

Enfin si cette fibre se régularise, si la fusion des cellules devient complète, nous aurons la *fibre striée* (fig. 17^a), dans laquelle les membranes des cellules primitives sont représentées par l'enveloppe de la fibre ou myolemme, les noyaux cellulaires par des corpuscules placés d'espace en espace sur la face interne de cette enveloppe, et le contenu cellulaire par le contenu granuleux de la fibre, ce contenu dont nous allons parler dans un instant.

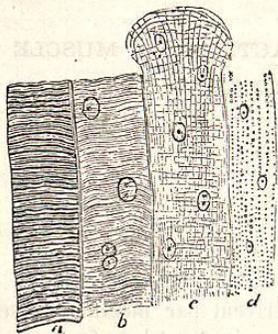


FIG. 18.
Divers aspects du muscle strié *.

lui que nous commencerons.

Le *muscle strié* est celui dont l'étude a été faite le plus complètement, c'est par

II. — DES MUSCLES STRIÉS.

Ces muscles se présentent comme formés de faisceaux de fibres remarquables par leur *striation transversale*. Mais cette fibre n'est pas l'élément le plus simple auquel conduise l'analyse histologique; elle se compose elle-même de *fibrilles longitudinales*. Ces fibrilles présentent de petites nodosités échelonnées les unes au-dessus des autres, et c'est la juxtaposition régulière en séries transversales des nodosités des fibrilles voisines qui produit l'aspect strié de l'ensemble de la fibre (Voy. fig. 18, *a, b, c, d*). Mais on n'est pas d'accord sur la nature de ces nodosités : pour Ch. Robin elles tiennent simplement à l'apparence de points alternativement clairs et obscurs qui proviennent

* *a*, aspect normal d'un faisceau primitif frais avec ses stries transversales; — *b*, faisceau traité par l'acide acétique étendu (noyaux plus distincts avec nucléoles); — *c*, traité par l'ac. acétique concentré, le contenu s'échappe par l'extrémité de l'enveloppe (sarcolemme); — *d*, atrophie graisseuse. (Virchow, *Pathologie cellulaire*.)

eux-mêmes d'une différence de réfraction des diverses parties de la fibrille; pour Rouget elles résulteraient de l'enroulement spiroïde du filament fibrillaire : celui-ci constituerait une hélice, dont les tours seraient rapprochés plus ou moins suivant l'état du muscle (Voy. plus loin étude de la Contraction). On a aussi considéré le muscle strié comme formé d'un milieu liquide contenant des granulations (*sarcous-éléments* de Bowman), qui se groupant en séries perpendiculaires (disques de Bowman) ou parallèles à l'axe de la fibre nous donnent des muscles à stries longitudinales ou transversales, cette dernière forme étant la plus fréquente (fig. 18, *a* et *b*); il est même probable que les autres aspects ne tiennent qu'à des artifices de préparation (1).

L'étude du muscle doit être dominée par ce fait capital que le muscle peut changer de forme, se présenter sous deux états différents : ainsi un muscle fusiforme devient dans certaines conditions globuleux, si rien ne s'oppose à ce qu'il réalise cette nouvelle forme. On désigne le premier état sous le nom d'*état de repos*, le second sous celui d'*état actif*.

Nous allons étudier les propriétés que le muscle pré-

(1) Il résulte en effet des recherches de Ranvier que la striation transversale existe parfaitement sur le muscle vivant. Voici l'expérience : Un ou deux faisceaux musculaires, pris sur un animal immédiatement après la mort et placés entre deux plaques de verre, produisent, lorsque l'on observe au travers de cette préparation une fente lumineuse, produisent des *spectres disposés symétriquement de chaque côté de cette fente*. (Voy. plus loin, à l'étude du sang, les indications relatives à ce qu'on nomme *spectre et spectroscopie*.)

Un *faisceau musculaire* se comporte donc pour la lumière comme le fait un *réseau*; cette propriété est due aux *stries transversales* du muscle.

M. Ranvier est parvenu à construire un *spectroscope*, permettant d'obtenir le *spectre du sang*, et dans lequel le prisme est remplacé par des fibres musculaires. On peut observer ainsi les *bandes d'absorption* de l'hémoglobine oxygénée, et de l'hémoglobine réduite. Les muscles de la vie organique (muscles lisses) n'ont jamais fourni de spectre; il en a été de même du muscle cardiaque. Pour ce qui est des muscles de la vie animale, la production d'un spectre paraît due à ce que les *sarcous-éléments* ont une disposition assez régulière pour agir sur la lumière comme les espaces laissés entre les stries d'un réseau.

sente dans chacun de ces états, sous chacune de ces formes nous étudierons ensuite comment le muscle passe d'une forme à l'autre (phénomène de la *contraction*).

A. Du muscle à l'état de repos.

Elasticité. Une des propriétés les plus remarquables du muscle est l'*élasticité*.

Par *élasticité* on entend la propriété qu'ont les corps de

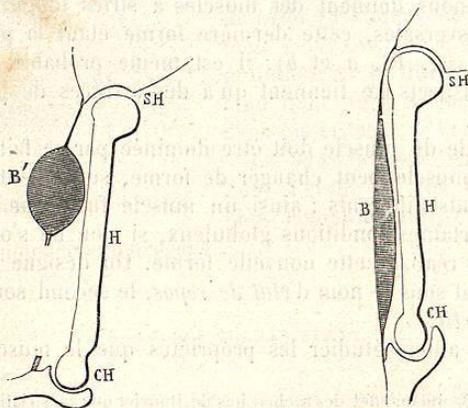


FIG. 19. — Schéma du muscle sous ses deux formes (REPOS, ACTIVITÉ)*.

se laisser écarter de leur forme primitive et d'y revenir dès que la cause qui les distendait cesse d'agir. À ce point de vue les corps présentent des différences notables, des propriétés élastiques diverses, selon que l'écartement se fait avec plus ou moins de facilité et que le retour à la forme primitive est plus ou moins complet. Nous dirons que l'*élasticité* est *parfaite* lorsque ce retour est parfait (exemple : balle d'ivoire); qu'elle est *imparfaite* lorsque ce retour n'est pas complet (ex. : un morceau de pâte); que l'*élas-*

* SH, articulation scapulo-humérale; — CH, articulation du coude; — H, Humérus; — B, biceps à l'état de repos; — B', biceps réalisant la forme d'état actif, grâce à la section de son tendon. (En réalité le tendon du biceps s'insère au radius, mais celui-ci faisant corps pendant la flexion avec le cubitus, on a pu représenter schématiquement l'avant-bras par un seul os, cubitus, auquel le biceps semble s'insérer).

té est forte lorsque l'écartement est difficile et le retour très-prompt (ex. : lame d'acier); qu'elle est faible lorsque l'écartement est facile et la tendance au retour peu énergique (ex. : lame d'osier).

On peut dire que le muscle à l'état de repos est *faiblement et parfaitement* élastique : ainsi les muscles sont très-mous et se laissent si facilement allonger que le bras dépouillé de son enveloppe musculaire (immédiatement après la mort) n'oscille pas plus facilement que quand les muscles étaient en place, ce qui prouve qu'en cet état ceux-ci se laissent facilement distendre (*élasticité faible*) et qu'ils reviennent parfaitement ensuite à leur état primitif (*élasticité parfaite*). De même les sacs musculieux (oreillettes, ventricules, estomac) se laissent si facilement distendre par tout ce qui tend à dilater leur cavité qu'on ne peut comparer cette élasticité qu'à celle d'une bulle de savon.

Cette *élasticité faible et parfaite* n'est pas une propriété *purement physique* du muscle, car elle dépend de la vie, de la nutrition, ou tout au moins de la composition chimique du muscle, composition qui est immédiatement sous l'influence de la vie de cet élément (circulation et innervation). Aussi des muscles tenus longtemps au repos, et qui par suite se sont mal nourris, n'ont-ils plus le même degré d'élasticité, et c'est ainsi que l'extension devient difficile et douloureuse dans un avant-bras longtemps tenu en écharpe.

Les muscles du cadavre sont d'abord flasques, extensibles, et gardent la forme qu'on leur donne : ils sont donc alors faiblement, mais *imparfaitement* élastiques; plus tard, ils entrent dans une période dite de *rigidité cadavérique*, dans laquelle il faut pour les allonger une force énorme, et une fois allongés ils ne reprennent nullement leur force première, de sorte qu'ils sont devenus *fortement et imparfaitement* élastiques. (Voy. plus loin, pag. 97, l'étude de la *rigidité cadavérique*).

On voit donc que l'*élasticité faible et parfaite* est jusqu'à un certain point caractéristique de la vie du muscle et qu'elle diffère complètement sous ce rapport de l'élasticité des ligaments, des os, et surtout du tissu élastique, élasticité qui reste toujours la même puisqu'elle ne tient qu'à l'arrangement

mécanique des fibres qui constituent ces tissus : cette dernière élasticité est purement physique. On n'en peut dire autant de celle du muscle ; sans vouloir cependant en faire une propriété essentiellement vitale, on doit remarquer qu'elle paraît tenir surtout à la composition chimique du muscle, à sa nutrition : en effet en injectant du sang chaud (expérience de Brown-Séguard) ou du sang défibriné, ou du sérum, ou même simplement un liquide alcalin dans les artères d'un animal récemment tué, on a pu le soustraire un certain temps à la raideur cadavérique ; l'acidité du muscle amène cette raideur, l'alcalinité s'y oppose.

Tonicité. — Cette élasticité du muscle est toujours sollicitée sur le vivant par les rapports que le muscle présente avec ses points d'attache : il est toujours tendu au delà de sa longueur naturelle de repos complet. Si en effet, le bras par exemple étant au repos, on coupe le tendon du biceps, on voit immédiatement celui-ci se raccourcir d'une petite quantité : c'est ainsi seulement qu'il réalise sa forme naturelle ; précédemment il était légèrement tendu par l'éloignement de ses points d'insertion, et il exerçait par suite sur ceux-ci une petite traction : c'est ce qu'on a désigné sous le nom de *tonicité* des muscles ; mais si l'on peut dire que ce n'est là que le résultat de l'élasticité du muscle mise en jeu par l'éloignement de ses points d'insertion, il faut cependant remarquer que cette *tonicité*, ou *élasticité parfaite du muscle vivant*, est sous la dépendance du système nerveux. Quand on coupe les nerfs qui se rendent à ces muscles, cette tonicité disparaît, les muscles deviennent flasques, les sphincters se relâchent complètement ; de plus, le muscle ne présente plus des phénomènes d'échange aussi actifs, une nutrition aussi vive (1). Cette influence des nerfs sur la tonicité du muscle vient du centre gris de la moelle, mais ne doit pas être considérée comme prenant naissance dans la moelle elle-même, par une sorte d'*automatisme* de ce centre nerveux. Il est démontré aujourd'hui qu'il faut chercher plus loin encore

(1) Voyez Cl. Bernard : *Leçons sur la chaleur animale*. Quand le nerf d'un muscle est coupé, le sang veineux sort de ce muscle presque à l'état de sang artériel, parce que la combustion y est alors très-peu active.

l'origine de la *tonicité* : elle est de nature réflexe et implique par conséquent l'intervention non-seulement des nerfs moteurs, non-seulement de la substance grise de la moelle, mais encore celle des nerfs sensitifs. Il suffit, comme l'a démontré Broudest, de faire la section des nerfs sensitifs provenant d'une partie dont les muscles sont en parfait état de *tonicité*, pour faire immédiatement disparaître celle-ci.

Ces considérations sur l'élasticité et sur les propriétés du muscle à l'état de repos nous permettent de résoudre une question diversement tranchée par les auteurs : *dans les membres, les fléchisseurs l'emportent-ils en force sur les extenseurs ; ou vice-versâ ?* — De ce qu'au repos ou après la mort les membres se mettent généralement dans une demi-flexion, on a cru pouvoir conclure que cette position provenait d'une prédominance de force de la part des fléchisseurs ; mais puisqu'alors il y a repos, il n'y a pas lutte, et sans lutte on ne peut concevoir une prédominance de force : on ne peut de cette position conclure qu'une chose, c'est que les fléchisseurs sont plus courts que les extenseurs, et l'extension dans ces conditions met en jeu l'élasticité des fléchisseurs. Mais que l'état de repos cesse, que la lutte s'établisse, comme par exemple dans le tétanos où tous les muscles sont contractés, et alors on verra tous les membres et le tronc lui-même dans l'extension, d'où l'on peut conclure que les *extenseurs sont plus puissants que leurs antagonistes*.

Phénomènes chimiques. — Le muscle, à l'état inactif, vit et se nourrit, c'est-à-dire que sa composition chimique change incessamment, il respire : ainsi un muscle, même détaché du corps, tant qu'il vit encore, absorbe de l'oxygène et dégage de l'acide carbonique, et sa vie se prolonge d'autant plus qu'il peut plus longtemps respirer, c'est-à-dire qu'il est placé par exemple dans une atmosphère d'oxygène (1). Sur l'animal vivant le sang veineux qui

(1) Hermann (Berlin, 1867) a prétendu que les phénomènes d'échange gazeux, que présentent les muscles lorsqu'ils sont séparés du corps de l'animal et placés au contact de l'air, sont des phénomènes de *simple*

sort du muscle diffère essentiellement du sang artériel qui y entre, par moins d'oxygène et plus d'acide carbonique.

Il faut ajouter que le muscle à l'état de repos est alcalin; sans doute que sous cette forme ses phénomènes chimiques (l'oxydation dont il est le siège) ne sont pas assez énergiques pour produire des acides capables de neutraliser l'alcalinité du sang dont il est imbibé.

Pouvoir électro-moteur. — Le muscle possède des propriétés électro-motrices, c'est-à-dire qu'il donne naissance à des courants électriques que l'on peut constater toutes les fois que l'on fait communiquer les deux fils d'un galvanomètre l'un avec la masse intérieure d'un muscle ou sa section transversale, l'autre avec la périphérie du même muscle ou sa section longitudinale : le courant a

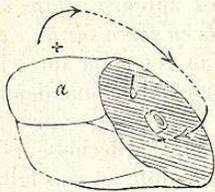


FIG. 20.
Courant musculaire *.

toujours lieu de la surface au centre, c'est-à-dire que la surface ou coupe longitudinale est positive relativement au centre ou coupe transversale (fig. 20).

Dans la pensée que ce pouvoir électro-moteur pourrait donner la clef des principales propriétés du muscle, et notamment du passage de l'état de repos à l'état actif (car nous verrons qu'alors le courant change ou disparaît), on a entrepris à ce sujet de longues études, et, après avoir précisé les conditions du courant, on a cherché à les expliquer par une théorie dite des *molécules péripolaires électriques*. Mais nous n'entrerons point dans ces détails, parce qu'il est probable

putréfaction. Mais Paul Bert a démontré que c'était bien là un phénomène de respiration, de vie, et il a constaté ces échanges respiratoires, quoiqu'à un moindre degré, dans divers tissus. (Voyez : *Leçons sur la Physiologie comparée de la respiration*, 1870. 4^e leçon : *Respiration des tissus*.)

* Le courant se dirige dans le circuit galvanoscopique de *a* en *b* comme l'indiquent les flèches; *a*, surface longitudinale du muscle, positive (+); *b*, section surface transversale (—).

que l'étude de ces courants ne doit pas dominer la physiologie du muscle, et qu'ils doivent être considérés comme résultant simplement des phénomènes chimiques dont les muscles sont le siège, phénomènes plus ou moins actifs, dans les couches plus ou moins superficielles. En effet la forme des morceaux de muscle mis en expérience exerce une grande influence sur la direction du courant; un muscle peut posséder son courant électrique normal et cependant avoir perdu ses autres propriétés : ainsi les poisons qui tuent le muscle n'ont pas toujours une influence semblable sur ses propriétés électro-motrices; enfin on a pu observer des courants analogues avec des morceaux de tissus vivants quelconques, même de végétaux, par exemple avec des morceaux de pulpe de pomme de terre.

B. Du muscle sous la forme active.

Le muscle à cet état semble ne différer de ce qu'il était à l'état précédent que par un changement de forme : il est plus court et plus épais; un muscle fusiforme devient globulaire. En général la différence peut être évaluée à près de $\frac{5}{6}$, c'est-à-dire que sous la forme active le muscle s'est raccourci des $\frac{5}{6}$ de sa longueur primitive (sous la forme passive). Mais ses dimensions transversales augmentent en raison directe de la diminution de ses dimensions longitudinales, de telle façon que rien n'est changé dans son volume. En effet, si on met dans un vase gradué et plein d'eau un muscle en repos, et que par une excitation on le fasse passer à la forme active, on n'observe aucun changement dans le niveau du liquide. Cependant dans ces derniers temps, par des procédés très-minutieux, Valentin a constaté qu'en passant de la première à la deuxième forme, un muscle augmente de densité dans le rapport de $\frac{1}{1300}$; mais cette fraction exprime une si faible diminution de volume qu'elle paraît complètement négligeable.

Le volume restant le même, nous n'avons donc, pour faire l'étude comparée du muscle sous sa forme active, qu'à le considérer au point de vue des propriétés déjà étudiées pour le muscle en repos : élasticité, phénomènes chimiques, pouvoir électro-moteur.

Élasticité. Dans la forme active, le muscle, si rien ne l'empêche de réaliser complètement cette forme, est aussi mou et aussi élastique que dans son état de repos. Si on le palpe alors on le trouve très-mou; c'est un phénomène que les chirurgiens ont parfois constaté, lorsque dans un membre amputé, surtout dans la cuisse, les muscles coupés pris de tétanos se contractent. Rien ne les empêchant de réaliser complètement leur forme d'état actif, puisqu'ils n'ont plus d'insertions inférieures, ils se retirent vers la racine du membre, et y forment une masse globuleuse, molle, fluctuante, qu'on a comparée à une collection liquide. Il semble même, et cela est vrai, que le muscle, sous la forme active, est plus mou que sous la forme de repos. — Si l'on cherche à allonger un muscle libre et contracté, on voit qu'il se laisse étendre facilement, et qu'après avoir été étiré il revient d'une manière parfaite à la forme dont on l'a écarté : il est donc, absolument comme dans la forme du repos, *faiblement et parfaitement* élastique. Bien plus, de même que nous avons vu qu'il est plus mou, on peut constater qu'il est plus faiblement élastique sous sa forme active, c'est-à-dire qu'il se laisse plus facilement écarter de cette forme que de la forme du repos : on le prouve par une expérience due à Weber :

1° Ce physiologiste a construit avec les fibres musculaires des pendules à torsion, et en écartant l'aiguille de sa position de repos, il a remarqué que les oscillations qui succèdent à cet écartement sont plus rapides pour le muscle à l'état de repos que pour le muscle contracté; en d'autres termes, on remarque, en expérimentant sur le muscle contracté, un ralentissement qui indique une élasticité, une cohésion moindres, car la rapidité du tournoiement de l'aiguille est en raison de la force d'élasticité du fil tordu.

Ces résultats paraissent singulièrement en contradiction avec ce qu'on observe sur un muscle contracté sur le vivant, c'est-à-dire sur un muscle *tendant à réaliser sa forme active*. En effet tout le monde a pu constater sur soi-même que le biceps, par exemple, contracté, est singulièrement dur et paraît fortement élastique, c'est-à-dire très-ré-

sistant à la traction, et dans ce cas on a peine à croire à la mollesse que nous venons d'assigner au muscle dans sa forme active; c'est que, vu leur disposition relativement au squelette, les muscles sur le vivant ne peuvent presque jamais réaliser cette forme. Quand en effet le biceps passe de la forme de repos à la forme active, il tend à se raccourcir de près des $\frac{5}{6}$ de sa longueur; mais le déplacement qu'il peut faire subir aux os lui permet tout au plus de se raccourcir de $\frac{1}{6}$ ou $\frac{2}{6}$; nous avons donc alors un muscle sous la forme active qui est fortement violenté, étiré, qui est en un mot dans le cas d'une bande de caoutchouc violemment tendue; il est donc forcément très-dur et résistant au toucher. Mais cette dureté provient, non de la contraction du muscle, mais de la tension qu'il éprouve pendant cette contraction.

Pour qu'un muscle put réaliser parfaitement la forme qu'il affecte à l'état actif, il faudrait désarticuler les os, ou couper le muscle à une de ses insertions, et on le verrait alors se raccourcir considérablement en s'élargissant (Voy. ci-dessus fig. 19, p. 82) : c'est ainsi que nous avons cité la forme des muscles de la cuisse pris de tétanos chez des amputés de ce membre. Soumis alors à une traction, le muscle se durcira, et plus l'allongement forcé augmentera plus augmentera la résistance, absolument comme pour une bande de caoutchouc. Que cet allongement soit le résultat des rapports du muscle avec le squelette résistant, et dans ce cas lui-même le durcissement du biceps, pris pour exemple, sera caractéristique non de la forme active mais de l'élongation qu'il subit et qui l'empêche de réaliser cette forme.

Phénomènes chimiques. Nous avons vu que le muscle sous la forme de repos absorbe de l'oxygène et dégage de l'acide carbonique, en un mot qu'il est le siège d'une combustion dont le sang fournit les matériaux. — Il en est de même sous la forme active, seulement *cette combustion est beaucoup plus active* : ainsi en analysant les produits dégagés par un muscle isolé que l'on fait passer à la forme active, ou en examinant les dépenses d'un organisme entier

au moment d'un travail musculaire considérable, on observe une plus grande absorption d'oxygène et un plus grand dégagement d'acide carbonique.

C'est l'ensemble de ces phénomènes chimiques qui, même en dehors de tout travail mécanique accompli, nous autorise à employer l'expression de *forme active*.

Les résultats de ces combustions sont d'une part les dérivés azotés (créatine, créatinine, acide urique); d'autre part et dans une proportion bien plus considérable, des dérivés hydrocarbonés (acide lactique) et comme produit ultime, l'acide carbonique. On voit donc que ces combustions forment des acides, de sorte que, dans un muscle qui se fatigue, c'est-à-dire qui reste longtemps dans la forme active, le suc musculaire est de moins en moins alcalin et même finit par devenir acide.

La combustion qui se passe dans le muscle se traduit immédiatement par l'aspect du sang qui en sort, et qui prend d'autant plus les caractères du sang veineux, *du sang noir* (riche en CO_2 et pauvre en O) que le muscle fonctionne avec plus d'énergie. Aussi lorsque toute contraction musculaire est supprimée, comme dans une syncope, la veinosité du sang diminue, au point qu'une veine incisée laisse échapper un sang qui a presque les caractères du sang artériel. (Brown-Sequard, *Du sang rouge et du sang noir*, 1858. — Cl. Bernard, *Liquides de l'organisme*, 1859.)

Nous avons vu que la *tonicité* du muscle disparaît quand on coupe les nerfs moteurs qu'il reçoit ou que l'on supprime l'un quelconque des éléments qui produisent le réflexe plus ou moins permanent auquel est dû l'état de tonicité (Voy. p. 84). Nous avons vu qu'alors aussi les combustions qui se passent dans le muscle sont moins actives (Cl. Bernard). La tonicité peut donc être considérée, lorsqu'elle est portée à son plus haut degré, comme une légère tendance du muscle à passer à la forme active (comme une légère contraction permanente). Hâtons-nous d'ajouter que ce degré de tonicité n'existe pas toujours pour tous les muscles : il existe surtout pour les muscles qui sont sollicités par la contraction de leurs antagonistes, pour les muscles qui déterminent certaines positions naturelles des membres (ainsi

une grenouille suspendue par la tête ne laisse pas pendre ses membres postérieurs, mais les tient naturellement ramassés et fléchis près du tronc). En dehors de ces conditions, et de quelques autres analogues, ce degré de tonicité ne se trouve pas réalisé : il n'existe point dans un muscle isolé, et qui, dans des conditions expérimentales, n'a plus conservé que ses connexions nerveuses. En effet, à côté de l'expérience de Brondgest, que nous avons citée plus haut (p. 85), il nous faut rapporter celle de Heidenhain. Ce physiologiste détache un muscle de son insertion inférieure, sans compromettre en rien les relations normales de l'organe avec la moelle; puis il fixe un poids à l'extrémité libre du tendon et mesure avec précision la longueur du muscle; cela fait, il sectionne tous les nerfs moteurs qui s'y rendent. Il est clair que si le tonus existe, le muscle doit s'allonger, ne fût-ce que d'une quantité très-faible : or aucun allongement ne se produit dans ce cas. (Voy. S. Jacoud, *Physiologie de la moelle*, in *Les paraplégiés*, etc., 1864.)

Les matériaux de ces combustions intra-musculaires plus ou moins actives sont surtout les hydrocarbures, c'est-à-dire les substances grasses et amyloïdes apportées par le sang, en d'autres termes les aliments dits *respiratoires*, car le muscle n'oxyde presque pas de substances azotées, et le travail musculaire n'amène presque aucune augmentation dans l'excrétion de l'urée (1).

(1) Ce fait que le muscle en activité consomme surtout des aliments hydrocarbonés et non des substances albuminoïdes est une conquête toute récente de la science et se rattache aux connaissances nouvelles sur l'équivalent mécanique de la chaleur.

Liebig avait divisé les aliments en *aliments respiratoires* et *plastiques* : les premiers par leur combustion produisaient la chaleur animale; c'étaient les substances grasses et les sucres, les hydrocarbures en un mot : les seconds, représentés par les albuminoïdes, étaient destinés à réparer les tissus, et surtout les muscles. Quant au travail musculaire, il était produit par le muscle aux dépens de sa propre substance : c'étaient donc les aliments albuminoïdes qui servaient uniquement au travail musculaire.

Les nouvelles notions sur le travail mécanique et sur ses rapports avec la chaleur, montrèrent, grâce aux travaux de Rumfordt, de Tyn-dall, de Joule (de Manchester), de Mayer (de Bonn), de Hirn (du Logel-

On voit donc que la contraction musculaire (ou le passage du muscle de la forme de repos à la forme active) doit être mise en première ligne parmi les sources de la chaleur animale, grâce à l'active combustion qui se produit alors. En effet si un muscle passe à la forme active sans produire aucun travail (comme dans le cas où son tendon serait coupé), la combustion dont il est alors le siège ne donne que de la chaleur; mais si, comme c'est le cas normal, il ne peut réaliser parfaitement cette forme, s'il a des

bach), que chaleur et travail mécanique ne sont qu'une seule et même chose, ou du moins que ce sont deux forces équivalentes (1); que l'une se transforme en l'autre d'après la loi de l'équivalence et de la constance des forces, et que par exemple une calorie peut être utilisée pour produire 425 kilogrammètres, c'est-à-dire que la force chaleur qui élève de 1 degré 1 kilogr. d'eau, peut aussi bien, sous une autre forme (travail), élever un poids de 1 kilogr. à 425 mètres de hauteur: le nombre 425 exprime donc l'équivalent mécanique de la chaleur.

Or le muscle n'est qu'une machine comme les autres: il transforme de la chaleur en travail mécanique (voir le texte quelques lignes plus bas), seulement c'est une machine plus parfaite que celle que construit l'industrie, une machine qui, présentant un poids bien moindre, transforme en travail une bien plus grande partie de la chaleur produite: (1/5 au lieu de 1/10 que donnent les meilleures machines à vapeur.)

Si donc le travail musculaire peut être considéré comme de la chaleur transformée, il doit avoir pour source les combustions qui produisent de la chaleur, et le muscle ne doit plus être considéré que comme un appareil qui brûle non pas sa propre substance, mais qui sert de lieu de combustion aux matériaux qui produisent chaleur ou travail. C'est en effet l'hypothèse qu'émit Mayer dès 1845, lorsqu'il envisagea, s'appuyant sur le principe de la constance des forces, la chaleur et le travail musculaire comme les manifestations des forces vives, et les considéra comme émanées d'une seule et même origine, la combustion.

Dès lors la division, telle que l'avait donnée Liebig, des aliments en respiratoires et plastiques, en attribuant à ces derniers (albuminoïdes) la source du travail musculaire, ne pouvait plus être admise qu'après vérification directe. D'abord le raisonnement portait à croire que le travail musculaire étant une forme de la chaleur devait trouver son origine dans les aliments dont la combustion est capable de fournir le plus de chaleur, c'est-à-dire dans les graisses et les hydrocarbures. En effet, Mayer calculait que s'il était vrai que le muscle brûle sa propre substance ou brûle des albuminoïdes (ce qui revient au même), la chaleur développée par l'oxydation de ces substances est si peu considé-

(1) Voyez Paul Bert, art. CHALEUR du *Nouveau dictionnaire de médecine et de chirurgie pratiques*, t. VI.

résistances à vaincre, s'il déplace ces résistances, en un mot s'il produit un *travail*, on observe qu'en même temps qu'il se durcit, il ne dégage qu'une partie de la chaleur résultant des combustions dont il est le siège, l'autre partie se transformant en travail mécanique (Béclard).

Il n'est pas toujours facile à l'homme d'utiliser complètement le rendement de son appareil musculaire, c'est à dire de transformer en travail utile la plus grande quantité possible de la chaleur musculaire. C'est ce qu'il fait dans

un homme brûlerait toute sa masse musculaire après quelques jours de travail.

Mais l'expérience directe devait trancher la question; il s'agissait d'une constatation assez simple à faire: nous verrons plus loin que les résidus de la combustion des albuminoïdes sont constitués essentiellement par l'urée éliminée par les reins; si pendant le travail mécanique il y a beaucoup d'albuminoïdes de brûlés, il doit y avoir une grande augmentation d'urée dans les urines.

Après quelques expériences peu concluantes de Lehmann et de Speck, après quelques essais plus démonstratifs de Bischoff et Vogt, Fick et Wislicenus résolurent le problème par une expérience demeurée mémorable: les deux physiologistes firent à jeun l'ascension d'une haute montagne des Alpes bernoises, en ayant soin de déterminer la quantité d'urée éliminée par les reins pendant et après l'ascension: le travail développé par cette ascension pouvait être représenté pour l'un des expérimentateurs par 184-287 kilogrammètres; cependant on n'observa aucune augmentation d'urée pendant et après cet exercice musculaire considérable. Le muscle brûle donc uniquement des hydrocarbures et des graisses et non uniquement des albuminoïdes, pour donner naissance au travail ou à la chaleur.

A cette expérience si démonstrative on peut joindre quelques considérations de Physiologie comparée: les animaux herbivores, c'est-à-dire qui se nourrissent surtout d'hydrocarbures, sont capables de développer bien plus de force que les carnivores nourris d'albuminoïdes; ainsi l'homme n'utilise comme source de grands travaux mécaniques que des herbivores (cheval, bœuf). Les oiseaux granivores sont en général plus vifs et développent plus de chaleur et de travail que les carnivores. Le fait est encore plus frappant pour les insectes: ainsi parmi les acariens, les uns vivent en parasites sur les animaux, les autres se nourrissent par exemple de farine ou de sucre (Glyciphages): or les premiers sont remarquables par la lenteur, les seconds par l'incroyable rapidité de leurs mouvements. Enfin l'expérience relative à la nourriture a été faite sur l'homme, et l'Anglais Harting, après s'être mis au régime de 1500 gr. de viande par jour, presque sans hydrocarbures, était arrivé à un degré extrême de faiblesse musculaire.