

a *addition latente* (Ch. Richet) ou sommation. Cette addition latente s'observe d'ailleurs aussi bien quand la première excitation est suivie d'une contraction que dans le cas où elle demeure inefficace, mais pour bien l'observer, il faut opérer avec des courants faibles, tout juste suffisants — ou insuffisants — pour la production d'une contraction. Maintenant

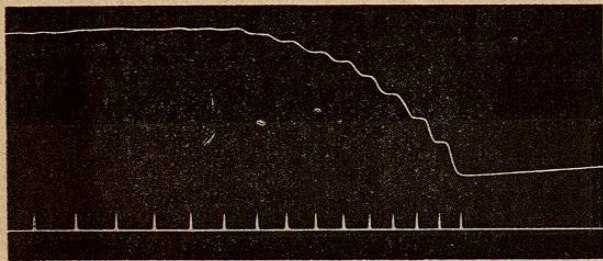


Fig. 68. — Tétanos d'abord incomplet, puis complet du muscle caudal du *Pagurus callidus*. Il n'y a pas de différence réelle dans le rythme des excitations, mais le cylindre tourne plus lentement au début.

excitons le muscle, en employant des courants faibles toujours, mais suffisants pour provoquer une contraction moyenne, et excitons-le plusieurs fois de suite, à intervalles tels que chaque excitation atteigne le muscle après qu'il s'est relâché (cet intervalle variera selon le muscle, selon la durée de sa secousse). Le rythme des excitations étant peu fréquent, nous aurons une série de contractions isolées, naturellement. Accélérons maintenant le rythme : chaque excitation atteignant le muscle avant qu'il n'ait pu se relâcher, il n'y aura plus qu'une décontraction incomplète, et le tracé nous montrera que le muscle est en état permanent de contraction, avec de légers accroissements de contraction lors des excitations : le tracé est ondulé. Le muscle est alors en tétanos physiologique (Helmholtz), mais incomplet : pour avoir

un tétanos complet, il nous suffira d'accélérer encore le rythme des excitations. Ce rythme nécessaire varie selon les muscles, naturellement ; pour obtenir le tétanos complet, il est nécessaire et suffisant que le muscle soit excité avant d'avoir commencé à se relâcher, et comme la durée de la période d'ascension varie *selon les muscles* et *selon les conditions expérimentales*, le rythme variera selon le muscle et

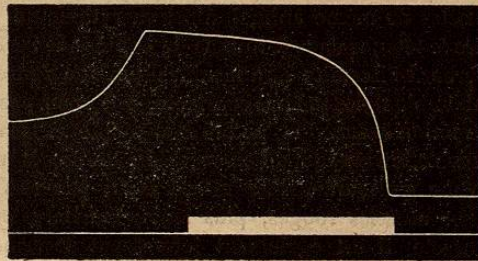


Fig. 69. — Tétanos complet d'emblée du muscle caudal du *Pagurus callidus*.

selon les conditions expérimentales aussi ; il variera selon les différents muscles à conditions égales ; il variera pour le même muscle, selon qu'il est fatigué ou non, selon que l'irrigation sanguine est bonne ou non, selon la température, selon le poids à soulever, en un mot selon toutes les conditions aptes à modifier la durée de la période de raccourcissement. Opérons sur des muscles différents, dans des conditions aussi égales que possible, et nous voyons que pour obtenir le tétanos complet il faut un rythme de 300 excitations par seconde pour les insectes, de 100 pour les oiseaux, de 60 pour le cobaye, de 40 pour l'homme, de 30 pour la grenouille (gastrocnémien, car pour l'hyoglosse 15 suffisent), de 3 pour la tortue et de 0,1 pour l'escargot (C. Richet). Pour différents crustacés (crabes, Bernard-l'Hermite, etc.), il faut de six à huit excitations doubles par seconde, en hiver ; pour les muscles

lisses d'invertébrés, les chiffres varient énormément : l'intervalle entre les excitations pouvant être de six ou huit secondes, chez certains mollusques, ou seulement de un dixième de seconde (de Varigny). Il est intéressant de noter — et c'est là une confirmation du fait énoncé plus haut de la variabilité de la secousse selon le muscle considéré, chez le même animal — que pour produire le tétanos il est besoin de rythmes parfois très différents quand on opère sur différents muscles du même animal. Ainsi un rythme qui suffira à produire le tétanos dans le muscle de la pince de l'écrevisse ou du Bernard-l'Hermite sera insuffisant si l'on s'adresse au muscle abdominal des mêmes crustacés, ce dernier possédant une contraction beaucoup plus brève et rapide, et les mêmes différences s'observent quand on considère différents muscles d'une même grenouille, d'un même lapin (muscles pâles, rapides, et muscles rouges, plus lents, Ranvier), ou d'un même insecte. Il est également intéressant de remarquer combien le rythme nécessaire à la production du tétanos varie pour un même muscle individuel selon son état, c'est-à-dire selon les conditions intérieures ou extérieures. Si le muscle est échauffé, sa contraction est plus rapide, et alors il faut un rythme plus rapide ; s'il est fatigué, il se contracte plus lentement, et alors il suffit d'un rythme plus lent, comme dans le cas du muscle refroidi ou anémié.

Le tétanos une fois établi, que se passe-t-il si les excitations continuent à se produire ? Le tétanos va-t-il durer tant que durera l'excitation ? Cela dépend du muscle. Tel restera longtemps en état de tétanos, jusqu'à sa mort (pince de l'écrevisse détachée du corps) ; tel autre, au bout d'un temps parfois très court, s'épuise et se relâche (muscle abdominal du même animal). Dans le premier cas, la rigidité cadavérique fait suite au tétanos, et ceci justifie, dans une certaine mesure, l'opinion d'Hermann qui voit dans la contraction et la rigidité cadavérique deux états très analogues. Dans le second, il y a une perte évidente de l'excitabilité. Perte tem-

poraire, sans doute, puisque le repos permet à l'excitabilité de se rétablir, comme il est facile de s'en assurer en excitant au bout de quelque temps de repos un muscle devenu inexcitable à force d'avoir été irrité, mais perte manifeste, et qui se traduit par un relâchement plus ou moins rapide,

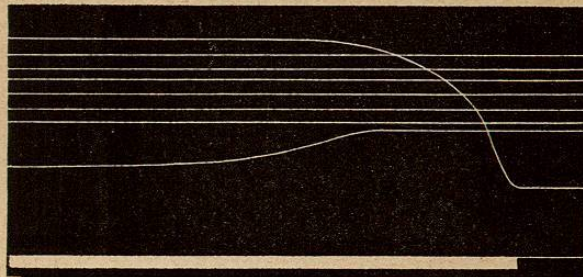


Fig. 70. — Tracé d'*Eledeone moschata* : tétanos prolongé. Chaque ligne correspond à un tour du cylindre (tour se faisant en une minute environ). Bien que l'excitation persiste le muscle se relâche peu à peu. Le relâchement brusque de la dernière ligne de descente est dû à la cessation de l'excitation.

mais bientôt complet, du muscle. Le temps au bout duquel cette inexcitabilité survient est variable : Ch. Richet l'évalue à une minute pour le muscle caudal de l'écrevisse, et à 90 minutes pour le muscle de la pince, d'autres muscles présentant des chiffres intermédiaires. Mais il s'agit ici de muscles séparés du corps, et pour des muscles restés dans leurs connexions normales, recevant le sang dont ils ont besoin, le tétanos doit durer beaucoup plus longtemps : un chien peut recevoir en deux heures plus de 100,000 secousses sans que ses muscles perdent leur excitabilité.

On remarquera souvent au début du tétanos physiologique la *contraction initiale* de Bernstein : une contraction forte et vive, suivie d'un tétanos complet ou incomplet. Cette contraction initiale indique un état d'excitabilité plus grand, et

dépend manifestement de celui-ci. Aussi arrive-t-il souvent que cette contraction se produit non au début même de la téτανisation, mais après un certain temps. Dans le premier cas, l'excitabilité est maxima au début, et va décroissant ; dans le second, elle est relativement faible au début, et va croissant — jusqu'à un certain moment — sous l'influence des excitations mêmes, ce qui revient à dire que l'excitation tantôt accroît, tantôt diminue l'excitabilité. Ce fait peut sembler paradoxal, mais il est très net, très facile à mettre en évidence, et quiconque a quelque pratique de la myographie a rencontré de très nombreux exemples de l'accroissement et de la diminution de l'excitabilité sous l'influence des excitations mêmes. Il est moins aisé de s'expliquer la *contraction finale*, la contraction assez forte qui s'observe parfois à la fin du téτανos physiologique, au moment où l'on cesse l'excitation ; aussi nous contenterons-nous de la signaler simplement¹. Il se passe là un phénomène analogue à ce qui a lieu lors de la rupture d'un courant de pile ; mais on sait qu'à la rupture, il y a une excitation forte, tandis qu'on ne voit guère comment la cessation d'une excitation par des courants induits peut constituer une excitation forte ou faible.

Secousse latente. — On remarquera que les variations d'excitabilité dont les signes sont évidents dans les tracés de contractions successives existent au même degré dans le cas où la secousse demeure latente, dans le cas où par un artifice on empêche le raccourcissement de se produire. Voici un muscle que nous excitons faiblement, avec un courant insuffisant, et si tout d'abord nous n'observons pas de contraction, il s'enproduit après 4, 6, 10 excitations, comme cela a été dit plus haut. Variés l'expérience, et envoyons dès le début une excitation suffisante : il y a contraction dont nous noterons les caractères, la période latente, la forme, etc. Puis,

¹ Voyez Beaunis. *Rech. sur la forme de la contraction musculaire* (1884).

au poids léger qui tend le muscle, substituons un poids lourd, et excitons : le muscle ne se raccourcit pas. Pourtant ces excitations produisent leur effet, car si après avoir excité trois ou quatre fois le muscle dans ces conditions, nous l'excitons en permettant à la contraction de se traduire au dehors (par substitution du poids faible au poids fort), il y a raccourcissement, et le tracé indique une augmentation évidente d'excitabilité : la période latente est plus courte, la contraction est plus ample, ou bien le phénomène est inverse

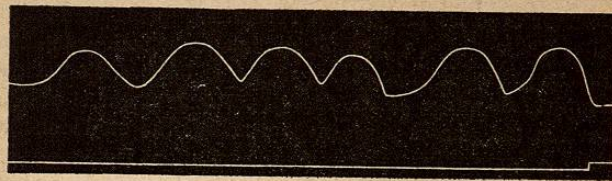


Fig. 71. — Tracé d'*Eleidone moschata* montrant la production du téτανos rythmique durant le passage de courants galvaniques.

selon que l'excitabilité a été accrue ou diminuée. Le fait que les secousses ont été latentes ne change donc rien au processus : c'était là le point à établir. La contraction latente peut donc être rapprochée de l'addition latente en ce sens que dans les deux cas il y a des modifications intimes dans le muscle qui ne se manifestent pas au moment où elles se produisent, par un effet visible.

Tétanos rythmique. — L'étude des tracés de téτανos physiologique, — bien distinct, est-il besoin de le dire, de l'affection nerveuse qui porte aussi le nom de téτανos — nous montre qu'il y a plusieurs formes de ce phénomène : il peut être incomplet ou complet ; il peut s'accompagner ou non de contraction initiale et finale ; il peut diminuer rapidement ou au contraire se maintenir assez longtemps, augmentant, fixe, ou

diminuant (tétanos ascendant, horizontal ou descendant. A ces formes on en doit joindre une autre, connue sous le nom de *tétanos rythmique*. Voici un muscle qui reçoit des excitations suffisantes, très nombreuses. Il devrait, semble-t-il, se contracter fortement et rester en tétanos. Cela arrive, en effet, mais il peut arriver aussi que ce muscle se met à se contracter et à se relâcher alternativement, le relâchement étant d'ailleurs complet ou incomplet, et, sans qu'il y ait la moindre relation avec le rythme des excitations, ces alternances sont rythmées, régulières. Ce phénomène est facile à observer avec les muscles de l'écrevisse, du Bernard-l'Hermite, des méduses, l'Élédone (mollusque céphalopode), etc. Que se passe-t-il donc, et pourquoi le tétanos n'est-il pas complet? Ce qui se passe, c'est probablement que le muscle traverse des phases successives d'excitabilité et d'inexcitabilité, comme il les traverse lors d'excitations isolées et successives. Du moment où il est inexcitable, il se relâche malgré la continuité de l'excitation; dès qu'il est redevenu excitable, il se contracte à nouveau. Il faut croire que le rythme de cette alternance est souvent très régulier, car on voit ce tétanos revêtir dans certains cas une régularité remarquable qui s'observe particulièrement chez les muscles dont la contraction normale est rythmique. On peut citer comme exemples à l'appui la musculature de l'ombrelle des méduses (Rhizostome de Cuvier) et le muscle cardiaque. Faites passer un courant de pile, ou une série d'excitations d'induction très rapprochées dans un fragment de muscle de l'ombrelle, et il se produira une série de contractions d'abord faibles, mais qui vont graduellement croissant, et dont le rythme est parfaitement marqué (de Varigny); excitez la pointe du cœur de la grenouille séparée du reste de l'organe — sans ganglions par conséquent — et ici encore c'est une série de contractions que l'on observera (Bowditch, Ranvier). Il y a évidemment des muscles à qui la contraction rythmée est naturelle; mais y a-t-il quelque chose de plus que des alternances d'excitabi-

lité et d'inexcitabilité, voilà ce qu'on ne saurait encore déterminer avec exactitude. A ce propos, on remarquera toutefois que la systole du cœur paraît bien être une secousse simple, comme l'ont admis Marey, Vulpian, Ranvier, et beaucoup d'autres, et non un tétanos, une réunion de secousses simples comme le dit Frédéricq. On peut bien obtenir le tétanos du cœur, mais c'est un phénomène tout différent de la systole normale. Toutefois la question prête encore à la discussion, et n'est point définitivement tranchée.

Bruit musculaire. — Pendant que le muscle se contracte l'on perçoit un certain bruit qui est produit par celui-ci; ce *bruit musculaire* est le résultat des vibrations du muscle: il a été l'objet d'études particulières de Wollaston (1810) et de Helmholtz, qui a montré que ce bruit correspond à 35 ou 40 vibrations par seconde à l'état normal, mais qu'il varie selon le nombre des excitations quand à l'excitant normal, la volonté, on substitue un excitant artificiel, comme l'électricité. Excitez le muscle 50, 500 ou 1 000 fois par seconde, et le bruit musculaire sera le son correspondant à 50, à 500 ou à 1000 vibrations. C'est là un fait de grande importance, car il est permis d'en conclure que si le bruit musculaire normal répond à 30 ou 40 vibrations, c'est sans doute que le muscle vibre 30 ou 40 fois, et peut-être reçoit 30 ou 40

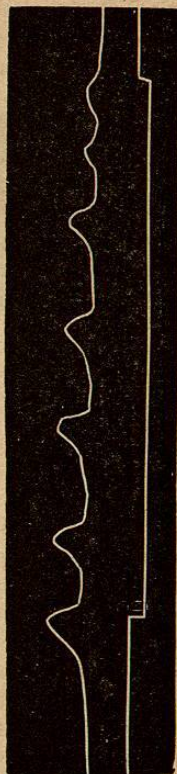


Fig. 72 — Tracé de *Rhizostoma Cuvieri*, montrant le tétanos rythmique durant le passage d'un courant galvanique.

excitations nerveuses. Peut-être, car il n'y a là rien de bien précis, et en réalité il semble que le nombre des vibrations nerveuses soit sensiblement inférieur d'après d'autres recherches exécutées sur la moelle par Lovén. Quoi qu'il en soit, le bruit du muscle excité par la volonté — et par les irritants chimiques (Bernstein) — correspond à 30 ou 40 vi-

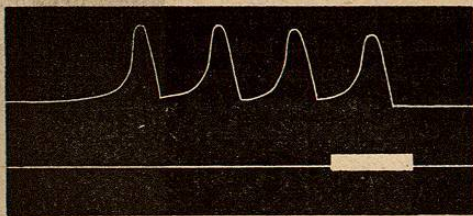


Fig. 73. — Tracé de *Rhizostoma Cuvieri* montrant l'influence persistante exercée par une excitation téτανisante sur un muscle très excitable. Malgré la cessation de l'excitation, le muscle continue à se contracter.

brations par seconde : parfois il s'abaisse à 20 vibrations ; par contre il peut s'élever considérablement quand le muscle développe un effort considérable ou supporte un poids : il est en rapport avec l'intensité de la contraction (Marey). On entend aisément le bruit musculaire sur soi-même, en contractant fortement, dans un silence profond, les paupières ou les masséters, ou en auscultant le biceps en contraction normale ou en contracture. Même en dehors de toute contraction, on perçoit un certain bruit qui semble avoir une origine musculaire, et qui se renforce lors de la contraction, comme on peut le constater au moyen des appareils microphoniques spéciaux. Le curare supprime le bruit musculaire, et celui-ci disparaît aussi à la mort, d'où l'idée de se servir de ce fait pour distinguer la mort réelle de la mort apparente. Le signe serait bon s'il n'était très délicat et difficile à percevoir.

Le bruissement ou bourdonnement que l'on entend quand on s'introduit un doigt dans l'oreille, semble être également un bruit musculaire. Collongues l'a beaucoup étudié, inventant un *dynamoscope* pour ausculter ce son, et montrant que celui-ci n'est pas dû à la circulation.

Phénomènes microscopiques de la contraction. — Il n'est pas difficile d'isoler des fibres musculaires encore fraîches, et d'observer au microscope les modifications dont elles sont le siège quand on les excite ; les fibres d'insectes se prêtent particulièrement bien à ce genre de recherches, mais encore convient-il qu'elles ne soient pas trop fraîches, car alors les modifications sont trop rapides pour pouvoir être constatées nettement. Une fibre musculaire ainsi examinée laisse voir les faits suivants.

Elle se raccourcit et augmente de diamètre. Cette augmentation se présente sous forme d'un épaississement de la fibre, épaississement qui, né du point où se trouve la plaque terminale, va se déplaçant de proche en proche, l'onde contractile véritable, qui passe par tous les points de la fibre, cette dernière reprenant ses dimensions normales graduellement et ne présentant plus traces de l'onde à une distance variable du point où celle-ci se trouve au moment considéré. Si l'on use d'un fort grossissement, permettant de bien voir ce qui se passe dans les disques isotropes et anisotropes, on constate que les premiers s'amincissent beaucoup et que le disque anisotrope semble augmenter d'épaisseur, en absorbant la substance isotrope qui est surtout composée d'eau : ceci explique la disparition de cette dernière. Engelmann a donc considéré la contraction comme une absorption de la substance isotrope par l'anisotrope : la réfringence de la première augmente, celle de la dernière diminue, mais on peut encore distinguer les deux substances l'une de l'autre, à la lumière polarisée ; leurs rapports réciproques ne changent pas ; elles ne changent pas de place par rapport

l'une à l'autre. La substance anisotrope est seule active ; l'isotrope est passive, mais sert peut-être à conduire l'excitation à la première.

Contraction volontaire. — Nous avons considéré jusqu'ici la contraction provoquée artificiellement : il convient maintenant de considérer la contraction naturelle, telle qu'elle s'opère chez l'homme, par exemple sous l'influence de la volonté.

Le nombre des mouvements volontaires que nous pouvons exécuter par seconde est en somme fort restreint : il ne semble pas que sous l'influence de la volonté un même muscle puisse se contracter plus de huit ou dix fois par seconde, comme chacun peut s'en assurer en cherchant, à l'exemple de Brücke, le nombre maximum des points que l'on peut tracer sur le papier avec un crayon, en un temps donné. On ne dépasse guère dix par seconde, et il ne semble pas que les pianistes les plus habiles fassent plus. D'autre part, ces mêmes muscles, — les fléchisseurs des doigts dans le cas présent, — peuvent donner un nombre plus considérable de contractions distinctes sous l'influence des excitations électriques : ils peuvent en donner vingt par seconde. Pourquoi n'en donnent-ils que dix sous l'influence de la volonté ? Ce n'est évidemment pas par inaptitude musculaire, c'est sans doute que le système nerveux est hors d'état de fournir plus de dix excitations isolées par seconde aux muscles dont il s'agit. Il n'en fournit d'ailleurs guère plus aux muscles qui sont probablement les plus rapides de l'organisme, les muscles phonateurs, car on ne peut prononcer plus de dix ou douze syllabes par seconde, même en y mettant toute la rapidité possible. D'autre part, si l'on compare la durée de la contraction volontaire à celle de la contraction provoquée par l'électricité, on voit que la première est à la seconde comme 3 est à 2, que la contraction volontaire est sensiblement plus longue. Ce sont là des différences importantes et qui montrent com-

bien l'excitant volonté et l'excitant électricité sont dissemblables, et combien le premier possède un rythme plus lent. En présence de ce résultat, on s'est demandé s'il n'en faut pas conclure qu'en réalité la contraction volontaire est constituée non par une secousse unique, mais par une suite de secousses fusionnées, par une sorte de tétanos physiologique : c'est la question qui, plus haut, s'est posée à propos du cœur.

Il est bien difficile de répondre. On a interrogé la méthode des *contractions induites*, en appliquant une patte galvanoscopique sur un muscle en contraction, et comme la patte répond invariablement par une secousse unique, et non par un tétanos, on pourrait conclure que la contraction volontaire est, elle aussi, une secousse unique et non un tétanos. C'est en effet la conclusion adoptée par la majorité des auteurs. Frédéricq s'est pourtant élevé contre cette manière de voir, et considère la contraction musculaire normale — volontaire ou réflexe, — comme un tétanos vrai. En ce cas, peut-être conviendrait-il, pour expliquer l'absence de tétanos de la patte galvanoscopique, de se rappeler que le nombre des filets nerveux étant inférieur à celui des fibres musculaires, l'excitation doit passer des fibres innervées à celles qui ne le sont pas, ce qui peut prendre un certain temps, et même à supposer — ce qui n'est pas démontré, — que l'excitation des fibres innervées se fasse simultanément, il est probable que celle des autres fibres se fait graduellement, d'où il résulterait que les différentes fibres offriraient en même temps des variations d'état électrique différentes, se neutralisant plus ou moins, de telle sorte que, même s'il y avait réellement tétanos, la patte galvanoscopique n'en pourrait rien dire. Ce qu'il faut retenir de ceci, c'est que la question n'est point résolue : on ne peut dire encore si la contraction volontaire est une simple secousse ou un tétanos. Et d'ailleurs la secousse ne saurait guère être absolument simple, si les fibres se contractent successivement : on pourrait même concevoir la

secousse volontaire comme une collection de petites secousses uniques de fibres différentes, se faisant les unes après les autres, mais ceci n'en ferait toujours pas un tétanos véritable, bien qu'à la rigueur il fût possible, dans ces conditions, d'obtenir certains signes de cet état.

Onde musculaire. — Nous avons dit plus haut que le muscle, en se contractant, se gonfle localement, sans que sa totalité toutefois occupe un volume supérieur. Ce gonflement est visible et intense sur le muscle excité par la volonté, et sur le muscle artificiellement excité par l'électricité, quand celle-ci le traverse dans sa longueur. Mais quand, au lieu de poser les électrodes sur les deux bouts du muscle, on les place sur la même extrémité, le gonflement est moins intense, et on le voit se propager de proche en proche de l'extrémité excitée à l'extrémité non excitée : on voit passer l'onde musculaire, dont il est possible d'enregistrer l'épaississement aussi bien que le raccourcissement, et mesurer la vitesse de propagation : il suffit, pour cela, de poser deux leviers enregistreurs sur le muscle, d'exciter celui-ci, et de mesurer l'intervalle de temps qui s'écoule entre le soulèvement des deux leviers : connaissant ce temps et la longueur qui sépare les deux leviers, on déduit aisément la rapidité de propagation de l'onde dans le segment de muscle considéré. Aeby, puis Marey et d'autres ont mesuré cette vitesse : les chiffres ont varié, Aeby trouvant un mètre par seconde pour la grenouille (chiffre confirmé par Marey, von Bezold, etc.), mais il convient de remarquer que les expériences sont faites sur des muscles fatigués ou anémiés, ce qui en diminue la valeur. Bernstein et Steiner, opérant sur des muscles de grenouille *in situ* (mais curarisés) ont obtenu 4 et 5 mètres ; Hermann, en inscrivant, non plus l'onde même, mais les variations électriques, arrive à 10, 12 ou 13 mètres (chez l'homme). Peut-être faut-il adopter le chiffre de 2, 3, ou 4 mètres pour la grenouille et les mammifères, mais avec

réserves, naturellement. On remarquera que, dans la contraction normale, volontaire, l'onde ne part pas d'une extrémité du muscle pour se rendre à l'autre : l'excitation naissant généralement au milieu de la longueur du muscle où aboutissent la plupart des filets nerveux, il y a onde double partant du centre vers les deux extrémités. Peut-être ces ondes, parvenues à celles-ci, reviennent-elles ensuite sur leurs pas, affaiblies ; cela paraît vraisemblable, mais le fait n'est pas prouvé. Schiff pense que non seulement elles reviennent au centre, mais se propagent dans la moitié où elles n'ont pas pris naissance, sans se neutraliser en se croisant.

Élasticité du muscle. — Le muscle n'est pas seulement contractile : il est encore élastique, et comme l'a montré Marey, cette élasticité est d'un grand secours pour l'organisme, en ce sens qu'elle économise du travail : sans elle les muscles, en travaillant plus, produiraient moins, comme un cheval tirant sur des traits rigides dépense plus de force qu'il ne le fait quand les traits sont élastiques : l'élasticité joue dans le système musculaire le même rôle que dans le système circulatoire. On sait que les physiciens considèrent un corps comme parfaitement élastique quand il reprend exactement sa position première : c'est le cas de la bille d'ivoire qui, déprimée par un choc, reprend sa forme sphérique, c'est celui du caoutchouc ; ce n'est pas le cas du beurre qui est par conséquent imparfaitement élastique. En outre l'élasticité de l'ivoire est forte, car il faut un effort considérable pour en changer la forme ou la position ; celle du beurre et du caoutchouc est faible, car il suffit d'un effort faible. Toutefois, il est préférable d'employer le mot d'extensibilité : il est plus exact, et nous dirons que le caoutchouc est très extensible et très rétractile, au lieu de dire qu'il est faiblement élastique. Le muscle est extensible et rétractile. Tendez un muscle par un poids faible, et notez sa longueur — il est facile d'enregistrer celle-ci par la méthode graphique —

puis augmentez le poids progressivement : le muscle s'étend, s'étire. Il s'étire même très longuement : il faut un temps parfois assez long — quinze ou vingt minutes — pour qu'il prenne une position, une longueur fixe, et cette extensibilité lente a reçu de Rosenthal le nom d'extensibilité supplémentaire. Celle-ci va croissant avec la charge soutenue. Pour l'extensibilité proprement dite, elle est d'autant plus petite pour une même différence absolue de poids, que l'on opère avec des poids plus lourds. Si l'extension est de 15 millimètres quand le poids passe de 5 à 10 grammes, elle n'est que de 2 ou 1 millimètres, quand le poids de 90 grammes remplace celui de 85 grammes. La courbe de l'extensibilité est donc une hyperbole. Si on continue à augmenter le poids, le muscle finit par se rompre après s'être considérablement étiré ; si l'on diminue les poids, on constate l'existence de la rétractilité, et aussi d'une rétractilité supplémentaire. Mais cette dernière est en quelque sorte indéfinie : il semble que le muscle tend toujours à se rétracter de plus en plus : et pourtant, si le poids maximum dépasse une certaine limite (100 ou peut-être 50 grammes pour le gastrocnémien de grenouille), le muscle ne revient pas à sa longueur initiale, comme le montre la figure. Les faits qui précèdent concernent le muscle au repos ; il est plus difficile de connaître les variations de l'élasticité du muscle en travail. Weber a été le premier à les étudier, il opéra en mesurant l'élasticité d'un même muscle, chargé des mêmes poids, au repos, et durant la tétanisation, et constata ce fait paradoxal — d'où le nom de paradoxe de Weber — que le muscle tétanisé s'allonge plus que le muscle non tétanisé, pour un même poids ; il arrive même qu'un muscle chargé d'un poids lourd, au moment de la tétanisation, s'allonge au lieu de se contracter. Le fait a été contesté d'abord ; mais il est absolument exact ; on l'observe particulièrement bien sur certains muscles d'invertébrés (lisses ou striés) avec les courants de pile (C. Richet, de Varigny), mais son interprétation est difficile, étant donné que l'on admet d'une façon

générale que la contraction est un changement d'élasticité du muscle et qu'il y a création soudaine de force élastique¹. L'élasticité a donc des rapports intimes avec la contraction, et ceci suffit à nous expliquer pourquoi le poids a tant d'influence sur la forme et les différents caractères de la contraction, et pourquoi, avec des poids différents, un même muscle donne des tracés si dissemblables. D'autre part, il y a aussi une relation entre l'intensité de l'excitation et le changement d'élasticité qui constitue la contraction, et ceci explique pourquoi, à poids égal, les tracés myographiques varient

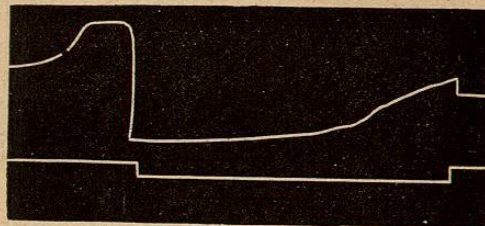


Fig. 74. — Tracé de *Pagurus callidus* (muscle caudal), montrant une des formes du paradoxe de Weber. La faible contraction lors de la clôture du circuit est suivie d'un relâchement qui, à la rupture, fait place à une contraction forte.

si considérablement selon l'intensité de l'excitation électrique, la contraction pouvant, selon le cas, demeurer latente, ou au contraire se produire avec beaucoup de vivacité et d'ampleur.

Travail du muscle. — Tout muscle qui se contracte exécute un travail, quand même il se contracte à vide : il soulève au moins une partie de son poids, ou en tire vers l'extrémité

¹ On consultera sur cette question l'important travail de M. A. Chauveau : *Le travail musculaire et l'énergie qu'il représente*, dont M. Laulané a donné un bon résumé dans la *Revue scientifique* du 27 juin 1891.

fixe une fraction. La force dont il dispose pour ce faire est, comme l'a montré Weber, proportionnelle au nombre de ses fibres, mais la détermination exacte de cette force est difficile. Weber estime que la force maxima du muscle est atteinte quand, lors de l'excitation, il se relâche, au lieu de se contracter : par cette méthode il a obtenu certaines données, mais elles sont si discordantes entre elles, et, par rapport aux chiffres obtenus avec d'autres procédés, qu'elles sont manifestement entachées d'erreur. Du reste la force du muscle varie sous plusieurs influences : une excitation isolée permettra à une patte de grenouille de supporter un poids de 400 grammes : avec des excitations nombreuses ou plus fortes, elle supportera jusqu'à 1,000 grammes (Rosenthal). Si l'on rapporte ce poids à la surface de section du muscle, on voit qu'un centimètre carré de muscle (en surface de section) supporte 3 kilogrammes chez la grenouille. Chez l'homme, Weber arrivait au chiffre très faible de 1 kilogramme : mais des recherches plus récentes ont montré qu'on peut accepter un chiffre cinq fois plus élevé, si ce n'est plus encore. Admettons donc qu'un centimètre carré de muscle a la force de 5 kilogrammes en moyenne. Il est malaisé de mesurer exactement la force musculaire chez l'homme, le mouvement le plus simple en apparence étant souvent complexe et dû à la coopération — parfois peu visible — de muscles nombreux, et la surface de section du ou des muscles en expérience n'étant pas exactement connue. Le dynamomètre ne fournit donc des indications générales — tout comme l'ergographe¹ — mais ces indications sont utiles. Elles permettent de suivre chez le même sujet les variations de la force d'un groupe musculaire quelconque, et il serait à souhaiter qu'en clinique l'observation de la force fût utilisée tout comme celle de la température, des urines, etc. Il faut bien le dire,

¹ L'ergographe de Mosso est un appareil fort simple au moyen duquel on inscrit le travail effectué par un doigt qui se contracte en soulevant un poids. (Voir *Arch. Ital. de Biol.*, XIII, p. 124, 1890.)

ces indications ne devraient pas être interprétées comme signes des variations de la force musculaire seule ; en réalité les variations correspondent moins à des variations de force musculaire qu'à des variations de force nerveuse. La première ne varie que médiocrement — et dans des limites qu'il serait d'ailleurs difficile de préciser, — la seconde varie beaucoup d'un moment à l'autre, selon que la volonté est forte ou faible, ainsi qu'on peut le voir au déploiement de force qui accompagne la colère, le désespoir, ou la surexcitation de l'amour-propre, phénomènes nerveux au premier chef.

On conçoit bien que la force et le travail du muscle sont choses fort différentes, le dernier étant toutefois le résultat de l'activité de la première. Le travail s'évalue en multipliant le poids soulevé par la hauteur, dans l'unité de temps : encore ne faut-il pas s'en tenir à la lettre de cette formule, car un muscle qui se contracte, mais supporte un poids trop lourd pour être soulevé ou déplacé, exécute un travail physiologique réel, bien que celui-ci ne soit point apparent. Il y a manifestement un rapport entre le poids soulevé et l'excitation dont le muscle est le siège, mais on remarquera que l'effet utile maximum ne se produit pas dans toutes les conditions. Par exemple, il ne faut pas croire qu'on obtient plus de cet effet en augmentant à la fois le poids et l'excitation. En réalité, il faut opérer avec un poids moyen et une excitation moyenne. Rosenthal a montré que, pour la grenouille, l'effet utile maximum — le maximum de travail — se produit avec une charge de 100 ou 150 grammes ; avec des charges plus légères ou plus lourdes, le travail tel qu'il a été défini plus haut est moindre : de 700 ou 750 il tombe à 450 ou 400. Il convient d'ajouter que le travail dépend aussi dans une forte mesure de l'intensité de l'excitation : pour une excitation faible, tout juste suffisante, le travail sera médiocre, au lieu qu'avec une excitation forte, il pourra être beaucoup plus considérable, le poids demeurant