

TRENTE-ET-UNIÈME LEÇON

Chaleur animale.

Les êtres vivants en général et les animaux en particulier, par suite des nombreux phénomènes chimiques d'oxydation, d'hydratation, de dédoublement, etc., dont nous avons eu l'occasion de vous entretenir, à propos de l'étude des différentes fonctions et en particulier de la respiration, de la digestion, des excréctions et sécrétions, sont le siège de réactions exothermiques et endothermiques. Ce sont les premières qui l'emportent, d'où température plus élevée, chez les organismes vivants, que celle du milieu ambiant.

Dans l'étude de la chaleur animale, on peut se placer à deux points de vue : 1° température ou étude thermométrique; 2° production de la chaleur ou étude calorimétrique.

Thermométrie. — On prend la température d'un animal généralement dans ses cavités naturelles, c'est-à-dire la bouche ou le rectum. Il est parfois utile de connaître la température d'un organe donné, la différence de température de deux organes, ou enfin l'échauffement ou le refroidissement d'un organe dans des conditions déterminées. Pour cela, on utilise soit les thermomètres, soit les aiguilles ou sondes thermo-électriques.

Les *thermomètres* employés sont généralement à mercure. Le réservoir est petit, pour que l'instrument se mette rapidement en équilibre de température, et la gra-

duction est faite ordinairement en $\frac{1}{10}$ ou au moins en $\frac{1}{5}$ de degré. La forme (fig. 297) peut être bien différente, suivant le point dont on veut prendre la température. Pour la surface de la peau, par exemple, on emploie un

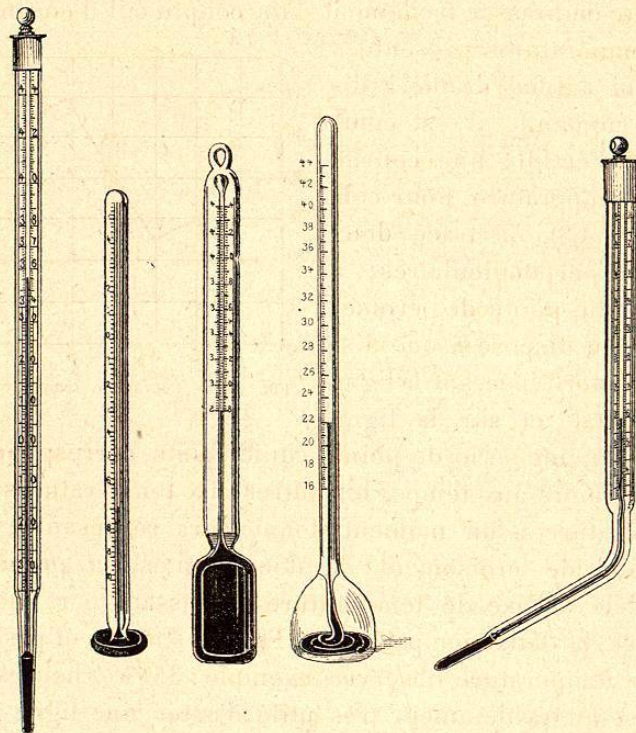


FIG. 297. — Diverses formes de thermomètres.

thermomètre à cuvette plate ou dont le réservoir est enroulé en une spirale aplatie. La tige est parfois coudée, pour faciliter la lecture. Enfin, pour éviter la lecture du thermomètre en place, ce dernier est à maxima. Pour lire le degré de température, les divisions étant relativement peu espacées, il faut mettre la colonne de mercure bien dans le plan des yeux, afin d'éviter les phénomènes de parallaxe. Quand on a à prendre une série

de températures dans la bouche ou dans le rectum d'un animal, il faut, pour qu'elles soient comparables, avoir soin d'enfoncer toujours le thermomètre de la même quantité, la température allant généralement en croissant un peu avec la profondeur.

Pour embrasser facilement d'un coup d'œil d'ensemble les températures présentées par un animal donné à divers moments, il est commode d'établir une courbe de la température. Pour cela (figure 298), on trace deux lignes perpendiculaires; à partir du point de croisement, on dispose à une distance déterminée, sur la ligne horizontale et sur la ligne verticale, une série de points équidistants, correspondant les premiers aux temps, les autres aux températures. La température à un moment donné sera représentée par le point de croisement de deux lignes, la première parallèle à l'axe de température et passant par l'heure donnée, la deuxième parallèle à l'axe des temps et passant par la température observée (exemple: 35° à 4 heures).

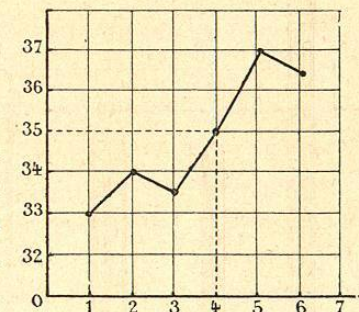


FIG. 298. — Courbe de température.

Il serait évidemment très utile d'avoir une ligne continue des températures aux différents moments, ou, en d'autres termes, d'employer un thermomètre enregistreur, analogue à ceux dont se servent les météorologistes; malheureusement, aucun instrument de ce genre n'a jusqu'ici donné des résultats satisfaisants en physiologie.

Quand on prend la température comparée de deux organes, il faut avoir soin de vérifier préalablement si les thermomètres qu'on emploie marquent le même degré pour une même température; sinon, il faut faire

une correction qui est indiquée par la différence des degrés marqués par les deux thermomètres, lorsqu'ils sont dans le même milieu.

Pour voir rapidement si deux animaux ou deux organes sont à la même température, le procédé le plus expéditif et en même temps le plus exact est celui des *aiguilles thermo-électriques*. Nous avons eu l'occasion de vous parler de ce procédé à propos de la chaleur produite par la contraction musculaire; nous n'y reviendrons que très brièvement. Les aiguilles sont de petites piles thermo-électriques; lorsque leurs soudures sont échauffées différemment, un courant se produit, facilement décelé par le galvanomètre. Le sens de la déviation indique quelle est la soudure la plus chaude. Ce procédé est également très commode pour étudier l'échauffement d'un organe: plus la température augmente, plus la déviation de l'aiguille du galvanomètre est accentuée.

Les *sondes* sont des aiguilles très longues, engainées dans de la gomme ou du caoutchouc; elles servent principalement à étudier les températures d'organes internes où l'on peut pénétrer par cathétérisme, tels que vaisseaux, cœur, œsophage, estomac, intestin, vessie. C'est surtout le système circulatoire qu'il est facile d'explorer topographiquement par ce procédé. On peut s'assurer ainsi: 1° que la température est à peu près constante dans tout le système artériel; 2° que la température des veines superficielles est inférieure à celle des artères; 3° que celle des veines profondes est supérieure. C'est dans la veine cave inférieure, au niveau du point d'abouchement des veines sushépatiques, que la température est la plus élevée.

Pour le cœur, le cœur droit est un peu plus chaud que le cœur gauche.

On sait qu'au point de vue de la température, les animaux ont été divisés en animaux à température fixe

(mammifères et oiseaux) et à température variable (autres vertébrés et invertébrés).

Les mammifères ont une température qui varie entre 35 et 40°, sans être d'ailleurs absolument fixe pour le même animal. On peut, par des artifices, les refroidir jusqu'à 20 et 18° par un courant d'eau froide, par exemple; au-dessous de cette température, ils meurent. Il faut faire exception pour les mammifères hibernants, qui, pendant leur période de sommeil, deviennent des animaux à température variable, dont le degré peut s'abaisser jusqu'à + 4°, sans que la mort s'ensuive.

Les oiseaux ont une température de 39 à 44°.

La régulation de la température se fait automatiquement chez les animaux à température fixe. L'augmentation est combattue par l'évaporation cutanée de la sueur ou l'évaporation pulmonaire, parfois buccale et linguale; la baisse est produite par la vasoconstriction des capillaires périphériques, qu'on peut mettre facilement en évidence en prenant la pression dans les gros vaisseaux par les procédés que nous vous avons indiqués.

Quant aux autres animaux, leur température s'élève seulement de quelques dixièmes de degré au-dessus de la température ambiante, sauf chez les insectes où, après le vol, on a constaté une hausse de la température très marquée. Parfois, chez les poissons, la température est identique à celle du milieu ambiant; on peut cependant prouver facilement qu'ils produisent de la chaleur par les expériences suivantes.

1° Quand on introduit deux poissons dans de l'eau plus chaude que celle dont ils sortent, l'un mort, l'autre vivant, le second se réchauffe plus vite que le premier.

2° Quand, inversement, on les fait passer dans de l'eau froide, le poisson vivant se refroidit plus lentement. Ces constatations se font à l'aide de la méthode thermo-électrique.

3° La congélation de l'eau est retardée dans le voisinage du corps d'un poisson ou d'une grenouille pris dans la glace.

Calorimétrie. — Pour mesurer le nombre de calories dégagées par un être vivant dans un temps donné, on peut employer deux procédés, la méthode directe et la méthode indirecte.

I. *Méthode directe.* — Celle-ci est basée sur l'emploi des calorimètres, et voici les deux principes fondamentaux sur lesquels s'appuie l'usage de ces instruments.

On sait : 1° qu'un kilogramme d'eau s'élevant de 1° absorbe 1 grande calorie; 2° qu'un kilogramme de glace absorbe, pour se transformer en eau à 0°, 79 grandes calories.

PROCÉDÉ DU Puits de glace. — Prenons un bloc de glace à 0°, creusons-y une cavité assez grande pour renfermer l'animal, et, après l'avoir soigneusement essuyé de son eau, introduisons-y l'animal ayant, par exemple, une température T et un poids P . Fermons ensuite avec un couvercle de glace également à 0°.

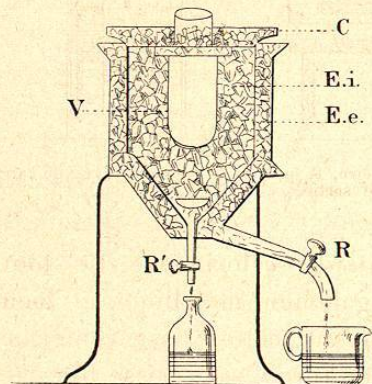


FIG. 299. — Calorimètre à glace : V récipient intérieur, C couvercle, E.i. vase à glace interne, E.e. vase à glace externe, R robinet du vase extérieur, R' robinet du vase à glace interne.

Abandonnons le tout pendant un temps t . Supposons que l'animal n'a pas changé de température : soit p le poids de l'eau fondue que nous apprécions facilement en essuyant le calorimètre avec des éponges et du papier buvard à 0° préalablement tarés, que nous pesons de nouveau.

Le nombre de calories n émises par l'animal pendant le temps t est égal à $n = p \times 79$.

Si l'animal s'est réchauffé, soit $T' > T$ sa nouvelle

température; en admettant que sa chaleur spécifique est 1, pour passer de T à T' , il a absorbé $P(T' - T)$ calories. La somme de chaleur qu'il a fabriquée est donc $[p \times 79 + P \times (T' - T)]$. Il est indispensable d'éviter le contact de l'animal avec les parois du puits en l'enfermant dans une petite cage.

Le puits de glace peut être remplacé par le calorimètre à glace classique de Dulong et Petit (fig. 299).

PROCÉDÉ DU CALORIMÈTRE A EAU. — L'animal est placé dans une boîte métallique où circule de l'air; l'air entrant arrive directement dans la boîte, l'air sortant traverse un serpentin, de façon qu'avant sa sortie il

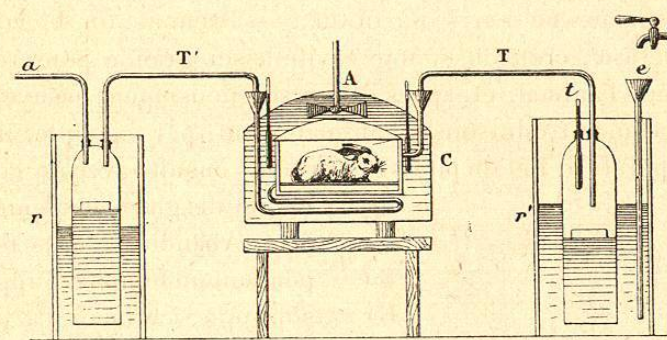


FIG. 300. — Calorimètre à eau : C calorimètre, A palettes, T tube d'arrivée de l'air, T' tube de sortie.

abandonne sa chaleur à l'eau du calorimètre. Le tout est plongé dans une caisse également métallique et bien polie, pour éviter le rayonnement; cette caisse renferme un poids p d'eau à une température t , sans cesse brassée par un agitateur à palettes (fig. 300).

L'animal restant un temps θ dans ce calorimètre, si la température de l'eau est devenue $t' > t$, le nombre de calories émises pendant ce temps θ est représenté par l'équation $n = p \times t' - t$.

Ces deux procédés très exacts, physiquement parlant, ont chacun un inconvénient au point de vue physiologique. Dans le premier cas, l'animal, placé à une température beaucoup plus basse que la sienne, réagit violemment pour maintenir, malgré le rayonnement exagéré, sa propre température; dans le deuxième cas, l'animal est, au contraire, protégé contre le rayonnement et de

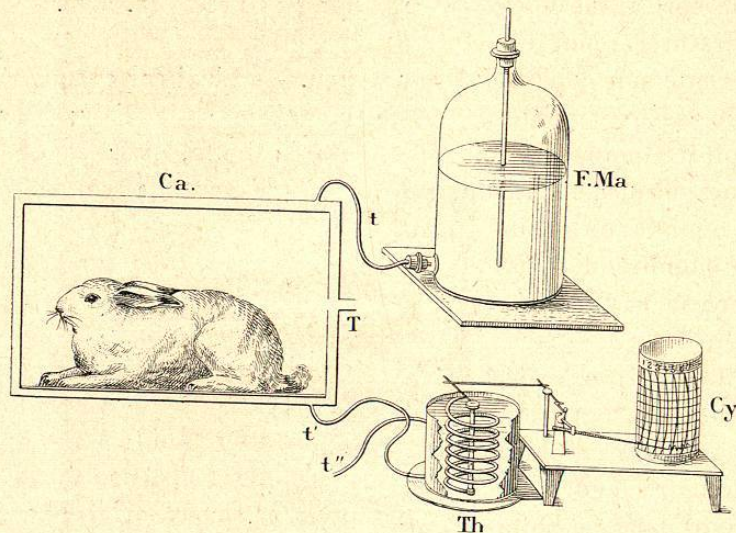


FIG. 301. — Calorimètre à circulation d'eau de d'Arsonval : Ca chambre du calorimètre. T tubulure, F.Ma flacon d'eau à niveau constant, t tube de caoutchouc pour l'arrivée de l'eau, t' tube conduisant l'eau au thermomètre enregistreur Th, t'' tube de sortie de l'eau, Cy cylindre enregistreur.

plus la température du calorimètre va en croissant depuis le début de l'expérience.

Le desideratum serait : 1° que l'animal ne fût pas à une température trop basse; 2° que l'enceinte calorimétrique ne changeât pas de température. Il faut donc opérer à la température ordinaire, et il est nécessaire que la chaleur produite soit enlevée au fur et à mesure par une source de froid compensatrice. On peut employer avec avantages le *calorimètre compensateur à circulation d'eau de d'Arsonval* (fig. 301), qui peut, d'ailleurs, être

enregistreur comme ceux que nous décrivons tout à l'heure.

Ce calorimètre est une enceinte à deux parois. Dans l'espace annulaire qui les sépare circule un courant d'eau qui entre à une température donnée t et qui sort à une température t' , peu différente si le courant est assez rapide. Soit P le poids d'eau qui a circulé pendant le temps θ : on a pour le nombre des calories rayonnées $N = P \times t' - t$.

Le calorimètre est rendu enregistreur en plaçant un thermomètre enregistreur dans la boîte qui reçoit à la sortie l'eau à la température t .

Quand on veut simplement avoir des courbes comparatives, on peut utiliser le dispositif suivant, dû également à d'Arsonval, et que nous représentons ici (fig. 302).

On a deux enceintes à double paroi, l'une destinée à recevoir l'animal, l'autre qui doit rester vide. L'espace annulaire qui sépare les deux parois, et qui est plein d'air, communique par l'intermédiaire d'un tube de

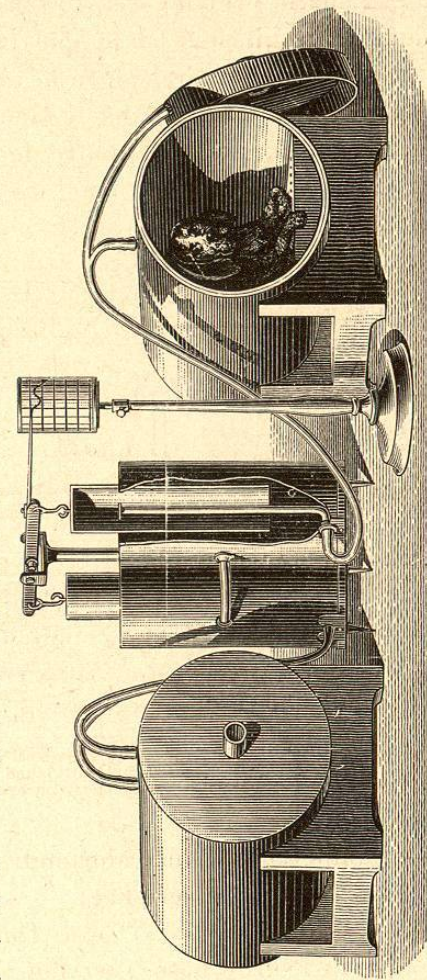


FIG. 302. — Calorimètre à air de d'Arsonval.

caoutchouc avec un gazomètre. On a donc deux gazomètres correspondant chacun à une des enceintes : ces deux gazomètres suspendus sur l'eau sont équilibrés aux deux extrémités d'un fléau de balance.

Tant que l'air est à la même température dans les deux enceintes, l'équilibre persiste et le fléau de la balance est horizontal; mais supposons que la température s'élève d'un côté, l'air échauffé augmente de pression et vient soulever le gazomètre correspondant, d'où inclinaison du fléau. Si celui-ci porte un stylet se

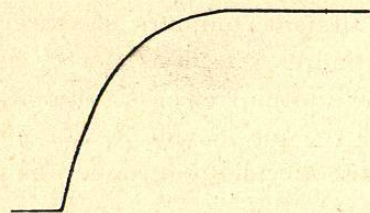


FIG. 303. — Courbe calorimétrique.

déplaçant sur un cylindre enregistreur, on obtiendra une courbe. Cette courbe montera d'autant plus vite et d'autant plus haut, qu'il y aura eu dans un temps donné plus de calories rayonnées dans l'enceinte. Arrive un moment néanmoins où il y a équilibre entre la chaleur produite dans l'enceinte et celle rayonnée par sa paroi; à ce moment, la ligne devient horizontale (fig. 303).

Cet appareil est très commode pour comparer la chaleur rayonnée par deux animaux. Chacun d'eux est placé dans l'une des enceintes et le gazomètre est soulevé du côté de l'animal qui rayonne le plus.

On peut graduer ce calorimètre empiriquement, en mettant à rayonner dans l'une des enceintes un récipient plein d'eau, à une température donnée et d'un poids donné. On suit la marche de la baisse de la température et on note le point correspondant de la courbe. Il est à remarquer que le même nombre de calories dégagées ne donne pas une courbe identique, entre des températures différentes, par exemple entre 40 et 35° et 20 et 15°.

Pour la graduation de cet appareil, il est préférable d'employer une source constante de chaleur : on se sert avec avantage d'un fil de platine rougi par un courant électrique, dont on peut déterminer facilement le rayonnement.

Le calorimètre différentiel de d'Arsonval doit être placé dans un milieu à température uniforme et aussi constante que possible. Il faut éviter qu'un courant d'air ou des radiations de l'extérieur ne viennent frapper un des cylindres à l'exclusion de l'autre; le voisinage d'un mur plus froid ou plus chaud que le milieu ambiant peut troubler aussi l'équilibre d'un des cylindres. Avant de commencer une expérience, il faut toujours s'assurer que le manchon à air des cylindres n'est pas percé, ce qui est facile en raréfiant l'air intérieur et en s'assurant, au moyen d'un petit manomètre, que le vide relatif se maintient. L'appareil marchant à vide doit tracer une ligne droite.

Le rayonnement d'un animal ne se fait pas exactement suivant la loi de Newton, car il dépend beaucoup de l'état de ses vaisseaux périphériques et le système nerveux vasomoteur joue un grand rôle dans cet état. A température égale, un animal dont les capillaires cutanés sont en vasodilatation se refroidira beaucoup plus vite, parce qu'il rayonne bien davantage.

L'état de nudité de la peau joue aussi un rôle important : à la même température, un animal rasé rayonne beaucoup plus qu'un animal auquel on a conservé sa fourrure et se refroidit également plus vite dans un milieu à température plus basse que lui.

La démonstration est facile à faire; on prend deux lapins de même poids, dont l'un est rasé, et on les place dans les deux enceintes du calorimètre de d'Arsonval : le gazomètre est soulevé du côté de l'animal rasé.

II. *Méthode indirecte.* — Cette méthode est basée sur

ce principe que la chaleur produite par la combustion d'une substance est la même, que l'oxydation soit lente ou rapide, directe ou indirecte. On peut alors calculer la chaleur produite par un animal en déterminant la chaleur de combustion des aliments introduits dans l'organisme ou ingesta.

Ces aliments sont habituellement la graisse, l'amidon, l'albumine, et on sait que :

1 gramme de graisse produit	9 cal. 07
1 — d'amidon	3 — 09
1 — d'albumine	5 —

Seulement, l'albumine n'étant pas complètement comburée et étant rejetée sous la forme d'urée qui a encore une certaine chaleur de combustion, on doit retrancher cette dernière, soit 2^o9, de la chaleur de combustion totale de l'albumine. Il faut savoir que toute la chaleur produite ne se manifeste pas comme telle: une partie est transformée en travail $\frac{1}{5}$. On ne doit donc compter que les $\frac{4}{5}$ de la chaleur de combustion. Dans ces conditions, on arrive sensiblement au même résultat qu'avec la calorimétrie directe.

Au lieu de calculer la chaleur produite par un animal d'après ses ingesta, on peut le faire d'après ses produits d'élimination ou excreta, à savoir l'urée, l'acide carbonique et l'eau. On sait, en effet, quelles sont les quantités d'azote, de carbone et d'hydrogène qui correspondent à une quantité donnée de ces corps.

Chez l'homme, la production de la chaleur, mesurée au calorimètre, est d'environ 2 500 calories en 24 heures.

Par la méthode des ingesta, nous trouvons :

Combustion de 140 grammes d'albumine	700
— 205 — de graisse	952
— 420 — d'amidon	1.638
	<hr/> 3.290

Si nous retranchons la chaleur de combustion des 40 grammes d'urée produits, soit 88, il nous reste 3 202. En nous rappelant que les $\frac{4}{5}$ seulement doivent être retrouvés sous forme de chaleur, nous faisons le calcul et nous trouvons 2 560 calories, chiffre tout à fait comparable au précédent.