ces changements métaboliques essentiels s'accompagnent aussi de troubles profonds, notamment de la croissance, du développement, de la résistance à l'infection, de la puissance de réflexion. La puberté, la maturité d'esprit, la fécondité sont assez sérieusement compromises. Les cellules germinatives elles-mêmes, avant leur union, semblent déjà atteintes, conditionnant ainsi le nouvel être qui sortira de leur fusion.

Ces affirmations ne sont pas hypothétiques ni théoriques, mais basées sur des faits scientifiquement contrôlés chez l'homme, ou expérimentalement prouvés chez l'animal.

« Si l'on compare des animaux de laboratoires (rats blancs et souris), maintenus dans des conditions contrôlées et à un régime standard, on s'aperçoit que les difficultés de thermolyse dans des conditions d'humidité chaude (38° C et 80 % d'humidité) provoquent, par rapport à des animaux maintenus à 21° C., une diminution de 30 % dans le taux de croissance de ces animaux.

» Les animaux croissant le plus rapidement, gardés dans un environnement frais, montrent également une maturité sexuelle plus rapide, une plus grande facilité à concevoir et donnent naissance à des portées plus grandes d'animaux plus viables.

» Les statistiques sur la croissance et sur le développement sexuel de l'espèce humaine montrent également ces mêmes relations avec la facilité ou la difficulté de la thermolyse, à travers le monde » [15].

Un peu moins de la moitié de la population du globe vit actuellement dans des régions tropicales humides et chaudes. Ces peuples sont dans l'incapacité de mener une vie active et productive, au sens où nous l'entendons.

En dépit d'une natalité formidable, due à l'absence de contrainte sexuelle, la morti-natalité, la mortalité néo-natale et la mortalité infantile font des coupes sombres dans les rangs de toute une population qui n'atteint jamais l'âge adulte.

A tous les âges, la cause principale de décès est la maladie infectieuse.

Chez la fille des pays chauds, la menstruation survient un an et demi à deux ans plus tard que chez celle des pays tempérés : la fécondité marque un retard plus grand encore. Le mythe de la maturité plus grande des peuples des régions chaudes doit être abandonné. Cela était vrai dans l'antiquité, lorsque certaines régions géographiques qui ont donné lieu à cette opinion jouissaient du climat plus favorable qui permit l'essor des grandes civilisations méditerranéennes.

Nous savons, par exemple, que l'âge moyen de la menstruation en Grèce est, actuellement, de deux ans plus élevé que ce qu'il était du temps d'HIPPOCRATE.

D'intéressantes observations peuvent également être faites dans le bétail. Pour mener un veau jusqu'au poids d'abattage de 500 kg, il faut : de 12 à 15 mois en Iowa ou en Illinois, de 2 1/2 à 3 ans en Louisiane, de 4 à 5 ans à Cuba, Panama ou en Colombie. Ce poids représente d'ailleurs le poids maximum de l'animal adulte dans les régions tropicales, tandis que dans les régions tempérées la bête peut atteindre près du double de ce poids.

L'intelligence est, elle aussi, affectée par les hautes températures subies suffisamment longtemps. On remarque par exemple, qu'aux États-Unis, dans les régions soumises à de fortes variations annuelles de température, des étudiants, soumis à des tests d'aptitudes ou d'intelli-

gence, n'atteignent — pendant les fortes chaleurs de l'été — que 60 % du niveau atteint pendant les froids de l'hiver.

Ces variations saisonnières ne s'observent pas dans les États septentrionaux où n'existent pas de longs étés dépressifs.

Nous savons nous-mêmes, ici au Congo, quelle est la difficulté du travail, aussi bien chez les écoliers que chez les adultes, pendant les mois de saison chaude.

Des rats, soumis au test du labyrinthe, montrent également des variations importantes dans leur aptitude à trouver le chemin, selon les températures auxquelles ils sont soumis. Toutes autres conditions étant égales, les rats gardés pendant 4 mois à une température de 13° C trouvent leur chemin après 12 essais et, une fois qu'ils l'ont trouvé, ne font plus aucune erreur dans les tests ultérieurs. Les rats conservés à 24° C font, en moyenne, 28 essais avant de trouver le chemin correct et, même alors, leur aptitude est loin d'être complète. Pour les rats gardés à 32° C, la moyenne des essais infructueux est de 51, et encore ne sont-ils pas capables de se répéter à des jours successifs.

La mémoire du rat a été testée en le reportant dans le labyrinthe après un mois d'absence :

Ceux du premier groupe avaient parfaitement retenu leur leçon ;

Ceux du deuxième groupe avaient retenu environ la moitié ;

Mais ceux du troisième groupe semblaient avoir perdu toute souvenance de leurs efforts antérieurs.

Nous vivons actuellement une période de réchauffement. Les historiens et les climatologues nous diront plus tard peut-être, s'il faut attribuer à ce fait certains grands événements, comme celui de l'éveil de la Russie, qui est une nation essentiellement septentrionale si

l'on considère que sa ville la plus méridionale, Stalingrad, se situe à la latitude de Paris.

Ces quelques réflexions, peut-être étonnantes à première vue, sont cependant corroborées par suffisamment de faits et d'expériences pour montrer l'importance qu'il y a, pour le genre humain et spécialement pour les nations vivant dans le climat défavorable des tropiques, à adapter leur genre de vie et surtout leurs habitations aux conditions locales, de manière à réduire au maximum l'incidence des facteurs défavorables sur le génie de la nation et de la race.

Toute notre œuvre en Afrique peut dépendre de ce facteur que l'on a trop tendance à méconnaître. Il y va, non seulement du potentiel de production de l'Européen qui est venu s'établir dans ces climats, mais également de l'évolution et du potentiel de production des peuples que nous avons entrepris de sortir de leur torpeur millénaire.

Les Occidentaux ont apporté au cours des derniers siècles la civilisation industrielle dans nombre de pays chauds. Ils y étaient attirés par le lucre, mais ils voulaient une bonne et nombreuse main-d'œuvre, saine, instruite et contente de son sort. Ils ont ainsi apporté la médecine et l'instruction, la sagesse de leurs lois et — il ne faut jamais l'oublier — leur respect essentiellement chrétien de la personne humaine. Ils se sont insensiblement engagés dans une entreprise dont la fin n'est pas encore en vue, car les immenses populations ainsi appelées à changer de vie pour une existence d'activité et d'initiative, se sont montrées d'autant plus exigeantes qu'augmentait leur natalité et que progressait leur instruction. Leur impatience à vouloir exercer le pouvoir avant d'être capable de le conserver sans aide a conduit ces populations à exiger de leurs tuteurs des solutions hâtives, mal préparées ou improvisées, génératrices de difficultés techniques croissantes, dont elles ne pouvaient

prévoir les conséquences, mais dont elles ont invariablement refusé d'endosser la responsabilité.

Cette hâte doit être évitée à tout prix dans notre œuvre africaine, car les profondes modifications sociales produites par l'introduction de la civilisation technologique, doivent être accompagnées de transformations du milieu physique telles qu'un équilibre heureux puisse être maintenu. L'on ne peut pas impunément prendre un homme nu, indolent, satisfait d'assurer au jour le jour ses besoins minimes, et en faire un homme bien habillé, instruit, sainement ambitieux, et surtout actif dans sa profession comme dans ses loisirs, sans le mettre dans un environnement qui lui permette de conserver les connaissances, l'initiative et le goût du travail qu'on lui a fait acquérir. Dans l'ordre social, cette remarque est un lieu commun ; elle devrait l'être aussi dans l'ordre physique. A défaut d'un milieu physique convenable, notre enseignement et notre tutelle ne laisseront pas les effets durables que nous espérons. Après un progrès certain commenceront les altérations de ces effets et les déviations des habitudes d'acquisition récente. Ces déviations, très lentes, insidieuses et variées au point que certains ne manqueront pas de les appeler « génie de la race », « expression spontanée de l'âme africaine » etc..., sont cependant les mêmes sous bien des cieux tropicaux et constituent ce que nous appellerions la « créolisation » de la communauté.

Le prolongement lointain de notre œuvre en Afrique dépendra de la manière dont nous pourrons faire face au problème de l'environnement physique et particulièrement celui de la température.

Il faut soustraire à l'ambiance trop chaude l'ouvrier et l'employé autochtones formés par nos méthodes et héritiers d'une partie de plus en plus importante de nos habitudes et de nos traditions. En commençant par les habitants des villes et des agglomérations industrielles,

nous commençons par ceux que nous avons forcés à évoluer le plus, tout au moins en ce qui concerne les rapports de l'individu avec son milieu physique.

L'objectif ainsi fixé n'est pas utopique. Il peut être atteint : la technique moderne le permet ; il semble adéquat : les recherches de ces trente dernières années le montrent ; il est sage : les exemples de la géographie et de l'histoire nous le recommandent.

Reste maintenant à examiner de plus près l'action proposée : il s'agit de pourvoir les lieux du travail et l'habitation du travailleur d'un climat local plus frais que le climat naturel. L'on songe immédiatement au conditionnement de l'air par des moyens mécaniques et plus particulièrement encore au conditionneur d'air d'utilisation courante et fonctionnant à l'électricité. Certes, dans la plupart des cas, cette solution sera la meilleure, bien qu'elle soit encore assez coûteuse pour le logement individuel. Mais il existe une autre solution de grand intérêt. En parlant ci-avant de « climat naturel » auquel il fallait remédier, nous avons voulu dire que le travailleur devait pouvoir échapper aux conditions climatiques régnant habituellement dans les locaux « ordinaires » non étudiés du point de vue de la protection contre la chaleur. C'est bien le cas de beaucoup de bâtiments commerciaux ou industriels et des logements pour indigènes autres que la hutte traditionnelle. Ces locaux sont trop chauds pour de multiples raisons qu'il est particulièrement difficile d'analyser. Toutefois, il est possible d'étudier et de construire des bâtiments dont le climat intérieur est notablement plus frais que celui des locaux utilisés actuellement ; il est possible d'employer judicieusement certains des éléments naturels du climat extérieur pour « climatiser » les logements de manière à les rendre moins chauds. Si l'on songe qu'un abaissement de deux degrés de la température moyenne d'un local a des effets extrêmement sensibles sur les individus qui s'y trouvent,

il vaut la peine d'y consacrer un sérieux effort. Cet effort est d'ailleurs à peu près le même que celui qu'il faut faire pour utiliser rationnellement le conditionnement de l'air par des moyens mécaniques. L'étude du climat des bâtiments doit donc nous conduire d'une part, à fixer les meilleures conditions d'installation et d'emploi généralisé de l'air conditionné et, d'autre part, à construire de meilleurs logements, bureaux, quartiers industriels et villes, où une population de moins en moins fruste et de plus en plus active pourra mieux conserver les enseignements que nous lui aurons apportés.

\* \* \*

## CHAPITRE V

### La protection contre la chaleur.

Les chapitres précédents ont montré les effets immédiats ou à long terme de la température excessive sur la santé, le moral, l'activité productrice de l'homme et sur sa capacité à conserver des habitudes et des qualités acquises. Avant de parler de l'étude détaillée du climat des bâtiments, nous avons réuni dans le présent chapitre quelques données de référence et diverses remarques sur la protection qu'il est possible d'apporter à la santé ou au rendement des individus en rafraîchissant l'ambiance.

Tout d'abord, quel niveau de température devons nous considérer comme satisfaisant et favorable à l'activité humaine dans ses aspects physique et intellectuel ? De très nombreuses études ont été faites sur ce sujet, mais les conditions d'expérience sont si complexes que les résultats de ces études ne sont pas toujours comparables et qu'il est encore difficile aujourd'hui de donner des chiffres précis et définitifs.

Il a d'abord fallu définir la notion de *confort* éprouvé par un être humain, ce *confort* étant entendu comme une sensation individuelle moyenne de la température d'une ambiance. Dans ce sens restreint, on a appelé zone de confort l'intervalle de température caractérisé par l'absence de sensation désagréable. Cette définition n'est pas complète encore, car il faut tenir compte de divers facteurs qui doivent la préciser : de quels individus s'agit-il ? Comment sont-ils vêtus ? Dans quel environnement

se trouvent-ils ? Quelle activité ont-ils ? Ces facteurs seront indiqués dans le premier chapitre de la seconde partie de cette étude.

Pour l'instant, nous nous bornerons à indiquer que pour pouvoir comparer des ambiances, on a inventé la notion de *température effective* : c'est la température de l'air saturé d'humidité qui donnerait la même sensation (de confort ou d'inconfort) que l'air ambiant réellement considéré. Elle s'exprime en *degrés effectifs* dans les échelles Celsius (centigrade) ou Fahrenheit, selon les auteurs. La table donnée en annexe fournit la température effective pour les ambiances dont la température est comprise entre 18 et 40° C et l'humidité relative est comprise entre 10 et 100 %.

En considérant des collectivités de composition variable (marines anglaise et américaine sous les tropiques, personnel de l'Anglo Iranian Petroleum C) on a fixé vers 26° C de température effective, la limite supérieure du confort en climat chaud. La transpiration mouillante apparaît entre 26 et 28 degrés effectifs, avec une sensation croissante d'inconfort au delà.

Des observations faites sur des Indiens de l'Inde septentrionale, c'est-à-dire sur des individus acclimatés, donnent comme chaudes et inconfortables les températures de 26 à 28,5° C, tandis que celles de 28,5 à 30° C sont considérées comme très chaudes et celles au delà de 30° comme intolérables (températures effectives).

Les valeurs ci-dessus ont été puisées dans le guide ASHVE [1] et dans S. J. RICHARDS [18]. Ce dernier passe en revue un nombre considérable d'études faites dans les conditions les plus diverses, naturelles ou créées en laboratoire. Il en conclut que pour un homme en bonne santé, portant de légers vêtements d'été et n'exécutant qu'un travail léger, une température effective, variant de 31 à 32,5° C selon les individus, représente la limite supérieure de tolérance avant qu'il présente des symptômes pathologiques.

Ce même auteur note encore que la productivité des ouvriers mineurs du Witwatersrand est réduite de 50 % lorsque la température effective atteint 30° C.

A. BESSON [2] note à son tour, en France, que les équipes d'ouvriers ont une diminution de rendement de 13 % quand la température passe de 20 à 30° C ce qui pour une humidité de 50 % environ, donne respectivement 17° et 25° effectifs.

Enfin l'Institut belge d'Hygiène des Mines [13] indique que pour une température effective approchant de 33° C, le travail continu devient pénible, qu'il est très difficile entre 34 et 35° C et impossible au delà pour des hommes nus, accoutumés aux hautes températures.

Ceci est donc un cas extrême. Le cas moyen que nous devons considérer pour les régions chaudes du Congo est celui d'un homme habillé légèrement, « acclimaté » (ce qui veut dire surtout : habitué à supporter une ambiance chaude sans s'inquiéter ou se plaindre), et ne développant qu'un travail physique léger pendant les heures les plus chaudes, généralement derrière un bureau. La température effective à ne pas dépasser pour que cet individu ait un rendement satisfaisant et ne perde pas peu à peu son énergie intellectuelle et sa santé, est de l'ordre de 26° C. Les hommes effectuant un travail plus intense devraient se trouver dans une ambiance nettement plus froide.

Il ne faut cependant pas exposer l'organisme à des changements trop brusques de température entre l'extérieur et l'intérieur, ceci autant pour une raison de confort que pour une raison de santé. Nous ajouterons donc avec MISSENARD [16] qu'il serait souhaitable que la température intérieure d'un local de travail ou d'habitation ne soit pas différente de la température extérieure de plus de 6 degrés environ. Enfin, il n'est pas désirable que l'organisme se trouve dans une ambiance de température constante ; son mécanisme thermorégula-

teur doit être laissé libre d'agir dans des limites raisonnables. Il est considéré par divers auteurs, et notamment par MISSENARD [16], qu'une variation de deux à trois degrés de cette température intérieure correspond aux conditions optima.

Cela étant, au Congo belge nous nous fixerons comme objectif une température effective intérieure variant de 23 à 26 degrés quand la température effective extérieure varie de 17 à 32 degrés, les deux variations s'effectuant à peu près en phase (c'est-à-dire avec coïncidence des moments des maxima et des minima respectivement).

A titre de comparaison, nous donnons dans le tableau ci-après la moyenne pour chaque mois des températures effectives maxima enregistrées à Léopoldville (de 1951 à 1956) et à Coquilhatville (de 1951 à 1954).

TABLEAU 1. — Moyenne des températures effectives maxima journalières à Léopoldville et Coquilhatville.

	Léopoldville	Coquilhatville
Janvier	27,5° C eff.	28,3° C eff.
Février	27,6	28,0
Mars	28,0	28,3
Avril	28,0	28,5
Mai	27,0	27,7
Juin	25,6	27,3
Juillet	24,6	26,7
Août	24,9	26,4
Septembre	26,3	27,0
Octobre	27,1	27,4
Novembre	26,9	26,6
Décembre	26,8	28,0

Il faut, par conséquent, étudier les moyens de protection contre la chaleur en recherchant dans quelle mesure ils peuvent nous aider à réaliser ces conditions.

Le premier moyen est l'utilisation intelligente de la variation de la température extérieure, en fixant le

mieux possible les heures auxquelles se déroulent les différentes activités. Il ne concerne que les périodes pendant lesquelles l'homme est à l'extérieur, mais il a son importance dans le problème d'ensemble puisque nous recherchons la meilleure protection contre la chaleur à tous les instants. Cette protection est loin d'être illusoire et elle a l'avantage de ne mettre en œuvre aucune technique coûteuse, aucun investissement : elle ne demande qu'un effort d'organisation. Au Congo, où le maximum de température de l'air tombe généralement entre 13 et 15 heures, selon les jours et les lieux, il suffirait de grouper les heures de travail en une seule prestation de six ou sept heures environ, commençant vers 6 heures 30 du matin (heure solaire). La période la plus chaude de la journée serait alors consacrée au repos chez soi, laissant les quatre vingt-dix minutes de 17 heures à 18 heures 30 pour le sport et la promenade. Les territoires d'Afrique qui ont adopté ce système s'en trouvent très bien, mais il semble qu'au Congo les habitudes s'opposent à un tel changement.

Aucune des raisons invoquées contre le système de travail en « gong unique » n'est réellement valable et des solutions simples peuvent être trouvées aux petites difficultés pouvant surgir du fait de son adoption. Nous en arrivons ainsi au second moyen de protection contre la chaleur : le bâtiment. Qu'il soit logement, lieu de travail ou de délasserment, nous passons presque tous la plus grande partie de notre existence dans un bâtiment. Dans ce qui suit, nous parlerons surtout du logement ; il représente le cas le plus complexe, car il abrite l'individu adulte comme l'enfant, l'être sain comme le malade, l'actif comme le dormeur.

Les architectes le veulent beau et pratique ; les médecins le veulent sain ; quand il s'agit du logement populaire, les économistes veulent qu'il soit construit au plus bas prix, par la main-d'œuvre locale et en matériaux

du pays ; les utilisateurs, enfin, veulent qu'il soit confortable, encore que cette notion soit généralement exprimée selon les individus, en termes imprécis et souvent contradictoires. Rien que sur la question du climat du logement, qui n'est qu'une facette du problème, les avis divergent quant aux moyens pratiques de réaliser la protection contre la chaleur. En Afrique centrale, deux tendances se rencontrent dès que l'on en aborde l'étude : la première résulte d'une foi profonde dans les miracles de la technique moderne et méconnaît les enseignements de l'expérience séculaire des populations locales ; la seconde donne à cette expérience une valeur exagérée qui tend à faire croire que la solution complète du problème se trouve dans les pratiques traditionnelles de construction adoptées par ces populations.

Ces deux tendances contiennent du vrai et du faux dont la séparation ne peut se faire que par un examen rationnel et un jugement éclairé.

Notre action la plus immédiate doit être d'organiser ces études et d'éclairer ce jugement. Il n'est pas raisonnable d'enlever à l'autochtone une hutte qui ne convient plus à son degré d'évolution, mais qui n'est toutefois pas mal conçue comme protection climatique, pour une maison durable — certes, en briques — mais climatiquement moins bonne. Que peut-on faire ? On serait tenté tout d'abord de ne songer qu'au refroidissement artificiel de l'ambiance, au conditionnement de l'air.

Tout local pouvant se fermer, s'y prête assez facilement ; mais le conditionneur d'air consomme de l'énergie et doit être bien entretenu. Il restera longtemps encore trop coûteux pour la plus grande partie de la population. De plus, il n'est pratique que là où existe un réseau de distribution électrique.

Certes, un système réfrigérant, bon marché, fonctionnant avec l'énergie solaire, serait fort attrayant et pourrait être à la base d'un conditionnement d'air de puissance modérée mais d'autant plus grande que le rayonne-

ment est plus intense. Un programme du Service météorologique du Congo belge a étudié cette possibilité, à partir de solutions déjà réalisées dans ce domaine à l'étranger.

Le conditionnement de l'air semble présenter une importance extraordinaire pour le développement futur d'une communauté industrielle permanente en Afrique centrale. Il pourrait être capable, par son emploi généralisé, de faire vivre des groupes de travailleurs africains hautement spécialisés dans une ambiance artificiellement refroidie pendant la plus grande partie de leur existence, leur permettant ainsi de conserver le mieux possible les enseignements et les habitudes que nous leur aurons donnés. Mais si l'on peut espérer empêcher la créolisation d'une population européenne vivant concentrée dans quelques villes ou cités industrielles, il n'en peut être question en dehors de ces cas très particuliers. Nous ne parlerons donc qu'incidemment du conditionnement de l'air et nous nous attacherons plutôt aux mesures qu'il est possible de prendre pour concevoir et construire des logements climatiquement rationnels sans faire intervenir le refroidissement artificiel de l'ambiance.

Tout d'abord, examinons l'influence de la variation de la température de l'air extérieur sur la température intérieure d'un bâtiment. Pour simplifier l'exemple, considérons que le bâtiment se réduit à une seule pièce non habitée et dont la ventilation peut être rendue intense ou nulle.

*Faisant abstraction du rayonnement*, si les parois du local sont très conductrices de la chaleur et ont une faible capacité calorifique, leur température suivra très bien les variations de la température de l'air extérieur. Cette variation de la température des parois se transmettra à l'air intérieur, lentement par conduction si celui-ci est immobile, plus vite s'il est en mouvement. Un tel mouvement prendra d'ailleurs naissance naturellement

(convection), mais n'atteindra pas l'agitation produite par un petit ventilateur. Il en résulte que la température moyenne de l'air intérieur fluctuera dans le même sens que la température extérieure, mais avec un retard (déphasage) sur celle-ci et avec une amplitude plus faible. Ce retard sera d'autant plus petit que la conductivité des parois sera plus grande et que leur capacité calorifique sera plus faible. Notons en passant que la température des parois sera, selon le moment, plus haute ou plus basse que la température de l'air intérieur.

Si l'intérieur du local est ventilé fortement par l'air extérieur, la température intérieure sera évidemment la même qu'à l'extérieur et que dans les parois.

*Le rayonnement du soleil et du ciel* vient apporter aux parois des calories supplémentaires. Si la pièce est fermée, une partie de ces calories viendra augmenter la température de l'air intérieur ; de plus, comme les parois seront plus chaudes que l'air intérieur, un occupant ressentira non seulement la température de cet air, mais un surcroît de température due au rayonnement thermique des parois.

Si la pièce est bien ventilée, deux phénomènes deviendront sensibles : la température de l'air intérieur s'élèvera moins car elle n'en aura pas le temps ; la circulation de l'air enlèvera des calories aux parois (et les évacuera au dehors), diminuant ainsi leur température et réduisant l'effet du rayonnement thermique.

Un exemple aussi simplifié montre déjà la complexité que produit la combinaison des différents phénomènes en jeu. Nous aurons l'occasion de passer ceux-ci en revue, mais l'exemple est cité dès à présent pour montrer intuitivement qu'en climat dit « chaud », certains types de logement correspondront à certains types de variation de température. En effet, dans le cas que nous venons de discuter très sommairement, on voit qu'avec une

bonne ventilation et sans rayonnement, la température du local sera à peu près égale à celle de l'air extérieur. Alors, si le climat de la région est tel que la moyenne des températures effectives maxima est de l'ordre de 27 degrés effectifs, nous adopterons une solution simple (et peu coûteuse) : le local sera fortement ventilé, de parois minces et à l'ombre. Une boîte sous un parasol !

Au contraire, si la courbe diurne de température effective de l'air extérieur a des maxima nettement au-dessus de 27 degrés effectifs, il faudra rechercher une solution entièrement différente : il faudra empêcher l'air d'entrer quand il sera trop chaud et ralentir l'apport des calories à travers les parois. C'est le mur épais, la faible ventilation aux heures chaudes et la forte ventilation aux heures plus fraîches, qu'il sera nécessaire de considérer.

Mais ces schémas sont simplistes et ne doivent pas faire illusion : il est en effet souvent difficile de susciter la ventilation naturelle ; il n'est pas aisé de concevoir une protection complète contre le rayonnement ; il faut tenir compte du retard que subissent les calories en traversant des murs d'une certaine épaisseur et de la quantité de chaleur emmagasinée dans ces murs.

Enfin, il est indispensable de prendre en considération les environs du bâtiment : la nature, la topographie et l'état du sol, la couverture de verdure, les obstacles à la ventilation, l'ombre et le rayonnement des constructions voisines. Ces éléments affectent le climat local et l'architecte devra tenir compte dans son étude de ce climat particulier et non des données statistiques générales que l'on trouve dans les résumés climatologiques habituels. De son côté, l'urbaniste qui organise et coordonne le développement d'une cité devra tenir compte de ces mêmes éléments pour guider son œuvre. Il lui est heureusement possible de ne pas entrer dans trop de détails, car il a été prouvé que les divers facteurs se

combinent pour ne faire apparaître, comme éléments déterminants, que des grandeurs géométriques : diamètre approximatif de la cité, surface couverte de verdure, surface bâtie, surface de sol nu et de rues. A partir de ces valeurs, les formules empiriques variant de climat à climat, donnent le gradient thermique dû à la présence de la ville.

Les deux derniers paragraphes montrent combien le problème est complexe, même quand des hypothèses très simplificatrices sont introduites. Aussi, la présente étude n'a pas l'ambition de donner des recettes ; il veut seulement indiquer l'importance du sujet, ses fondements scientifiques, la nécessité d'une approche rationnelle et de méthodes objectives pour l'étude de bâtiments bien conçus. Nous préparons, comme suite naturelle de ce premier fascicule, une série de chapitres où seront développés des éléments techniques : d'abord les définitions des facteurs physiques mesurables et les méthodes pour les mesurer ; puis les facteurs pratiques à déduire des premiers par tables ou calcul. Viendront ensuite sous forme de principes séparés, une série de considérations relatives aux éléments qu'il faut examiner dans chaque étude particulière pour éliminer ceux qui ne s'appliquent pas et pour combiner ceux qui semblent avoir de l'importance. Ces principes conduiront ainsi l'architecte et l'urbaniste à situer leur problème dans un domaine concret et chiffré avant d'entamer l'étude de détail. Pour celle-ci, des données physiques relatives au Congo belge et résultant d'expériences récentes, seront fournies. Enfin, les méthodes pratiques de contrôle du comportement thermique d'un bâtiment seront indiquées avec des exemples d'analyse des résultats obtenus au cours des dernières années dans quelques bâtiments à Léopoldville.

Léopoldville, 9 décembre 1957.

TABLEAU 2. — Température effective pour sujets au repos, normalement habillés, par vent nul.

(1) T°C	Humidité relative, %								
	90	80	70	60	50	40	30	20	10
18	17,7	17,4	17,1	16,7	16,4	16,1	15,8	15,5	15,2
19	18,7	18,4	17,9	17,6	17,3	16,9	16,6	16,3	16,0
20	19,7	19,3	18,9	18,5	18,1	17,8	17,5	17,1	16,7
21	20,4	20,1	19,7	19,3	18,9	18,5	18,2	17,8	17,4
22	21,4	20,9	20,5	20,2	19,8	19,4	19,0	18,6	18,2
23	22,4	21,8	21,4	21,0	20,5	20,1	19,7	19,3	18,8
24	23,4	22,8	22,2	21,7	21,2	20,8	20,3	19,9	19,4
25	24,4	23,8	23,1	22,5	21,9	21,5	20,9	20,5	20,0
26	25,3	24,7	24,1	23,4	22,8	22,3	21,7	21,0	20,6
27	26,2	25,5	24,9	24,3	23,7	23,0	22,4	21,7	—
28	27,2	26,5	25,8	25,1	24,5	23,8	23,2	22,4	—
29	28,3	27,4	26,6	25,8	25,2	24,6	23,9	23,2	—
30	29,1	28,4	27,5	26,7	25,9	25,2	24,5	23,7	—
31	30,0	29,2	28,4	27,5	26,7	25,8	25,1	24,4	—
32	31,0	30,1	29,2	28,4	27,5	26,6	25,8	24,9	—
33	32,0	31,1	30,0	29,1	28,3	27,3	26,4	—	—
34	32,9	31,9	30,8	29,8	28,9	28,0	26,9	—	—
35	33,8	32,7	31,7	30,6	29,6	28,6	27,6	—	—
36	34,7	33,6	32,4	31,4	30,4	29,3	28,3	—	—
37	35,7	34,5	33,3	32,2	31,1	29,9	28,8	—	—
38	36,4	35,4	34,2	32,9	31,8	30,6	29,4	—	—
39	37,1	36,0	34,8	33,5	32,4	31,3	30,0	—	—
40	37,9	36,7	35,6	34,4	33,1	31,9	30,6	—	—

(1) T°C = Température de l'air (Thermomètre sec). C'est aussi la température effective correspondant à 100 % d'humidité.



## BIBLIOGRAPHIE

1. A. S. H. V. E. — (American Society of Heating, Ventilating and Air Conditioning Engineers, New-York, 1952).
2. BESSON, A. — Climatisation (*Annales d'Hygiène publique, industrielle et sociale*, nouvelle série XXIV, Paris, 1946).
3. BLUM, H. F. — (*Physiol. Rev.*, 25, p. 483, New-York, 1945).
4. BOHNENKAMP, H. — (*Pflüger Archiv.*) cité par WINSLOW & HERRINGTON, 13.
5. BUCKENS, F. — Considérations sur l'étude climatologique quantitative de l'habitation tropicale (*Mém. in-8° ARSC*, Sect. Sc. techn., N. S. III, 2, Bruxelles, 1956).
6. BÜTSCHLI, O. — (*Arch. Anatomie, Physiol.*, etc., 1874), cité dans : Temperature, its Measurement & Control in Science & Industry, édit. Rheingold, New-York, p. 410.
7. DE COSTER, M., SCHUEPP, W. et VANDER ELST, N. — Le rayonnement sur des plans verticaux à Léopoldville (*Mém. in-8° ARSC*, Cl. des Sc. tech., N. S. II, 1, Bruxelles, 1955).
8. DE COSTER, M. et SCHUEPP, W. — Le rayonnement sur des plans verticaux à Stanleyville (*Mém. in-8° ARSC*, Cl. Sc. tech., N. S. II, 5, Bruxelles, 1956).
9. DE COSTER, M. et SCHUEPP, W. — La variation annuelle du trouble atmosphérique à Stanleyville (*Mém. in-8° ARSC*, Cl. Sc. nat. et méd., N. S. IV, 1, Bruxelles, 1956).
10. DEVROEY, E.-J. — Habitations coloniales et conditionnement d'air sous les tropiques (*Mém. in-8° IRCB*, Sect. Sc. tech., II, 2, Bruxelles, 1940).
11. DU BOIS, E. F. — The Mechanism of heat loss and temperature regulation (*Medical Science*, III, n° 4, 1937).
12. DUPONT, G. et SCHUEPP, W. — Le rayonnement solaire à Léopoldville (*Mém. in-8° IRCB*, Sect. Sc. nat. et méd., XXV, 1, Bruxelles, 1954).
13. INSTITUT D'HYGIÈNE DES MINES (HASSELT). — Travail dans les milieux à haute température (Communication n° 28 I. H. M., 1947).
14. LADELL, W. S. — The Physiology of life and work in high ambient temperatures (*Special Publication n° 2 of the Research Council of Israël*, 1953).
15. MILLS, C. A. — Temperature dominance over human life (*Archiv für Meteor.*, etc., IV, Vienne, 1953).
16. MISSEYARD, A. — L'homme et le climat (Plon, Paris, 1937).

17. NEWBURGH, L. H. et al. — *Journ. Nutrition*, 13, 1937.
18. RICHARDS, S. J. — Considerations of thermal conditions in low-cost houses in South Africa, in relation with climate and the health and well-being of the occupants (National Building Research Institute, *Bulletin* n° 12, Pretoria).
19. SCHUEPP, W. — Le rayonnement solaire à Stanleyville (*Mém.* in-8°, ARSC, Cl. Sc. nat. et méd., N. S. II, 1, Bruxelles, 1955).
20. VANDENPLAS, A. — Influence de la température et de l'humidité de l'air sur les possibilités d'adaptation de la race blanche au Congo belge (*Mém.* in-8°, IRCB., Sect. Sc. nat. et méd., XIX, 1, Bruxelles, 1950).
21. WINSLOW, C. E. A. and HERRINGTON, L. — Temperature and human life (Princeton Univ. Press, 1949).

## TABLE DES MATIÈRES

Présentation .....	3
CHAPITRE I. — Introduction .....	5
CHAPITRE II. — Bases physiques de la thermorégulation chez l'homme .....	9
CHAPITRE III. — Bases physiologiques de la thermorégulation chez l'homme .....	19
CHAPITRE IV. — Conséquences d'une thermorégulation difficile ou insuffisante et remarques générales .....	27
CHAPITRE V. — La protection contre la chaleur .....	37





