

*Bibliothèque numérique*

**medic@**

**Marey, Etienne-Jules. - Histoire naturelle des corps organisés. [Cours du Collège de France]. XIII. Des excitants artificiels du mouvement**

***In : Revue des cours scientifiques de la France et de l'étranger, 1867, IV, p. 820-824***



**(c) Bibliothèque interuniversitaire de médecine (Paris)**  
Adresse permanente : <http://www.bium.univ-paris5.fr/hist/med/medica/cote?marey082>

soleil du voisinage de Vénus, les taches se trouvant sur cette partie tendent à s'accroître et atteignent le maximum de leur grandeur quand elles sont le plus éloignées de Vénus. Jupiter exerce aussi une grande influence. Or, n'est-il pas très-extraordinaire que deux planètes qui ne sont jamais aussi près du soleil qu'elles le sont de la terre, semblent produire des phénomènes aussi importants que les taches du soleil ?

Il se présente naturellement, à notre esprit, que le soleil doit être dans un état moléculaire très-sensible, et que par conséquent des influences extérieures très-minimes font éprouver de grands changements à cette masse étonnante. (L'orateur fait ici des expériences pour donner des exemples de cet état moléculaire.) M. le professeur Tait et moi avons supposé que les propriétés d'un corps peuvent être influencées par le voisinage d'un grand corps, par rapport surtout à la chaleur, à la lumière et à l'électricité. Une influence de cette nature serait naturellement très-énergique sur un corps tel que le soleil, qui est porté à une très-haute température, de même qu'un morceau de fer introduit dans une fournaise ardente causera un plus grand trouble calorifique que s'il était introduit dans une chambre n'ayant qu'une température un peu plus élevée que la sienne propre.

Nous avons en outre de très-bons motifs pour supposer que le soleil se trouve dans un état moléculaire très-sensible. Certaines expériences, et surtout celles de Cagniard de la Tour, nous permettent de conclure qu'à une très-haute température et sous une très-grande pression, la chaleur latente de la vaporisation est très-petite, de telle sorte qu'une augmentation comparativement minime de chaleur porterait à l'état gazeux une masse considérable de liquide, et *vice versa*.

Nous pouvons donc supposer qu'une diminution de chaleur extrêmement petite causerait, à la surface du soleil, une condensation considérable, et ce changement d'état moléculaire par le changement de la réflexion, etc., changerait immensément la distribution d'une énorme quantité de chaleur dans les différentes parties de la surface du soleil.

En outre, la force de gravité étant très-considérable dans le soleil, la convexion y est aussi très-forte, de telle sorte que de grands changements mécaniques peuvent aisément en résulter.

BALFOUR STEWART,

Directeur de l'observatoire de Kew.

— Traduit de l'anglais par Ed. BARDIER. —

## COLLÈGE DE FRANCE.

### HISTOIRE NATURELLE DES CORPS ORGANISÉS.

COURS DE M. MAREY (1).

#### XIII

##### Des excitants artificiels du mouvement.

En dehors des excitants physiologiques du muscle qui émanent des centres nerveux, soit pour produire des mouvements volontaires, soit pour donner lieu à des mouvements réflexes,

il est certains agents que l'on peut appeler des excitants artificiels, et qui provoquent des mouvements de diverses sortes; c'est en employant ces excitants artificiels, en variant leur nature et leur intensité, que nous acquerrons un certain nombre de notions sur les conditions dans lesquelles se produit ce mouvement.

Ces agents peuvent être appliqués aux nerfs. Ils mettent en jeu l'excitabilité de ces organes et les provoquent à envoyer aux muscles l'ordre de se contracter. C'est là ce qu'on appelle l'excitation indirecte du muscle.

D'autres fois les mêmes agents sont appliqués aux muscles eux-mêmes et stimulent directement leur contractilité.

Presque tous les agents physiques ou chimiques agissent de la même façon, soit qu'ils s'adressent aux nerfs, soit qu'on les ait appliqués directement sur le muscle. Toutefois, en général, l'intensité de l'excitation doit être plus forte pour produire un mouvement, lorsque c'est le muscle qui reçoit directement l'excitation.

Il est une distinction très-importante à établir relativement à la durée des excitations que l'on emploie. Ce n'est qu'avec les excitations brèves que l'on obtient la secousse. Ainsi, la percussion d'un nerf ou d'un muscle, la section d'un nerf avec un instrument tranchant, l'application de décharges électriques de différentes natures, constituent ce qu'on peut appeler des *excitations simples*. Au contraire, les actions chimiques, la dessiccation du nerf, l'influence de la chaleur, la constriction lente et prolongée du nerf ou du muscle dans un lien circulaire, etc., semblent se décomposer en *excitations multiples* successives, plus ou moins rapprochées, et donnent lieu à une série de secousses musculaires. Tantôt celles-ci sont assez éloignées les unes des autres pour rester apparentes; tantôt elles se suivent d'assez près pour se fusionner en un tétanos parfait.

Puisque je ne m'occupe aujourd'hui que de la secousse musculaire, je laisserai de côté les excitants multiples dont l'action sera étudiée avec le tétanos qu'ils provoquent.

Parmi les excitants simples, les principaux sont : la percussion, la section du nerf avec un instrument tranchant, l'application de décharges électriques de différentes sortes.

La *percussion du nerf* est un précieux moyen pour provoquer les secousses musculaires. En effet, dans certains cas, l'emploi de l'électricité est difficile à localiser dans son application; il se forme des diffusions de cet agent à travers les tissus de l'animal sur lequel on expérimente, et l'on peut, parfois, obtenir des secousses lorsque le nerf sur lequel on croit avoir appliqué la décharge électrique n'est plus excitable.

Heidenhaim s'est beaucoup servi de la percussion du nerf comme moyen d'excitation; il a construit un appareil au moyen duquel on peut graduer à volonté les effets du traumatisme, et obtenir avec eux, soit des secousses isolées, soit un tétanos parfait.

La section du nerf au moyen de ciseaux bien tranchants ou avec une lame bien affilée produit aussi une excitation unique et ne provoque dans le muscle qu'une secousse; mais si les ciseaux ne divisent pas très-vite la substance nerveuse, il se produit une série d'excitations successives du nerf, et l'on voit le muscle se contracter d'une manière prolongée, ou donner des secousses multiples. Certains auteurs affirment qu'ils ont pu, avec un rasoir bien tranchant, diviser un nerf sans provoquer son excitation; je n'ai jamais réussi, pour ma

(1) Voyez les numéros des 23 mars, 6 et 13 avril, 4 et 11 mai, 3 et 17 août, 21 septembre, 12 et 26 octobre, 9 et 16 novembre 1867, p. 275, 296, 318, 353, 374, 568, 601, 679, 726, 763, 794 et 809.



part, à répéter cette expérience, ou du moins les nerfs qui se laissaient diviser sans provoquer des mouvements dans le muscle me semblaient toujours suspects d'avoir perdu en grande partie leur excitabilité.

L'électricité est, de tous les excitants physiques, celui dont on se sert le plus habituellement en biologie ; c'est en effet celui dont l'intensité peut être graduée de la manière la plus parfaite. Mais c'est aussi l'agent dont les effets varient le plus, suivant la manière dont il est employé. Pour cette raison, l'excitant électrique exigerait une mention spéciale. Toutefois comme l'électro-physiologie est une des branches les plus avancées et les plus complexes de la science, je dois en réserver l'exposition pour une autre partie de ce cours, et me borner ici à l'exposé des notions les plus élémentaires sur ce sujet.

L'électricité dynamique, celle des piles, qui se traduit par un courant continu, ne possède pas d'action excitante sur les nerfs ni sur les muscles. Tant qu'un courant voltaïque continu traverse ces organes, on ne voit se produire aucun mouvement : mais au moment où le courant s'établit et à l'instant où il est rompu, l'excitation a lieu si la pile employée est forte. De là cette légitime conclusion, qui est aujourd'hui l'une des lois les mieux établies de l'électro-physiologie, à savoir : que les nerfs et les muscles ne sont stimulés par l'électricité qu'autant qu'il se produit une variation brusque dans l'état électrique. On appelle, en physique, états variables d'un courant, le moment de son apparition et celui de sa fin. C'est là, précisément, les seuls instants où le courant voltaïque possède sa propriété excitante.

Du Bois-Reymond, l'un des biologistes qui ont le plus contribué à l'établissement de l'électro-physiologie, a donné une nouvelle confirmation de la loi que j'énonçais tout à l'heure, en montrant qu'on peut exciter un nerf en faisant varier brusquement l'intensité d'un courant de pile qui le traverse, sans pour cela interrompre le courant d'une manière absolue.

Voici comment l'expérience était disposée : Entre deux bornes de métal est tendu un fil métallique assez fin pour créer une résistance au passage de l'électricité. Le fil traverse un tube de fer fermé par deux bouchons et rempli de mercure ; ce tube est donc en communication électrique permanente avec le fil. Les deux pôles d'une pile sont mis en rapport, l'un avec le tube de fer, et l'autre avec l'une des bornes entre lesquelles le fil est tendu. On peut donc, en faisant glisser le tube sur le fil dans un sens ou dans l'autre, augmenter ou diminuer la longueur du fil résistant, et par conséquent faire varier l'intensité du courant de la pile. Or, ce courant est appliqué au nerf d'une grenouille qui devra être excité par ses variations.

Si l'on déplace avec la main le tube qui glisse sur le fil, on ne peut pas lui imprimer de mouvements assez rapides, et par suite on ne fait pas varier assez subitement l'intensité du courant de la pile pour produire une excitation du nerf de la grenouille. Mais du Bois-Reymond a réussi à exciter ce nerf en imprimant au tube des glissements d'une grande rapidité au moyen de la disposition suivante. Ce tube est attaché à un ressort à boudin qui tend à le rapprocher de la borne qui représente l'autre pôle de la pile. On éloigne alors le tube en tendant le ressort à boudin et on le fixe au moyen d'une sorte de crochet à détente. Dans cette position, la résistance du fil est à son maximum et le courant de la pile est très-faible. A un moment donné, on presse sur la détente : le tube, sous

l'action du ressort, franchit toute la longueur du fil avec une extrême rapidité ; le courant passe de son minimum à son maximum d'intensité dans un si court espace de temps, que le nerf de la grenouille reçoit une excitation et que la patte fournit une secousse.

Les courants voltaïques ne produisent donc l'excitation des nerfs que pendant leur état variable, ou quand on les fait varier avec une très-grande brusquerie (1).

L'électricité statique, celle des machines, agit sur les nerfs toutes les fois qu'une décharge, même très-légère, traverse une partie de ces nerfs. Or, cette décharge constitue essentiellement un état variable.

Il en est de même de ces courants passagers qu'on appelle courants induits, et qui se produisent dans les fils métalliques lorsqu'on ferme ou qu'on ouvre un courant de pile qui circule dans leur voisinage. De ces courants induits, l'un est dit de clôture, parce qu'il se produit au moment où l'on ferme le circuit voltaïque inducteur, et l'autre est nommé courant de rupture, parce qu'il se produit dans les conditions inverses. Ces deux courants représentent un même flux d'électricité au point de vue quantitatif, mais ce flux circule avec des vitesses variables ; il constitue un changement d'état d'autant plus grand que sa durée est plus courte.

Les physiiciens ont étudié les phases diverses des courants voltaïques et des courants induits de différents ordres. La figure 374 exprime graphiquement les variations de la tension électrique dans le fil inducteur et dans le fil induit.

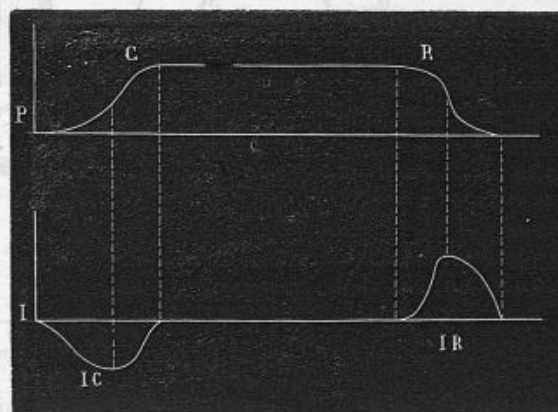


FIG. 374. — Graphique exprimant les phases diverses du courant inducteur et des courants induits de clôture et rupture.

La courbe supérieure P est le graphique des tensions dans le fil de pile. C indique l'état variable de clôture. Après une

(1) Toutefois il est une exception apparente à cette loi. Pflüger a démontré que si l'on fait traverser le nerf d'une grenouille par un courant de pile faible, dirigé à travers une très-grande longueur du nerf et marchant en sens direct, c'est-à-dire des centres à la périphérie, on peut mettre le muscle en état de tétanos, absolument comme si le nerf était traversé par une série de courants interrompus. Plusieurs interprétations ont été données pour expliquer ce fait : l'une des mieux accueillies par les biologistes consiste à supposer que le courant de pile, en traversant le nerf, y produit des actions chimiques par électrolyse, et que c'est à ces actions qu'est dû le tétanos. On sait, en effet, que certaines substances acides ou alcalines appliquées sur un nerf vivant font entrer le muscle en tétanos.

Telle est la seule exception à la loi de du Bois-Reymond sur les conditions de l'excitation électrique des nerfs ; tous les effets qui se produisent, quand on a recours à d'autres sources d'électricité, ne font que confirmer cette loi.



double phase d'accroissement de la tension accéléré d'abord, puis diminué, l'état variable fait place à l'état permanent du courant de pile ; celui-ci est représenté par une ligne horizontale. La rupture R du courant de pile présente en sens inverse les mêmes phases que la clôture.

Le graphique inférieur I correspond aux deux courants induits ; IC est le graphique du courant induit de clôture, ou courant inverse ; IR représente le courant induit de rupture ou direct. Il est facile de voir que la courbe ascendante de IR indique, dans la tension électrique, une variation plus brusque que la courbe descendante de IC. Les superpositions, dans la figure 374, indiquent les rapports de temps entre les états variables du courant de pile et les courants induits. On voit que l'état permanent du courant voltaïque ne donne lieu à aucun phénomène d'induction.

D'après ce que nous savons de l'influence qu'exerce la brusquerie du changement d'état électrique, vous pouvez

pièces nombreuses. — La pile et son circuit avec le *rhéochorde* qui permet de dériver du courant voltaïque une partie plus ou moins considérable, suivant les effets d'induction que l'on veut produire. — L'*appareil d'induction*, composé de ses deux bobines que l'on rapproche plus ou moins l'une de l'autre, selon l'intensité des excitations qu'on veut obtenir. — L'*excitateur*, qui va porter le courant induit sur le point précis auquel on le destine. — Enfin, l'*interrupteur*, qui rompt le courant inducteur à intervalles plus ou moins rapprochés et provoque les excitations.

Une disposition très-commode consiste à distribuer sur une petite table spéciale la plupart des pièces dont je viens de parler et à les y laisser à poste fixe. On transporte facilement cette table dans le voisinage de l'animal mis en expérience, et l'on met celui-ci en communication, au moyen de fils conducteurs, avec la source d'électricité que l'on veut employer. On obtient alors, à volonté, des courants voltaïques continus

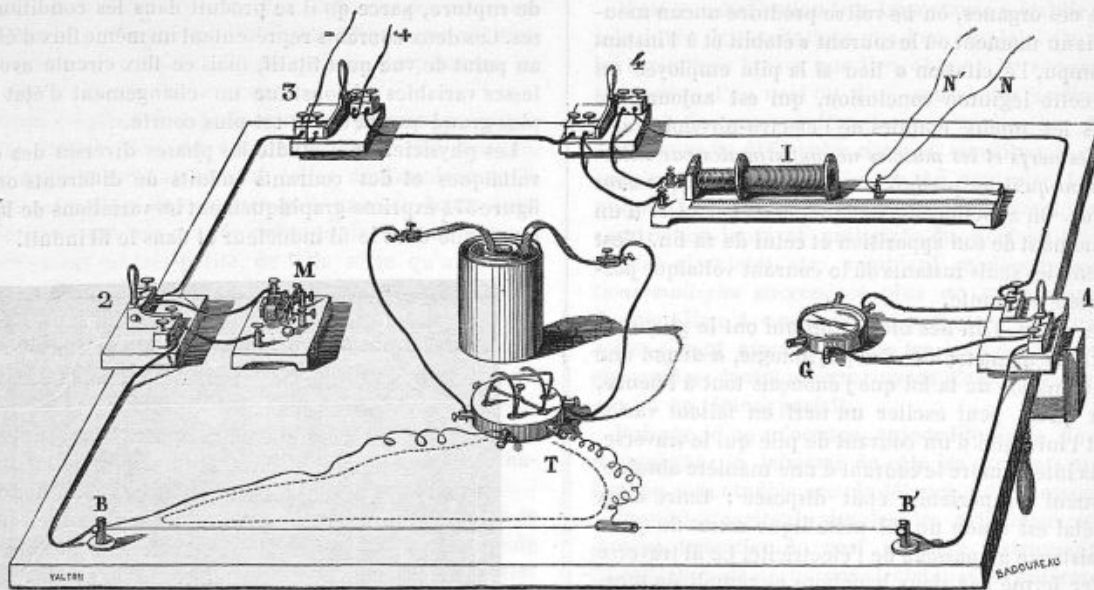


FIG. 375. — Table sur laquelle sont établis les différents appareils électriques destinés à l'excitation des nerfs et des muscles.

prévoir que c'est le courant induit de rupture qui produira sur les nerfs les effets les plus prononcés ; or, c'est en effet ce qui arrive. Le courant induit de rupture étant l'excitant électrique le plus sûr, c'est lui que nous emploierons, en général, dans les expériences que nous ferons sur les phénomènes musculaires.

Enfin, les courants *magnéto-électriques* ressemblent entièrement aux courants induits pour leurs effets excitateurs du mouvement. L'action de ces courants est d'autant plus forte, que le mouvement imprimé à l'aimant est plus rapide. On peut donc graduer ces courants avec une grande précision, et tout porte à croire qu'ils seront de plus en plus généralement employés à l'avenir.

Mais, pour le moment, le biologiste est en possession d'un moyen d'excitation suffisamment parfait, le courant induit à intensité graduée. C'est ce moyen que nous emploierons dans les expériences de myographie. Je vais vous indiquer avec quelques détails la disposition des appareils qui fournissent ces courants.

L'appareil électrique que nous employons se compose de

ou variables, de toute intensité et de sens différents ; des courants induits gradués, des extra-courants, des courants induits à succession rapide pour produire le tétanos, etc. La figure 375 représente la disposition de cette table.

Au centre, est la pile : c'est un élément Daniell qui fournit un courant d'une constance assez grande. On peut, en cas de besoin, augmenter le nombre des éléments.

En sortant de la pile, le courant traverse un *commutateur* qui permet de changer sa direction, ce qui renverse le sens des courants dans toute la série des appareils situés au delà du commutateur.

Plus loin, les fils de pile se portent l'un en B, l'autre en T, et comme ces deux points sont réunis par un fil intermédiaire, le circuit se trouve fermé et un courant circule dans la direction indiquée par la ligne ponctuée. C'est à ce circuit principal qu'on emprunte par dérivation un courant plus ou moins intense qui sera utilisé. Cet emprunt se fait au moyen du *rhéochorde*.

Le *rhéochorde*, appareil destiné à graduer l'intensité des courants voltaïques, est ainsi disposé : Entre deux bornes de



métal B et B', vissées dans la table et distantes d'un mètre environ, est tendu un fil d'acier très-fin, et par conséquent très-résistant au passage de l'électricité. Ce fil traverse un tube de fer T rempli de mercure et placé en communication électrique avec l'un des pôles de la pile, tandis que la borne B communique avec l'autre. Le mercure qui est contenu dans le tube T assure son contact avec le fil du rhéochorde, lors même que ce tube glisse sur le fil dans un sens ou dans l'autre. Vous voyez déjà que l'on peut faire varier les résistances au courant de pile en faisant glisser le tube T, soit vers la borne B, soit vers la borne B'. Dans le premier cas, la résistance est au minimum et le courant est fort ; dans l'autre, le courant est très-faible, puisqu'il est entravé par une grande longueur de fil résistant.

Des bornes B et B' partent encore des fils qui traversent différents appareils que je décrirai plus tard, et se réunissent, en définitive, pour former un circuit fermé ; c'est là le circuit de dérivation dont nous utiliserons les effets. A chaque changement de position du tube T sur le fil du rhéochorde, le courant dérivé subit des variations comme le courant principal, mais en sens contraire.

En effet, tel glissement du tube qui augmente la longueur BT du fil résistant que le courant principal devra traverser diminue la longueur TB' qui résiste au passage du courant dérivé. On pourra donc donner à ce courant dérivé toutes les intensités possibles, depuis le maximum qui arrive au contact du tube T avec la borne B' jusqu'au minimum qui se produit quand le tube touche à la borne B.

Le long fil qui constitue le circuit dérivé et qui s'étend de B en B' est aussi peu résistant que possible ; il est fait de cuivre rouge et son diamètre est d'un millimètre environ. Sur le trajet de ce circuit sont divers appareils à travers lesquels on peut faire passer le courant. C'est d'abord, dans le voisinage de B', le galvanomètre G. Un petit appareil imaginé par du Bois-Reymond, le *levier-clef*, 1, permet de lancer à travers ce galvanomètre le courant dont on veut apprécier ou régler l'intensité.

Le *levier-clef* est ainsi construit : Soient a et b (fig. 376) deux prismes rectangulaires de cuivre posées sur une planchette isolante, et munis chacun de deux bornes qui recevront les fils électriques. Une pièce de cuivre intermédiaire, couchée horizontalement, établit le contact entre les deux prismes : c'est la clef proprement dite. Au moyen d'un manche d'ivoire, on peut redresser cette pièce verticalement en la faisant pivoter autour du prisme b, alors le contact entre les deux prismes est rompu. Or, les deux prismes reçoivent, d'une part les fils de pile P par leurs extrémités les plus éloignées, et, de l'autre bout, sont mis en rapport avec les fils du circuit C. Lorsque la clef est fermée, le courant la traverse avec une telle facilité, que rien ne passe à travers le circuit C qui offre une résistance relativement considérable. Mais dès que la clef est ouverte, toute communication entre a et b ne peut plus exister qu'à travers le fil C, qui, dans la figure 375, est adapté au galvanomètre ; celui-ci dès lors est traversé par le courant.

Le levier-clef de du Bois-Reymond est un des appareils les plus simples et les plus indispensables pour les expériences d'électro-physiologie. Nous en ferons un fréquent usage.

En sortant de la borne B, le courant rencontre un autre levier-clef, 2, qui permet de l'envoyer à travers un *interrupteur électro-magnétique* M. Vous connaissez tous la disposition

de cette pièce qui est annexée à tous les appareils dits électro-médicaux, dans lesquels on se sert d'une pile.

Au delà de l'interrupteur électro-magnétique, dans lequel nous supposons que le courant ne passe pas en ce moment, se trouve un autre levier-clef, 3. Celui-ci, lorsqu'il est ouvert,

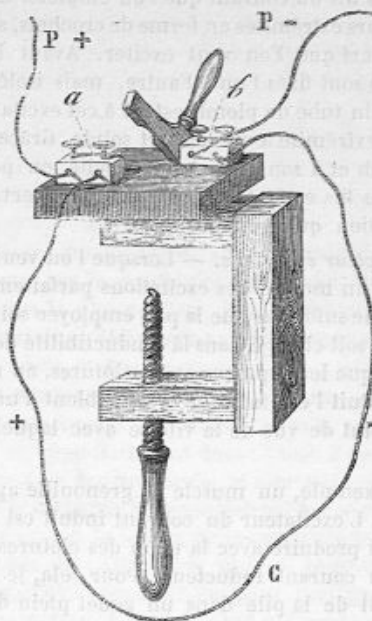


FIG. 376. — Levier-clef de du Bois-Reymond.

envoie le courant dérivé dans les fils qui portent les signes + et — et qui, dans la figure 375, sont représentés rompus après un court trajet ; en réalité, ces fils, qui constituent une *prise de courant*, se prolongent plus ou moins, soit pour aller porter directement sur un nerf l'excitation du courant dérivé, soit pour s'adapter à des interrupteurs de dispositions variées que je décrirai plus tard.

Supposons que le courant ait traversé cette troisième clef fermée ; il en rencontre une quatrième, 4, dont l'ouverture le force à passer par l'*appareil d'induction* représenté en I (fig. 375), et dont voici la disposition : Une bobine formée d'un fil gros et court est traversée par le courant dérivé. Cette première bobine exerce son action inductrice sur une seconde qui est formée d'un fil long et fin : c'est la bobine induite, dont les deux fils n et n' sont appliqués par un excitateur au nerf sur lequel on veut agir. La bobine induite peut glisser sur un chariot de manière à s'éloigner plus ou moins de l'inductrice ; elle peut, inversement, s'en rapprocher et la loger tout entière dans la cavité dont elle est percée. Plus la bobine inductrice est engagée dans l'autre, plus les effets d'induction, s'exerçant à courte distance, présentent d'intensité. Cette disposition permet déjà de régler dans de certaines limites l'énergie des courants induits.

Un autre moyen de les graduer consiste dans l'introduction, à l'intérieur de la bobine inductrice, d'un faisceau de fils de fer doux qui s'aimantent pendant le passage du courant, et, réagissant par leur magnétisme sur les courants induits, augmentent l'intensité et la durée de leurs effets. L'action de ce fer doux peut elle-même être graduée, suivant que leur faisceau est plus ou moins profondément enfoncé dans la bobine.



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 retarde un peu sur la rotation du cylindre. Alors je recours à la disposition suivante, dont je vous ai déjà donné une description sommaire.

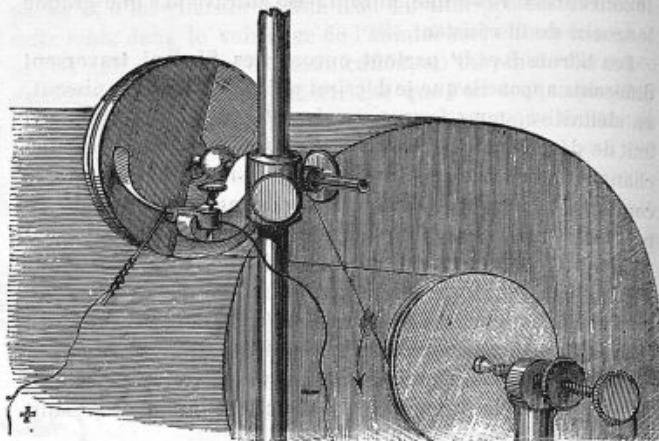


FIG. 377. — Interrupteur électrique pour produire l'imbrication latérale ou oblique des secousses musculaires.

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-