

décapsulisation consistent essentiellement dans des troubles du système nerveux et dans un affaiblissement notable de la motilité. ABELOUS et LANGLOIS pensent que les animaux décapsulés succombent à une intoxication par des poisons dont les effets sur l'organisme seraient analogues à ceux du curare, et que les capsules surrénales exercent une action antitoxique en modifiant, neutralisant ou détruisant ces poisons fabriqués sans doute au cours du travail musculaire. En tout cas, les extraits des capsules surrénales exercent une action toxique énergique et qui ressemble fort à celle du curare ou de la neurine. De plus, les extraits injectés à faible dose dans le torrent circulatoire provoquent une remarquable élévation de la pression sanguine (OLIVER et SCHÆFER). L'extrait capsulaire contient en effet un poison vaso-constricteur énergique qui récemment a été isolé à l'état pur par TAKAMINE : c'est l'*adrénaline* qu'on emploie maintenant en médecine comme hémostatique. L'extrait capsulaire agit en outre sur l'appareil nerveux du cœur; à l'inverse de l'extrait thyroïdien, il provoque l'hyperexcitabilité de l'appareil accélérateur.

CHAPITRE VII

CHALEUR ANIMALE

Les réactions chimiques dont l'organisme est le siège s'exécutent pour la plupart avec dégagement de chaleur (réactions exothermiques); il en résulte que les animaux sont des sources de chaleur. La chaleur est une des formes sous lesquelles apparaît l'énergie chez l'être vivant; la production de travail mécanique et le dégagement d'électricité, de lumière (chez certaines espèces) représentent aussi des manifestations extérieures de l'énergie. L'animal vivant dans un milieu dont la température présente des variations considérables, subit comme toute source physique de chaleur, l'influence de ce milieu au point de vue de la déperdition du calorique. S'il parvient à maintenir dans ses tissus un degré de chaleur constant, c'est qu'il est capable de modifier la production ou la déperdition du calorique par un mécanisme régulateur. Nous étudierons donc dans deux articles séparés la production de chaleur et la régulation thermique.

ARTICLE PREMIER

PRODUCTION DE CHALEUR

Pour se rendre compte de la production de chaleur par les animaux il ne suffit pas d'apprécier la température que présentent les différentes parties de leur corps; il faut de plus pouvoir mesurer la quantité de chaleur qu'ils dégagent. En d'autres

termes, les résultats de la thermométrie doivent être complétés par ceux de la calorimétrie.

§ 1. — TEMPÉRATURE DES ANIMAUX

Les animaux se divisent en deux grandes classes au point de vue de leur température : les animaux à température variable (dits improprement à sang froid) et les animaux à température constante (improprement à sang chaud). Chez les premiers (poissons, reptiles) la température du corps ne dépasse que de très peu celle du milieu ambiant et en subit toutes les vicissitudes ; chez les seconds (mammifères, oiseaux), la température est notablement plus élevée que la moyenne de la température ambiante et se montre indépendante des variations de cette dernière. Occupons-nous seulement d'évaluer pour les animaux à sang chaud et spécialement pour l'homme la température du corps, sa répartition et les variations qu'elle peut subir.

1° Mesure de la température. — On apprécie la température en introduisant des thermomètres dans les cavités naturelles, plus commodément le rectum et aussi dans le creux axillaire. La température de l'homme est de 37° C. dans l'aisselle, un peu plus élevée dans le rectum, 37°,3 d'après WUNDERLICH et même 37°,8 d'après JÜRGENSEN. La température des animaux (chien, lapin, cobaye, mouton, etc.) est plus élevée que celle de l'homme et en moyenne de 39°,5 ; celle des oiseaux encore davantage, elle atteint 42°.

2° Topographie thermique. — La température d'une partie quelconque du corps dépend, toutes choses étant égales du côté de la source de chaleur, de la plus ou moins grande déperdition de calorique. Il est facile de comprendre que la surface cutanée exposée continuellement à des causes de refroidissement par rayonnement, conductibilité, évaporation, doit avoir une température bien inférieure à celle des organes centraux ; encore cette température de la peau sera-t-elle variable dans les différentes régions, suivant la proximité ou l'éloignement des gros

trons vasculaires, la conductibilité des tissus sous-jacents, la protection plus ou moins efficace des poils ou des vêtements contre la déperdition de chaleur. D'après cela, on peut diviser la surface de la peau en : régions chaudes au-dessus de 35°,5, dans les points où les grosses artères sont superficielles (comme le creux axillaire, le pli du coude, la région inguinale, les joues) ; régions tièdes au-dessus de 33°,5 (peau des membres du côté de la flexion par exemple) ; et régions froides au-dessous de 33°,5 (peau des membres du côté de l'extension et extrémités.)

C'est le sang qui est le distributeur de la chaleur dans tout le corps, et les vaisseaux jouent le rôle des tuyaux de conduite d'un calorifère à liquide chaud. Il y a donc un certain intérêt à connaître la répartition de la chaleur dans le système vasculaire. On doit à CL. BERNARD une étude rigoureuse de la topographie thermique du sang exécutée à l'aide d'aiguilles thermo-électriques. Deux de ces aiguilles, formées par la soudure de deux métaux différents, étant reliées entre elles et intercalées dans le circuit d'un galvanomètre, la moindre différence de température entre les soudures s'accuse par la production d'un courant électrique appréciable à la déviation de l'aiguille du galvanomètre. On peut de cette façon, après avoir gradué empiriquement l'échelle galvanométrique en degrés de chaleur, apprécier des différences de température extrêmement minimes. Ces aiguilles thermo-électriques étant logées dans des sondes en gomme, on pousse une de ces sondes dans l'artère crurale d'un animal vers la bifurcation de l'aorte, et l'autre dans la veine crurale vers la veine cave (fig. 113) ; le galvanomètre indique aussitôt une différence de température de 0°,5 en faveur du sang de l'artère. Le sang artériel doit effectivement être plus chaud, car il vient de passer dans les cavités du tronc à l'abri des déperditions de calorique, tandis que le sang veineux, revenant de la périphérie, s'est naturellement refroidi dans les capillaires cutanés. Mais le sang veineux se réchauffe rapidement dans la cavité abdominale ; en effet, si l'on enfonce les sondes un peu plus haut, de telle façon que les soudures des aiguilles, arrivent au niveau de l'embouchure des artères et veines rénales, le galvanomètre n'indique aucune déviation ; ce qui signifie que les deux sangs artériel et

veineux ont à ce niveau la même température. En poussant les sondes encore plus profondément on s'aperçoit que la température du sang veineux arrive à dépasser celle du sang artériel et

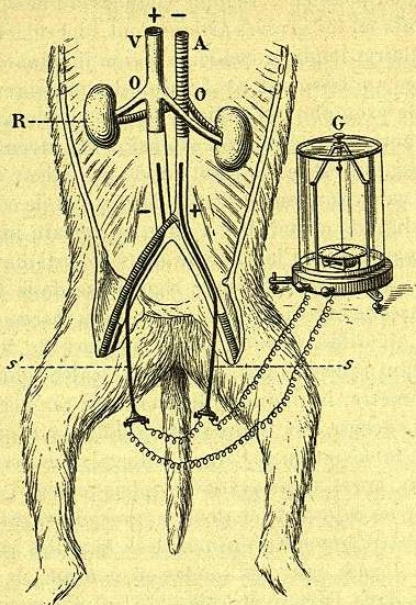


Fig. 113.

Dispositif expérimental pour rechercher les différences de température entre le sang artériel et le sang veineux.

ss, sondes thermo-électriques engagées dans les vaisseaux et reliées au galvanomètre G. L'une est poussée jusque dans l'aorte A et l'autre jusque dans la veine cave inférieure V. — R, rein. Les signes +, — et 0 indiquent les différences respectives de température pour l'artère et la veine.

atteint son maximum à l'embouchure des veines sus-hépatiques (point le plus chaud du corps). Ce résultat est bien compréhensible si l'on réfléchit qu'en ce point la veine cave reçoit le sang porte qui, demeurant dans la cavité du ventre, se trouve de ce fait à l'abri de la déperdition de chaleur, et qui de plus s'échauffe

sensiblement dans son passage à travers le foie. Cette prédominance de chaleur du sang veineux sur le sang artériel se maintient dans les cavités cardiaques; le sang du cœur gauche est moins chaud que celui du cœur droit (de $0^{\circ},17$ à $0^{\circ},2$); il est clair en effet, que le sang doit se refroidir dans la traversée des capillaires pulmonaires, par suite de l'évaporation d'eau dont le poumon est le siège et de la cession d'une certaine quantité de chaleur à l'air des alvéoles. Puis le sang artériel se réchauffe un peu dans l'aorte thoracique et abdominale avant d'aller se refroidir à la périphérie. On conçoit par ces résultats qu'il existe pour le sang un double cycle thermique que l'on peut exprimer graphiquement par un 8 de chiffre; dans la boucle inférieure du 8 la température du sang artériel l'emporte sur celle du sang veineux; dans la boucle supérieure, c'est l'inverse; et au point d'entrè-croisement situé au niveau de l'embouchure des vaisseaux du rein, les températures s'égalisent (*point nul ou indifférent* de CL. BERNARD).

3° Variations de la température. — La température des animaux à sang chaud est remarquablement fixe. Elle est la même pour l'habitant du pôle et pour celui de l'équateur; les variations qu'elle peut présenter, tout en restant dans les limites physiologiques, sont très minimes et ne portent que sur des dixièmes de degré. A ce point de vue, il faut remarquer que la température n'est pas exactement la même aux différentes heures de la journée. Il existe une variation diurne de la température représentée par la courbe ci-jointe (fig. 114). On voit qu'il y a un minimum vers quatre heures du matin, et qu'à partir de ce moment la température monte progressivement pour atteindre son maximum dans l'après-midi vers quatre heures.

Cette variation diurne n'est due, selon CH. RICHER, ni à la digestion, ni à l'augmentation de la chaleur extérieure, ni au travail musculaire, mais à une sorte de *périodicité rythmique* du système nerveux.

Les différences de température dépendant de l'âge sont très minimes. Notons cependant que chez le nouveau-né qui se refroidit très vite, la température baisse beaucoup aussitôt après la

naissance, ce qui tient à l'augmentation brusque des causes de refroidissement. Les variations de la température extérieure n'ont que peu d'influence; cependant dans les climats chauds, il peut y avoir une très légère élévation de la température du corps (inférieure à un demi-degré). La cause la plus puissante d'éleva-

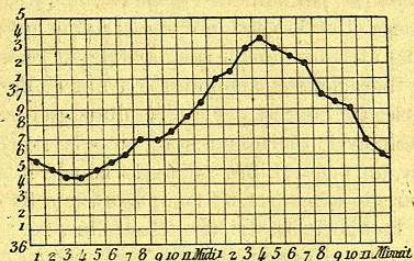


Fig. 114.

Courbe de la variation diurne de la température (d'après CH. RICHEL).

tion de la température est l'exercice musculaire; sous son influence la température peut monter à plus de 38°. Lorsqu'un chien attaché sur la table d'expérience se débat avec violence, on voit sa température monter très vite de 39° à 40°,5 et même 41°. Chez le lapin au contraire qui reste généralement immobile quand on l'attache, la température baisse rapidement. C'est aux contractions violentes des muscles que l'on doit attribuer l'élévation si considérable de la température (jusqu'à 44°,75) observée par WUNDERLICH dans le tétanos. CH. RICHEL a produit expérimentalement cette élévation thermique chez les animaux en provoquant des contractions musculaires énergiques par la faradisation de la moelle. L'activité intellectuelle détermine aussi une légère élévation de la température, atteignant un demi-degré dans des observations de GLEY.

§ 2. — CALORIMÉTRIE

Le thermomètre indique la température de la partie du corps où il est appliqué, mais il ne donne aucun renseignement sur la

quantité de chaleur produite par l'animal. Pour connaître cette dernière, il faut recourir à la méthode calorimétrique. Depuis les recherches de LAVOISIER et LAPLACE, les physiologistes ont multiplié les expériences sur ce sujet. Les calorimètres le plus couramment employés en physiologie reposent sur ce principe : calculer la chaleur dégagée d'après la dilatation d'un liquide ou de l'air (calorimètre de d'ARSONVAL, de CH. RICHEL) contenu dans un espace clos annulaire, circonscrivant une cavité où se trouve logé l'animal en observation. On en trouvera une description détaillée dans les traités de physique biologique. Nous ne nous occuperons ici que des résultats obtenus.

1° Quantité de chaleur produite par les animaux. — On l'évalue en calories (petite calorie ou calorie gramme degré, c'est à-dire quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1° la température de 1 gramme d'eau). Voici pour quelques animaux à sang chaud la quantité de chaleur qu'ils dégagent par kilogramme de leur poids et par heure : chien, 5 000 calories; cobaye, 9 000; poule, 5 700; moineau, 36 000; enfant, 4 000; homme adulte, 2 000 à 2 300 calories. D'après ces chiffres, la quantité de chaleur dégagée par un homme du poids de 70 kilogrammes pendant une heure et appliquée à un litre d'eau, serait suffisante pour porter cette eau de 0° à la température de l'ébullition, et si la chaleur produite restait accumulée dans l'organisme, la température du corps atteindrait celle de l'eau bouillante au bout d'un jour et demi. On arrive à peu près aux mêmes résultats en calculant la chaleur produite d'après la chaleur de combustion des aliments indiqués par la thermo-chimie (méthode indirecte).

2° Variations de la production de chaleur. — La quantité de chaleur produite par les animaux n'est pas la même pour les différentes espèces, comme il ressort des chiffres donnés précédemment; mais elle varie encore suivant un certain nombre de causes dont les principales sont la taille de l'animal, la température extérieure, le repos ou l'activité musculaire.

a. *Influence de la taille.* — Les animaux produisent d'une façon absolue d'autant plus de chaleur qu'ils sont plus gros; mais si

On rapporte la production de chaleur à l'unité de poids, on s'aperçoit que ce sont les petits animaux qui en dégagent le plus. C'est qu'en effet l'élément prépondérant dans l'émission du calorique est l'étendue de la surface du corps. La quantité de chaleur produite est proportionnelle à cette surface et non au volume, comme l'a montré RICHET. Or, la surface du corps des animaux est relativement d'autant plus développée que leur volume est plus petit; car tandis que les volumes croissent comme les cubes, les surfaces ne croissent que comme les carrés; pour un solide de forme géométrique auquel on peut schématiquement réduire le corps de l'animal, lorsque les surfaces croissent comme 1, 2, 3, 4, etc., les volumes croissent comme 1 — 2,82, — 5,19 — 8, etc.; lorsque le volume est devenu 8 fois plus grand, la surface n'est donc que 4 fois plus grande. Il en résulte que les petits animaux perdent proportionnellement plus de chaleur que les gros et qu'ils sont par conséquent dans la nécessité d'en produire davantage pour maintenir constante leur température. De là vient que leurs combustions sont plus énergiques, leur respiration et leur circulation plus actives que celles des animaux de grande taille.

b. *Influence de la température extérieure.* — D'après la loi de NEWTON, un corps chaud abandonné au milieu où il est plongé d'autant plus de chaleur que l'excès de sa température sur celle du milieu ambiant est plus grand. L'animal ne suit pas cette loi et ne se comporte pas à ce point de vue comme un corps inerte. D'ARSONVAL et RICHET ont, en effet, démontré qu'il y a une température *optima* à laquelle la production de chaleur est *maxima*; c'est vers 14° que l'animal dégage le plus de chaleur; si la température extérieure est inférieure à ce chiffre ou le dépasse, le dégagement de chaleur diminue. Ce fait est exprimé graphiquement dans la courbe ci-dessus (fig. 115) indiquant en ordonnées les quantités de chaleur dégagées (en calories) et en abscisses les températures concomitantes du milieu ambiant.

c. *Influence de l'activité musculaire.* — De tous les tissus dont les oxydations contribuent à l'entretien de la chaleur animale, ce sont les muscles qui, dans leur contraction, consomment le plus d'oxygène et qui par conséquent dégagent le plus de chaleur,

et comme ils forment 50 p. 100 du poids du corps, ils doivent évidemment représenter la principale source de la chaleur. Aussi le repos ou l'activité musculaire exercent-ils une influence con-

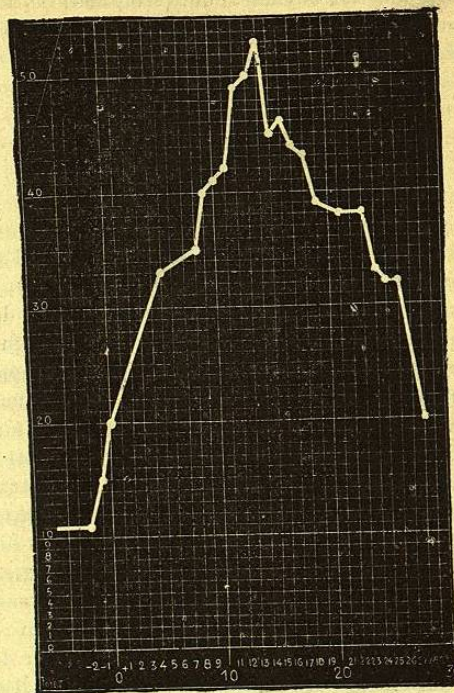


Fig. 115.

Courbe indiquant la quantité de chaleur produite en une heure par un kilogramme de lapin, en fonction de la température extérieure (d'après CH. RICHET).

sidérable sur la production de calorique, et l'activité du système musculaire étant soumise à l'influence du système nerveux, on doit comprendre que c'est ce dernier qui tient sous sa dépendance la plus ou moins grande quantité de chaleur produite par

le muscle. Les poisons narcotiques, les anesthésiques restreignent la production de chaleur et font baisser la température ; les poisons convulsivants (strychnine, brucine, cocaine, 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-