

Bibliothèque numérique

medic@

**Marey, Etienne-Jules. - Histoire
naturelle des corps organisés. [Cours
du Collège de France]. XIV. De la
secousse musculaire**

*In : Revue des cours
scientifiques de la France et de
l'étranger, 1867, IV, p. 824-829*



(c) Bibliothèque interuniversitaire de médecine (Paris)
Adresse permanente : <http://www.bium.univ-paris5.fr/histmed/medica/cote?marey083>

C'est à Rognetta qu'est dû cet appareil qui règle les courants d'induction ; du Bois-Reymond l'a perfectionné et l'a introduit dans l'expérimentation biologique, dont il constitue un des plus précieux instruments.

L'excitateur électrique est formé tout simplement par les deux bouts des fils du courant que l'on emploie. Ces fils sont recourbés à leurs extrémités en forme de crochets, sur lesquels on place le nerf que l'on veut exciter. Avant leur terminaison, ces fils sont fixés l'un à l'autre, mais isolés par de la gutta-percha. Un tube de plomb est lié à cet excitateur et fixé par son autre extrémité à un support solide. Grâce à la flexibilité du plomb et à son défaut d'élasticité, on peut diriger en tous sens les fils excitateurs, et ceux-ci conservent parfaitement la position qu'ils ont reçue.

De l'interrupteur électrique. — Lorsque l'on veut appliquer à un nerf ou à un muscle des excitations parfaitement égales entre elles, il ne suffit pas que la pile employée soit constante et que rien ne soit changé dans la conductibilité des circuits ; il faut encore que les ruptures et les clôtures, au moyen desquelles on produit l'excitation, se ressemblent d'une manière parfaite au point de vue de la vitesse avec laquelle elles se produisent.

Voici, par exemple, un muscle de grenouille appliqué sur le myographe. L'excitateur du courant induit est adapté au nerf, et je vais produire avec la main des clôtures et des interruptions du courant inducteur. Pour cela, je trempe un des bouts de fil de la pile dans un godet plein de mercure mis en communication avec le fil opposé, puis je retire le fil, ce qui produit une rupture à la suite d'une clôture. Je répète plusieurs fois cette manœuvre en retirant le fil du mercure avec des vitesses très-différentes ; il se produit alors, dans le muscle de la grenouille, des secousses très-inégales entre elles.

Pour remédier à cet inconvénient, les biologistes ont recouru à différents appareils qui tous avaient pour but de produire des clôtures et des ruptures du courant s'effectuant avec la même vitesse. Le marteau de Pflüger, le pendule, et surtout le métronome interrupteur, ont été employés à cet usage.

Le métronome présente de grands avantages : on le trouve partout, et pour le transformer en appareil interrupteur, il suffit d'adapter à sa tige oscillante un fil de métal dont la pointe vient tremper à chaque oscillation dans un godet de mercure recouvert d'alcool et relié à un fil de la pile. L'autre fil de la pile est mis en communication avec une des pièces métalliques du métronome ; alors il y a clôture du courant toutes les fois que, dans une oscillation, le fil vient plonger dans le mercure ; il y a rupture du courant lorsque l'oscillation inverse fait émerger le fil. La vitesse des oscillations du métronome pouvant se régler à volonté, on a ainsi un excellent interrupteur toutes les fois que l'on veut obtenir des excitations régulières et équidistantes.

Mais lorsque les excitations doivent se produire à un instant déterminé par rapport à la rotation du cylindre sur lequel les mouvements s'enregistrent : par exemple, lorsqu'on veut obtenir un des systèmes d'imbrication des secousses que vous connaissez déjà, l'emploi du métronome n'est plus possible. Il nécessiterait des tâtonnements infinis, et ne donnerait jamais d'aussi bons résultats que les interrupteurs dont le mouvement est lié à celui du cylindre.

Deux cas peuvent se présenter : le plus simple est celui où les interruptions doivent avoir lieu toujours à un même moment de la rotation du cylindre, comme dans l'imbrication verticale des secousses (voy. fig. 383). Pour obtenir l'effet cherché, il faut, comme Helmholtz l'a fait, adapter à l'un des fonds du cylindre une petite cheville qui, à chacun des tours, vienne battre sur un levier et rompre le circuit inducteur.

Dans le cas où l'on veut que les graphiques se disposent en imbrication latérale ou oblique, il faut que chaque excitation tarde un peu sur la rotation du cylindre. Alors je recours à la disposition suivante, dont je vous ai déjà donné une description sommaire.

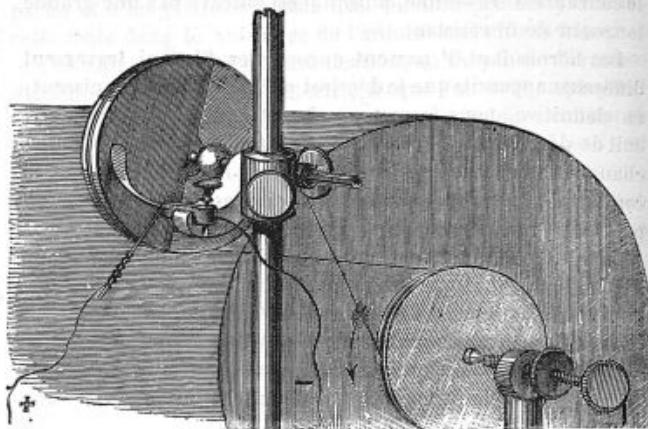


FIG. 377. — Interrupteur électrique pour produire l'imbrication latérale ou oblique des secousses musculaires.

La figure 377 représente l'interrupteur approprié à cet usage. Sur l'axe du cylindre est une poulie *a* qui entraîne au moyen d'un petit câble sans fin une autre poulie de bois *b*, dont le diamètre est un peu plus grand que celui de la première. Il s'ensuit que le cylindre et la poulie *a* ayant fait un tour, la poulie *b* n'aura fait le sien qu'un instant plus tard. Or, cette poulie *b* porte sur l'une de ses faces une partie métallique qui en recouvre exactement la moitié, tandis que sur le reste de sa surface le bois est à nu. Un ressort métallique frotte sur cette face de la poulie, et se trouve alternativement en contact avec le bois et avec le métal. Les extrémités du courant inducteur étant mises en communication, l'une avec la partie métallique de la poulie et l'autre avec le ressort à frottement, on aura pour chaque tour de la poulie une clôture et une rupture du courant inducteur, ce qui produira deux courants induits de sens différents.

Comme le courant induit de rupture agit plus fortement sur les nerfs que le courant de clôture, il est facile de régler l'appareil électrique de telle sorte que le courant de rupture agisse seul ou que tous agissent à la fois.

XIV

De la secousse musculaire.

Dans l'aperçu rapide que je vous ai donné de la fonction des muscles, j'ai distingué soigneusement le mouvement brusque et de courte durée que provoque une excitation simple d'un nerf moteur, et la contraction proprement dite, celle que la volonté commande. J'ai appelé *secousse* le mou-

vement rapide qui suit une excitation; ce mot m'a semblé correspondre assez exactement à celui de *Zückung* que les auteurs allemands emploient pour désigner un semblable mouvement. Je vous ai dit aussi que la secousse doit être considérée comme l'élément primitif de la contraction, celle-ci étant constituée par une série de secousses très-rapides fusionnées entre elles, qui disparaissent dans une résultante générale, comme les vibrations sonores disparaissent, pour nos sens, dans le son continu qu'elles engendrent.

D'après la théorie que je vous ai proposée et d'après les expériences remarquables d'Aeby que j'ai répétées devant vous, le raccourcissement passager qui produit la secousse du muscle serait dû à la formation sur chacune de ses fibres d'une onde qui parcourt cette fibre dans toute sa longueur. Cette onde, constituée par une sorte de tassement des disques de Bowman, s'accompagnerait d'une augmentation de largeur de chacun d'eux. Le rapprochement des disques durerait très-peu de temps pour chaque point de la fibre; mais, comme le tassement se propage de proche en proche, le raccourcissement de la fibre durerait aussi longtemps que l'onde qui se déplace existerait dans la fibre.

Pour vérifier cette théorie et pour connaître plus complètement la nature de la secousse musculaire, nous allons instaurer certaines expériences au moyen de la méthode graphique. Nous obtiendrons ainsi les caractères physiques et mécaniques de ce mouvement, et nous rechercherons comment et sous quelles influences ces caractères sont modifiés.

Caractères physiques de la secousse musculaire. — Les caractères principaux de tout mouvement sont : l'amplitude, la durée et la forme. Dans la secousse, comme dans tous les autres mouvements, ces caractères peuvent varier de différentes manières, soit avec la cause qui excite le mouvement, soit avec les conditions dans lesquelles se trouve le muscle qui l'exécute. Ces conditions sont si nombreuses et si variables, qu'on ne saurait admettre un type absolu pour la secousse musculaire; tout ce qu'on en peut dire, c'est qu'elle constitue un mouvement simple, un raccourcissement du muscle suivi d'un retour de cet organe à sa longueur naturelle.

Mais s'il est impossible d'assigner à la secousse un type absolu, il est facile, au contraire, de déterminer la façon dont agissent les influences qui la modifient; vous verrez même qu'il est possible d'introduire dans ces études une rigueur que les expérimentations biologiques n'avaient jamais atteinte.

La méthode graphique, employée comme vous l'avez vu au moyen des appareils précédemment décrits, nous fournit à la fois tous les caractères du mouvement que nous voulons étudier. Nous ne serons donc pas forcés de rechercher successivement les modifications que l'amplitude, la durée et la forme présentent sous telle ou telle influence; chaque expérience nous renseignera sur tous ces points à la fois.

Le graphique d'une secousse résumant tous les caractères de ce mouvement, il importe de bien être fixé sur l'interprétation que ce graphique doit recevoir.

Relativement à l'amplitude des mouvements qu'il traduit, le myographe à ressort étant un appareil amplificateur, il faut, quand on veut connaître l'étendue réelle d'un mouvement d'après son graphique, tenir compte de la longueur du bras de levier auquel la force motrice est appliquée, et comparer cette longueur à celle du levier tout entier. Le rapport

de ces longueurs entre elles indique exactement celui du mouvement réel au mouvement enregistré.

La durée des secousses se déduit de la longueur du graphique comptée sur l'abscisse; cette évaluation suppose connus le diamètre du cylindre et la durée de sa révolution. Vous avez vu du reste combien il est facile d'estimer directement les longueurs des graphiques en durées, soit en enregistrant les oscillations d'un pendule qui bat les secondes, soit en faisant écrire sur le cylindre un diapason chronographe.

Les rapports de durée de la période ascendante de chaque secousse et de sa période descendante s'estiment de la même manière en abaissant une perpendiculaire du sommet réel de la secousse sur l'abscisse.

Enfin la forme des secousses n'a pas besoin d'être définie autrement que par le graphique lui-même, qui en constitue l'expression la plus parfaite, à la condition qu'on tienne compte de certaines déformations inhérentes à la construction de l'appareil, et dont je vous ai déjà parlé à propos des appareils enregistreurs en général. L'importance et l'actualité du sujet me forcent à le traiter ici avec un peu plus de détails. Ces déformations sont dues : l'une à ce que le levier employé décrit un arc de cercle, et non une verticale, lorsqu'il s'élève et s'abaisse en enregistrant les secousses. La seconde tient à ce que le levier, dans ses mouvements rapides, exécute parfois des vibrations qui se combinent avec la courbe réelle. Voici comment on peut corriger la première sorte de déformation; celle qui tient à l'arc de cercle.

Soit o (fig. 378) l'origine de la courbe; si le cylindre était



FIG. 378. — Correction de l'arc de cercle dans le graphique d'une secousse musculaire.

immobile et si le levier s'élevait jusqu'au niveau du maximum x , il décrirait, non pas la verticale qui part du point o , mais l'arc de cercle qui se détache du même point. Plus le levier s'élèverait, plus il s'écarterait de la verticale pour se porter sur la droite. Or, pendant que le cylindre tourne, le levier décrit toujours le même arc; il déforme le tracé en déviant chaque point de la courbe sur la droite, et cela d'autant plus fortement, que le levier s'élève plus haut. On peut diminuer cette cause d'erreur en augmentant la longueur du levier, mais alors intervient une autre influence fâcheuse, celle des vibrations, qui se produisent d'autant plus facilement, que le levier est plus long.

Voici comment il faudrait procéder si l'on voulait corriger l'erreur que produit dans ce graphique l'arc de cercle décrit par le levier de l'instrument. On prend au compas la longueur du levier, et avec cette longueur comme rayon, on trace un arc de cercle dont le centre serait sur la ligne des abscisses prolongée et qui s'éleverait du point o , origine de la courbe. Menons parallèlement à la ligne des abscisses autant de droites que nous voudrons; chacune d'elles coupe à

la fois la verticale, l'arc de cercle et la courbe tracée par le muscle ; cette dernière est même coupée en deux points par chaque ligne horizontale. Or, les points du graphique coupés par chacune de ces lignes sont tous situés à une même hauteur et auront tous subi une déviation semblable ; il faudra donc les ramener tous vers la gauche d'une même quantité.

Cette quantité sera indiquée pour chaque point par la distance qui sépare, à ce même niveau, l'arc de cercle et la verticale. Ainsi les points a' et a'' devront être reportés sur la gauche d'une longueur égale à la distance oa ; les points b' et b'' , d'une longueur égale à ob ; le sommet α' , d'une longueur égale à ox . En effectuant cette correction pour un grand nombre de points de la courbe, on obtiendra une courbe nouvelle qui représentera plus fidèlement les mouvements musculaires. — L'influence de l'arc de cercle sur la forme du graphique est d'autant plus prononcée, que la translation du papier est plus lente. Il n'est pas nécessaire d'insister plus longuement sur ces propositions dont l'évidence est suffisante.

Les effets de la vibration du levier sont plus difficiles à démontrer. Le graphique obtenu par Helmholtz (fig. 135, p. 409, tome III de la *Revue*), sans emploi d'un levier, pourrait faire croire que ces ondulations sont bien produites par des variations rythmées dans le raccourcissement du muscle. Je maintiens toutefois mon opinion sur la nature de ces ondulations, pour la raison suivante. D'abord l'intensité de ces ondulations est toujours en raison de la brusquerie avec laquelle le levier est mis en mouvement par le muscle. Dans le graphique de Helmholtz, on voit ces vibrations, fortes au commencement de la secousse, s'éteindre peu à peu à la manière des oscillations pendulaires. Leur intensité est à son maximum dans les cas où la secousse présente la brusquerie d'un véritable choc ; elle diminue lorsque le muscle se raccourcit avec plus de lenteur. On en pourra juger par la figure 135 précitée, qui montre des secousses de moins en moins brusques et de moins en moins vibrantes en même temps.

Une preuve plus directe peut être tirée de l'expérience. On sait qu'une tige vibrante quelconque possède, pour ses vibrations, une fréquence déterminée, toujours la même : fréquence qui varie avec la masse, la longueur et l'élasticité de la tige. Or, si l'on vient à modifier ces conditions en raccourcissant la tige ou en changeant son poids, la fréquence des vibrations changera nécessairement. J'ai pu m'assurer qu'il en était ainsi pour les vibrations que présentent les graphiques musculaires, et qu'on peut, en changeant le poids ou la longueur du levier, obtenir, pour un même muscle, des graphiques dont les vibrations varient d'amplitude et de fréquence. Il faut donc n'attacher aucune signification à l'existence ou à l'absence de ces petites ondulations du tracé qui se trouvent surtout dans la période d'ascension.

En vous prévenant de ces causes d'erreur dans la production des graphiques musculaires, j'ai voulu pousser aussi loin que possible la rigueur et la précision, mais je me hâte de vous dire que l'influence de ces causes d'erreur est très-minime, et qu'en pratique on peut les négliger sans inconvenienc. Du reste, si l'on voulait avoir la forme absolument exacte d'une secousse qui présenterait des traces de vibrations, il suffirait de faire passer la courbe nouvelle de façon qu'elle occupe chacune de ces ondulations en passant par sa partie moyenne.

Durée de la période active dans la secousse musculaire. — Lorsqu'on voit, dans le graphique d'une secousse, ces deux

périodes successives, l'une d'ascension et l'autre de descente, il semble naturel, au premier abord, de considérer la période ascendante comme produite par l'état actif du muscle, le raccourcissement de ses fibres, tandis que la seconde serait due à l'effet antagoniste du poids soulevé ou du ressort tendu qui ramènerait le muscle à sa dimension normale. De cette manière, en abaissant une perpendiculaire du sommet de la courbe sur l'abscisse, on aurait partagé la secousse en deux parties, l'une active, l'autre passive.

Mais les choses ne sont pas aussi simples qu'elles le paraissent au premier abord. La période de descente, en effet, est beaucoup plus longue que celle que produirait la chute du poids soulevé, ou la détente du ressort tendu par le muscle, si ces forces n'éprouvaient devant elles aucune résistance. Il suffit, pour s'en convaincre, de tendre par un fil le levier du myographe, et de le mettre dans la position où il peut être amené par une secousse musculaire. Qu'on fasse alors tourner le cylindre et qu'on brûle le fil. Le levier, redevenu libre, retombera sur l'abscisse avec une très-grande vitesse et tracera une courbe tout à fait différente de celle qui constitue la période descendante des secousses musculaires.

Il est donc évident que pendant cette seconde période le levier ne descend pas librement, mais qu'il est encore retenu par une force contractile, trop faible pour lutter avec avantage contre les résistances antagonistes, assez forte cependant pour ralentir la descente du levier.

Le muscle est donc actif pendant toute la durée de la secousse, mais la force avec laquelle il tend à se raccourcir décroît pendant toute la seconde période.

Caractères de la secousse suivant le muscle qui la produit. — Tous les muscles ne produisent pas des mouvements identiques lorsqu'ils réagissent contre des excitations semblables ; c'est même sur cette dissemblance qu'est basée en grande partie la distinction des muscles de la vie animale et ceux de la vie organique. Les muscles striés sont ceux dont la secousse présente la brièveté la plus grande ; mais, parmi ceux-ci, il en est dont le mouvement est plus ou moins étendu, plus ou moins bref : cela tient en grande partie à la longueur et à la direction des fibres qui les constituent.

Les différences d'amplitude des mouvements tiennent, en grande partie, à la longueur des fibres musculaires. Les expériences de Weber ont démontré ce fait d'une manière évidente. En opérant sur le muscle hyoglosse de la grenouille et en réduisant peu à peu la longueur de ce muscle, Weber obtint des secousses dont l'amplitude décroissait comme cette longueur elle-même.

On obtient le même résultat lorsque l'excitation électrique traverse des longueurs plus ou moins grandes du muscle. Ainsi j'adapte un myographe à l'hyoglosse d'une grenouille, et je provoque une première secousse avec un excitateur dont les pôles sont distants de 2 millimètres. J'obtiens la secousse 1 (fig. 379). J'écarte les deux branches d'un centimètre environ, et le muscle, traversé par le courant dans une plus grande longueur, donne la secousse 2 déjà beaucoup plus forte que la précédente. Avec un écartement de 2 centimètres, j'obtiens la secousse 3. Enfin, si le muscle est traversé par le courant d'une de ses extrémités à l'autre, j'ai la secousse 4, la plus élevée de toutes (1).

(1) Les secousses de l'hyoglosse étant trop longues pour être continues dans un graphique de dimensions ordinaires, j'ai dû recueillir la

Nous allons étudier les principales conditions qui modifient les caractères de la secousse musculaire, telles que : l'intensité de l'excitant employé, le lieu où on l'applique, le degré de fatigue du muscle excité.

suivant que ces organes sont frais ou fatigués, suivant le point du nerf sur lequel porte l'excitation, etc.

La figure donnée par Fick n'exprime que les changements de l'amplitude de la secousse sous l'influence d'excitations

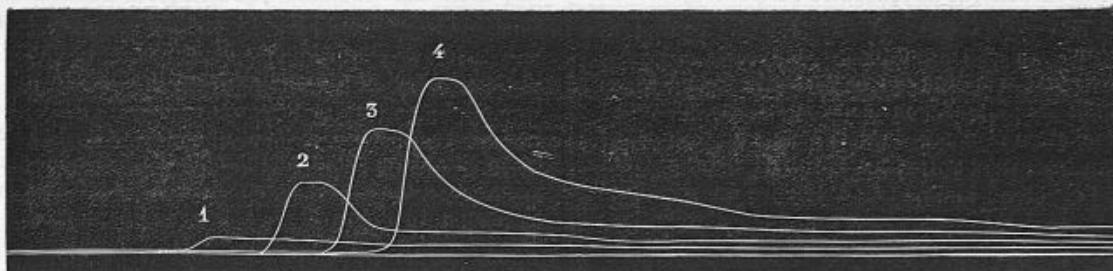


FIG. 379. — Graphique des secousses du muscle hyoglosse de la grenouille obtenues en excitant des longueurs différentes de ce muscle.

A. Variations de la secousse suivant l'intensité de l'excitant employé. — C'est en se servant de l'agent électrique, dont on peut régler l'action avec une précision assez grande, qu'on obtient les résultats les plus nets. Fick a déjà démontré que l'excitation électrique n'agit sur les nerfs que si elle atteint un certain degré d'intensité ; qu'à partir de ce point, l'accroissement de l'énergie de l'excitant produit un accroissement parallèle de l'énergie de la secousse. Mais cet accroisse-

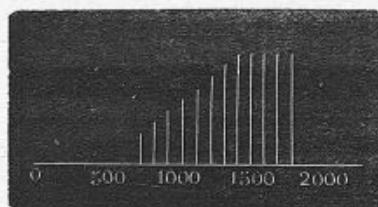


FIG. 380. — Graphique de l'amplitude des secousses sous l'influence d'excitations électriques croissantes, d'après Fick.

ment n'est pas illimité ; il arrive à un maximum à partir duquel la secousse reste avec la même amplitude, bien que l'excitation augmente encore d'énergie.

Tous ces faits ressortent du graphique représenté figure 380. Les chiffres 0, 500, 1000, etc., comptés sur l'abscisse, indiquent l'intensité des excitants électriques employés. Cette in-

graduée. La même expérience, répétée en employant la disposition des graphiques en imbrication latérale, nous donnera une notion plus complète des modifications de la secousse sous cette influence. Voici comment nous allons procéder.

Nous amènerons sur le rhéochorde (fig. 375) le tube T jusqu'à contact de la borne B, afin de réduire le courant dérivé que nous emploierons à son minimum d'intensité, et nous ferons marcher le tube de B en B' d'une manière graduelle, pendant que nous enregistrerons les secousses. De cette façon, le courant dérivé qui produira les courants induits excitateurs deviendra de plus en plus fort. Pour obtenir cette translation graduelle du tube T et l'accroissement régulier du courant, je prends un mouvement d'horlogerie quelconque, au moyen duquel je fais tourner une poulie sur laquelle s'enroule une corde attachée au tube T et l'entraînant de gauche à droite.

La figure 381 montre le graphique obtenu dans cette expérience. C'est à l'origine de l'abscisse, que les excitations commencent ; mais elles sont trop faibles pour agir sur le nerf, le muscle reste donc immobile. A partir du point *a* seulement, le muscle réagit à l'excitant électrique, et la secousse s'accroît comme l'excitation jusqu'à la fin du graphique. La ligne horizontale *h*, tangente aux dernières secousses seule-

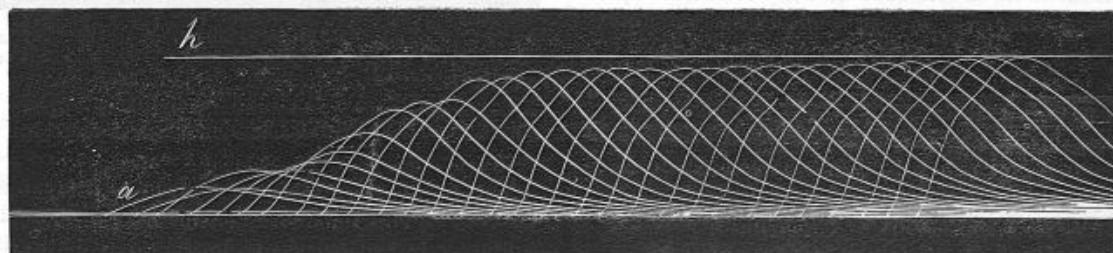


FIG. 381. — Secousses provoquées par des excitations électriques d'intensité croissante : *a*, origine des secousses ; *h*, parallèle à l'abscisse servant à apprécier les changements d'amplitude des secousses.

tensité est graduée arbitrairement ; du reste, la connaissance de la valeur absolue des excitations employées n'est pas bien nécessaire, puisque l'énergie de l'excitant qui détermine la secousse doit varier suivant qu'on excite le nerf ou le muscle,

ment, montre bien que pendant tout le temps de l'expérience, l'accroissement de l'intensité des courants excitateurs s'accompagnait de l'accroissement d'amplitude des secousses. Nous n'obtenons donc pas cette uniformité de l'amplitude que Fick signale lorsque l'excitation électrique a atteint un certain degré d'intensité.

Vous voyez aussi que les premières secousses, tout en pré-

figure 379 sur le cylindre à moyenne vitesse (2^e axe, 0^m,032 par seconde).

sentant en général un accroissement rapide, ne s'élèvent pas aussi régulièrement que dans la figure 380 empruntée à Fick. Il est vraisemblable que cela tient à quelque défectuosité dans mes moyens de graduer le courant. Peut-être le tube T qui glisse sur le rhéochorde ne rencontre-t-il pas toujours des contacts également bons.

J'ai essayé de laisser au courant voltaïque une intensité constante, et de placer les résistances variables sur le trajet du courant induit excitateur. Pour cela, je faisais traverser à ce courant une colonne d'eau dont la longueur décroissait sans cesse d'un instant à l'autre; les résultats n'ont pas été meilleurs, et j'ai obtenu comme tout à l'heure un accroissement irrégulier des secousses sous l'influence d'excitations croissantes. Fallait-il accuser l'interrupteur à rotation de ne pas rompre le courant d'une manière assez uniforme? J'ai employé un interrupteur à mercure sans être plus heureux.

Peut-être ai-je tort de poursuivre ainsi obstinément la régularité dans ces graphiques; mais, je le répète, dans la plupart des cas, un graphique régulier est la preuve certaine que l'expérience a été bien instituée. Je quitte donc ce sujet avec la conviction que c'est à une croissance irrégulière de l'intensité des courants qu'est due l'irrégularité que vous observez dans l'accroissement de l'amplitude des premières secousses (1).

B. Variation de la secoussée suivant le point du nerf qui reçoit l'excitation. — Les expériences de Pflüger ont montré que la secoussée change d'amplitude, malgré la parfaite uniformité de l'excitant employé, si l'on agit sur des points du nerf inégalement distants du muscle. Plus on s'éloigne de celui-ci, en se rapprochant des centres nerveux, plus la secoussée devient faible.

Il est facile de démontrer graphiquement cette diminution de l'amplitude des secousses.

J'applique sur le myographe une patte de grenouille dont le nerf a été isolé depuis son entrée dans le gastrocnémien jusqu'à son origine lombaire. Le myographe étant disposé pour enregistrer les secousses en imbrication latérale, je pose l'excitateur électrique sous le nerf, très-près de son entrée dans le muscle. L'appareil commence à enregistrer les secousses; j'éloigne graduellement l'excitateur du muscle en le promenant sur toute la longueur du nerf. A mesure que l'excitateur s'approche de l'origine spinale du nerf sciatique, les effets de l'excitation faiblissent, et vous voyez, figure 382,

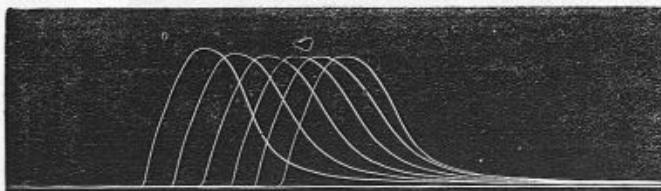


FIG. 382. — Secousses décroissantes. Le nerf est excité de plus en plus loin du muscle.

décroître l'amplitude des secousses. Pour rendre cette décroissance plus sensible, il suffit de mener une parallèle à

(1) Il est possible aussi que les irrégularités tiennent à un défaut de constance de la pile, qui donnerait des variations de très courte durée, par conséquent insensibles au galvanomètre, qui ne signale que l'intensité moyenne du courant.

l'abscisse tangente au sommet de la première secoussée: les sommets des secousses suivantes s'éloignent de plus en plus de cette ligne.

C. Variations de la secoussée sous l'influence de la fatigue du nerf ou du muscle. — Lorsqu'on emploie des excitations successives égales entre elles et équidistantes, on voit se produire deux sortes de modifications de la secoussée: l'amplitude change et la durée augmente graduellement. L'amplitude commence quelquefois par s'accroître pendant un certain temps, puis elle décroît indéfiniment jusqu'à l'extinction complète. Cette augmentation de l'amplitude pendant les premiers instants a été signalée depuis longtemps par les biologistes, qui l'ont attribuée à une augmentation de l'excitabilité du nerf.

Quant à la durée de la secoussée, elle s'accroît sans cesse du commencement à la fin de l'expérience. Cet allongement porte sur toutes les périodes: aussi bien sur celle d'ascension du graphique que sur celle de descente. Toutefois c'est sur cette dernière partie de la secoussée que les effets de la fatigue semblent prédominer. La figure 383 est spécialement faite

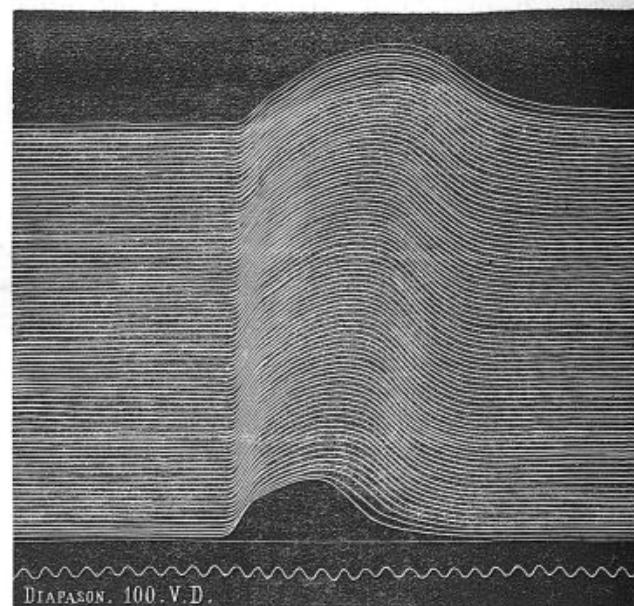


FIG. 383. — Graphiques de secousses musculaires imbriquées verticalement. — Un diapason enregistreur fournit la mesure des durées absolues de ces mouvements.

pour démontrer les modifications de la forme des secousses par la fatigue.

L'expression de *fatigue* musculaire doit être conservée, car elle est d'un emploi général; mais s'il fallait la définir au point de vue biologique par sa cause prochaine, il faudrait dire que la secoussée musculaire est modifiée lorsque l'état chimique du muscle, altéré par le travail accompli, n'a pas été réparé par la nutrition.

Le repos, au contraire, est essentiellement constitué par le retour de l'état chimique normal du muscle. Ce retour est plus ou moins complet en raison du temps pendant lequel le muscle reste sans agir, et d'autre part en raison de la rapidité du cours du sang à son intérieur. Ces lois, reconnues depuis longtemps par les biologistes, sont celles que j'ai déjà citées dans une des précédentes leçons. L'emploi de la mé-

thode graphique les met clairement en lumière et les complète sous certains rapports.

L'influence de la durée du repos sur le mouvement produit par un muscle est tellement prononcée, qu'il suffit de faire varier même légèrement les intervalles de temps qui séparent les excitations consécutives pour altérer la régularité dans une série de graphiques imbriqués. Après les longs repos, la secousse est plus forte et surtout plus brève.

Plus le muscle est fatigué par un travail préalable, plus, à égale durée, les effets du repos sont prononcés. Ainsi, dans la figure 383, le premier graphique diffère du second et surtout de ceux qui s'enregistrent après un certain nombre d'excitations. Cela tient à ce que j'ai fait travailler les deux muscles pendant un certain temps, et que je les ai laissés reposer quatre ou cinq minutes avant de les faire travailler de nouveau. On n'obtient pas une différence semblable si l'on enregistre les secousses successives d'un muscle non fatigué. Dans ces conditions, cependant, on remarque plus de différences entre les deux premières secousses qu'entre deux autres consécutives.

Remarquez aussi que les effets d'un repos de quelques instants sont peu durables, mais que le bénéfice obtenu par

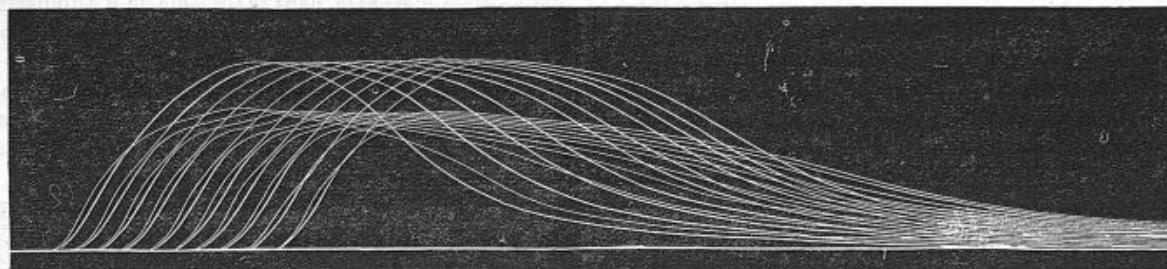


FIG. 384. — Graphique comparatif des secousses de deux muscles ; l'artère de l'un d'eux a été liée.

ce repos est dépensé au bout d'un petit nombre de secousses.

Sans rien préjuger sur la nature des actions chimiques interstitielles qui produisent le travail, on peut montrer l'utilité de la réparation du muscle qui a travaillé. En effet, si l'on supprime le cours du sang dans l'artère afférente au muscle, on voit les caractères de la fatigue se produire ; les secousses augmentent en durée et perdent en amplitude.

La figure 384 montre l'influence de la ligature artérielle. J'applique une grenouille sur le myographe comparatif, de façon que chacun de ses muscles gastrocnémiens agisse sur un des leviers. Après m'être assuré que les deux graphiques sont identiques, je lie l'artère de l'un des membres, et j'obtiens des graphiques très-différents l'un de l'autre.

Les deux secousses partent de la même origine ; mais celle de la patte qui a conservé sa circulation s'élève beaucoup plus haut que celle du côté opposé. On voit en outre que les secousses affaiblies que donne le membre dépourvu de circulation sont plus longues que celles du côté sain : leur ligne de descente croise toujours celle des secousses fournies par ce dernier.

MAREY.

FACULTÉ DES SCIENCES DE LYON.

GÉOLOGIE.

COURS DE M. J. FOURNET

(Correspondant de l'Institut).

Théorie des micaschistes et gneuss (1).

Si peu que l'on soit initié aux principes de la géologie, on sait qu'il existe une sorte de croûte primitive, comprise entre les sédiments extérieurs et les parties chaudes de l'intérieur du globe. Elle est connue sous les noms de micaschiste et de gneuss, selon ses caractères plus ou moins feldspathiques ou micacés ; mais, jusqu'à présent, les géologues ont généralement hésité à aborder les détails de sa formation.

A cet égard, l'idée la plus grandiose est, sans contredit, celle de M. Mitscherlich.

Prenant en considération la haute température que devait encore conserver la masse terrestre, dans les premiers temps de son agglomération, il imagina qu'elle était alors environnée d'une atmosphère incandescente, composée de vapeur aqueuse

et de gaz aériens, sous l'influence de laquelle ont dû s'effectuer les plus anciennes combinaisons.

Eh bien ! dès ce moment devaient également intervenir les effets déjà détaillés au sujet du plutonisme, et comme ils trouvent ici leur application, je débute en expliquant d'abord qu'il faut imaginer que l'oxygène, élément comburant par excellence, a dû s'emparer de la masse des gazolites, des radicaux terreux, métalliques, pour en faire l'eau, l'acide carbonique, la majeure partie des bases de nos roches et de nos filons. D'ailleurs, en vertu de son abondance, il en resta cet excès dont se compose notre atmosphère.

De son côté, le chlore, corps doué d'affinités non moins énergiques, mais plus spéciales, se porta sur le sodium, de manière à produire le chlorure de sodium, autrement dit le sel commun que sa solubilité portait naturellement à se dissoindre dans les eaux, et de là l'ensemble des mers.

D'autre part, le fluor, pareillement puissant, s'unissait avec diverses bases terreuses pour composer le micaschiste, roche hétérogène qui forma la primitive écorce du globe, rivalisant en volume avec celui des mers. En outre, diverses portions du gaz se trouvèrent emprisonnées dans son intérieur, où elles donnèrent naissance à des combinaisons que nous re-

(1) Voyez dans notre numéro du 19 octobre 1867, page 737, la conférence de M. Sterry Hunt sur la *Chimie des premiers âges de la terre*.