

TROISIÈME PARTIE

CHALEUR

I

THERMOMÉTRIE

L'unité de variation de température adoptée en France est le degré centigrade.

L'intervalle qu'il y a entre la température de la glace fondante et la température de la vapeur d'eau bouillante à la pression de 760 mm. a été divisé en 100 parties dont chacune constitue 1 degré. L'origine des mesures est à la température de la glace fondante, c'est le zéro, il en résulte que l'eau bout à 100 degrés sous la pression de 760 mm.

Ceci est affaire de convention ; dans certains pays ou dans certaines industries on se sert encore de l'échelle Réaumur, où l'intervalle entre la température de la glace fondante et de la vapeur d'eau bouillante est divisé en 80 parties. Enfin dans les pays de langue anglaise on fait usage de l'échelle Fahrenheit, dans laquelle la température de la glace fondante est 32° et celle de la vapeur d'eau à 760 mm. 212°, c'est-à-dire que dans ce système on s'élève de $212 - 32 = 180^\circ$ en passant de la température de la glace fondante à celle de la vapeur d'eau.

Des opérations d'arithmétique simples, indiquées d'ailleurs dans tous les livres élémentaires, permettent de passer d'un système à l'autre ; dans tout ce qui va suivre nous ne nous occuperons plus que de l'échelle centigrade.

Il résulte de considérations qui ne peuvent trouver place ici, que le seul thermomètre donnant réellement la température définie par l'échelle centigrade, est le thermomètre à hydrogène à volume

constant. C'est-à-dire que l'on enferme dans un récipient, analogue par exemple à celui de la figure 218, une certaine quantité d'hydrogène isolée de l'atmosphère par une colonne de mercure. On porte ce ballon dans la glace fondante et on note la pression

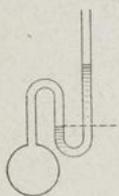


Fig. 218.

correspondant à un volume déterminé. Puis on note l'augmentation de pression qu'il faut exercer pour conserver le volume constant quand on passe dans la vapeur d'eau bouillante à 760 mm. La centième partie de cette variation de pression correspond à un degré centigrade, et si dans des conditions déterminées de variation de température il faut exercer 25
100 par exemple de cette pression pour conserver le volume de l'hydrogène constant, on dit que l'on est à la température de 25° centigrades.

Cet appareil est d'un maniement difficile, et dans la pratique on se sert généralement de thermomètres à mercure ou à alcool, où on lit des variations de volume au lieu de lire des variations de pression. Ces instruments devront être gradués avec soin par comparaison avec le thermomètre à hydrogène. Les thermomètres à alcool sont absolument à rejeter dans les mesures précises, la dilatation de l'alcool suit une loi complètement différente de celle du mercure, et si deux instruments, l'un à alcool, l'autre à mercure, sont d'accord à zéro degré et à 50° degrés par exemple, ils peuvent cependant entre ces deux limites donner des indications complètement différentes.

De même si l'on se contentait de porter un thermomètre à mercure dans la glace fondante, puis dans la vapeur d'eau bouillante et à diviser l'intervalle repéré ainsi sur la tige en 100 parties, on aurait un instrument exact à 0°, à 100°, mais qui dans l'intervalle ne concorderait pas avec le thermomètre à hydrogène. C'est pour cela qu'il faut graduer ces instruments par comparaison, en vérifiant les points intermédiaires, lorsqu'on veut avoir des indications véritablement précises. En général ceci est l'affaire du fabricant, il y a des maisons connues pour ne livrer que d'excellents thermomètres. On peut, au lieu de se servir du thermomètre à hydrogène, comme instrument de comparaison, employer un thermomètre à mercure de très bonne qualité, dit étalon, vérifié une fois pour toutes et auquel on comparera facilement tous les instruments d'usage courant. Il y a en tout cas une vérification qu'il faut tou-

jours pouvoir faire soi-même, c'est celle de la constance du zéro. Même dans les meilleurs instruments, il arrive avec le temps que le zéro des thermomètres se déplace, c'est-à-dire que le sommet de la colonne de mercure ne se trouve plus vis-à-vis du zéro de la graduation; toutes les lectures sont alors entachées d'une même erreur. On est dans les mêmes conditions que celles où l'on se trouve pour la détermination du temps avec une montre qui avance ou retarde, il faut connaître l'avance ou le retard. Pour déterminer le déplacement du zéro d'un thermomètre, il suffit de le plonger dans la glace fondante finement pulvérisée, il doit y en avoir une assez grande quantité de façon que le thermomètre plongé au milieu soit bien soustrait à l'action du rayonnement extérieur. Au bout d'un certain temps, quand on constate que le thermomètre reste stable, on le lit et on a son avance ou son retard. Il est bien rare d'avoir un instrument qui ne présente pas cette petite défectuosité, à laquelle, comme on voit, il est aisé de remédier.

Les thermomètres médicaux doivent être gradués en dixième de degré et être à maximum, c'est-à-dire que la colonne ne doit jamais descendre spontanément, elle est poussée vers les hautes valeurs de l'échelle au moment de l'élévation de température, et doit y rester quand on retire l'instrument pour le lire. Un petit choc fait descendre la colonne quand on désire faire une nouvelle expérience.

Il est bon de faire vérifier ses thermomètres médicaux, cependant les instruments livrés dans le commerce par les constructeurs connus sont généralement de qualité suffisante, à part bien entendu le déplacement du zéro. Lorsqu'il s'agit de mesures plus délicates comme celles qui se sont introduites depuis l'usage de la cryoscopie, on ne peut employer que les thermomètres spécialement construits dans ce but, donnant au moins le $\frac{1}{50}$ de degré et portant la marque de certaines maisons.

Températures absolues. — Diverses considérations ont fait introduire dans la science un autre zéro que celui de la glace fondante, sans qu'il y ait rien à changer à la valeur du degré. Dans l'échelle centigrade, ce zéro se trouve à 273° au-dessous de la température de la glace fondante; il faut donc simplement ajouter 273° à la valeur des températures centigrades pour avoir les températures absolues. Ainsi, en températures absolues la glace fond à 273°, l'eau bout à 373°, etc.

II

ÉTUVES

Les étuves employées en médecine et dans les sciences biologiques sont à température constante, c'est-à-dire qu'elles sont munies d'un dispositif régulateur destiné à empêcher la température de s'élever ou de s'abaisser au-dessous d'un certain point.

Les étuves les plus répandues dans les laboratoires sont celles de d'Arsonval, de Pasteur et de Wiesnegg.

L'étuve de d'Arsonval se compose d'un cylindre en cuivre (fig. 219) fermé à la partie supérieure et inférieure par deux cônes de faible hauteur. Cette enveloppe contient

une chambre et entre les deux parois se trouve un matelas d'eau. Le gaz qui sert à chauffer cette eau, arrive d'abord dans une chambre placée à la partie inférieure de l'appareil par un tube venant se terminer au voisinage du plafond de cette chambre constitué par une lame élastique sur laquelle repose l'eau du matelas. Puis le gaz va aux brûleurs. L'appareil étant plein d'eau on allume les brûleurs, et quand on a atteint la température à laquelle on désire se fixer, on enfonce dans un orifice pratiqué à la partie supérieure de l'instrument un bouchon percé d'un trou et portant

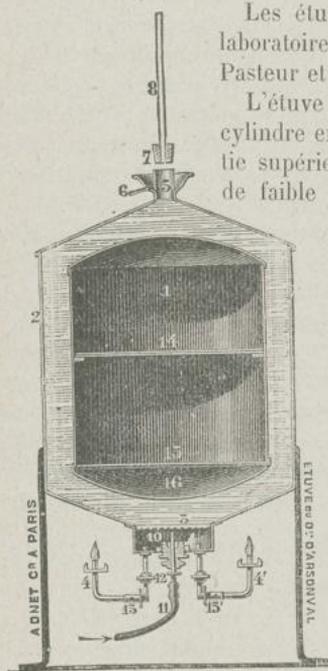


Fig. 219.

un tube vertical en verre. A partir de ce moment si l'eau augmente de température elle se dilate, monte dans le tube en verre, la pression au bas de l'appareil augmente et la membrane élastique se déprimant diminue l'admission du gaz en obstruant l'orifice

d'arrivée. La température ne peut donc pas monter au-dessus du degré qu'on s'est fixé.

Dans l'usage courant on a généralement renoncé au régulateur

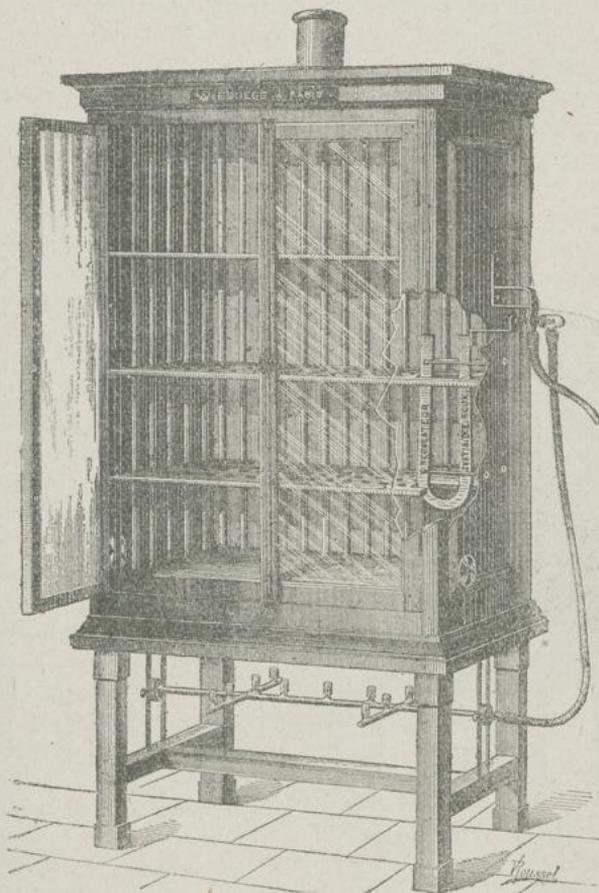


Fig. 220.

de d'Arsonval. On le remplace par un régulateur de Roux qui sera décrit plus loin.

L'étuve de Pasteur se compose d'une armoire en bois (fig. 220) aux parois intérieures de laquelle sont fixés des tubes en laiton mince. Le devant est fermé par une porte vitrée, et sous le plan-

cher se trouvent les brûleurs dont les gaz chauds monteront dans les tubes en laiton et chaufferont l'étuve. Un régulateur de Roux, que nous décrirons plus loin, assure la constance de la température. Ce modèle est très répandu, il est extrêmement commode, l'étuve de Weisnegg à double enveloppe d'air a le même but et les mêmes avantages.

Quand il s'agit de stériliser des instruments ou des liquides, les étuves précédentes ne suffisent plus, on a alors recours au four Pasteur ou à l'autoclave de Chamberland qui permettent de dépasser 120°.

Dans le four Pasteur (fig. 221) les objets sont stérilisés à sec dans une enceinte métallique chauffée au gaz. On préfère généralement aujourd'hui stériliser dans la vapeur d'eau sous pression.

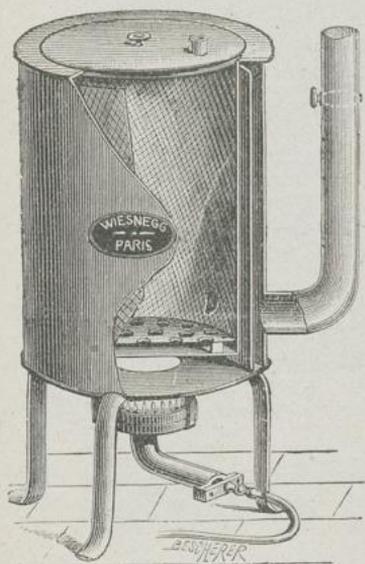


Fig. 221.

d'une soupape de sûreté. On chauffe généralement à 120° ou 130° pendant 1/4 d'heure ou 20 minutes, puis on laisse refroidir et on sort les objets stérilisés.

Lorsqu'il s'agit de désinfecter des corps volumineux comme des objets de literie et d'ameublement on a recours à de grandes chambres fonctionnant comme les étuves précédentes.

La figure 222 représente l'autoclave de Chamberland dont le principe se trouve dans la marmite de Papin. Un réservoir résistant contient à sa partie inférieure de l'eau chauffée par un certain nombre de brûleurs de Bunsen. Sur une plaque en cuivre perforé ou dans une corbeille en toile métallique on place les objets à stériliser qui seront baignés par la vapeur d'eau. L'enceinte étant hermétiquement close, la pression de la vapeur d'eau, et par suite sa température, s'y élèvent; un manomètre indique quelle est cette pression et la température correspondante. L'appareil est, bien entendu, muni

L
surc
Cett
ratur

résu
épais
Pe
Hers
cons
deux
moy

L'expérience a prouvé que la stérilisation par la vapeur d'eau surchauffée est bien supérieure à la stérilisation par l'air sec. Cette dernière pour arriver aux mêmes résultats exige une température plus élevée et pénètre moins bien les objets. Il en peut

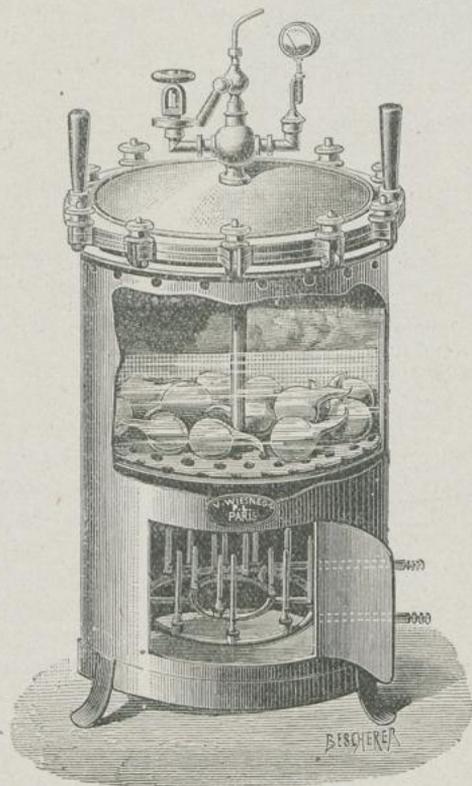


Fig. 222.

résulter que des matelas, coussins, etc., restent infectés dans leur épaisseur malgré un séjour assez prolongé dans l'air sec chaud.

Pour ces raisons, le type d'étuve à désinfecter de Geneste et Herscher (fig. 223) est le plus en faveur en France. Cette étuve consiste en un grand cylindre horizontal en tôle, fermé à ses deux extrémités, et dans lequel on introduit les objets à traiter au moyen d'un chariot sur rails. On ferme et on chauffe en envoyant

de la vapeur d'eau dans la chambre et dans deux batteries de surface chauffante. On fait monter la température à 108°-109°

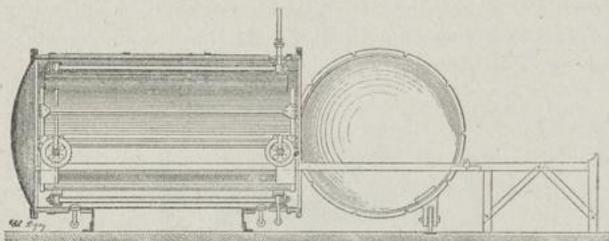


Fig. 223.

pendant un quart d'heure, l'expérience ayant démontré que cela est suffisant, puis on ouvre des portes arrêtant l'arrivée de vapeur et continuant à chauffer pour opérer le séchage, ce qui ne dépasse pas une durée d'un quart d'heure.

Couveuses.

Les couveuses ne sont autre chose que des étuves; nous ne

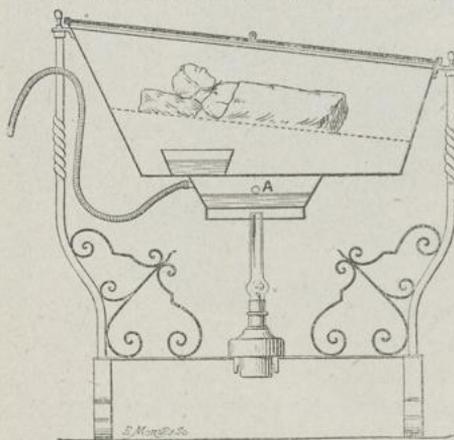


Fig. 224.

nous occuperons ici que des couveuses pour enfants. La couveuse de Tarnier consistait en une caisse en bois, divisée en deux compartiments superposés par une cloison horizontale incomplète. Celui du haut, fermé par un couvercle vitré, était destiné à recevoir l'enfant; dans celui du bas on introduisait une bouillotte contenant 10 litres d'eau chaude environ. Une éponge mouillée assurait à l'air un certain état hygrométrique, une ouverture dans le couvercle, munie d'un ventilateur, permettait de constater

que
tions
baiss

La
dans
il y e
fage
pétro
est c
toile
prop
rieur
trouv

à m

Le c
direc
main

l'ébu
voir

la co
jettie
assez

rent
qui

régle
ture

la m
ratio
ouve

char
Un

faits
Lion

porte
quan
au c
rieu
duq
en c
ratur

que le renouvellement de l'air se faisait dans de bonnes conditions. On surveillait la température au thermomètre, quand elle baissait on remplaçait l'eau de la bouillotte.

La surveillance de la bouillotte est une grande sujétion; dans la couveuse de Diffre il y est remédié par un chauffage continu à la lampe à pétrole (fig. 224). L'enfant est couché sur une simple toile métallique, facile à tenir propre. A la partie inférieure de la chambre se trouve une cuvette destinée à maintenir l'air humide. Le chauffage ne se fait pas directement, la lampe sert à maintenir au voisinage de l'ébullition l'eau d'un réservoir A placé au-dessous de la couveuse, la vapeur assujettie à passer par un tube assez long s'y condense et rentre dans le réservoir A qui reste ainsi alimenté. On règle facilement la température en montant ou baissant la mèche de la lampe. L'aération est assurée par deux ouvertures pratiquées dans la chambre.

Un des modèles les plus parfaits semble être la couveuse Lion (fig. 225). Elle est tout entière en tôle galvanisée avec une porte vitrée permettant de surveiller l'enfant. L'air entre par une quarantaine de trous pratiqués à la partie inférieure, il s'échauffe au contact d'un serpentin en cuivre et s'échappe par la partie supérieure. Le chauffage se fait par un thermosiphon R au contact duquel l'eau vient se chauffer pour aller circuler dans le serpentin en cuivre. Ce thermosiphon est muni d'un régulateur de température fonctionnant de la façon suivante. L'air chaud d'une lampe

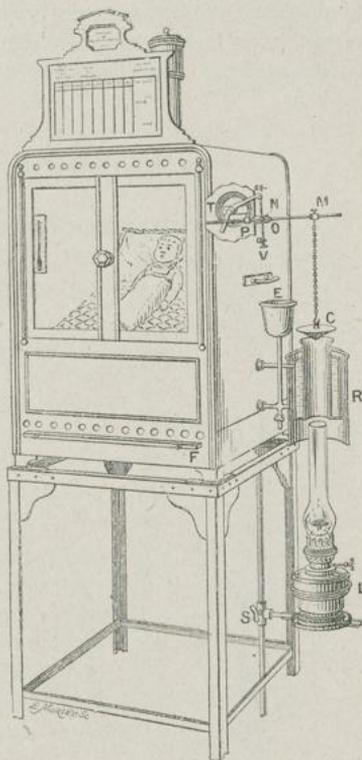


Fig. 225.

traverse un tube vertical passant au milieu de l'eau; si la température est trop haute, le cône C est soulevé, l'air passe rapidement et cède peu de chaleur à l'appareil; si elle baisse, par suite d'un système à dilatation P, le cône C descend, obture la cheminée et le chauffage se fait dans de meilleures conditions. En agissant sur la vis V on s'arrange de façon que l'obturation se fasse pour la température que l'on désire maintenir constante dans la couveuse.

Régulateurs de température.

Les bons régulateurs de température fonctionnent au gaz ou à l'électricité; voici sur quel principe ils sont construits.

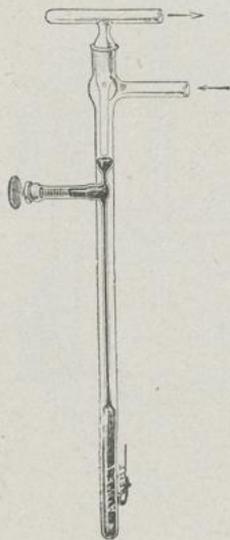


Fig. 226.

Régulateurs à gaz. — Le gaz arrive par un tube d'amenée dans un espace clos et en sort par un deuxième tube qui le conduit aux brûleurs.

Sous l'influence de l'augmentation de température un corps se dilate et obstrue l'orifice d'amenée ou de départ du gaz, par suite les brûleurs baissent. Si, au contraire, la température descend, les orifices se débouchent davantage et les brûleurs débitent plus de gaz. Il s'établit de la sorte un régime dont on règle à volonté le point par divers procédés que nous indiquerons plus loin.

Il est important dans tous les cas qu'une légère fuite permanente évite l'extinction complète du gaz, même si pour une cause accidentelle la température venait à s'élever anormalement.

Régulateurs électriques. — Dans les régulateurs électriques le chauffage est effectué par le courant passant dans des résistances appropriées. Si la température s'élève trop, le courant se rompt en totalité ou en partie; si la température baisse, le circuit se ferme.

Nous allons maintenant décrire les modèles les plus usités.

Régulateur de Chancel. — L'appareil a la forme représentée sur la figure 226; il est basé sur la dilatation du mercure, les flèches indiquent la marche du courant gazeux. Ce régulateur est placé dans l'étuve; au moment où l'on atteint la température à laquelle on devra se fixer, on tourne la vis placée à la gauche de la figure et on amène le mercure à effleurer le tube de sortie du gaz, à ce moment le réglage est fait, car si la température s'élève, l'orifice de sortie se bouche, si elle baisse il se débouche complètement et livre plus facilement passage au gaz.

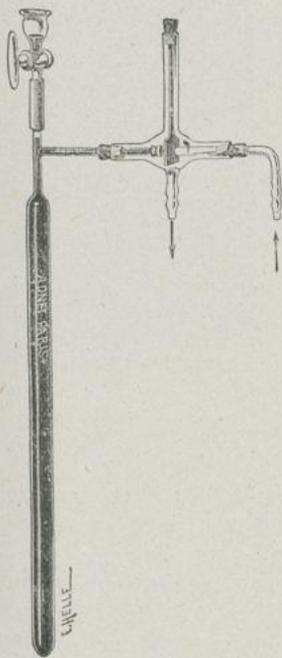


Fig. 227.

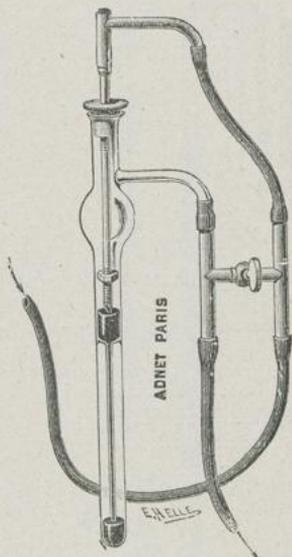


Fig. 228.

Régulateur de Schlösing. — Représenté sur la figure 227. Le tube à mercure porte une branche horizontale coiffée à son extrémité par une membrane en caoutchouc; lorsque la température voulue est atteinte on ferme le robinet et on emprisonne le mercure. Dès lors si la température s'élève, la petite membrane de caoutchouc se gonfle et repousse une lame métallique qui obstrue l'orifice d'entrée du gaz.

Régulateur de Raulin. — Ici le corps dilatable est l'air

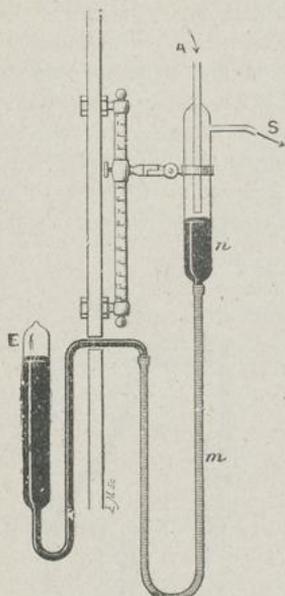


Fig. 229.

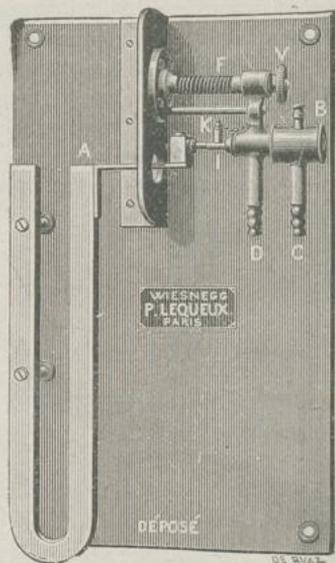


Fig. 230.

(fig. 228) qui refoule le mercure et obstrue ainsi l'arrivée du gaz.

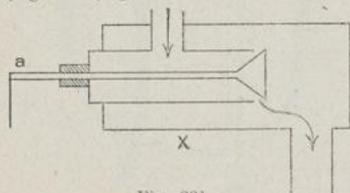


Fig. 231.

Le tube d'arrivée du gaz et le tube de départ peuvent communiquer directement, et il faut avoir soin de ne pas fermer complètement le robinet qui sert à les séparer, pour qu'au cas où une occlusion

complète au niveau du mercure se produirait, les brûleurs ne s'éteignent pas, il faut que dans ce cas il persiste encore une flamme très petite.

Régulateur de Chauveau. — Dans cet appareil figuré en 229, un liquide placé en E exerce sa pression de vapeur sur le mercure. Suivant le liquide choisi, la valeur refoulera le mercure à une température différente, il faut donc faire ce choix pour le point où l'on devra se fixer. On peut d'ailleurs, pour un même liquide,

modifier d'une dizaine de degrés la température de l'étuve en élevant ou abaissant le réservoir par où passe le gaz. La vapeur aura ainsi pour obturer le tube A à vaincre une pression d'autant plus élevée, et par suite la température de fixation sera plus haute.

Régulateur de Roux. — C'est un des plus répandus aujourd'hui (fig. 230). Il se compose essentiellement d'une pièce en fer à cheval allongé A faite de deux métaux inégalement dilatables de sorte que, par suite des variations de température, les deux branches s'écartent ou se rapprochent. L'une des branches, celle de gauche sur la figure, est fixe, l'autre vient buter contre une tige métallique *a* (fig. 231) qui bouche ou débouche suivant le sens de son mouvement un orifice de passage du gaz. A l'aide de la vis V (fig. 230) on approche ou on éloigne plus ou moins de A la pièce figurée à part en X et on fait varier par suite la température à laquelle se fait le réglage.

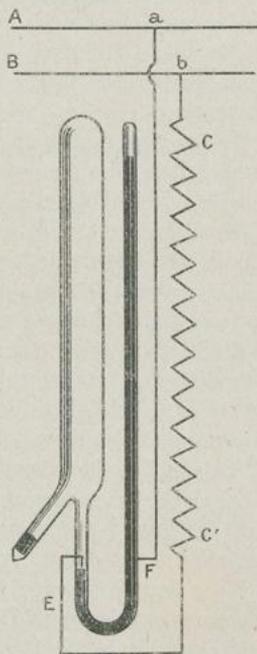


Fig. 232.

Régulateur électrique de Regaud. — Un tube ayant la forme de la figure 232 contient dans sa partie gauche de l'hydrogène raréfié qui se dilatera plus ou moins sous l'influence des variations de température, dans le tube de droite il y a le vide. Un courant électrique passe par la résistance CC' destinée à donner lieu au dégagement de chaleur, et par la colonne de mercure. Si la température s'élève, l'hydrogène se dilate, repousse le mercure et il se fait une rupture de circuit en E, le chauffage cesse et ne reprend que si la température s'abaisse. Pour régler le point où l'on devra se fixer, on fait d'abord passer une plus ou moins grande quantité de mercure dans le diverticule de gauche et on incline l'appareil pour faire varier la pression supportée par l'hydrogène.

III

FUSION ET VAPORISATION

Quand la température d'un corps solide s'élève, il arrive généralement un moment où ce corps fond, il se transforme en liquide. Parfois cette transformation est graduelle, le corps passant par l'état pâteux, devenant de moins en moins visqueux et donnant finalement un véritable liquide. D'autres fois le passage est brusque, on a un corps dur ayant toutes les propriétés caractéristiques du solide et passant directement à l'état de liquide parfaitement fluide. Le type de cette transformation est la fusion de la glace. Dans ce cas il se présente un phénomène très remarquable que l'on peut résumer dans les deux propositions suivantes.

1° Le corps fond à une température toujours la même, et cette température reste constante pendant tout le temps où il reste du liquide et du solide en présence.

Ainsi, faisons fondre de la glace, la fusion commencera aussitôt que la température de la glace atteint 0° et le mélange de glace et d'eau restera à 0° tant qu'il y aura de la glace à fondre. Une fois toute la glace fondue la température peut s'élever.

2° Si on refroidit un liquide il se solidifie toujours à la même température, cette température est la même que celle de la fusion du solide, c'est-à-dire de l'opération inverse, et elle ne change pas tant qu'il y a du solide et du liquide en présence.

Ainsi, si l'on fait congeler de l'eau, la formation de la glace commence à 0° et la température ne s'abaisse pas au-dessous tant qu'il reste de l'eau à congeler. Une fois toute l'eau congelée la température peut descendre.

Il y a lieu de faire remarquer que ces propositions ne sont rigoureusement vraies qu'en l'absence de toute variation de la pression extérieure. En réalité, quand la pression varie, la température de fusion ou de solidification varie aussi, mais ces actions sont très peu accentuées, il faut des variations de pression énormes pour produire des différences appréciables dans la température de fusion; en pratique il n'y a pas lieu d'en tenir compte.

Il peut arriver aussi qu'un solide se transforme directement en vapeur quand on le chauffe, sans passer par l'état liquide, c'est ce

qui se produit pour l'iode, par exemple, mais c'est là une exception.

La plupart des liquides émettent de la vapeur à toute température.

Si la vapeur se trouve en présence du liquide qui l'a émise, on dit qu'elle est saturée. Dans ces conditions, la température restant fixe, si l'on cherche à la comprimer comme un gaz, la pression n'augmente pas, une certaine quantité de vapeur se liquéfie; si on cherche à augmenter son volume, la pression ne diminue pas, une partie du liquide se vaporisant. Donc, dans ces conditions, la tension de la vapeur a une valeur constante dépendant bien entendu de la température. Cette tension de la vapeur saturée croît avec la température, on en trouve la valeur, pour un certain nombre de liquides, dans les tables dressées à cet effet.

Si tout le liquide s'est vaporisé et que l'on continue à augmenter le volume de la vapeur, la pression diminue, la vapeur se conduit alors comme un gaz. Dans ce cas la vapeur tend de plus en plus à suivre les lois de Mariotte et de Gay-Lussac, elle s'en rapproche d'autant plus qu'elle est plus loin de son point de liquéfaction.

Il y a lieu de remarquer que la vapeur d'un liquide se comporte de la même façon dans le vide ou en présence d'un gaz. Ainsi, introduisons de l'eau dans une chambre barométrique à 20°, nous verrons le mercure baisser, indiquant que la vapeur qui s'est formée a une pression de 17 mm. 4 de mercure, à la condition, bien entendu, qu'il reste un petit excès de liquide afin que la vapeur soit saturée. Si, de même, on introduisait à 20° de l'eau dans un certain volume d'air sec, il se formerait de la vapeur d'eau saturée qui augmenterait de 17 mm. 4 la pression de l'air.

Si l'on chauffe fortement un liquide, il arrive un moment où la transformation en vapeur se fait avec dégagement rapide de bulles, au milieu du liquide, ou plutôt sur les parois du vase; on dit qu'il y a ébullition.

L'ébullition d'un liquide se fait à une température constante pour une même pression supportée par ce liquide. Ainsi, sous la pression 760 mm. l'eau bout à 100°; si la pression varie, le point d'ébullition varie; il s'élève quand la pression monte, s'abaisse quand la pression descend. Cette influence est très notable, il faut en tenir compte dans la détermination du point 100 des thermomètres.

Il y a une chose importante à signaler, c'est que l'ébullition se

produit dans les mêmes conditions quelle que soit la façon dont la pression s'exerce à la surface du liquide. Ainsi, dans les conditions ordinaires, c'est l'air atmosphérique qui produit la pression de 760 mm. pour que l'eau bouille à 100°. Si nous plaçons l'eau dans un récipient vide d'air, elle entrera en ébullition à 100° quand la tension de sa vapeur exercera sur les parois du vase et la surface du liquide une pression de 760 mm. de mercure.

IV

HYGROMÉTRIE

L'état hygrométrique de l'air est le rapport qui existe entre la pression de la vapeur d'eau dans cet air et la pression qu'aurait la vapeur, si elle était saturée.

Comme à volumes égaux les poids de gaz sont proportionnels à la pression, on peut dire aussi :

L'état hygrométrique de l'air est le rapport entre le poids de vapeur d'eau qui existe dans un certain volume d'air et le poids qui y existerait si l'air contenait de la vapeur d'eau saturée.

Les procédés employés pour déterminer avec précision l'état hygrométrique de l'air sont décrits dans les traités généraux de physique, dans les applications biologiques on se contente généralement d'appareils à lecture directe, peu précis à la vérité.



Fig. 233.

L'hygromètre de Saussure (fig. 233) est basé sur l'allongement que subit un cheveu dans l'air de plus en plus humide. Ce cheveu, fixé en A, s'enroule sur une petite poulie P et est tendu par un léger poids. La poulie, munie d'une aiguille se déplaçant sur un cadran gradué, tourne sur son axe quand le fil s'allonge ou se raccourcit. Il faut graduer cet appareil par comparaison avec un instrument donnant d'une façon précise le degré hygrométrique de l'air, ou en le plaçant sur une cloche contenant de l'air dont on connaît l'état hygrométrique par un artifice quelconque ; il est peu précis.

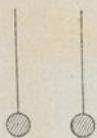


Fig. 234.

Le psychromètre vaut mieux, il consiste (fig. 234) en deux

thermomètres identiques, l'un est recouvert d'une mèche de coton sans cesse mouillée par imbibition dans un réservoir latéral contenant de l'eau. L'eau s'évaporant à la surface du thermomètre ainsi mouillé, d'autant plus rapidement que l'air est plus sec, le thermomètre mouillé indique une température plus basse que le thermomètre sec, et l'écart est d'autant plus grand que l'air est moins saturé. On lit les deux thermomètres, et l'on applique une formule donnant l'état hygrométrique de l'air.

$$e = 1 - \frac{A}{F} (t - t').$$

Dans cette formule, A est une constante valant très sensiblement 0,53, F la tension maxima de vapeur, à la température de l'air, par suite à t , exprimée en millimètres, t' est la température indiquée par le thermomètre mouillé.

L'examen le plus superficiel suffit à nous montrer que l'état hygrométrique de l'air a une influence considérable sur les phénomènes de la vie, cette action n'a pas encore été assez étudiée,

Il y a pourtant un fait important qu'il faut relater. Certains animaux placés dans une atmosphère à faible état hygrométrique se déshydratent sans mourir pour cela, ils prennent un état de vie latente. L'exemple le plus connu de ce phénomène se trouve chez les tardigrades qui, desséchés, peuvent rester fort longtemps à l'état de mort apparente, mais il suffit de les mouiller pour les voir revivre. Il en est de même de divers autres animaux inférieurs.

V

TEMPÉRATURE DES ANIMAUX

Par suite des combustions qui se passent dans les tissus des animaux, leur température se maintient plus ou moins au-dessus de celle de l'air ambiant. Il y a toutefois une distinction importante à faire. Pour certains animaux l'écart de température entre l'intérieur de leur corps et le milieu dans lequel ils sont plongés est très faible, les variations de l'air ou de l'eau se font rapidement sentir, le corps de l'animal tend à se mettre en équilibre de température avec le milieu ambiant, tout en se maintenant en général légèrement au-dessus. Ces animaux ont, pendant long-

temps, été désignés sous le nom d'animaux à sang froid, expression incorrecte et qu'il vaut mieux remplacer par celle d'animaux à température variable ou hétéothermes. Ce groupe comprend la grande majorité des êtres vivants.

D'autres animaux, appelés improprement « à sang chaud », se maintiennent à une température très sensiblement constante, d'où leur nom d'homéothermes. S'ils se trouvent dans une atmosphère trop froide, et s'ils perdent par suite plus de chaleur, ils en fabriquent aussi davantage, leurs combustions augmentant. Si, au contraire, le milieu dans lequel ils sont plongés est trop chaud, ils peuvent, par un mécanisme que nous indiquerons plus loin augmenter leurs pertes de chaleur, et, par suite, lutter contre une élévation de température qui leur serait nuisible. Ce groupe comprend la plupart des mammifères et des oiseaux adultes.

Nous pouvons avec avantage adopter la division proposée par M. Richet et qui se résume dans le tableau suivant :

**Animaux qui ont une température sensiblement invariable
(Homéothermes).**

Mammifères et Oiseaux	}	à 42° environ.	Oiseaux.
adultes, à part les		à 39°	— . Mammifères.
Hibernants		à 37°	— . Hommes.

Animaux qui ont une température variable (Hétéothermes).

α. Qui meurent quand leur température descend au-dessous de 20°.	}	Mammifères et Oiseaux nouveau-nés.
β. Qui s'engourdissent quand leur température descend au-dessous de 20°.		Hibernants.
γ. Qui sont encore actifs quand leur température descend au-dessous de 20°.		Reptiles, Batraciens, Poissons, Mollusques, Insectes, etc.

1° Homéothermes. — L'étude de la température des animaux se fait au thermomètre. Il devra être muni d'un index à maximum afin d'indiquer certainement la température la plus élevée qui ait été atteinte, les sources d'erreur donnent en effet presque toujours une température trop basse. Il serait superflu de dire que cet instrument doit être parfaitement gradué et vérifié de temps en temps, si la science n'était pas encombrée de documents faux, tenant, au moins en partie, à un appareil de mesure imparfait. On ne saurait trop répéter qu'il est indispensable, même lorsque l'on

est certain d'avoir un bon thermomètre, de vérifier de temps en temps qu'il n'y a pas de déplacement du zéro.

Même dans ces conditions la détermination de la température d'un animal n'est pas chose aussi simple qu'il pourrait sembler au premier abord.

Que l'on prenne en effet un chien, un lapin, un homme ou tout autre mammifère, on pourra trouver des résultats très différents suivant la manière dont on aura opéré.

La température n'est pas la même en tous les points du corps; elle n'est pas la même dans la bouche, sous l'aisselle et dans le rectum. En général c'est dans le rectum que l'on introduit le thermomètre, mais diverses causes, en particulier la présence de matières fécales qui ne se mettent pas rapidement en équilibre de température avec les tissus voisins, peuvent induire l'observateur en erreur. Si, au moment de l'expérience, pour une cause quelconque la température interne du corps vient à se modifier, ces variations pourront ne pas être indiquées par le thermomètre plongé au milieu des matières fécales. Il est aisé de mettre ce fait en évidence en plaçant sur un animal deux thermomètres, l'un dans le foie, l'autre dans le rectum et provoquant par un procédé quelconque des variations de températures. Ces variations seront beaucoup mieux indiquées par le thermomètre du foie que par celui du rectum, qui les suit plus lentement et n'en indique pas toute l'amplitude.

Il faut toujours, quand on fait des études sur la température, opérer de la même façon et ne pas comparer des températures relevées par des procédés différents. L'introduction du thermomètre dans le rectum est dans la plupart des cas le seul procédé praticable, il faut l'introduire assez loin pour que le réservoir ne soit pas à proximité de la marge de l'anus, où la température est toujours plus basse, et attendre que la colonne cesse de monter, ce qui demande parfois un temps assez long. Certains auteurs recommandent de chauffer au préalable le thermomètre, ou tout au moins de ne l'introduire que progressivement pour ne pas refroidir l'endroit où sera prise la température définitive.

Certains animaux, dont le type est le lapin, donnent généralement une température trop basse; en effet, aussitôt qu'ils sont attachés ils restent immobiles, et l'on voit la température baisser très rapidement; deux ou trois minutes suffisent pour cela, et l'écart peut facilement atteindre 1° au bout d'une dizaine de minutes. Au con-

traire d'autres animaux comme le chien ne cessent de se débattre et leur température s'élève; nous en verrons les causes plus loin.

Toutes ces raisons sont suffisantes pour expliquer les écarts entre les résultats des divers observateurs; il faut faire une critique sévère des expériences avant de les considérer comme valables. Ce serait une grande erreur, pour avoir la température d'une espèce animale, que de prendre la moyenne des résultats épars dans la science, il vaut beaucoup mieux adopter ceux d'un bon expérimentateur.

C'est ainsi que nous considérons par exemple comme température normale du chien $39^{\circ},28$. Cela ne veut pas dire que tout chien normal aura $39^{\circ},28$ de température rectale; même en supposant la mesure bien faite, cette température peut en effet varier avec beaucoup de circonstances.

Il y a des chiens à poil ras et des chiens à poil long, ces derniers, mieux protégés contre les pertes de chaleur, ont en général une température un peu plus élevée que les premiers; cet écart peut atteindre près de 1° . Cette influence du pelage est très importante, un lapin rasé lutte difficilement contre l'abaissement de température et au bout de quelques jours on peut voir cette température tomber jusqu'à provoquer la mort de l'animal. L'état d'inanition abaisse aussi la température des animaux.

Lorsque la température extérieure s'abaisse, la quantité de chaleur rayonnée par l'animal augmentant, il faut, pour que sa température reste constante, que les combustions de l'organisme s'accroissent; en même temps il y a une vaso-constriction des vaisseaux cutanés restreignant les pertes. Les homéothermes peuvent de cette façon lutter contre de grands froids. On les voit conserver sensiblement la même température dans les contrées polaires où il y a parfois un écart de 80° entre la température du corps et celle de l'atmosphère. Cependant, dans ces conditions, il y a de légères variations, la température du milieu ambiant n'est pas tout à fait sans influence sur celle du corps des homéothermes.

Lorsque la température du milieu vient à s'élever, les combustions de l'organisme se ralentissent et il se produit une vaso-dilatation des vaisseaux cutanés. De plus les animaux ont encore un autre moyen à leur disposition pour lutter contre l'échauffement du corps, ils vaporisent une plus ou moins grande quantité d'eau. Nous savons que chaque kilogramme d'eau nécessite pour passer à l'état de vapeur une absorption de plus de 500 calories. Plus

cette évaporation sera importante, et plus elle absorbera de chaleur, permettant ainsi aux tissus de ne pas s'échauffer. Ce phénomène se produira d'autant plus facilement que l'air ambiant sera plus sec. Dans une atmosphère saturée il ne peut avoir lieu, c'est pourquoi la température de l'air s'élevant, le séjour dans l'air est d'autant plus pénible qu'il est plus voisin du point de saturation.

Certains animaux ne transpirent pas, le chien par exemple. Quand sa température tend à s'élever, comme lors d'une course ou d'une simple exposition au soleil, il vaporise de l'eau par sa surface pulmonaire. On voit alors sa fréquence respiratoire



Fig. 235.

F. BOUQUAY'S. del.

s'accroître beaucoup et donner lieu à ce que Richet a appelé la polypnée thermique.

Bien entendu la température de l'homme a été étudiée avec beaucoup plus de détails que celle des animaux, aussi a-t-elle révélé bien des particularités intéressantes.

La température de l'homme se prend d'habitude sous l'aisselle ou dans le rectum. On peut considérer, en prenant la moyenne des bonnes observations que la première est d'environ 37° , la seconde étant de $37^{\circ},5$. Ces chiffres n'indiquent qu'une valeur moyenne; dans la journée la température subit sans cesse des oscillations dont la figure 235 donne une bonne idée. En général il y a un minimum vers 4 heures du matin et un maximum vers 4 heures du soir. L'amplitude de l'oscillation est d'environ 1° et peut atteindre 2° , le sujet étant en bonne santé.

Le jeûne ou le repos ne suppriment pas ces variations, mais chez les personnes qui d'une façon habituelle travaillent la nuit et se reposent dans la journée, comme les ouvriers boulangers, par

exemple, c'est l'inverse qui se présente, le maximum se produit vers le matin et le minimum vers le soir.

Au moment de la naissance, l'enfant a une température supérieure à celle de la mère, cette température se met à baisser rapidement, puis se relève pour prendre, dans le cours ou au bout de la première journée, une valeur un peu supérieure à celle de l'adulte. A partir de l'âge adulte la température ne varie plus normalement, même dans l'âge avancé. Cependant, d'après certains auteurs, il y aurait une très légère chute dans la vieillesse; ce fait a été contredit.

Voici un tableau qui donne à peu près les variations de la température aux divers âges de la vie.

A la naissance	38°.8
Une demi-heure après	36°.6
Dans les 10 jours suivants	37°.6
Enfance et adolescence	37,6 à 37°
Age adulte	37°
Vieillesse	37°

Ni le sexe ni la race ne semblent avoir d'influence. Si les mesures effectuées sur les indigènes des pays chauds donnent une

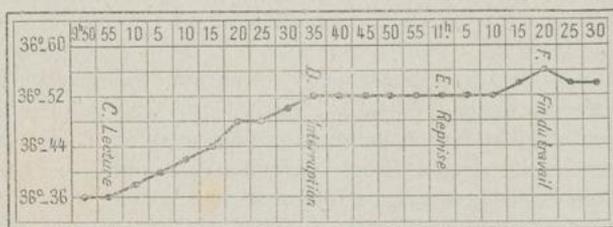


Fig. 236.

valeur un peu supérieure à celle qui est admise pour le blanc, cela tient aux conditions de température dans lesquelles ces observations ont été faites, car des déterminations effectuées simultanément au même endroit sur des blancs, des nègres, des Indous, etc., n'ont pas montré d'écart imputable à la race. Il est au contraire bien établi que, suivant la température du milieu, celle du corps de l'homme peut varier d'environ 1°.

L'exercice physique peut provoquer une élévation de température de 0°,5 à 1° et même davantage.

Le travail intellectuel n'est pas sans influence comme le montre la courbe de la figure 236.

Au point de vue pratique on peut dire que normalement, en dehors d'une cause spéciale, on peut adopter pour la température du corps humain les valeurs suivantes :

Sous l'aisselle. . .	36°,2 nuit	37°,5 à la fin du jour.
Dans le rectum . .	36°,6 nuit	37°,8 —

Dans les cas de maladie la température peut s'élever notablement; on a cité des faits où elle aurait atteint jusqu'à 50°, mais il y a là certainement une erreur. La limite de 42° est déjà extrêmement grave et l'on ne connaît que deux cas paraissant authentiques où l'on ait observé 44° sans que la mort en ait été la conséquence.

La limite inférieure est beaucoup plus étendue, on a pu voir chez des ivrognes s'endormant au froid la température baisser jusqu'à 24°, l'individu ayant été rappelé à la vie. Ceci n'est pas invraisemblable, car, expérimentalement dans le laboratoire, on peut refroidir un lapin à 18° sans que la mort suive fatalement. Le chien est un peu plus sensible, il ne supporte pas moins de 20° à 21°.

On voit que l'abaissement de température est par lui-même beaucoup moins grave que l'élévation de température.

2° Hétérothermes. Mammifères et oiseaux nouveau-nés.

— Les mammifères et oiseaux nouveau-nés ne sont pas encore organisés pour se défendre contre les variations de température extérieure. Aussitôt séparés de leur mère, ils ont une grande tendance à se refroidir, mais comme, au point de vue de leur santé, ils sont aussi sensibles à ces changements de température que les adultes, lorsque leur température baisse au-dessous de 20° ils meurent. Cet effet est d'autant plus rapide que les animaux sont plus jeunes et se fait surtout sentir chez ceux d'entre eux qui naissent avant terme. C'est pour ces raisons qu'il faut protéger les nouveau-nés contre le refroidissement au moyen de couvertures et même de boules d'eau chaude. Quant à ceux qui viennent avant terme il faut les placer dans une couveuse.

Hibernants. — Les hibernants, dont le type le plus connu est la marmotte, se comportent habituellement comme les mammi-

fères, sauf que leur température normale est plus basse (29° marmotte).

Quand la température extérieure tombe aux environs de 8° ils entrent en hibernation, leur température propre s'abaisse et n'excède celle de l'extérieur que de quelques degrés (1°-6°). Toutefois, si cet abaissement est excessif, quand l'animal n'a plus que 6 environ, il y a danger pour sa vie. Il est protégé contre cet accident par ce fait remarquable qu'il se réveille alors, et fait remonter sa température en s'agitant.

Il y a de faux hibernants, l'ours par exemple, qui dorment l'hiver mais dont la température ne s'abaisse pas comme celle de la marmotte.

Reptiles, batraciens, poissons, etc. — Chez les autres hétérothermes, la température peut varier dans les limites très étendues, non seulement sans que la mort s'ensuive, mais même sans qu'ils ne continuent à vivre normalement. Ils suivent les fluctuations de la température extérieure. Comme par suite des combustions de leur organisme ils produisent un peu de chaleur, lorsqu'ils sont dans un milieu constant leur température est légèrement supérieure à celle de ce milieu. Il semble que cet écart de température soit en relation directe avec le degré de développement de leur système nerveux; il est le plus accentué pour les reptiles, chez lesquels on le voit dans certaines circonstances prendre une très grande importance.

Ceci ressort du tableau suivant, qui n'est certainement pas rigoureux, mais donne une idée de l'ensemble du phénomène.

Excès de la température du corps sur le milieu ambiant.

Reptiles	3°,13
Batraciens	1°,51
Poissons	1°,20
Articulés et Annélides	0°,86
Mollusques, Crustacés	0°,35

Lorsque ces animaux se trouvent exposés à une température variable, ils suivent ces variations avec un certain retard, il arrive donc qu'ils soient tantôt au-dessus, tantôt au-dessous, suivant le sens de la variation. C'est un fait dont il est important de tenir compte dans les mesures.

*Limites de température extrêmes compatibles
avec la vie.*

Ces limites sont très étendues. On ne peut tuer par le froid le plus rigoureux certains spores qui, dans les températures élevées, nécessitent plus de 100° pour être détruites. Pour des organismes plus élevés, P. Broca a vu des tardigrades desséchés résister à 98°; on trouve des conferves dans des sources au-dessus de 60°. Pour les vertébrés dont nous connaissons les limites supérieures de température, on a pu congeler des poissons et des batraciens, les porter même à — 45° et les voir revivre si l'on prend la précaution de les réchauffer lentement.

VI

QUANTITÉS DE CHALEUR

Quand 1 kg. d'eau passe de 0° à 1°, on dit qu'il absorbe une calorie. Pour les besoins de la pratique on admet qu'en passant de 0° à n° , 1 kg. d'eau absorbe n calories, et d'une façon générale, qu'en s'élevant de 1°, 1 kg. d'eau absorbe une calorie, quelle que soit sa température initiale. La calorie est l'unité qui sert à mesurer les quantités de chaleur; on emploie aussi la petite calorie, mille fois plus petite que la grande calorie, c'est-à-dire correspondant à la chaleur nécessaire pour élever de 1° 1 g. d'eau.

Si au lieu de chauffer de l'eau, on chauffe un autre corps, il faudra dépenser moins de chaleur pour le même poids et la même variation de température. Par exemple, si nous échauffons de 1° 1 kg. de cuivre, nous ne dépenserons que 0 cal. 095 environ. On dit que 0,095 est la chaleur spécifique du cuivre.

La chaleur spécifique des tissus du corps de l'homme et des animaux est mal connue, elle est voisine de 0,8 ou 0,9 c'est-à-dire un peu inférieure à celle de l'eau qui est 1 par définition.

Quand un corps change d'état, c'est-à-dire passe de l'état solide à l'état liquide, ou de l'état liquide à l'état gazeux, il y a absorption ou dégagement de chaleur suivant le sens du changement, sans que la température varie.

1 kg. de glace à 0° passant à l'état d'eau à 0° absorbe 79,25 calo-

ries. Inversement il dégage le même nombre de calories en passant de l'état d'eau à l'état de glace.

1 kg. d'eau à 100° passant à l'état de vapeur d'eau à 100° absorbe 537 calories environ, et inversement la vapeur en se condensant dégage 537 calories.

La connaissance des quantités de chaleur est extrêmement importante pour un grand nombre de problèmes biologiques, mais outre la question de quantité de chaleur il y a une autre considération extrêmement importante, c'est celle de la température de la chaleur. Cette notion de la température à laquelle se trouve une certaine quantité de chaleur a une importance capitale comme nous le verrons plus loin. Une même quantité de chaleur n'a pas les mêmes propriétés suivant la température à laquelle elle se trouve. Un exemple nous suffira pour le faire comprendre. Le plomb fond à 326° C. ; si nous avons à notre disposition 1 000 calories à 1 000° C. nous pourrions fondre une certaine quantité de plomb, mais une quantité même infinie de calories ne nous permettrait pas d'en fondre une parcelle, si ces calories étaient au-dessous de 326°.

Si nous voulons faire une comparaison, prenons de l'air à la pression de 10 atm. ; nous pourrions, avec cet air que nous laissons se détendre, repousser un piston et produire du travail. Supposons que, sans en perdre, nous ayons laissé l'air se détendre à 1 atm., nous en aurons toujours la même quantité mais nous ne pourrions plus l'utiliser comme dans le cas précédent. Il en est de même de la chaleur, nous verrons qu'une quantité déterminée de chaleur ne nous permet pas de produire le même travail quelle que soit la température à laquelle elle se trouve.

VII

PROPAGATION DE LA CHALEUR

Lorsque deux régions d'un corps solide sont à des températures différentes, la chaleur se propage de proche en proche des points les plus chauds vers les points les plus froids. L'importance de cette propagation dépend de divers facteurs, entre autres de la différence de température et de ce que l'on nomme la conductibi-

lité du corps. On ne peut formuler de règle simple que dans un cas particulier. Considérons une lame à faces parallèles, dont les faces sont respectivement aux températures t et t' , la quantité de chaleur qui passe, par seconde, d'une face à l'autre, à travers l'unité de surface, est soumise aux lois suivantes :

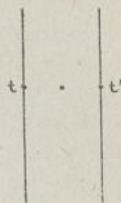


Fig. 237.

Elle est proportionnelle à la différence des températures t et t' .

Elle est inversement proportionnelle à l'épaisseur de la lame.

Elle dépend d'un coefficient déterminé pour chaque nature de substance et appelé conductibilité spécifique de cette substance.

Cette conductibilité est très grande pour certains métaux comme l'argent ou le cuivre, elle est très faible pour les corps dits isolants, le verre, l'ébonite, la paraffine, etc.

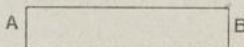


Fig. 238.

Lorsque, au lieu de prendre une lame à faces parallèles, on porte à deux températures différentes les extrémités A et B d'une barre, la loi précédente ne subsiste pas dans sa simplicité. La chaleur se propage encore du côté chaud au côté froid, d'autant plus rapidement que l'écart de température est plus grand, que la longueur AB est moindre et que la conductibilité est plus élevée; mais la loi ne conserve pas la forme simple de la proportionnalité, c'est-à-dire par exemple, si la longueur de la barre double il ne passe pas moitié moins de chaleur de A en B. Cela tient à la perte qui se fait en route par la surface latérale; plus cette surface latérale deviendra importante par rapport à la section de la barre, plus on s'écartera de la loi simple énoncée pour la lame à faces parallèles, qu'il faut même supposer sans bords, c'est-à-dire indéfinie, pour que la loi soit rigoureusement vraie.

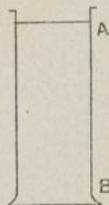


Fig. 239

La propagation de la chaleur de proche en proche en passant des points les plus chauds aux points les plus froids se complique d'un autre phénomène dans les liquides ou les gaz.

Dans ces corps les molécules viennent s'échauffer dans les parties chaudes, puis elles sont entraînées par des courants vers les parties froides et transportent ainsi avec elles une certaine quantité de chaleur. Ce genre de propagation est dit par convection.

On conçoit qu'il puisse prendre une importance prépondérante dans les fluides possédant une mauvaise conductibilité.

Prenons par exemple une éprouvette contenant de l'huile (fig. 239). Si nous venons à chauffer la partie supérieure A, la chaleur se transmet peu à peu de A vers B par simple conductibilité. Mais si l'on chauffe en B, le liquide, en se dilatant, diminue de densité en B, il tend à monter vers les parties supérieures, il se produit des courants de convection et un transport plus rapide de la chaleur. Il en est de même dans tous les fluides, les parties chaudes tendent à monter au milieu des parties froides. C'est grâce à ce phénomène que se produit le tirage des cheminées, l'ascension des montgolfières, le mouvement de l'eau ou de l'air dans les calorifères.



Fig. 240.

Considérons (fig. 240) de l'eau enfermée dans un espace clos composé d'un premier récipient C dont partent deux tubes l'un B venant de la partie supérieure et allant à un appareil nommé radiateur, l'autre A partant du radiateur et retournant à la partie inférieure de C.

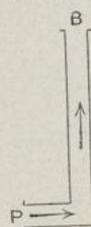


Fig. 241.

Si l'on chauffe l'eau de C, les portions chauffées montent à la partie supérieure de C, s'engagent en B pour aller au radiateur où elles se refroidissent en cédant une partie de leur chaleur à ce radiateur. A mesure que l'eau chaude arrive par B au radiateur, l'eau plus froide retourne par A à la chaudière, il y a ainsi une circulation et un transport continu de la chaleur de C en R. Le radiateur est une pièce métallique ayant un très grand développement de surface, de façon à céder facilement sa chaleur au milieu extérieur. D est une capacité contenant de l'air; au moment du chauffage, l'eau peut ainsi se dilater sans exercer sur les parois de la conduite une pression excessive qui pourrait la détériorer.

Dans les calorifères à air chaud, l'air échauffé monte dans une conduite (fig. 241) et se répand dans les appartements par une bouche B, ce qui a l'inconvénient d'y lancer beaucoup de poussière. La prise d'air froid se fait à la partie inférieure par P, et le foyer est disposé de façon à chauffer la région inférieure de la canalisation que l'air doit traverser.

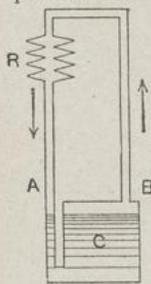


Fig. 242.

On fait aussi des calorifères à vapeur d'eau. Prenons le schéma de la figure 242 et supposons que la chaudière ne contienne de l'eau que jusqu'à un certain niveau, le vide étant fait dans le reste de l'appareil. Si l'on chauffe en C l'eau s'y vaporisera, chaque kilogramme de vapeur ayant absorbé 537 calories. Cette vapeur montera au radiateur, s'y condensera en restituant les 537 calories et l'eau de condensation redescendra à la chaudière par A. C'est là un excellent moyen de transport de la chaleur; s'il se produit une fuite dans les conduites, on a une perte de vapeur mais on ne risque pas l'inondation causée parfois par le calorifère à eau.

Propagation de la chaleur par rayonnement. — La chaleur peut aussi passer d'un corps chaud à un corps froid sans l'intermédiaire d'un corps matériel. C'est ainsi que la chaleur nous arrive du soleil à travers le vide interplanétaire. On peut mettre ce fait en évidence par une expérience très simple. Un thermomètre est soudé dans un ballon, de façon que son réservoir en occupe le centre; on a fait le vide dans ce ballon.

Si l'on vient maintenant à placer un corps chaud A dans le voisinage du ballon, aussitôt on voit le thermomètre monter, sans que l'on puisse incriminer la conductibilité par les parois du ballon et la tige du thermomètre, laquelle n'aurait pas eu le temps d'agir. Ce rayonnement joue un très grand rôle dans les phénomènes naturels, non seulement c'est de cette façon que nous arrive la chaleur solaire, source de toute vie sur la terre, mais c'est en grande partie par ce mécanisme que la chaleur se transmet d'un corps à un autre avec lequel il n'est pas en contact direct. La quantité de chaleur qui passe par rayonnement d'un corps A à un autre corps B plus froid est déterminée par la formule $Q = M(T - t)$, connue sous le nom de formule de Newton; T et t sont les températures des deux corps, la quantité de chaleur rayonnée de l'un à l'autre est proportionnelle à leur différence de température et à un coefficient M dépendant des conditions de l'expérience, c'est-à-dire de la nature des corps, de leur surface, des milieux interposés, etc.

Bien entendu, toutes choses égales d'ailleurs, la quantité de chaleur rayonnée par un corps croît proportionnellement à sa

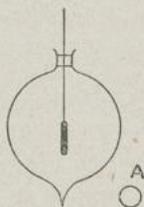


Fig. 243.

surface, mais l'état même de cette surface a aussi une importance considérable. En général les métaux et surtout les métaux polis rayonnent peu, ils ont, comme on dit, un faible pouvoir émissif de la chaleur. De même ils ont aussi un faible pouvoir absorbant, la chaleur passe difficilement à travers leur surface, soit qu'elle cherche à entrer dans le corps soit à en sortir. Le pouvoir émissif des corps et le pouvoir absorbant marchent parallèlement. Les surfaces mates rayonnent beaucoup. Prenons par exemple un vase en métal poli et versons-y de l'eau chaude dans laquelle plongera un thermomètre, nous verrons ce thermomètre baisser lentement. Mais cette baisse s'accéléra beaucoup si nous recouvrons la surface du vase de noir de fumée, c'est le corps qui a le plus fort pouvoir émissif et aussi le plus fort pouvoir absorbant.

La chaleur rayonnante ne traverse pas tous les corps avec une égale facilité. Si nous considérons deux corps A et B à température différente, il passera des quantités de chaleur différentes de l'un à l'autre suivant le milieu interposé, c'est-à-dire que le coefficient M de la formule de Newton dépend de la nature de ce milieu interposé. C'est à travers le vide que la chaleur passe le plus facilement en rayonnant, tous les corps matériels traversés en absorbent une plus ou moins grande partie. Pour l'air pur et sec cette absorption est faible, mais elle s'élève lorsque l'état hygrométrique augmente. Les nuages s'opposent dans une mesure assez grande au rayonnement; c'est pourquoi, dans les nuits claires, les corps placés à la surface de la terre se refroidissent rapidement en rayonnant vers l'espace. Cette perte de chaleur est au contraire très réduite quand le ciel est couvert.

Il y a d'ailleurs une distinction à faire suivant la température du corps émettant la chaleur. Lorsqu'il est très chaud, lumineux, les radiations calorifiques traversent assez aisément certaines substances comme le verre qui sont presque opaques pour la chaleur émanée d'un corps à température plus basse, c'est-à-dire pour les radiations sombres. Il se passe là un phénomène analogue à celui que l'on rencontre dans la transparence des corps pour les radiations lumineuses. Tel corps laissera passer la lumière rouge, tel autre la lumière verte, un autre encore la lumière bleue, etc. Il y a de même des corps transparents pour les radiations calorifiques dites infra-rouges, que nous étudierons à propos du spectre, d'autres pour des radiations lumineuses seulement. Ainsi une solution d'alun est aussi transparente que le verre blanc pour les

radiations lumineuses, tandis qu'elle est très opaque pour les radiations calorifiques infra-rouges. Inversement une solution d'iode dans le sulfure de carbone est très transparente pour les radiations infra-rouges et opaque pour les radiations lumineuses.

Résumé de la propagation de la chaleur. — En général un corps ne perd pas ou ne gagne pas de la chaleur exclusivement par conductibilité, par convection ou par rayonnement; le plus souvent ces trois causes agissent simultanément. Plaçons un vase contenant de l'eau chaude sur une table, comment ce vase se refroidira-t-il?

1° Par conductibilité, la chaleur de l'eau passe à travers les parois du vase et se propage de la même façon au support.

2° La surface externe du vase rayonne de la chaleur vers tous les corps qui l'entourent.

3° L'air s'échauffe au contact des parois du vase et emporte de la chaleur par convection.

4° Ajoutons enfin, puisqu'il y a de l'eau, que cette eau s'évapore sans cesse, emportant 537 petites calories par gramme d'eau évaporée, c'est là une source de refroidissement importante et même dans bien des cas prépondérante.

Conclusions pratiques. — Deux cas extrêmes peuvent se présenter :

a. On veut empêcher un corps de varier de température.

Il faut réduire les quatre sources de perte que nous venons de signaler.

1° Éviter l'évaporation; en particulier il ne faut pas que la surface du corps soit humide.

2° L'envelopper d'un corps mauvais conducteur pour empêcher la chaleur d'arriver rapidement au contact de l'air.

3° Autant que possible s'arranger de façon que sa surface ait un faible pouvoir émissif.

4° Éloigner les corps froids des environs ayant un grand pouvoir absorbant; si on ne peut les éloigner, les recouvrir d'une surface à faible pouvoir absorbant.

Bien entendu les mêmes règles s'appliquent aux corps que l'on veut empêcher de se réchauffer, d'une façon générale à tous les corps que l'on veut préserver des échanges de chaleur. C'est pour cela que l'on enveloppe de couvertures les corps que l'on veut conserver chauds, aussi bien que la glace que l'on désire préserver

de la fusion. C'est pour cela encore que l'on fait en métal bien poli les calorimètres qui ne doivent pas, dans la limite du possible, échanger de chaleur avec le milieu ambiant.

Le type de l'appareil se trouvant à l'abri des échanges de chaleur est le vase imaginé par d'Arsonval et destiné à la conservation de l'air liquide, qui ne reste dans cet état qu'à la condition de ne pas être réchauffé par l'atmosphère ambiante.

C'est un ballon en verre A, argenté à la surface pour avoir un faible pouvoir émissif. Ce ballon est soudé dans un autre ballon plus grand, argenté à sa surface externe de façon à former miroir vers l'intérieur et avoir vers cet intérieur un faible pouvoir absorbant.

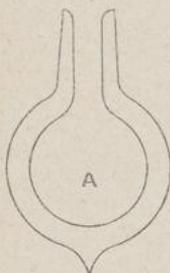


Fig. 244.

Entre les deux ballons on fait le vide, il en résulte que la convection et la conductibilité sont supprimées entre les deux enveloppes.

Dans un appareil de ce genre il n'y a pour ainsi dire pas d'échange de chaleur entre l'intérieur et l'extérieur, l'air s'y maintient liquide remarquablement longtemps.

b. On veut favoriser le refroidissement d'un corps.

1° On mouillera le corps extérieurement, si cela est possible, de façon à provoquer une évaporation et par suite une absorption de chaleur.

2° On pourra le recouvrir de noir de fumée, corps à pouvoir émissif très grand.

3° Dans certains cas on le plongera dans l'eau froide qui emportera beaucoup de chaleur par conductibilité et par convection. L'eau ayant une grande chaleur spécifique absorbera beaucoup de chaleur pour s'échauffer au contact du corps. Le mercure qui, à volume égal, a une chaleur spécifique supérieure à celle de l'eau et une plus grande conductibilité, lui est supérieur dans certains cas où un refroidissement très rapide est nécessaire, par exemple dans la trempe de certains outils.

4° Quand on ne pourra faire autrement on agitera l'air au voisinage du corps pour accélérer la déperdition par convection.

Ces quelques principes suffiront pour trouver, dans chaque circonstance, comment on peut soit préserver un corps des changements de température, soit favoriser ces changements; avec un peu d'ingéniosité on imaginera facilement dans chaque cas particu-

lier comment il faut s'y prendre pour arriver à une solution satisfaisante.

VIII

TRANSFORMATION DE TRAVAIL MÉCANIQUE
EN CHALEUR ET CONSERVATION DE L'ÉNERGIE

Considérons un poids tombant d'une certaine hauteur, cette chute se fait par l'effet de l'attraction terrestre qui développe une force déterminée. Le corps parcourt un certain chemin, qui, multiplié par la force, c'est-à-dire par le poids du corps, donne l'expression du travail dépensé. Nous savons que ce travail n'est pas perdu, qu'il est emmagasiné sous forme de force vive dans le poids en mouvement, et que par certains artifices nous pouvons le faire reparaître et en disposer. Supposons que le corps vienne dans sa chute heurter le sol et s'arrête ainsi; il n'y a plus de force vive, le travail dépensé est perdu, a-t-il donc été détruit sans profit aucun? L'expérience prouve qu'au moment du choc le corps s'est échauffé, il a apparu un certain nombre de calories. Ce phénomène est absolument général, sa démonstration résulte de nombreuses expériences. Chaque fois que nous voyons disparaître du travail mécanique, soit par choc, soit par frottement, il apparaît de la chaleur. Il y a entre cette chaleur qui apparaît et le travail mécanique disparu un rapport constant : 425 kilogrammètres donnent une calorie. Cela revient à dire par exemple que 1 kg. tombant de 425 m. et brusquement arrêté dans sa course produit une calorie. De même si un corps est trainé sur le sol et qu'il faille une traction de 1 kg. pour le déplacer, au bout de 425 m. le frottement aura dégagé une calorie.

Mais inversement si une machine à vapeur produit du travail, si, par exemple, elle soulève un poids à l'aide d'un treuil, on peut constater, par des mesures délicates, que pour chaque production de 425 kilogrammètres il a disparu une calorie.

Ces transformations inverses peuvent se mettre en évidence par le dispositif suivant. Considérons un corps de pompe étanche renfermant de l'air et dans lequel joue un piston (fig. 245). Si nous comprimons l'air en déposant un poids croissant sur le piston, il y a dépense de travail par la descente de poids, mais l'air du piston s'échauffe et des mesures feraient voir qu'il apparaît une calorie

pour 425 kilogrammètres dépensés par la descente des poids. Déchargeons maintenant peu à peu le piston, il remontera, à chaque décharge partielle il soulèvera un peu les poids restants, il y aura production de travail et l'air du piston, dans sa détente, se refroidira dans le même rapport que lors de l'opération inverse.

On voit donc que si le travail mécanique produit de la chaleur en disparaissant, inversement la chaleur produit le travail mécanique. On dit que l'énergie mécanique se transforme en énergie calorifique et réciproquement. Il n'y a pas de perte puisque 425 kilogrammètres produisent 1 calorie qui, elle, reproduit les 425 kilogrammètres. C'est ce que l'on appelle le principe de l'équivalence du travail mécanique et de la chaleur.

La transformation de l'énergie peut être beaucoup plus complexe qu'elle ne l'est dans les exemples précédents. Prenons une chute d'eau, le poids de l'eau tombant d'une certaine hauteur donne lieu à une production de travail s'évaluant en kilogrammètres. Utilisons cette chute pour faire tourner une turbine actionnant une machine dynamo-électrique. Le courant produit par cette machine pourra servir à chauffer des conducteurs, ou par exemple à décomposer de l'eau. L'hydrogène et l'oxygène provenant de cette décomposition pourront être brûlés et donner de la chaleur. En fin de compte, si

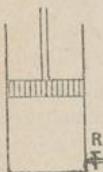


Fig. 245.

nous totalisons toute la chaleur produite par les combustions d'hydrogène et d'oxygène, l'échauffement des fils conducteurs, l'échauffement des coussinets de la dynamo et de la turbine, nous trouverons autant de calories que la chute d'eau a dépensé de fois 425 kilogrammètres. C'est le principe de la conservation de l'énergie.

Ce principe de la conservation de l'énergie est aussi absolu que le principe de la conservation de la matière, chaque fois que nous voyons apparaître de l'énergie, soit mécanique, soit calorifique, soit électrique, nous pouvons affirmer qu'elle vient d'une transformation d'énergie présente sous une autre forme. Parfois cette source d'énergie est masquée pour celui qui débute dans la science, mais elle existe toujours.

Il n'y a pas lieu d'exposer ici les diverses méthodes qui ont permis de déterminer le nombre 425, nommé équivalent mécanique de la chaleur; de nombreuses expériences ont été instituées dans ce but, elles ont toutes consisté à dépenser une quantité

connue de travail mécanique et à mesurer la chaleur apparue. On faisait par exemple battre un moulinet, ou frotter deux surfaces planes sous l'eau, on mesurait le travail disparu pendant le mouvement de l'appareil. D'autre part, on déterminait l'élévation de température de l'eau, ce qui permettait de calculer le nombre de calories qui apparaissaient. Toujours on constatait que la disparition de 423 kilogrammètres correspondait à l'apparition d'une calorie.

Dans un seul cas on a tenté de faire l'opération inverse : on a produit du travail aux dépens de disparition de chaleur ; mais, par suite de difficultés expérimentales énormes, le résultat n'a pas été très satisfaisant comme précision.

Énergie potentielle et Énergie cinétique.

Si un corps pesant se trouve à une certaine hauteur au-dessus du sol, il est capable, en descendant, de produire un certain travail utilisable. On dit qu'il possède une certaine *énergie potentielle*. Naturellement à mesure que le corps descend, son énergie potentielle diminue, si on le soulève de bas en haut, son énergie potentielle augmente. Un mélange de corps capables, dans leur réaction chimique, de dégager de la chaleur, possède aussi une certaine énergie potentielle, de même un morceau de charbon avec l'oxygène qu'il faut pour le brûler.

Lorsqu'un corps tombe, ou qu'une réaction chimique se fait en dégageant de la chaleur, l'énergie potentielle en réserve diminue et donne ce que l'on nomme de *l'énergie actuelle ou cinétique*, directement utilisable. Inversement l'énergie cinétique peut se mettre en réserve à l'état d'énergie potentielle.

Prenons un exemple simple. Un corps à une certaine hauteur possède de l'énergie potentielle. Il tombe, peu à peu l'énergie potentielle diminue tandis que l'énergie cinétique apparaît sous forme de force vive du corps en chute. Inversement lançons un corps de bas en haut. Le corps part avec une certaine vitesse, il a une certaine force vive ; mais, peu à peu, à mesure que le corps monte, son énergie cinétique diminue, tandis que son énergie potentielle augmente, cela jusqu'à ce que la vitesse soit réduite à zéro, et que toute l'énergie cinétique soit emmagasinée dans le corps à l'état d'énergie potentielle, où elle restera jusqu'à ce qu'on laisse tomber le corps à nouveau.

Rendement des moteurs.

Considérons une chute d'eau alimentant une turbine, cette turbine servant à actionner un treuil soulevant un poids. Toute l'énergie mécanique dépensée par la chute d'eau devra se retrouver. Comme les appareils dont se compose cette installation ne sont pas parfaits, qu'il y a des frottements et d'autres causes de perte diverses, pour chaque kilogrammètre dépensé à la chute, nous ne disposerons pas d'un kilogrammètre au treuil, mais par exemple nous ne pourrions soulever que 0 kg. 6 à 1 m., ce qui donne 0 kgm. 6. Le reste, soit 0 kgm. 4 aura été employé à vaincre les frottements, perdu en fuites d'eau, etc. Donc on a dépensé 1 kilogrammètre et on n'a utilisé que 0 kgm. 6. On dit que $\frac{0 \text{ kgm. } 6}{1 \text{ kgm.}}$

est le rendement du moteur.

Aucun moteur n'est parfait; le rendement est par suite toujours plus petit que l'unité, il sera de 0,4; 0,5; 0,6, etc., suivant que pour chaque kilogrammètre dépensé on recueillera 0,4; 0,5; 0,6, etc., kilogrammètres utilisables. Souvent on exprime le rendement en se rapportant à une dépense de 100 kilogrammètres, pour éviter les nombres fractionnaires, et on dit qu'un moteur a un rendement de 40 p. 100, 50 p. 100, 60 p. 100, etc.

Rendement des moteurs thermiques.

Nous avons vu que dans les transformations de travail en chaleur, ou de chaleur en travail, on trouve toujours à la fin de l'opération la même quantité d'énergie qu'avant; il y a cependant une différence capitale dans les deux manières d'opérer.

Pour faire comprendre cela, considérons une machine schématique se réduisant à un corps de pompe muni d'un piston n'ayant aucun poids par lui-même. Nous allons pouvoir, à volonté, nous en servir pour transformer du travail mécanique en chaleur ou de la chaleur en travail mécanique. En premier lieu, supposons le piston au haut de sa course et le corps de pompe plein d'air. Plaçons des poids de plus en plus lourds sur le piston, il descendra et il y aura une certaine dépense de travail. Pendant ce temps l'air comprimé se sera échauffé du fait même de la compression; en ouvrant un robinet R nous pourrions recueillir de l'air chaud ayant

emprunté un nombre de calories, équivalent au travail dépensé, et que nous pourrons utiliser en faisant revenir l'air à sa température primitive. Nous pourrons répéter cette opération un grand nombre de fois et transformer toujours intégralement du travail en chaleur, aussi longtemps que nous aurons des poids à notre disposition au niveau supérieur du piston soulevé. Il n'y aura donc aucune énergie mécanique disponible à la fin; tout aura été transformé en chaleur.

Cherchons maintenant à faire l'opération inverse. Mettons une petite quantité d'air dans le corps de pompe et chauffons: la pression augmentera et nous pourrons soulever un poids, c'est-à-dire produire du travail mécanique. Une fois le piston arrivé au haut de sa course et le premier poids soulevé, pour pouvoir recommencer, il nous faudra refroidir l'air du corps de pompe à sa température primitive, nous lui enlèverons une certaine quantité de chaleur. Donc la chaleur fournie pour exécuter le travail s'est répartie en deux fractions, l'une a été transformée en travail, l'autre est restée à l'état de chaleur et sera perdue pour l'opération suivante. Nous pourrons recommencer cette manœuvre aussi longtemps que nous aurons à notre disposition de la chaleur pour échauffer l'air, mais chaque fois nous ne transformerons en travail mécanique qu'une partie de cette chaleur; il n'y aura plus de transformation intégrale comme dans le cas de la transformation d'énergie mécanique en chaleur.

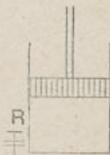


Fig. 246.

Toujours on se trouvera en présence de la même difficulté. Quand on voudra, à l'aide d'une opération que l'on recommencera un plus ou moins grand nombre de fois, transformer de la chaleur en travail, il n'y aura qu'une certaine proportion de cette chaleur que l'on pourra transformer.

La proportion de chaleur que l'on peut transformer dépend des limites de température dans lesquelles on opère; Sadi-Carnot a formulé la loi qui règle la limite de rendement que l'on ne peut dépasser, quelle que soit la perfection du dispositif employé, lorsque l'on veut par une opération répétée transformer de la chaleur en travail. Cette loi peut se résumer de la façon suivante :

Quand on a de la chaleur à transformer en travail, cette chaleur étant à la température absolue T_1 au commencement de l'expé-

rience et T_2 à la fin, la limite de rendement qu'on ne peut dépasser est donnée par l'expression

$$r = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Si par exemple on a de la chaleur à la température 120°C. , c'est-à-dire $120^\circ + 273^\circ = 393^\circ$ en température absolue; si d'autre part la chaleur non transformée en travail est à la température de 20°C. , c'est-à-dire $20 + 273^\circ = 293^\circ$, en température absolue, à la fin de l'opération, le rapport de la chaleur transformée à la chaleur totale employée, c'est-à-dire le rendement, ne pourra être supérieur à

$$r = \frac{393 - 293}{393} = \frac{100}{393} = 0,25.$$

Ceci est une limite supérieure, remarquons-le bien; en général, par suite de l'imperfection des méthodes, le rendement sera inférieur à cette valeur.

Résumé des deux principes fondamentaux.

1° Principe de la conservation de l'énergie (dont la découverte doit remonter à Meyer, Joule et Colding). — L'énergie mécanique peut se transformer en énergie calorifique et inversement. Cette énergie peut se trouver sous diverses autres formes, chimique, électrique, etc., mais il n'y a pas de perte dans ces transformations. Si au début d'une série d'opérations on a un certain nombre de calories, après passage par les formes quelconques de l'énergie, en ramenant tout en chaleur à la fin, on retrouve le même nombre de calories qu'au début.

2° Principe de Sadi-Carnot. — Quand on produit du travail mécanique en répétant une opération qui dépense de la chaleur, il n'y a qu'une partie de cette chaleur qui soit transformable en travail; le reste persiste toujours sous forme de chaleur; c'est comme une excrétion. Le rapport de la chaleur transformable à la chaleur totale est limité par les conditions de température des opérations, et, dans les conditions les plus favorables, ne peut jamais dépasser

$$r = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

T_1 , étant la température absolue la plus élevée dont on dispose,
 T_2 la température la plus basse.

IX

CALORIMÉTRIE

La calorimétrie ou mesure des quantités de chaleur est entre toutes les espèces de mesures la plus difficile à réaliser avec précision. Cela tient à ce que nous éprouvons une difficulté extrême à isoler la quantité de chaleur que nous voulons mesurer, à ne pas en perdre et à ne rien y ajouter.

Supposons par exemple que nous voulions mesurer la quantité de chaleur nécessaire pour porter un certain volume d'eau de 0 à 100°. Cette eau n'est pas à la même température que le milieu ambiant et que les corps des environs, elle perdra de la chaleur pendant l'expérience, et toutes nos mesures seront faussées. Dans presque toutes les opérations, souvent assez longues, que l'on est obligé de faire pour mesurer les quantités de chaleur, il est impossible d'éviter les pertes et par suite les erreurs.

Les méthodes calorimétriques employées pour l'étude de la chaleur spécifique des corps, des chaleurs de fusion ou de vaporisation, de la production de chaleur dans les réactions chimiques, et, d'une façon générale, des phénomènes calorifiques des corps non organisés se trouvent dans les traités généraux de Physique et de Thermochimie auxquels nous renvoyons pour cela. Ces méthodes ne sont en général pas applicables à la chaleur animale; nous allons décrire les principales de celles qui sont utilisables dans ce cas. D'ailleurs nous nous contenterons d'en exposer le principe sur un modèle schématique sans entrer dans les détails, parfois extrêmement délicats, dont l'étude dépasserait les limites que nous nous assignons.

Méthode de Laplace et Lavoisier (fig. 247). — L'animal dont on veut étudier la production de chaleur est placé dans une enceinte A entourée de glace pilée B. On évaluera la chaleur dégagée en pesant ou mesurant la quantité d'eau produite par fusion. Chaque gramme correspondra à 79,25 petites calories. Pour protéger l'appareil contre la chaleur apportée ou enlevée par

l'atmosphère ambiante, tout l'appareil se trouve placé dans un récipient contenant aussi de la glace pilée C. En général on se trouvera à une température extérieure supérieure à 0°, une partie de la glace C sera fondue, mais l'eau qui en résulte s'écoulera par c et n'entrera pas en ligne de compte, aucune chaleur provenant

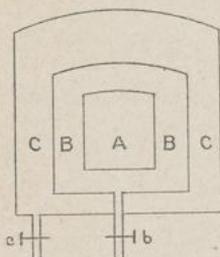


Fig. 247.

de l'extérieur ne pourra parvenir jusqu'à B. Toute l'eau s'écoulant par b, est produite par la fusion de B et proviendra par conséquent de la chaleur fournie par A.

L'inconvénient de ce procédé est qu'il est peu sensible, il faut en effet beaucoup de chaleur pour fondre un peu de glace; d'ailleurs on n'est jamais certain que toute l'eau s'est écoulée par b; une partie adhère à la surface des morceaux de glace. Enfin on ne peut opérer qu'à 0° et à cette

température beaucoup d'animaux, réduits à l'immobilité, souffrent; on est dans des conditions anormales.

Méthode de Dulong. — L'animal se trouve dans une enceinte A parcourue par un courant d'air et entourée d'eau B. On mesure l'élévation de température de l'eau dont on connaît le poids. Cette méthode a été reprise dans ces dernières années et considérablement perfectionnée. Sous sa forme primitive, elle était, en effet, sujette à d'importantes erreurs provenant des échanges de température de l'appareil avec l'atmosphère ambiante. On peut, pour tenir compte de ces échanges, faire une

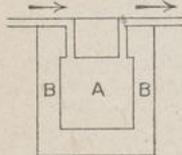


Fig. 248.

expérience en plaçant dans la cavité A un corps dégageant une quantité de chaleur connue, toute cette chaleur ne se retrouvera pas dans la mesure. La différence entre ce que l'on aurait dû trouver et ce que l'on trouve réellement donne la perte. On en déduit la correction à faire dans le cas de l'expérience sur un animal.

Méthode de Hirn. — Un calorimètre qui a été très employé avec ou sans modifications, est celui de Hirn. L'animal est placé dans une enceinte à laquelle il cède de la chaleur et dont par suite la température s'élève. Il y a un moment où cette tempéra-

ture reste stationnaire; c'est lorsque la chaleur fournie par l'animal au calorimètre, est précisément égale à celle que l'appareil perd par rayonnement. Pour évaluer cette quantité de chaleur en calories, on remplace l'animal par une source connue, bec de gaz, lampe à alcool brûlant un poids d'alcool connu par minute, résistance électrique parcourue par un courant, etc., et l'on cherche dans quelle condition on retrouve un équilibre. Si, dans le premier cas, la perte du calorimètre était $Q = A(T - t)$ donnée par la loi de Newton, T et t étant les températures du calorimètre et du milieu ambiant, dans le second cette perte sera $Q' = A(T' - t')$. La seconde formule, où tout est connu sauf A , permet de calculer A . En portant cette valeur de A dans la première on aura Q .

Ces divers procédés ont tous un inconvénient, on ne dispose pas à volonté de la température à l'intérieur du calorimètre, cette température varie pendant la durée de l'expérience. Les dispositifs que nous allons indiquer maintenant n'ont plus cet inconvénient.

Méthode de d'Arsonval. — Dans le calorimètre de d'Arsonval l'animal se trouve dans une chambre A à double paroi. L'espace annulaire est rempli d'eau à la température de l'atmosphère ambiante. De plus un serpentin traverse cet espace annulaire. Supposons que l'on ait en A dégagement d'une certaine quantité de chaleur, la température de l'eau tend à s'élever, mais aussitôt fonctionne un régulateur sur le mécanisme duquel il n'y a pas lieu d'insister ici, une certaine quantité d'eau à 0° s'écoule dans l'entonnoir E et, passant à travers le serpentin, abaisse la température de l'eau de l'espace annulaire. Aussitôt que la température primitive est atteinte, l'écoulement d'eau à 0° s'arrête. Donc, comme la température de l'eau du calorimètre reste constante, si la température de l'air ambiant ne change pas, l'écoulement d'eau à 0° a suffi à compenser la chaleur fournie par l'animal seul. Il suffit, par suite, de connaître le poids ou le volume d'eau écoulée, pour avoir à chaque instant la quantité de chaleur dégagée en A . Ce calorimètre est très bon, la seule difficulté dans son emploi consiste à maintenir constante la température de l'air ambiant, car, évidemment, si l'atmosphère cède de la chaleur au calorimètre on lui en

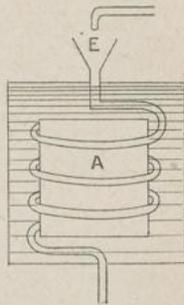


Fig. 249.

enlève, l'écoulement d'eau à 0° est trop abondant ou trop faible; il n'est pas l'exacte compensation de la chaleur fournie par A seul.

C'est sur ce même principe avec quelques modifications et perfectionnements que sont construits les calorimètres de Rübner, d'Atwater et de Lefèvre.

Calorimètre d'Atwater. — Le calorimètre d'Atwater est une véritable chambre où un homme peut séjourner plusieurs jours, en y couchant, y prenant ses repas et vivant de la vie habituelle. Cette chambre est à double paroi, pour éviter les pertes; on évalue la chaleur dégagée, par la quantité d'eau froide nécessaire pour maintenir constante la température du calorimètre.

De plus cette chambre calorimétrique est traversée par un courant d'air continu, dont l'analyse à la sortie permet de déterminer les échanges respiratoires du sujet. Enfin tous les éléments ou excrétiens sont soigneusement analysés et pesés.

Les résultats obtenus à l'aide de ce magnifique appareil comptent parmi les plus importants de la physiologie.

Ces quelques notions sur les calorimètres suffisent pour faire comprendre les diverses méthodes qui ont été employées, tous les autres dispositifs ne sont que des variantes de ceux que nous venons de décrire rapidement.

X

CHALEUR ANIMALE

La chaleur dégagée par les animaux est la conséquence des combustions qui se passent dans leurs tissus. Ce principe, énoncé pour la première fois par Lavoisier, a, après plusieurs tentatives infructueuses de divers expérimentateurs, été définitivement établi par Rübner sur le Chien et par Atwater sur l'Homme.

Il se produit dans l'organisme des réactions chimiques d'ordre varié, qui dégagent ou parfois peuvent absorber de la chaleur, mais en fin de compte, si l'on fait le calcul de la chaleur susceptible d'être dégagée par la combustion des aliments ingérés, et que l'on en déduise le reliquat de chaleur qui pourrait encore être dégagée par les excréta, on a un reste qui correspond précisément

à la chaleur produite par l'animal en expérience. Le fait de respirer dans l'oxygène pur ne modifie pas la quantité de chaleur dégagée dans le même temps.

L'importance de ce fait qui a ouvert une ère nouvelle à la physiologie exige que nous insistions quelque peu sur lui.

Après que Lavoisier eut montré le mécanisme des combustions, le rôle de l'oxygène et la nature de l'acide carbonique, il se demanda si la chaleur animale n'était pas, elle aussi, la conséquence d'une combustion analogue à celle qui se produisait pour le charbon dans l'air. Ses expériences sur ce sujet, celles de Dulong, de Despretz, d'autres encore ne suffirent pas à établir que toute la chaleur animale est due à des combustions intraorganiques. Après le milieu du siècle dernier, il y avait encore des physiologistes doutant qu'on y puisse arriver jamais, ou se demandant si une partie de la chaleur ne provenait pas du frottement du sang dans les vaisseaux, de quelque action nerveuse, ou d'autres phénomènes dont nous ne pouvons plus comprendre aujourd'hui l'influence mystérieuse.

C'est Berthelot qui, le premier, posa nettement le problème. Voici en quoi il consiste en principe.

Il faut en premier lieu mesurer au calorimètre toute la chaleur fournie par un sujet dans un temps déterminé, 24 heures par exemple. En second lieu, évaluer la chaleur produite dans le même temps par les réactions chimiques dont l'organisme est le siège. C'est sur ce second point que tous les auteurs s'étaient trompés, croyant pouvoir faire cette évaluation d'après l'oxygène absorbé et l'acide carbonique rendu. En réalité la thermochimie nous apprend que pour savoir quelle est la quantité de chaleur dégagée par un corps qui brûle, il faut connaître ce que l'on nomme la chaleur de combustion de ce corps. Si l'on mesure les poids et la chaleur de combustion de toutes les substances absorbées dans 24 heures, on peut en déduire ce que l'alimentation fournit à cet organisme, mais il faut en retrancher ce qui est éliminé par les excréta, en pesant ces excréta, les analysant et déterminant la chaleur de combustion des substances qui s'y trouvent. La différence entre la chaleur que peuvent fournir les ingesta et la chaleur qui reste à l'état potentiel dans les excréta, doit donner la chaleur libérée dans l'organisme. L'expérience a montré qu'il en était bien ainsi. Dans les belles expériences d'Atwater, il n'y eut qu'un écart d'environ 1/20 000 entre la cha-

leur directement mesurée au calorimètre et la chaleur calculée par la méthode que nous venons d'indiquer.

Il faut remarquer que cette expérience suppose qu'au bout de 24 heures le sujet sur lequel on opère est revenu à l'état primitif, qu'il n'y a ni rétention ni élimination de matière, ce sont là des difficultés sur lesquelles il n'y a pas lieu d'insister ici.

On peut donc affirmer aujourd'hui que toute la chaleur produite par les animaux provient de combustions et transformations chimiques analogues à celle que nous constatons *in vitro* dans le laboratoire.

Les aliments servant de combustible à l'organisme se composent d'hydrates de carbone, de graisses et d'albuminoïdes. Les deux premiers ne laissent comme résidu de leur combustion que de l'eau et de l'acide carbonique; pour les albuminoïdes il reste en outre de l'urée. Rübner, par des expériences exécutées avec le plus grand soin, a déterminé le nombre de calories produites par la combustion dans l'organisme de ces trois séries de corps; voici les chiffres considérés par lui comme devant être adoptés en pratique, pour 1 g. de substance :

Graisses	9,3 calories.
Albumine	4,1 —
Hydrates de carbone	4,1 —

On pourra s'en servir pour calculer la valeur calorifique d'un aliment quelconque dont on connaîtra la composition en graisse, albumine et hydrate de carbone.

La chaleur ainsi produite dans l'organisme a des destinées différentes; pour en donner une idée nous allons reproduire le tableau, dressé par Richet, de la déperdition thermique en 24 heures d'un homme de taille moyenne, pesant 70 kg., cet homme étant supposé au repos.

Pendant ces 24 heures l'homme produit et perd environ 2 400 cal. se répartissant ainsi :

Echauffement des boissons et des aliments	50 calories.
— de l'air inspiré	100 —
Dissociation du CO ²	100 —
Évaporation cutanée	250 —
— pulmonaire	350 —
Rayonnement cutané	1 550 —

Nous verrons plus loin ce qui se produit pendant le travail. Ces chiffres nous montrent l'influence prédominante du rayon-

nement cutané, et l'on comprend que toutes les conditions qui feront varier ce rayonnement auront une action considérable sur la calorification des animaux.

Il est bien évident que ceci ne s'applique qu'aux homéothermes. En premier lieu, plus les animaux sont grands, plus ils perdent et par suite produisent de chaleur pour se maintenir à température constante, car leur surface augmente en même temps que leur taille, et le rayonnement cutané augmente avec la surface.

Si l'on cherche à rapporter la quantité de chaleur produite par les combustions dans les tissus à l'unité de poids d'animal, à 1 kg. par exemple, on trouve que la calorification diminue à mesure que l'animal est plus volumineux. Voici, à titre d'exemple, pour des lapins, quelques chiffres donnés par Richet à cet égard; ils représentent le nombre de calories produites par kilogramme d'animal dans un même temps.

Lapins de	200 à 800 grammes	7,50
—	2 000 à 2 200	—	4,73
—	3 400 à 3 800	—	2,69

Le fait est des plus nets. Cela tient à ce que l'animal ne produit que la chaleur qu'il perd, or il perd proportionnellement à sa surface et non à son poids. Si nous rapportons la calorification à l'unité de surface et non à l'unité de poids, voici ce que nous trouvons :

Lapins de	500 grammes	11,8 calories.
—	2 100	—	11,3 —
—	3 100	—	10,1 —

C'est-à-dire sensiblement le même chiffre.

En considérant ce dernier point comme établi on comprend aisément pourquoi la calorification par unité de poids diminue quand la taille augmente; il suffit, en effet, de montrer que dans ces conditions la surface diminue aussi. Or prenons un corps quelconque, un pain de sucre par exemple, et coupons-le en deux, nous n'aurons pas changé son poids, mais nous aurons augmenté la surface de contact du sucre avec l'air. Chaque fois que nous ferons une nouvelle section pour fragmenter le sucre nous augmenterons la surface sans changer le poids. Donc à poids égal, la surface des corps est d'autant plus grande que les fragments sont plus petits. Il en est de même, bien entendu, pour les animaux : un homme de 70 kg. aura une surface moindre que

l'ensemble de sept chiens de 10 kg. chacun. Ces chiens eux-mêmes auront une surface totale moindre que 35 lapins de 2 kg. chacun, et ainsi de suite, autrement dit, à poids égal, les animaux ont une surface d'autant plus grande qu'ils sont plus petits, et par conséquent, comme nous l'avons vu plus haut, ils perdent et produisent d'autant plus de chaleur. Il en résulte que chez les petits animaux les combustions sont plus actives, la respiration est plus rapide et le cœur bat plus vite.

Un autre élément important dans la déperdition de la chaleur est l'état de la surface, en particulier la nature de la fourrure. L'épaisseur et la conductibilité des vêtements.

Si nous comparons par exemple des animaux à peau nue, à fourrure maigre et à fourrure épaisse, ce fait ressort manifestement. Voici la quantité de chaleur dégagée dans ces trois cas, par unité de surface :

Enfants	16,2 calories.
Chiens	14,4 —
Lapins	10,5 —

De même que si nous comparons des lapins normaux et des lapins rasés.

Lapins normaux	9,96 calories.
— rasés	15,86 —

Le fait de vernir un lapin ou d'enduire sa fourrure d'huile de lin accélère beaucoup sa déperdition en chaleur, au point qu'il se refroidit et finit par périr de froid si on ne le place dans un endroit chauffé. La couleur du pelage même a une certaine influence, Richet a montré que des lapins blancs perdent moins que les lapins gris et ceux-ci moins que les lapins noirs.

En ce qui concerne les vêtements de l'homme, pour montrer son influence considérable comme protecteur contre la déperdition de chaleur, il nous suffira de citer une expérience de d'Arsonval se rapportant à une heure.

A jeun, debout et nu	125,4 calories.
— habillé	79,2 —

D'après Lefèvre la chaleur rayonnée croît à mesure que la température baisse (1904).

L'effet produit par les variations du milieu ambiant est extrêmement important et les résultats d'expérience ne concordent pas

avec ce que le raisonnement pouvait faire prévoir. En se reportant à la loi de Newton; d'après laquelle la perte de chaleur éprouvée par un corps est d'autant plus grande que l'écart qui existe entre sa propre température et le milieu ambiant est plus important, on devait penser que les animaux perdent d'autant plus de chaleur que la température est plus basse. Or il n'en est ainsi que dans certaines limites, et d'Arsonval, le premier a signalé certaines discordances.

La courbe (fig. 250) tracée par Richet, d'après ses expériences

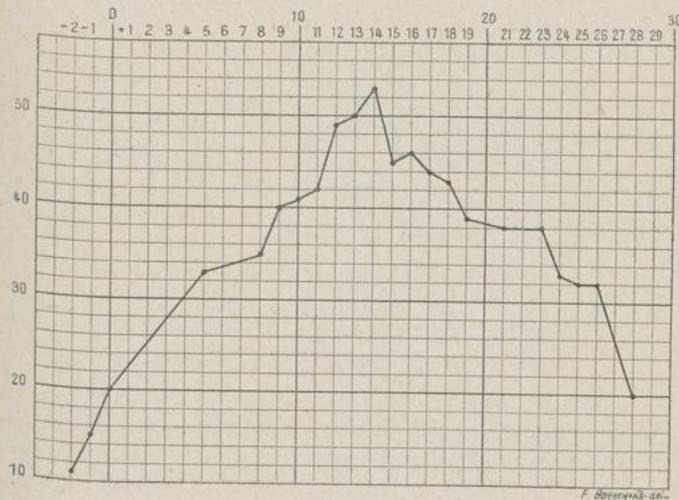


Fig. 250.

sur des lapins, nous montre qu'en abaissant la température de 28° à 14°, le rayonnement augmente comme on le prévoyait, mais à partir de ce moment se passe un fait étrange, la température continuant à baisser, le lapin perd de moins en moins de chaleur, il se défend de plus en plus contre cette perte. Il semble donc y avoir un optimum de rayonnement à 14° pour ces animaux; de même pour les cobayes et probablement pour tous les mammifères; mais on ne le retrouve pas chez les oiseaux, ou, tout au moins, si cet optimum existe, il est beaucoup plus bas et en dehors des limites de température dans lesquelles on a pu opérer.

En réalité ce n'est qu'en apparence que la loi de Newton se trouve en défaut. Quand la température extérieure baisse beaucoup, la peau peut se refroidir, dès lors la différence de tempé-

ture entre cette peau et l'air ambiant peut diminuer et, conformément à la loi de Newton, les pertes de chaleur se restreindre.

Il importe encore de dire, qu'au cours de recherches récentes, Lefèvre n'a pas trouvé l'optimum de température. D'après cet auteur, le rayonnement irait en augmentant d'une façon constante, à mesure que la température s'abaisse.

Dans le bain on ne retrouve pas l'optimum de température; plus le bain est froid et plus les pertes sont grandes, comme le montre la série suivante prise sur l'homme :

Températures du bain. . .	5°	12°	17°	22°	26°	30°
Calories perdues en 12' . .	300	200	130	80	40	15

Nous savons que dans la fièvre la température du corps s'élève, c'est le thermomètre qui nous enseigne cela, mais cet effet pourrait tenir à deux causes différentes. Ou bien la déperdition de la chaleur est réduite, ou les combustions de l'organisme sont plus actives. L'expérience a démontré que c'est à la seconde explication qu'il faut se rattacher.

Influence du travail musculaire sur la calorification.

Lorsqu'un muscle passe de l'état de repos à l'état d'activité, les combustions intramusculaires augmentent. Ce fait a été mis en évidence pour la première fois par Cl. Bernard. Analysant, en effet, les gaz du sang de l'artère allant à un muscle et de la veine qui en part, il a pu déterminer la proportion d'oxygène consommé et d'acide carbonique produit dans les divers cas. Il a vu ainsi que dans le muscle normal, en relation avec les centres nerveux, mais au repos, les échanges sont plus actifs que dans le muscle privé de tout tonus par la section du nerf moteur, et moins actifs que dans ce muscle produisant du travail. Toutefois cette expérience n'était de loin pas à l'abri de toute critique, elle est faussée par ce fait que les combustions intramusculaires ne dépendent pas seulement des proportions de gaz que l'on retrouve dans le sang, mais aussi de la quantité de sang qui traverse le muscle. Or quand on passe de l'état de repos à l'activité, la vitesse du courant sanguin augmente beaucoup, si bien que la respiration du muscle peut être très activée quoique dans le même volume de sang il n'y ait

que peu de différence entre l'état des gaz pendant le repos et pendant l'activité.

M. Chauveau a repris ces expériences sur un muscle particulièrement favorable à ce genre de recherches, le releveur de la lèvre supérieure du cheval, que l'on peut faire travailler dans des conditions physiologiques en donnant à manger à l'animal, et qui a ce grand avantage de n'avoir qu'une seule veine efférente, ce qui permet aisément de connaître le débit dans chaque cas en mesurant le volume de sang qui s'écoule par cette veine. Les analyses de gaz ont été faites avec le plus grand soin et M. Chauveau a pu démontrer ainsi, d'une façon absolument certaine, l'augmentation considérable des combustions pendant le travail.

Voici le résumé de ces résultats :

	REPOS	TRAVAIL	ACCROISSEMENT
Volume de sang traversant le muscle.	12 l. 229	56 l. 321	1 à 4,6
O consommé	0 l. 307	6 l. 207	1 à 20,21
CO ² produit	0 l. 221	7 l. 835	1 à 35,5

On pouvait prévoir cette augmentation des combustions lors du travail, car il se produit de l'énergie mécanique qui ne peut se créer de toutes pièces et doit trouver sa source quelque part; ce ne peut être que dans les combustions de l'organisme. Comme même à l'état de repos ces combustions ne sont pas arrêtées, elles auraient pu, sans augmentation, être la source du travail extérieur, mais alors il y aurait un déficit de chaleur, le corps se serait refroidi. Ce refroidissement est contraire à l'expérience; on sait au contraire, par l'observation la plus superficielle, que le corps de l'animal s'échauffe lors du travail. Il en résulte que lors du passage de l'état de repos à l'état d'activité, non seulement les combustions augmentent pour fournir l'énergie nécessaire au travail extérieur, mais s'accroissent dans une plus grande proportion qu'il ne serait nécessaire, puisque la quantité de chaleur libre dégagée augmente aussi.

La chaleur dégagée par les muscles pendant le travail a été l'objet de nombreuses études; mais, par suite des difficultés considérables qui entourent ce genre d'expériences, au lieu de mesurer

en calories la chaleur produite, on a dû, en général, se contenter de déterminer l'élévation de température dans les divers cas. De cette façon on n'a guère pu faire que des comparaisons, c'est-à-dire reconnaître que la chaleur dégagée dans certaines conditions est supérieure à ce qu'elle est dans telle autre, mais on n'a pu établir de rapports numériques entre la calorification et les conditions du travail.

Heidenhain a montré sur la grenouille que, dans certaines limites, pendant la contraction, la température du muscle s'élève d'autant plus qu'on lui fait soulever un poids plus lourd. Elle s'élève aussi davantage lorsqu'on empêche le muscle de se raccourcir, c'est-à-dire quand il donne une contraction isométrique que lorsqu'il donne une contraction isotonique.

Sur l'homme M. Chauveau a fait voir que dans le soutien du poids, la chaleur dégagée dans le muscle contracté est d'autant plus grande que le poids est plus lourd et que le muscle est à un degré plus grand de raccourcissement.

Il vaut mieux se contenter de ces indications sommaires sous peine de tomber dans le détail de questions encore très difficiles.

Rendement des moteurs animés.

Nous avons vu plus haut ce que l'on entend, d'une façon générale, par rendement d'un moteur. Chez l'homme et les animaux la considération du rendement se complique un peu, par suite du fait que même au repos absolu l'organisme a besoin d'être alimenté.

Envisageons un travailleur produisant dans la journée 212 500 kilogrammètres. Nous savons que 425 kilogrammètres équivalent à 1 calorie, par conséquent 212 500 kilogrammètres équivaudront à 500 calories qui devront être fournies par l'alimentation du travailleur.

Or nous pouvons considérer, qu'en moyenne, un homme robuste a besoin, au repos, d'une ration d'entretien capable, par sa combustion, de fournir environ 2 500 calories.

Lorsque cet homme se livrera à un travail, il faudra pour le maintenir en équilibre de nutrition lui augmenter sa ration. On pourrait se demander s'il ne suffirait pas d'ajouter à sa ration de repos les 500 calories nécessaires au travail. L'expérience montre qu'il n'en est pas ainsi. Quand l'homme, ou un animal,

Il passe du repos au travail, l'excès des combustions n'est pas tout entier affecté à la production de ce travail. Pour faire un travail équivalent à 1 calorie, par exemple, il faut en réalité produire 5 calories de plus qu'au repos. Pour le sujet que nous avons pris comme exemple, il faudrait donc, quand il passe du repos au travail, donner un accroissement de ration de $500 \times 5 = 2\,500$ calories. Cet homme aurait alors besoin d'une ration journalière de 5 000 calories.

Dès lors quel est le rendement de cet homme? Au point de vue pratique, commercial peut-on dire, comme il nécessite une dépense de 5 000 calories et qu'il produit un travail équivalent à 500 calories, son rendement est de $1/10$ ou 10 p. 100.

Au point de vue physiologique, nous pouvons raisonner autrement. Lors du fonctionnement des organes, en particulier de l'entrée en activité des muscles, il y a un accroissement de la dépense de l'organisme; c'est cet accroissement seul que nous devons prendre en considération pour savoir quel est le rendement. Ce que coûte le repos serait dépensé de toute façon. Dans l'exemple envisagé plus haut, quand nous voulons faire produire du travail à l'ouvrier, cela ne nous coûte en réalité que 2 500 calories, puisque les calories de repos doivent être inévitablement fournies.

C'est donc avec les 2 500 calories fournies en plus que nous produisons 500 calories utiles, le rendement sera de $1/5$ ou 20 p. 100.

On a aussi cherché, en opérant sur un seul muscle, à évaluer ce que peut produire ce muscle, et quelles sont les combustions ou accroissements de combustion qui s'y produisent; c'est-à-dire à déterminer le rendement de cet organe isolé pour ainsi dire du reste de l'organisme. Ces déterminations n'ont aucune portée pratique, mais un grand intérêt théorique, puisqu'elles ont pour but d'étudier la nature même de la contraction musculaire et les origines immédiates de l'énergie nécessaire au travail.

Dans ces recherches extrêmement délicates on a obtenu des rendements variables, en général supérieurs à 20 p. 100.

Régulation de la chaleur chez les animaux.

Le problème de la régulation de la chaleur ne se pose que chez des homéothermes, car chez les hétérothermes cette régulation

n'existe pas, ils se mettent sensiblement à la température du milieu ambiant. Chez les mammifères et les oiseaux il y a sans cesse un dégagement de chaleur suffisant pour parer, dans les conditions habituelles, aux diverses causes de déperdition et maintenir le corps de l'animal à température sensiblement constante.

La production de chaleur résulte des transformations des aliments ingérés et des combustions qui se passent au sein de l'organisme, principalement dans les muscles. L'énergie mise en liberté lors de ces transformations chimiques, intraorganiques, n'est que pour une faible part utilisée en travail extérieur, surtout dans les conditions ordinaires de la vie; elle est presque tout entière rayonnée à l'état de chaleur, ou sert à la vaporisation de l'eau à la surface de la peau et des poumons.

A une température moyenne, celle que l'on a généralement dans les appartements, les pertes de chaleur d'un homme ou d'un animal au repos sont exactement compensées par les gains, aussi la température de cet homme ou de cet animal reste constante. Pour plus de simplicité supposons-le à jeun, il vit sur ses réserves, en particulier sur ses graisses, qui après une série de transformations, sur lesquelles la lumière est loin d'être faite, sont éliminés à l'état d'eau et d'acide carbonique. J'ai déjà dit qu'une partie importante de ces transformations et combustions se passent dans les muscles. L'homme perd toute l'énergie ainsi mise en liberté, à l'état de chaleur rayonnée et de chaleur latente de vaporisation. Négligeons pour l'instant les autres pertes.

Si la température de l'air ambiant vient à baisser, il semblerait au premier abord que, comme pour tout corps chaud, la température interne du sujet doive également diminuer; mais c'est là qu'intervient la régulation.

Les vaisseaux de la peau restreignent leur calibre par vasoconstriction, de façon à diminuer l'activité de la circulation périphérique, l'apport de la chaleur interne à la surface de la peau, et par suite le rayonnement de cette chaleur. L'évaporation est moins active, elle aussi, et par suite de ces deux phénomènes les pertes sont diminuées.

En même temps, par suite d'une excitation produite par le froid à la surface de la peau et par voie réflexe, les combustions intraorganiques sont accélérées, au besoin le frisson intervient pour exciter l'activité des muscles.

Donc pour ces deux raisons, diminution des pertes et augmentation des gains de chaleur, la température du corps ne baissera pas.

Les circonstances peuvent faire que la température de l'air ambiant, au lieu de baisser, vienne à s'élever. Dans ces conditions les combustions intraorganiques, toujours par voie réflexe, peuvent se ralentir, tout au moins dans certaines limites; mais surtout les pertes sont exagérées. Les vaisseaux périphériques se dilatent, la circulation cutanée devient très active, il y a un grand apport de chaleur à la surface du corps pour favoriser le rayonnement. En même temps s'établit une sudation plus ou moins importante, et comme la vaporisation de l'eau nécessite un grand nombre de calories, on conçoit le rôle capital de cette sudation dans la production des pertes de chaleur.

On voit ainsi comment ces divers facteurs, combustions intraorganiques et pertes par rayonnement ou vaporisation, peuvent intervenir pour maintenir constante la température du corps chez les homéothermes. Ces phénomènes sont sous la dépendance d'un système régulateur agissant par voie réflexe, le point de départ du réflexe se trouvant dans les terminaisons nerveuses de la peau. Il n'y a pas lieu d'entrer dans l'étude détaillée de ce réflexe et des centres nerveux dans lesquels il se produit.

Je laisserai aussi de côté la façon dont la régulation de la température peut être modifiée ou troublée par l'ingestion d'aliments.

I
écla
mie
sole
dév
cou
blan
pos
En
il se
une
ce
qu'i
lâir
tach
avan
aprè
tach
mèr
avai
com
du
qu'i