

encore par évaporation de l'eau, mais presque uniquement alors par la voie pulmonaire.

L'air que nous expirons est saturé de vapeur d'eau et on peut admettre d'après des ouvrages nombreux que pour un adulte, en vingt-quatre heures, l'évaporation par la voie pulmonaire atteint 600 grammes (Valentin, Barral). En admettant que l'air expiré soit à 35°, on voit que cette quantité d'eau représente une perte de 350 000 calories¹. On conçoit que l'exhalation d'eau soit proportionnelle à l'activité respiratoire. L'air expiré sortant toujours saturé de vapeur d'eau, Richet appelle l'attention sur ce fait, qui tout excès d'acide carbonique dans le sang, étant un excitant de rythme respiratoire, amène par cela même un refroidissement plus rapide.

Polypnée thermique.

Quand la température interne s'élève au-dessus de la normale, cette accélération de la respiration se manifeste avec une intensité remarquable et elle devient le facteur prépondérant dans la lutte contre la chaleur.

Ackerman, Goldstein, Gad, avaient désigné cette accélération du rythme sous le nom de *dyspnée thermique*, auquel Richet a préféré celui de *polypnée thermique*; la respiration dans ce cas ne paraissant ni difficile, ni laborieuse. Le nom de *tachypnée* conviendrait également, il serait l'analogie de celui de *tachycardie* employé pour désigner l'accélération anormale des battements du cœur.

Cette polypnée thermique peut, comme la sudation, être d'origine réflexe ou d'origine centrale. Il suffit d'exposer un chien à un soleil très vif pour le voir accélérer immédiatement sa respiration; bien que, et grâce à cet acte, sa température ne varie pas. Les pneumogastriques ne jouent aucun rôle dans la conduction de ce réflexe, car la polypnée s'établit après leur double section et ce sont les nerfs cutanés qui paraissent être les conducteurs principaux.

A côté de cette polypnée réflexe, il existe une polypnée centrale, qui se produit par suite de l'excitation des centres bulbaire par le sang chauffé. C'est quand l'animal atteint 41°,5 que brusquement cette polypnée se montre. On peut vérifier facilement ce chiffre en tétanisant un animal, ou encore en déterminant cette hyperthermie par intoxication cocaïnique. Dans l'intervalle des attaques, si l'animal n'est pas trop épuisé on voit la respiration franchement polypnéique s'établir.

¹ M. D'Arsonval a proposé d'appeler coefficient de partage thermique le rapport de la chaleur perdue par la peau et de la chaleur perdue par le poumon. Le coefficient se rapprocherait de 15 p. 100.

CHALEUR ET TRAVAIL

La source unique de la chaleur animale réside nécessairement dans les phénomènes chimiques qui se produisent dans les tissus, or il est facile de démontrer que *le système musculaire est l'appareil chimique producteur de la majeure partie de la chaleur animale*.

Envisagés en effet au point de vue du poids uniquement, les calculs montrent que le tissu musculaire forme les 48 p. 100 du poids total du corps. Les évaluations faites par Liebig donnent seulement 42 p. 100, mais, dans ce chiffre, on néglige les fibres musculaires de la peau et des viscères : cœur, et vaisseaux, poumons, intestin, et en corrigeant cette erreur, le chiffre de 48 indiqué par Ch. Richet ne paraît pas exagéré.

D'autre part, les recherches faites depuis Spallanzani sur la respiration élémentaire, sur la consommation en oxygène ou sur la production d'acide carbonique montrent que de tous les tissus, c'est le muscle dont l'activité chimique et par suite l'activité thermique est la plus intense. Un kilogramme de muscle produit en une heure 368 centimètres cubes de CO², alors que le cerveau n'en produit que 438 (P. Bert).

La quantité d'acide carbonique excrétée par les différents tissus en tenant compte de leur poids respectifs et de leur activité chimique peut être établie ainsi (Ch. Richet) :

Muscles	77,0
Cerveau	3,0
Viscères	6,5
Sang	3,0
Graisse	5,5
Squelette	5,0

On voit que les muscles de l'organisme contribuent pour les trois quarts à l'activité chimique ou thermique.

Chez un homme adulte de 70 kilogrammes, qui excrète par conséquent 840 grammes d'acide carbonique dans les vingt-quatre heures : ($0^{\text{sr}},50 \times 70 \times 24$); 630 grammes sont fournis par les muscles et le reste 210 grammes par les autres tissus; et cette proportion est encore trop faible, car elle suppose les muscles à l'état de repos complet, condition qui ne se réalise pas dans la vie normale par suite du tonus musculaire.

Or, l'expérience démontre :

1° Qu'un muscle au repos, mais relié aux centres nerveux par les nerfs moteurs, autrement dit en état de tonicité, dégage plus de chaleur qu'un muscle paralysé et séparé des centres nerveux ;

2° Qu'un muscle contracté a des actions chimiques et par conséquent thermiques plus actives qu'un muscle au repos ;

3° De cette seconde loi il est facile de prévoir que la chaleur produite par un animal en activité musculaire est plus grande que celle que dégage un animal au repos.

Le fait qu'un muscle en se contractant devient un producteur de chaleur a été démontré primitivement par Becquerel et Breschet, puis par Helmholtz et enfin par Béclard. Becquerel et Breschet employaient les aiguilles thermo-électriques introduites dans le biceps de l'homme, Helmholtz a poursuivi ses recherches sur le muscle de la grenouille, les mesures thermiques de Béclard étaient obtenues au moyen d'un thermomètre très sensible dont la cuvette était fixée au bras par une bande de laine. Cette méthode a été reprise

récemment par Chauveau. (Voir *Muscle*, p. 100.) L'élévation thermique locale peut dans ces cas atteindre un chiffre assez élevé jusqu'à un degré (Becquerel)¹.

Cette élévation thermique est-elle due entièrement aux phénomènes chimiques qui se produisent dans le muscle ?

D'après les dernières recherches de Waller, ce facteur serait secondaire, et l'élévation constatée proviendrait surtout des phénomènes circulatoires (vaso-dilatation), qui se produisent dans l'organe en activité. Si l'on arrête en effet la circulation dans le bras, au moyen d'une bande de caoutchouc roulée à la partie supérieure du bras, on constate qu'il ne se produit presque plus d'élévation thermique. (Waller, Congrès de Liège, 1892.)

Il faut tenir compte cependant de l'élévation de température générale du corps quand on soumet les muscles à un travail excessif : téтанos électrique rapporté plus haut, et de l'augmentation considérable de l'excrétion de l'acide carbonique.

On a comparé l'organisme vivant à une machine à vapeur, le muscle à un moteur thermique auquel on peut appliquer les lois de la thermo-dynamique.

Suivant ces idées, les combustions chimiques produites dans l'organisme donnent lieu à une production de calorique dont une partie servirait directement à l'échauffement de l'individu, l'autre serait transformée en travail, suivant les données acquises de la conservation de l'énergie.

La quantité de chaleur disparue ainsi devant correspondre au travail effectué ; il résulte de cette donnée qu'un muscle qui se contracte en soulevant un poids, qui exécute un travail mécanique, doit s'échauffer moins qu'un muscle qui se contracte sans produire de travail.

¹ La quantité de chaleur maximum qu'un gramme de muscle peut développer dans une contraction est d'environ 3,1 microcalories, correspondant à la combustion de 8 milligrammes d'hydrocarbone ou de 3 milligrammes de graisse (Fick).

Il est nécessaire de rappeler ici la définition du mot travail en mécanique rationnelle ; c'est le produit de la force f par le chemin parcouru suivant la direction de cette force, D'après cette définition, un muscle qui soutient un poids P fait un effort, produit de la force, mais si ce poids P ne change pas de place par rapport à la terre, le muscle ne fait aucun travail. C'est le cas de la contraction statique. Il en est de même encore si le muscle imprime à un poids un mouvement alternatif et égal d'ascension et de descente. Le travail positif de l'ascension est annulé par le travail négatif égal de la descente. Chauveau désigne sous le nom de contraction stérile ces efforts musculaires dans lesquels le travail final est égal à zéro.

Ces faits théoriques ont été vérifiés par Béclard, qui a montré que, lorsque la contraction musculaire exécute un travail mécanique, il se produit dans le muscle une quantité de chaleur plus faible que lorsqu'une contraction de même mesure n'est pas accompagnée d'effets mécaniques. D'après Béclard, le thermomètre donnait des indications identiques quand le bras maintenait le poids (contraction statique ; on l'élevait et l'abaissait successivement), ce qui est conforme à la théorie, le travail étant nul dans les deux cas.

Dans le cas d'une contraction stérile, l'énergie mise en œuvre doit se disperser totalement en chaleur sensible. Deux équations représentent cette transformation de l'énergie.

Dans la conception thermo-dynamique on doit écrire :

$$\text{Energie chimique} = \text{chaleur} = \begin{cases} \text{chaleur} = \text{travail physiologique} \\ \text{chaleur immédiatement dissipée} \end{cases}$$

La formule de Chauveau est plus simple

$$\text{Energie chimique} = \text{travail physiologique} = \text{chaleur.}$$

La première formule implique une double transformation, l'énergie chimique se transformerait totalement en énergie thermique qui, elle, se changerait ensuite en travail suivant

la loi de l'équivalence (426 kilogrammètres par grande calorie disparue).

Pour Chauveau, l'énergie chimique se transforme directement en une force nouvelle : l'élasticité de contraction, qui dans le cas de contraction stérile reparait ensuite en totalité sous forme de chaleur et partiellement quand la contraction a donné lieu à un travail efficace.

Cette conception est générale et s'applique à tous les tissus ; pour Chauveau, dans l'énergie biologique, la chaleur n'est pas un but, elle est un résultat, elle n'est pas au commencement de la série des transformations de l'énergie, mais à la fin, et c'est le travail physiologique des éléments qui est l'intermédiaire entre la force vive chimique et la chaleur résultante.

La théorie thermo-dynamique a contre elle une grave objection, qui s'appuie sur l'étude même des principes essentiels de cette théorie qui a été présentée ainsi par M. Gauthier.

On sait, d'après le célèbre théorème de Carnot relatif à la transformation de la chaleur en travail dans un cycle fermé, que la quantité de chaleur Q apte à se transformer en travail T , pour une source de chaleur donnée, est fournie par l'équation

$$T = 425 Q \frac{t_i - t_f}{273 + t_i}$$

où t_i représente la température de la source avant le travail et t_f celle qu'elle acquiert après le travail ; donc :

$t_i - t_f = \text{Refroidissement de la source}$. Or pour que le travail extérieur T fût au travail absolu (ou 425 kilogrammes \times Q , qui répondrait à la totalité de chaleur produite) comme 1 : 3, rapport entre le travail et la chaleur répondant à la consommation des aliments et tissus, rapport établi par nos expériences et par celles de Fick, il faudrait que l'on eût :

$$\frac{T}{425 \text{ kg} \times Q} = \frac{t_i - t_f}{273 + t_i} = \frac{1}{3}$$

Si dans cette équation, nous faisons t_i égal à la température initiale des muscles avant la contraction, soit 38° environ, nous aurons :

$$\frac{1}{3} = \frac{38^\circ - t_f}{273^\circ + 38^\circ}$$

d'où

$$t_f = 38^\circ - \frac{273 - 38}{3}, = -65^\circ,$$

ce qui veut dire qu'en admettant, d'après la théorie thermodynamique, que le travail produit par le muscle provienne, comme le pensaient Robert Mayer et Hirn, d'une transformation de la chaleur intra-musculaire, il faudrait que la température finale t_f de ce muscle après le travail fût de 65° au-dessous de zéro, ce qui est absurde et contraire à toutes les observations. Cette température finale devrait encore être de $39,7$ au-dessous de zéro, si l'on admettait qu'un quart seulement de la chaleur se transformât en travail, et de -24° si l'on acceptait qu'un cinquième seulement de la chaleur disponible produise le travail, en prenant ici les chiffres les plus faibles donnés par Helmholtz pour le rendement de la machine animale¹. Il est donc évident, d'après ces observations, que la chaleur ne se change pas en travail dans le muscle, et que ce n'est pas par cet intermédiaire que le potentiel chimique produit la force et l'énergie mécaniques. (Gautier, *Traité de chimie biologique*.)

¹ Le rendement de la machine animale, c'est-à-dire le rapport entre le travail chimique et le travail mécanique produit a été évalué différemment : pour Fick un tiers, pour Helmholtz un cinquième. Les dernières recherches de Katzenstein, de Zuntz, de Lœwy tendent à admettre que ce rendement est d'un quart, alors que le travail utile accompli par une machine à vapeur, représente à peine le dixième de l'énergie thermique fournie.

Mais il ne faut pas oublier que le muscle n'est pas seulement un instrument de travail qu'il sert encore à entretenir la température de l'animal et que les $3/4$ de l'énergie que l'on ne trouve pas dans le travail mécanique ne sauraient être considérés comme de l'énergie perdue, puisque finalement elle est utilisée sous forme de calorique. Si le rendement mécanique était augmenté, ou, par hypothèse s'il était parfait, toute l'énergie chimique étant transformée en travail, l'animal à sang chaud ne pourrait plus entretenir sa température et mourrait de froid.

GLANDES VASCULAIRES SANGUINES

SÉCRÉTION INTERNE DES GLANDES

Foie, pancréas, rate, glande thyroïde, capsules surrénales, thymus. — A côté des organes glandulaires dont le rôle est mis en évidence par une sécrétion déversée soit dans le tube digestif pour concourir au processus de l'acte digestif, soit en dehors comme déchets de l'organisme, il existe une série d'organes richement vasculaires et qui ne présentent aucun conduit excréteur. Tels le thymus, le corps thyroïde, la glande pituitaire, la rate, les capsules surrénales. Ces organes ont été désignés pendant longtemps sous le nom de glandes vasculaires sanguines, leur situation sur le trajet des vaisseaux faisant supposer qu'ils concouraient plus spécialement à la formation du sang, mais jusque dans ces dernières années leur rôle fonctionnel était réellement inconnu.

Les recherches récentes de la physiologie conduisent désormais à considérer dans les glandes deux formes au moins d'activité fonctionnelle, l'une ayant pour objet de former des produits de sécrétions éliminés par leur appareil excréteur, c'est la sécrétion externe (le tube intestinal étant considéré comme constituant un milieu externe, ainsi du reste que permet de le concevoir son développement), l'autre ayant pour but de modifier certains éléments du