

le muscle. Les poisons narcotiques, les anesthésiques restreignent la production de chaleur et font baisser la température ; les poisons convulsivants (strychnine, brucine, cocaïne, etc.) augmentent la production de chaleur et la température ; les résultats de la thermométrie et de la calorimétrie sont concordants dans ces conditions.

## ARTICLE II

## RÉGULATION DE LA CHALEUR

Puisque les animaux produisent, comme on vient de le voir une grande quantité de chaleur et que cependant leur température reste constante, il faut évidemment que cette production de chaleur soit exactement compensée par une perte équivalente ; et pour qu'un tel équilibre se maintienne entre l'apport et la dépense de calorique, l'intervention d'un mécanisme régulateur est nécessaire. Si les animaux à sang froid ont une température qui varie avec celle du milieu extérieur, c'est que chez eux la régulation de la chaleur est imparfaite. Au contraire, pour les oiseaux et les mammifères cette régulation est parfaite. Cependant quelques animaux à sang chaud, dits animaux hibernants (marmotte, loir, ours, etc.), subissent pendant certaines périodes de leur existence le contre-coup des variations de la température ambiante ; à l'époque de l'hibernation leur température s'abaisse et ils s'engourdissent ; chez eux, l'appareil régulateur de la chaleur n'atteint donc pas tout son perfectionnement ; il en est de même pour les animaux nouveau-nés qui se refroidissent très vite lorsqu'ils ne sont pas placés à l'abri de la déperdition de calorique.

L'appareil régulateur de la chaleur est le système nerveux qui tient sous sa dépendance la vascularisation des tissus par les vaso-moteurs. Il faut admettre aussi que les nerfs agissent sur la production de la chaleur par l'influence directe qu'ils exercent sur la nutrition des tissus ; ainsi un muscle qui se contracte, une glande qui sécrète sous l'influence de l'irritation du

nerf moteur ou sécrétoire, s'échauffent indépendamment de toute action vaso-motrice exercée par ces nerfs ; inversement, un organe peut se refroidir s'il est soumis de la part du système nerveux à une action inhibitoire ou d'arrêt. A ce point de vue, l'hypothèse émise par CL. BERNARD sur l'existence de nerfs *calorifiques* et *frigorifiques*, c'est-à-dire produisant du chaud et du froid sur place en dehors des actions vaso-motrices, mérite toute créance. Quoi qu'il en soit, on sait que les centres nerveux exercent une action remarquable sur la production de chaleur, bien que le mécanisme de cette action soit d'une interprétation très difficile. Les expériences de CL. BERNARD, TSCHESCHICHIN, RICHER, etc., montrent qu'il existe vraisemblablement dans la moelle allongée et les ganglions du cerveau des *centres thermiques* réglant la production et la déperdition de la chaleur ; après la section de la moelle qui supprime l'action de ces centres, la température de l'animal s'abaisse considérablement (*hypothermie*). Au contraire, la piqûre des centres thermiques qui agit par excitation amène une élévation notable de la température (*hyperthermie*) et une augmentation de la production de chaleur.

Examinons à l'aide de ces données comment l'organisme se défend contre l'excès de chaleur ou de froid ; nous recherchons ensuite quelles sont les limites de température compatibles avec la vie et par quel trouble de la régulation thermique peut s'expliquer la fièvre.

## § 1. — LUTTE CONTRE LE FROID

La production de chaleur étant le résultat des oxydations intra-organiques, et la perte de calorique s'opérant par rayonnement, conductibilité et évaporation de l'eau à la surface du corps, on peut prévoir que l'animal doit lutter contre le refroidissement par un double procédé : en augmentant ses combustions d'une part, en restreignant les causes de la déperdition de chaleur d'autre part.

1° **Augmentation des combustions.** — LAVOISIER et SEGUIN avaient déjà constaté que l'abaissement de la température exté-

rieure détermine une augmentation de l'intensité des phénomènes chimiques de la respiration. Depuis, tous les physiologistes ont observé que la quantité d'oxygène consommé par un animal s'accroît lorsque la température ambiante descend au-dessous de la moyenne. De ce fait découle la conséquence que l'alimentation doit être en rapport avec l'accroissement des combustions. Un animal vivant sous un climat froid doit donc manger davantage que celui qui habite un pays chaud, et parmi ses aliments de prédilection les corps gras entreront pour une large part, car ce sont les graisses qui en brûlant dégagent le plus de chaleur. On s'explique de cette façon l'appétence pour l'huile que manifestent les habitants des régions polaires (Esquimaux, Lapons). De plus, les muscles représentant les foyers principaux de la chaleur, il est clair que l'activité musculaire sera aussi un des moyens employés par l'organisme pour lutter contre le froid. La sensation de roideur musculaire et le tremblement ou *frisson* que l'on éprouve sous l'influence du froid, sont les indices de la réaction du système nerveux contre l'abaissement de température.

**2° Diminution de la déperdition de chaleur.** — La plus ou moins grande épaisseur des téguments et des fourrures chez les animaux, des vêtements chez l'homme, joue évidemment un grand rôle dans la régulation de la déperdition de chaleur par rayonnement et conductibilité. Un lapin rasé perd et produit beaucoup plus de chaleur qu'un lapin normal; les enfants dont la peau est nue perdent aussi plus de chaleur que les animaux à fourrure épaisse. L'accumulation de la graisse sous la peau remplit le même but que la présence des poils ou des plumes, car le tissu adipeux est mauvais conducteur pour la chaleur; aussi le panicle graisseux sous-cutané se développe-t-il énormément chez les mammifères marins dont la peau est nue.

La diminution de la perte de chaleur par la surface cutanée est aussi obtenue par le mécanisme réflexe de la constriction vasculaire; sous l'influence de l'excitation par le froid des nerfs sensibles de la peau, les centres nerveux vaso-moteurs entrent en jeu et déterminent le resserrement des vaisseaux cutanés;

la peau s'anémie, se refroidit et réstreint ainsi notablement la perte de chaleur par rayonnement et par contact.

## § 2. — LUTTE CONTRE L'EXCÈS DE CHALEUR

La lutte contre les causes d'échauffement consiste principalement dans l'augmentation des pertes de chaleur. En effet, l'homme ne réagit pas contre l'excès de chaleur en réduisant l'intensité des combustions organiques; loin de baisser, la proportion de carbone brûlé s'élève au contraire si la température extérieure dépasse 20 à 25° (L. FRÉDÉRICQ).

L'accroissement de la déperdition de calorique est obtenue par l'augmentation du rayonnement et de l'évaporation cutanée. Sous l'influence de l'impression de chaleur la peau rougit, la circulation devient plus active dans ses vaisseaux dilatés; ainsi elle s'échauffe et rayonne davantage; de plus, elle se couvre de sueur qui en s'évaporant soustrait une certaine quantité de calorique. La dilatation des vaisseaux cutanés et la sudation sont les résultats d'une action réflexe dont l'impression de chaleur est le point de départ; mais elles sont aussi la conséquence d'une action directe exercée sur les centres nerveux par le sang surchauffé comme nous l'avons expliqué en traitant du mécanisme de la sécrétion sudorale (voy. p. 377).

La théorie de la régulation thermique par l'évaporation cutanée fut formulée par FRANKLIN en 1758. On démontre, en effet, que pour passer de l'état liquide à l'état gazeux l'eau absorbe une certaine quantité de chaleur. FRÉDÉRICQ calcule que 1 gramme d'eau à la température du sang (à 38°) absorberait pour se vaporiser environ 580 microcalories, et que par conséquent l'évaporation de 10 grammes d'eau à la surface de la peau suffirait pour abaisser d'un degré la température d'un animal du poids de 5 800 grammes. La sécheresse de l'air ambiant, le renouvellement des couches d'air en rapport avec la surface cutanée favorisent la lutte de l'organisme contre la chaleur en activant l'évaporation de la sueur. Inversement dans un milieu humide, cette lutte contre la chaleur devient plus pénible.

Une autre cause de réfrigération pour l'animal est l'évaporation pulmonaire. Aussi, toute cause d'échauffement produit-elle par voie réflexe et aussi par excitation directe des centres nerveux une accélération du rythme respiratoire ; c'est ce que CH. RICHET a nommé la *polypnée thermique*. Chez les animaux qui ne suent pas, ce mécanisme régulateur est encore plus activement mis en jeu ; pour en être convaincu, il suffit d'observer l'anhélation excessive du chien après une course au soleil et de remarquer que cet animal maintient aussi sa langue pendant hors de la bouche de façon à augmenter la surface d'évaporation. D'après la quantité d'eau éliminée par les poumons chez l'homme, on peut estimer la chaleur enlevée à l'organisme par l'évaporation pulmonaire à 15 p. 100 de la chaleur totale perdue.

### § 3. — MORT PAR EXCÈS DE CHAUD OU DE FROID

Quelles sont les limites de température compatibles avec la vie ? Cette question est double. Il faut se demander dans quelles limites de la température extérieure la régulation de la chaleur animale peut encore s'opérer d'une façon efficace, et d'autre part quelles variations en plus ou en moins de sa température propre l'organisme peut supporter sans dommage. La régulation de la chaleur s'accomplit d'une façon parfaite malgré des variations excessives de la température ambiante, grâce au mécanisme que nous avons décrit. On a observé en Sibérie des froids de  $-63^{\circ}$ . Dans un voyage au pôle nord, le capitaine PARRY a constaté que la température rectale d'un renard était de  $+41^{\circ}$ , alors que la température extérieure était de  $-35^{\circ}$ . De même, la régulation est encore parfaite pour des températures extérieures s'élevant à  $+43^{\circ}$  et davantage. Dans le pays des Touaregs, DUVEYRIER nota une température de  $+60^{\circ}$  à l'ombre ; dans la chambre de chauffe des navires à vapeur la température peut aussi s'élever à  $50^{\circ}$  pendant la traversée de la mer Rouge. Il est vrai que ces températures ne pourraient être supportées bien longtemps par l'homme. Mais l'organisme peut résister d'une façon passagère à des températures encore plus élevées ; on cite le cas de deux

jeunes filles qui pouvaient demeurer pendant 19 minutes dans un four chauffé à  $130^{\circ}$  ; c'est par la sécheresse de l'air et une évaporation cutanée active qu'un tel phénomène est explicable. (Pour la résistance de certains organismes inférieurs aux températures élevées, voy. p. 27).

Si le système régulateur de la chaleur ne fonctionne pas normalement, la température du corps peut encore s'élever ou s'abaisser notablement au-dessus ou au-dessous de la normale sans entraîner nécessairement la mort. On distingue les températures anormales en *fébriles* de  $+38^{\circ}$  à  $+44^{\circ}$  et même  $45^{\circ}$ , et en *algides* de  $+36^{\circ}$  à  $+24^{\circ}$ . Dans ces variations de la température interne, c'est moins le maximum ou le minimum qui est à craindre que la prolongation de durée de l'hyperthermie ou de l'hypothermie. La mort arrive fatalement si la température se maintient un certain temps à  $+42^{\circ}$ .

L'hypothermie survient à la suite d'un refroidissement excessif du milieu extérieur, à la suite aussi de la dépression du système nerveux sous l'influence des traumatismes, de certaines maladies, des poisons narcotiques, de l'inanition et des affections cutanées qui augmentent la déperdition de chaleur. L'abaissement de la température du corps exerce une action dépressive sur le système nerveux, d'où la tendance au sommeil qui s'empare des individus engourdis par le froid ; les mouvements respiratoires et les battements cardiaques se ralentissent, et la mort arrive pour les animaux à sang chaud lorsque leur température descend aux environs de  $24^{\circ}$ . Les animaux à sang froid peuvent subir sans succomber un abaissement de leur température plus considérable. (Pour la résistance au froid des animaux inférieurs, voy. p. 27.)

L'hyperthermie se produit sous l'influence d'une élévation considérable de la température extérieure (*coup de chaleur*) et dans les affections qui excitent les centres nerveux (traumatismes, poisons, maladies infectieuses). En maintenant un animal dans une étuve dont on élève progressivement la température, on constate que lorsqu'il cesse de lutter efficacement contre la chaleur, sa température s'élève graduellement. Il manifeste alors une violente agitation, sa respiration s'accélère

(polypnée thermique), le pouls augmente de fréquence ; des mouvements convulsifs apparaissent. A cette phase d'excitation du système nerveux succède une période de dépression ; l'animal devient insensible, ses réflexes s'émoussent : il tombe dans le coma et meurt lorsque sa température atteint de 41 à 45°. Chez les animaux morts d'hyperthermie le cœur est dur, rigide ; aussi la mort a-t-elle été attribuée par CL. BERNARD à la coagulation de la myosine des fibres musculaires cardiaques. Mais les températures auxquelles ce physiologiste soumettait ses animaux étaient trop élevées. VALLIN trouva que si l'échauffement est lent, la mort est la conséquence d'un trouble de l'innervation et de l'arrêt du cœur en diastole. D'après les recherches de H. VINCENT, la mort par hyperthermie résulte des troubles du système nerveux central, particulièrement du bulbe, et de l'arrêt de la respiration ; ces troubles proviennent eux-mêmes d'une auto-intoxication de l'organisme par des produits de déchets dont l'action est analogue à celle des poisons urinaires.

#### § 4. — FIÈVRE

L'état pathologique désigné sous ce nom est principalement caractérisé par l'élévation de la température, et consiste par conséquent dans un trouble de la régulation thermique.

**1° Mécanisme de la fièvre.** — Est-ce à une diminution de la déperdition ou à une exagération de la production de chaleur qu'il faut attribuer la fièvre ? Les deux hypothèses ont été soutenues. TRAUBE a prétendu que la fièvre est due à une accumulation de la chaleur normale, par suite de la diminution dans la perte de calorique (théorie de la rétention). Cette hypothèse est peu vraisemblable, et les expériences calorimétriques ont montré que chez les animaux fébricitants il y a bien surproduction de chaleur. Toutefois, pendant le stade de frisson de la fièvre, la peau est pâle et exsangue, et la déperdition de chaleur doit évidemment se restreindre ; mais l'insuffisance de la perte de calorique ne saurait expliquer, même à cette période, l'élévation de température souvent si prompte et si

prononcée qui y correspond. Pendant le stade de chaleur de la fièvre, la peau devient rouge et congestionnée ; la déperdition de calorique est donc augmentée, et l'élévation de la température ne peut s'interpréter que par un excès de production de chaleur. A ce dernier phénomène correspond, comme cause directe, une augmentation de l'intensité des combustions se traduisant par une augmentation (70 à 80 p. 100) de l'acide carbonique exhalé et de l'oxygène absorbé (10 à 16 p. 100 chez le cobaye), et un accroissement de l'excrétion de l'urée de  $\frac{1}{3}$  à  $\frac{2}{3}$ . En même temps, les battements cardiaques et les mouvements respiratoires augmentent de fréquence. Ce qui caractérise la fièvre, outre l'élévation de température, c'est donc l'augmentation des combustions interstitielles ; et comme, pendant la fièvre, le corps est à peu près incapable de tout travail, il en résulte que la masse considérable d'énergie mise en liberté doit se transformer presque intégralement en chaleur : l'impossibilité de convertir cette énergie en travail est encore un trait caractéristique de ce trouble morbide. L'hyperthermie étant elle-même une cause d'augmentation des combustions interstitielles, il en résulte, pour employer l'expression de CH. RICHET, que la fièvre est un véritable *cercle vicieux* ; en d'autres termes, que la fièvre tend à augmenter la fièvre.

L'hyperthermie constitue un grave danger par elle-même ; le médecin doit donc faire tous ses efforts pour lutter contre elle ; il a pour cela la ressource des réfrigérants (bains froids) et de certains médicaments dits fébrifuges (quinine, antipyrine, etc.). La quinine, le plus important des fébrifuges, abaisse la température en restreignant la production de chaleur.

**2° Causes de la fièvre.** — Les causes qui peuvent faire monter la température sont très nombreuses. On peut cependant d'une manière générale, les réduire à deux catégories. Si on élimine les cas d'hyperthermie par élévation exagérée de la température extérieure, on voit, en effet, que la fièvre peut être due soit à une altération du système nerveux, sans altération spéciale des humeurs de l'organisme, soit à un trouble nerveux subordonné à une altération humorale. Dans la première caté-

gorie rentrent surtout les cas de fièvre qui se rapportent à des lésions cérébrales (hémorragie cérébrale, par exemple) ou à des traumatismes du bulbe et de la protubérance, ou à des actions réflexes sur les centres thermiques. C'est une fièvre nerveuse, dynamique. La seconde catégorie, qui comprend les cas les plus nombreux, concerne les maladies infectieuses. La fièvre est en effet presque toujours une affection parasitaire, et résulte de l'invasion de l'organisme par des éléments vivants (microbes divers, hématozoaires du paludisme) qui agissent sur le système nerveux par les poisons qu'ils sécrètent.

## TROISIÈME PARTIE

### FONCTIONS DE RELATION

Les phénomènes les plus directement observables que présente l'organisme consistent dans ses relations avec le monde extérieur. Parmi celles-ci les fonctions de mouvement occupent le premier rang. Aussi nous occuperons-nous tout d'abord de la physiologie générale des muscles et des nerfs et de la physiologie spéciale des mouvements du corps. Nous aborderons ensuite l'étude du système nerveux central qui sert d'intermédiaire entre l'action venant de la périphérie et la réaction motrice, et qui préside en outre à l'harmonie de tous les éléments en fonction dans l'intérieur de l'organisme. A la physiologie des centres nerveux se rattachera celle des organes des sens qui recueillent les impressions extérieures.

#### CHAPITRE PREMIER

#### PHYSIOLOGIE GÉNÉRALE DU MOUVEMENT

La faculté de se mouvoir est une des propriétés essentielles du protoplasma, et le mouvement un des phénomènes les plus caractéristiques de la vie. Chez les animaux inférieurs, les mouvements sont dus à la contractilité du protoplasma peu ou point différencié des cellules du corps. Chez les animaux supérieurs certains mouvements se font aussi de la sorte, comme