

tion. Les expériences directes de Nicholson semblent prouver, en effet, que le sang, en passant de l'état liquide à l'état solide, dégage une petite quantité de chaleur, bien que le fait ait été nié par Hunter, par Davy et par M. Denis. Mais comme le volume de l'animal ne s'accroît pas d'une manière continue; comme il est assujéti, au contraire, à une limite qu'il ne franchit point, il faut bien que la quantité des matériaux solides qui redeviennent liquides ou gazeux pour sortir par la voie des sécrétions et des exhalations; il faut bien, dis-je, que cette quantité soit égale à celle des matériaux liquides qui deviennent solides dans le même temps. Si, d'un côté, une certaine quantité de chaleur devient libre, d'un autre côté une quantité égale devient latente; il n'y a donc point d'effet sensible produit.

Le rôle qu'on a voulu faire jouer au système nerveux dans la production de la chaleur animale n'est pas mieux justifié. M. Brodie, qui s'est constitué le principal défenseur de cette doctrine, s'appuyait sur des expériences que quelques personnes invoquent encore aujourd'hui. M. Brodie avait tiré de ses expériences les conclusions suivantes : 1° chez un animal auquel on a enlevé l'encéphale en le décapitant, et dont on entretient la vie à l'aide d'une respiration artificielle, le refroidissement arrive promptement, quoique les phénomènes chimiques de la respiration continuent à s'accomplir; 2° un pareil animal (décapité et soumis à une respiration artificielle) se refroidit plus vite qu'un animal mort non décapité et qu'on abandonne à lui-même. Mais comment M. Brodie constatait-il que les phénomènes chimiques de la respiration continuaient à s'accomplir sur l'animal en expérience? Sur ce simple indice, que le sang artériel continuait à être rouge. Évidemment, ce caractère ne saurait suffire; du sang veineux extrait du corps de l'animal devient rouge et rutilant quand on l'agite avec de l'air, en vertu de l'action de l'oxygène sur les globules; mais de là aux réactions chimiques de l'oxygène, c'est-à-dire à l'oxydation des matériaux combustibles du sang, il y a loin. Ce dont il eût fallu tenir compte, ce qu'il eût fallu rigoureusement apprécier, c'était, d'une part, la quantité d'oxygène absorbée, et d'autre part, la quantité d'acide carbonique produite. La seconde conclusion de M. Brodie est d'ailleurs tout à fait inexacte. Un animal décapité, dont on entretient artificiellement et convenablement la respiration, vit assez longtemps, et sa température baisse beaucoup moins rapidement que celle d'un animal mort qu'on abandonne à lui-même. Les expériences de Wilson Philips, celles de Hastings sont positives à cet égard; elles ont montré, en outre, que, si le courant d'air qu'on fait passer au travers des poumons est trop précipité, il contribue au moins autant à refroidir l'animal qu'à lui fournir l'élément comburant. Il faut donc avoir soin, dans ces expériences, de conduire avec lenteur les mouvements respiratoires. Du reste, il faut observer que des animaux qu'on a décapités ou auxquels on a fait subir des lésions étendues du système nerveux central, ne vi-

vent qu'un temps limité (trois ou quatre heures), et que leur température s'abaisse peu à peu; mais il faut remarquer aussi que la quantité d'oxygène absorbée et que la quantité d'acide carbonique exhalée diminuent en même temps, par suite des obstacles apportés à la respiration. Toutes les lésions graves du système nerveux, en effet, retiennent sur les phénomènes circulatoires, en ralentissant les mouvements du cœur et en modifiant puissamment les circulations capillaires.

Tandis que M. Brodie croyait pouvoir tirer de ses expériences la conclusion que la source de la chaleur animale est dans l'encéphale, M. Chossat plaçait cette source dans le système du grand sympathique. Mais les expériences sur lesquelles s'appuie M. Chossat sont si peu probantes et si singulièrement interprétées, que nous ne nous arrêterons pas à les réfuter.

165 bis.

De la contraction musculaire dans ses rapports avec la température animale. — Il se développe une certaine quantité de chaleur dans le sein des muscles, au moment où ils se contractent. Les recherches de MM. Becquerel et Breschet, celles plus récentes de M. Helmholtz ont mis le fait hors de doute ¹.

MM. Becquerel et Breschet, ainsi que M. Helmholtz, se sont servi, pour mesurer la température des muscles, d'un appareil thermo-électrique, c'est-à-dire d'une pile thermo-électrique combinée avec le galvanomètre ².

Dans les expériences de MM. Becquerel et Breschet, les deux métaux

¹ Davy avait déjà observé qu'après l'exercice, une promenade ou une course prolongée, la température prise sur la peau ou sous la langue, ainsi que la température de l'urine excrétée, était plus élevée de quelques fractions de degré que chez l'homme au repos. Des expériences du même genre ont été faites plus récemment par M. Mantegazza. MM. Valentin et Vierordt ont établi par des expériences qu'à l'élévation de température causée par l'exercice correspond une élévation dans les proportions d'acide carbonique exhalé; M. Lassaigue a obtenu les mêmes résultats sur le cheval.

² La mesure des températures à l'aide de l'appareil thermo-électrique repose, ainsi que chacun le sait, sur le principe établi par Seebeck, savoir : que, lorsqu'un circuit composé de deux fils de métaux différents est inégalement chauffé à chacun des points de soudure de ces fils, il se développe un courant; ce courant peut être mis en évidence à l'aide d'un galvanomètre interposé dans le circuit. Or, en plaçant une des soudures dans le muscle en expérience, et en exposant l'autre soudure à une température connue, les excursions de l'aiguille du galvanomètre indiquent le sens et l'intensité du courant, et par conséquent les différences de température.

Lorsqu'on veut se servir d'un appareil thermo-électrique pour mesurer la température des muscles (comme d'ailleurs toute autre température inconnue), on commence, à l'aide d'expériences préliminaires, par établir la relation des déviations de l'aiguille du galvanomètre multiplicateur annexé à l'appareil avec les différences de température des soudures des fils métalliques employés, en les maintenant immergées dans des bains d'huile dont la température est à chaque instant donnée à l'aide de thermomètres sensibles. On dresse ainsi une table, où les écarts de l'aiguille du galvanomètre se trouvent traduits en degrés et en fractions de degrés centigrades, et à laquelle on rapportera plus tard les expériences.

qui forment le circuit sont le fer et le cuivre. On comprend que, pour introduire la soudure dans le muscle, il est nécessaire de fractionner le circuit : celui-ci, en effet, peut se décomposer en quatre parties qu'on réunira ensuite pour exécuter l'expérience. Ces quatre parties sont : 1° deux aiguilles à soudure médiane, composées chacune d'une moitié acier et d'une moitié cuivre; 2° un fil d'acier coupé sur le morceau même qui a servi à la confection des aiguilles; 3° le fil du galvanomètre.

Les aiguilles sont affilées à l'une de leurs extrémités (celle qui doit être introduite dans le muscle en expérience), et recouvertes d'un vernis.

Lorsqu'on veut apprécier la température d'un muscle, on enfonce au travers des téguments une des deux aiguilles dans ce muscle (l'aiguille *a'c'* par exemple, Voy. fig. 70), de manière que la soudure médiane de

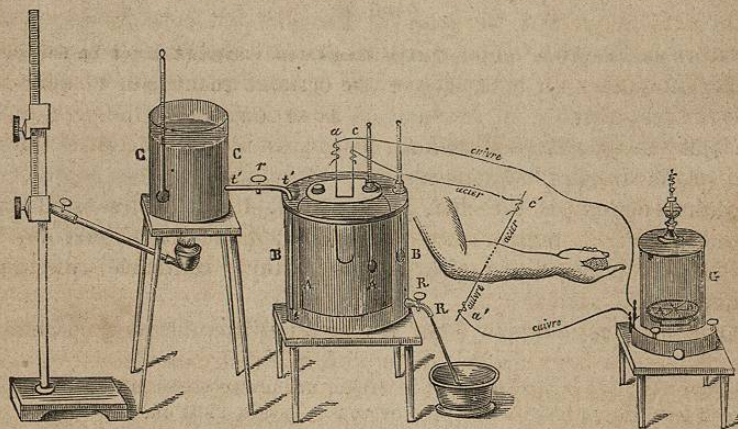


Fig. 70.

APPAREIL THERMO-ÉLECTRIQUE POUR MESURER LA TEMPÉRATURE ANIMALE.

- AA, réservoir contenant de l'eau à 36 degrés. Ce réservoir est placé dans :
 BB, cylindre en bois, contenant également de l'eau. Ce bain est destiné à entretenir dans le réservoir AA une température sensiblement constante.
 CC, vase en fer-blanc rempli d'eau, chauffé par une lampe. Cette eau est destinée à réchauffer le liquide contenu dans le cylindre BB et à maintenir sa température.
 t't' tube d'entrée de l'eau chaude dans le cylindre BB.
 r, robinet qui établit ou suspend la communication entre le liquide de CC et celui de BB.
 R, robinet qui donne écoulement au dehors, à une quantité d'eau égale à celle qui entre dans le vase BB.
 ac, aiguille coudée placée dans le cylindre AA, chauffée, par conséquent, à 36 degrés. La branche c de cette aiguille est en acier. La branche a est en cuivre. La soudure des deux métaux correspond au coude immergé dans l'eau.
 a'c', aiguille droite composée de deux métaux (acier et cuivre). La soudure entre les deux moitiés de l'aiguille, c'est-à-dire entre les deux métaux, correspond à la partie moyenne, plongée dans l'épaisseur du bras.
 G, galvanomètre interposé dans le courant.
 A, n, pôles austral et boréal de l'aiguille aimantée.

L'aiguille correspond au centre du corps charnu; on peut appeler cette aiguille *aiguille d'épreuve*. On introduit la soudure de l'autre aiguille (aiguille coudée *a c*) dans un bain à température constante (appareil Sorel) ou dans la bouche d'un aide. On a soin, en outre, de placer dans

le bain ou dans la bouche un thermomètre sensible qui donne directement, au moment de l'expérience, la température de cette soudure; on peut appeler cette aiguille *aiguille de comparaison*.

Cela fait, on réunit l'extrémité acier de l'aiguille d'épreuve avec l'extrémité acier de l'aiguille de comparaison à l'aide du fil d'acier dont nous avons parlé, puis on met en communication les extrémités cuivre des aiguilles avec chacun des bouts du fil du galvanomètre; le circuit se trouve ainsi établi. On attend que le galvanomètre, qui décrit généralement de petites oscillations sous l'influence de la chaleur communiquée par les doigts pendant ces diverses manipulations, soit revenu au zéro; alors on procède à l'expérience, qui consiste à faire contracter le muscle, soit sous l'influence d'un excitant, soit sous l'influence de la volonté, si l'homme est le sujet de l'expérience. C'est en procédant de cette manière que MM. Becquerel et Breschet ont constaté que la température du biceps brachial, qui au repos était de 36°,50, pouvait, après la flexion répétée du bras, s'élever de 0°,5, et même de 1°, après des efforts énergiques.

M. Helmholtz a expérimenté sur les grenouilles, c'est-à-dire sur des animaux à sang froid, à muscles de petit volume, et chez lesquels les élévations de température dues à la contraction musculaire sont, d'une manière absolue, moins élevées que dans l'homme et le chien; dès lors il a dû chercher à donner plus de sensibilité à l'appareil thermo-électrique dont il a fait usage.

Le galvanomètre employé par lui, au lieu d'être formé d'un seul fil, est composé de deux fils de cuivre d'un millimètre de diamètre et dont chacun fait cinquante tours. Ces deux fils sont couplés ensemble à leurs extrémités, de manière qu'ils représentent en somme un seul fil de même longueur et de section double.

Le circuit thermo-électrique diffère notablement de celui qu'ont employé dans leurs recherches MM. Becquerel et Breschet. Au lieu d'introduire une seule soudure d'épreuve au sein du muscle en expérience, M. Helmholtz en introduit trois, de manière à multiplier l'intensité du courant thermo-électrique.

Au lieu d'aiguilles thermo-électriques fer et cuivre, M. Helmholtz donne la préférence aux aiguilles cuivre et maillechort, parce que ce couple a un pouvoir thermo-électrique deux fois et demie plus grand que le couple fer et cuivre.

M. Helmholtz emploie trois aiguilles ayant chacune 1 décimètre de longueur et 2 millimètres de diamètre. Ces aiguilles sont formées d'une pièce médiane de fer aux extrémités de laquelle sont soudées deux pièces de maillechort, de telle sorte que chaque aiguille est formée de trois pièces de même longueur, et qu'elles comprennent chacune *deux soudures*.

Lorsqu'on veut procéder à l'expérience, on détache une cuisse de grenouille du corps de l'animal, mais on la laisse en communication avec la moelle épinière par ses nerfs.

Les trois aiguilles sont enfoncées dans la cuisse encore adhérente à l'animal par ses nerfs, de telle sorte que les soudures du même côté de ces trois aiguilles soient immergées dans la masse musculaire. Les mêmes aiguilles sont ensuite enfoncées dans l'autre cuisse, complètement séparée de l'animal, de manière que les trois autres soudures symétriques plongent dans la masse musculaire. Les soudures qui plongent dans la cuisse encore animée par ses nerfs sont ce que nous pouvons appeler les *soudures d'épreuve*; les autres, séjournant dans une masse musculaire inerte, sont les *soudures de comparaison*¹.

Les extrémités des aiguilles sont alors reliées entre elles à l'aide de communications métalliques, de manière à représenter une pile thermo-électrique; puis on interpose le tout dans le circuit du galvanomètre. Ajoutons que le tout (moins le galvanomètre) est introduit dans une petite caisse recouverte d'une glace, de manière que l'expérience s'accomplisse dans un milieu saturé de vapeur d'eau. Cette précaution, recommandée et mise en usage par M. Dutrochet dans ses recherches sur la température des animaux inférieurs, est nécessaire pour supprimer le refroidissement dû à l'évaporation, refroidissement dont la valeur pourrait n'être pas la même pour toutes les soudures, si l'expérience se faisait à l'air libre.

Les choses étant ainsi disposées, on attend que l'aiguille du galvanomètre soit arrêtée au zéro du cadran indicateur. Alors on fait passer le courant d'un appareil d'induction le long du rachis de l'animal. Cette excitation, portant sur la moelle, a pour effet de tétaniser les muscles de la cuisse, encore reliée à l'animal par ses nerfs. Cette excitation étant prolongée pendant une durée de deux ou trois minutes, on obtient finalement une déviation maximum de l'aiguille du galvanomètre, qui, traduite en degrés centigrades, accuse dans la cuisse contractée une élévation de température qui peut atteindre 0°,14 ou même, 0°,18².

Les recherches faites sur l'homme et sur le chien (Becquerel et Breschet), celles faites sur la grenouille (Helmholtz), ont donc mis en évidence l'élévation de température du muscle pendant la contraction.

Mais il est un élément capital dont les expérimentateurs ne se sont pas préoccupés.

La contraction musculaire, qu'elle soit volontaire ou qu'elle soit provoquée, peut se manifester de deux manières très-différentes.

1° Tantôt les leviers osseux sur lesquels les muscles s'insèrent sont,

¹ Ce procédé, qui a l'avantage de placer toutes les soudures dans le milieu même dont on veut apprécier les variations de température, a été mis en usage autrefois par M. Dutrochet dans ses délicates recherches sur la température des insectes. Pour apprécier la température propre du corps de l'animal, il traversait, à l'aide d'une de ses aiguilles (fer et cuivre), le corps de l'animal vivant, et, à l'aide de comparaison, le corps d'un animal mort de la même espèce.

² M. Helmholtz a aussi recherché si l'action nerveuse (centripète ou centrifuge) était accompagnée d'élévation de température; ses expériences lui ont constamment donné des résultats négatifs.

pendant la contraction du muscle (volontairement ou artificiellement), maintenus immobiles dans des positions variées, et la contraction qui s'opère dans le muscle n'est point accompagnée de mouvements; en d'autres termes, la force ou la puissance développée dans le muscle qui se contracte est maintenue en équilibre, pendant toute la durée de la contraction, par une résistance qui n'est pas surmontée. Cette résistance non surmontée, ou, pour mieux dire, *équilibrée*, est tantôt le simple poids des parties, comme par exemple dans beaucoup d'attitudes fixes des membres ou du tronc; tantôt cette résistance équilibrée consiste dans des poids additionnels ou simplement dans la contraction synergique de muscles opposés, ce qui fait que l'action musculaire s'exerce parfois avec une grande puissance, tout en n'entraînant pas de mouvement dans les parties.

Nous désignerons cette forme de contraction musculaire, non suivie d'effets mécaniques extérieurs, sous le nom de *contraction musculaire statique*.

2° Tantôt, au contraire, les leviers osseux sur lesquels s'insèrent les muscles qui se contractent obéissent à la puissance qui tend à les mouvoir, et cette force peut non-seulement mettre en mouvement les leviers osseux mobiles garnis de leurs parties molles, mais encore soulever des poids additionnels, vaincre ou surmonter des résistances variées.

Nous désignerons cette forme de contraction musculaire, accompagnée d'effets mécaniques extérieurs, sous le nom de *contraction musculaire dynamique*.

Exemple: je suppose que l'avant-bras soit à demi fléchi sur le bras, nous pouvons évidemment le maintenir *fixe et immobile* dans cette position; si l'avant-bras est libre, la contraction musculaire est équilibrée par le poids de l'avant-bras. On peut rendre cette contraction plus énergique, et en même temps la mesurer en chargeant de poids l'avant-bras.

D'un autre côté, la contraction des muscles du bras peut être employée à *mouvoir* l'avant-bras, libre ou chargé de poids, etc.

Dans les expériences dont nous avons dernièrement publié les résultats (*Archives générales de médecine*, 1861), nous avons examiné l'action musculaire *statique* et l'action musculaire *dynamique* sous le rapport thermique, c'est-à-dire que nous avons cherché à apprécier, à l'aide d'une méthode expérimentale nouvelle et aussi rigoureusement que possible, les diverses quantités de chaleur développées au sein des muscles dans ces deux états différents.

Nos premières expériences ont porté sur les grenouilles, animaux de petit volume, faciles à mettre en expérience, et doués d'une activité musculaire énergique, eu égard à leur taille.

Dans ces expériences, nous avons eu recours à un appareil thermo-électrique. Ces expériences, dans lesquelles certaines parties doivent être mises en mouvement, ne nous ont pas permis de recourir aux éléments thermo-électriques de M. Helmholtz, lesquels, reliant ensemble