

*Bibliothèque numérique*

**medic@**

**Marey, Etienne-Jules. - Du mouvement dans les fonctions de la vie [cours public donné au 14 de la rue de l'Ancienne Comédie]. II. Des appareils enregistreurs et de leur application en physiologie.**

*In : Revue des cours scientifiques de la France et de l'étranger, 1866, III, n° 12, p. 203-208*



(c) Bibliothèque interuniversitaire de médecine (Paris)  
Adresse permanente : <http://www.bium.univ-paris5.fr/hist/med/medica/cote?marey044>

## ENSEIGNEMENT LIBRE.

## PHYSIOLOGIE MÉDICALE

COURS DE M. MAREY (1).

## Du mouvement dans les fonctions de la vie.

## II.

DES APPAREILS ENREGISTREURS ET DE LEUR APPLICATION  
EN PHYSIOLOGIE.

Messieurs,

Je vais essayer d'esquisser en quelques lignes l'histoire de la méthode graphique appliquée à l'étude du mouvement, en notant les progrès successifs qui l'ont faite ce qu'elle est aujourd'hui.

Il ne faut pas remonter bien loin pour trouver l'origine de la méthode graphique, ou du moins de ses applications concrètes. Car, si Descartes est l'inventeur de la représentation écrite d'un mouvement, c'est à Watt que l'on doit le premier instrument enregistreur qui ait traduit ce mouvement au moyen d'une courbe tracée par la machine elle-même; Watt, en 1806, cherchait à connaître le rapport qui existe entre le mouvement du piston d'une machine et la pression de la vapeur qui le soulève. Pour cela, il fit tourner un cylindre vertical au moyen d'une corde attachée au piston de la machine; sur ce cylindre écrivait une plume mue verticalement par une sorte de manomètre à ressort connu sous le nom d'indicateur de Watt. On comprend que dans ces conditions, la ligne des abscisses, c'est-à-dire des temps, était tracée par le mouvement essentiellement varié et alternatif du piston, et que la courbe obtenue donnait bien l'expression de la tension de la vapeur, relativement au mouvement du piston. Plus tard, un mécanicien allemand, voulut compter automatiquement les coups d'un bélier hydraulique pendant un temps donné. Il prit une bande de papier animée d'un mouvement de translation arbitraire, sur laquelle il faisait pointer les coups de bélier. Notant l'heure du début et celle de la fin de l'expérience, il comptait le nombre de pointages dans ce temps, et de là concluait au nombre de coups de bélier par minute. Dans cette méthode, on n'avait aucune preuve de la régularité des coups de bélier hydraulique, puisque la vitesse de translation du papier était arbitraire.

C'est alors que doit se placer l'invention du général Poncelet, qui conçut le plan de la machine à enregistrer la chute des graves. Un cylindre tournant d'un mouvement uniforme reçoit la trace d'un mouvement accéléré. Cette machine fut construite par le général Morin qui chercha à appliquer la même méthode à l'analyse de diverses espèces de mouvement. Le principe sur lequel elle est établie est celui d'après lequel on a construit, et l'on construira toutes les autres : c'est la comparaison d'un mouvement varié au mouvement uniforme. Plusieurs modifications de détail ont été apportées, suivant le besoin, à la construction des enregistreurs : On s'est servi de surfaces planes au lieu de cylindre tournant. Des disques tournant ou des plaques trainées par un chariot dans un plan vertical ont servi à recevoir le tracé. Une surface plane présente un grand avantage dans le cas où la pointe écrivant est mue par un levier. En effet, dans ces conditions la pointe

ne reste en contact avec le cylindre que si elle n'exécute que des mouvements très-peu étendus, tandis que l'emploi d'une surface plane pour recevoir le tracé permet au levier d'enregistrer des mouvements d'une amplitude illimitée.

Un inconvénient très-grand empêchait encore de tirer de la méthode graphique tous les fruits possibles. C'est que l'uniformité absolue n'existe pas dans le mouvement de nos machines. Si une montre marque l'heure exactement, c'est-à-dire si elle se retrouve d'accord au bout de vingt-quatre heures avec le mouvement sidéral, cette précision apparente n'est que la confirmation d'une série d'avances et de retards. Le cylindre tournant n'est pas plus que les autres machines animé du mouvement uniforme absolu, de sorte que, dans l'appréciation d'un phénomène, si l'on veut diviser une seconde en fractions très-petites, on peut commettre de graves erreurs.

Pour corriger cette irrégularité du mouvement, ou plutôt pour la signaler lorsqu'elle existe, Wertheim eut l'heureuse idée d'enregistrer sur le disque tournant qu'il employait les vibrations d'un diapason. Connaissant combien de fois un diapason vibre par chaque seconde, il devenait facile de déterminer sur un tracé la durée exacte d'une seconde, d'un dixième, d'un centième, d'un millième même de seconde, il suffisait pour cela de compter le nombre de vibrations enregistrées dans une longueur quelconque, pour déterminer la valeur de cette longueur transformée en temps.

M. Duhamel donna une grande impulsion à cette méthode nouvelle de mesurer le temps; le succès fut si complet qu'il permit aujourd'hui de mesurer la vitesse d'un projectile d'arme à feu avec une approximation qui irait, au besoin, à un vingt millième de seconde.

Enfin, tout récemment, M. Foucault vient de résoudre d'une manière satisfaisante la difficulté qu'on n'avait encore qu'éludé, il vient de construire un régulateur qui permet de donner à une machine quelconque le mouvement uniforme. Un appareil de ce genre aurait marché d'accord avec un pendule astronomique pendant trois heures, avec un écart de un vingtième de seconde seulement. On voit qu'il n'existe aucune expérience où une pareille précision ne soit pas suffisante.

Les physiologistes ont compris des premiers toute l'importance qu'avaient de pareils instruments, aussi en ont-ils fait des applications nombreuses et qui chaque jour s'étendent davantage. Nous aurons à décrire en leur temps ces différents appareils, dont les premiers sont le kymographion de Ludwig, employé depuis par Volkmann et le myographion de Helmholtz. Puis vinrent le sphymographe de Voerendt le nôtre avec le cardiographe et le thermographe, etc. Les noms de ces appareils indiquent leur destination.

Pour étudier fructueusement les différents appareils construits jusqu'ici par les physiologistes, pour pouvoir juger la valeur de chacun d'eux, ainsi que le degré de confiance qu'on doit leur accorder, nous devons tout d'abord rechercher les causes d'erreur qui peuvent se présenter dans leur construction. Elles peuvent porter sur presque tous les éléments des appareils dont on se sert : sur l'enregistreur, sur les pièces qui tracent la courbe, et sur les divers organes qui transmettent le mouvement du point où il se produit à la plume qui l'enregistre.

L'enregistreur parfait est celui qui se meut d'une vitesse absolument uniforme, or, nous avons dit que cet appareil idéal pourra être réalisé au moyen du régulateur de Fou-

(1) Voyez le numéro 10.



cault. En attendant, il faut rendre le moins irréguliers qu'il soit possible les moteurs dont nous disposons. D'après les figures publiées par les physiologistes allemands, on voit que ces auteurs se sont servis assez souvent du pendule circulaire de Huyghens, et qu'ils évitaient ainsi dans le mouvement de leur cylindre les petites oscillations de l'échappement des pendules ordinaires. D'autres fois, ils se sont servis de volants dont les ailes s'ouvraient ou se fermaient à volonté, éprouvant ainsi une résistance variable de la part de l'air ou de l'eau dans laquelle ils se mouvaient. Ces variations dans la vitesse sont indispensables pour un enregistreur qui doit servir à différents usages ; en effet, on rencontre dans les fonctions de la vie des mouvements de toutes sortes, tantôt très-rapides, tantôt très-lents.

Un enregistreur à mouvements extrêmement lents n'est pas moins précieux qu'un appareil à mouvements rapides, car ce n'est pas seulement l'extrême rapidité d'un mouvement qui fait qu'il nous échappe. C'est non moins souvent son extrême lenteur : la marche de l'aiguille d'une montre échappe à nos yeux. Nous ne voyons pas davantage un animal augmenter de volume, une partie du corps se gonfler ou se resserrer par les variations lentes de la circulation interstitielle. Ce qui nous frappe, dans ces derniers cas, c'est le changement d'état constaté dans deux observations éloignées, mais nous ne percevons pas les phases diverses, plus ou moins lentes ou rapides de ces changements d'état. Il y aura grand intérêt à étudier au moyen de semblables appareils les phénomènes à variations lentes : l'accroissement, les différentes pertes de poids du corps par la transpiration ou l'exhalation pulmonaire, sous l'influence de diverses températures et dans des milieux variables. Un grand nombre de phénomènes, qui nous échappent presque entièrement, pourraient ainsi être appréciés. Aujourd'hui, la tendance est à l'analyse des mouvements rapides, les imaginations ont été vivement impressionnées par les découvertes de Helmholtz qui mesura la vitesse du courant nerveux. Les sciences physiques nous ont donné de bien plus grands sujets d'étonnement, en nous montrant que l'on peut mesurer le temps qu'un boulet de canon met à parcourir l'espace d'un mètre ou que la lumière emploie à parcourir un kilomètre. Les phénomènes de la physiologie dont nos sens nous ont révélé l'existence se passent dans des limites de temps moyennes entre ces extrêmes. Un enregistreur dont la vitesse est d'un centimètre à la seconde suffit dans bien des circonstances ; ainsi dans les expériences faites sur les battements du cœur, sur ceux du poulx et sur les mouvements respiratoires. Cette vitesse, si elle était généralement adoptée pour la plupart des expériences, aurait cet avantage qu'elle établirait une sorte d'unité dans les recherches des physiologistes de différents pays. On est souvent dérouter lorsqu'on voit qu'une courbe que l'on a obtenue avec un appareil d'une certaine vitesse est représentée par un autre physiologiste avec une vitesse toute différente. La déformation qui se produit alors n'a, du reste, aucune valeur absolue ; elle ne doit en rien altérer le premier des mouvements, mais le représente seulement sur une échelle plus ou moins étendue. Dans bien des circonstances, il faut tâtonner et chercher la meilleure vitesse qu'on puisse employer. Lorsqu'un tracé est très-riche en détails, il risque d'être confus si la machine tourne lentement, il faut alors accélérer le mouvement jusqu'à ce que tous les détails deviennent bien distincts les uns des autres.

D'une façon générale, lorsqu'on doit enregistrer une courbe,

il est bon de chercher une vitesse de l'enregistreur telle qu'il n'y ait dans le tracé ni ligne verticale absolue, ni ligne horizontale. Le premier cas est dû à ce que le cylindre tourne trop lentement, de sorte que le mouvement enregistré est infiniment rapide par rapport à celui du cylindre. Le second cas se produit lorsqu'un mouvement lent s'enregistre sur un cylindre qui tourne avec une excessive rapidité. La ligne sensiblement horizontale obtenue dans ce dernier cas, signifie que par rapport à la rotation du cylindre le mouvement enregistré est infiniment lent.

Après de nombreux tâtonnements, voici la disposition que j'ai adoptée dans la construction de mon enregistreur. Cet appareil permet d'obtenir à volonté : des tracés de longue durée inscrites à l'encre sur une bande de papier de 5 ou 6 mètres de long ; des tracés de courbe obtenus sur des plaques de verre trainées dans un plan vertical par un petit chemin de fer. Enfin mon appareil fournit dans certains cas des tracés dans lesquels les phénomènes les plus rapides sont facilement mesurables ; je les obtiens sur un disque qui tourne avec une grande rapidité sur l'axe même du volant et qui exécute de quinze à vingt tours par seconde au besoin.

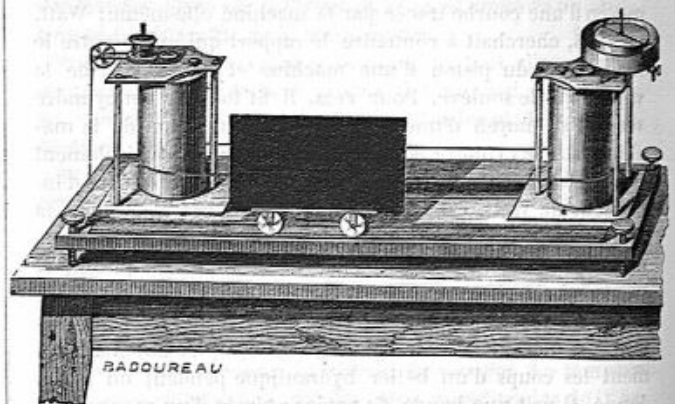


FIG. 52. — Appareil enregistreur de M. Marey.

La figure 52 représente l'enregistreur dont je viens de parler. A gauche est un cylindre fixé sur une planche horizontale et soumis à la traction d'un poids. Ce cylindre tournerait ainsi follement sur son axe si le poids agissait sur lui seul, mais un câble sans fin le relie à un autre cylindre situé à droite de la planche et qui ne peut tourner qu'en entraînant avec lui un mouvement d'horlogerie que termine un volant. Ce dernier constitue une résistance et règle ainsi la vitesse de rotation des deux cylindres rendus solidaires par le câble sans fin. Quant à la disposition du volant, elle est telle que le mouvement puisse varier en vitesse de 1 à 200 ou 300, et même davantage. Le volant a deux ailes qui tournent dans une gorge circulaire ménagée dans le tambour cylindrique représenté dans la figure. Ces ailes s'ouvrent ou se ferment à volonté et rencontrent par conséquent des résistances variables. La gorge dans laquelle ces ailes se meuvent peut être plus ou moins remplie d'eau et fournir ainsi une nouvelle série de vitesses moindres que la précédente, et pouvant se graduer jusqu'à une lenteur extrême, surtout si l'on remplace l'eau par un liquide visqueux.

Voilà donc le mouvement produit dans les deux cylindres avec la vitesse que l'on veut obtenir. La corde sans fin qui transmet le mouvement du premier cylindre au second sert à



mettre en mouvement une plaque de verre enfumé portée sur un petit chariot qui roule sur un chemin de fer en avant des deux cylindres ; à cet effet, une pince en forme de fourchette existe derrière le chariot et reçoit la corde sans fin qui glisse sans frottement entre les deux branches de la fourchette sans entraîner le chariot.

Au moment où l'on veut que le chariot se meuve, une bascule pesante, que l'on fait tomber au-dessus de la fourchette, enfonce la corde dans son encoche, et le chariot, devenu adhérent à la corde, suit son mouvement ; si l'on relève la bascule, la corde redevient libre et le chariot s'arrête. Cette disposition permet d'obtenir, presque instantanément, le mouvement de la plaque de verre ou son arrêt, sans que la machine cesse de fonctionner.

Si l'on veut enregistrer une expérience de longue durée, on enlève le chariot et la corde sans fin, on dévisse un écrou qui fixait en place le cylindre qui porte le volant et l'on fait marcher ce cylindre de droite à gauche dans une glissière disposée à cet usage, jusqu'à ce qu'on l'ait amené au contact du cylindre de gauche, où on le fixe en resserrant l'écrou. On colle alors l'extrémité d'une bande de papier sur le cylindre de droite et on l'enroule sur celui-ci, puis on colle l'extrémité de cette bande sur le cylindre de gauche. Dans ces conditions, la bande de papier, tirée par le cylindre de gauche que le poids met en mouvement, s'enroulera sur lui et se déroulera du cylindre qui tient au volant. Cette feuille sera l'organe de la transmission du mouvement d'un cylindre à l'autre, et, par conséquent, sera toujours régulièrement tendue. La rapidité du mouvement de cette bande de papier se réglera, comme celle du chariot, au moyen du volant.

Enfin, pour les expériences qui doivent s'enregistrer avec un mouvement très-rapide, je me sers d'un disque tournant monté sur l'axe prolongé du volant lui-même. Ce disque de verre enfumé reproduit les conditions des expériences de Wertheim. Valentin s'en est servi avec succès pour l'étude des formes de la contraction musculaire. Il permet d'obtenir facilement des mouvements qui correspondraient à une vitesse linéaire de 3 ou 4 mètres par seconde. Comme, d'autre part, on peut obtenir avec le chariot une vitesse minimum de 1 millimètre par seconde, on voit que la série des vitesses possibles avec cet appareil s'échelonne entre un et trois ou quatre mille. Dans toutes ces conditions, il est utile de déterminer quelle est la vitesse de translation des surfaces sur lesquelles on enregistre un mouvement. Pour cela, je me sers ordinairement d'un pendule qui bat les secondes et les enregistre sur le papier ou la plaque de verre, au moyen d'un levier de cardiographe ordinaire. Pour les mouvements très-rapides ou pour les mesures de très-faibles durées, j'emploie la méthode de Wertheim, c'est-à-dire j'enregistre les vibrations d'un diapason bien réglé par la méthode optique de M. Lissajoux. On peut, par ce moyen, déterminer très-facilement, avec certitude, des durées moindres qu'un millième de seconde.

*Des appareils qui tracent le mouvement.* — On a souvent à enregistrer des mouvements assez forts pour qu'ils puissent, sans s'altérer, supporter la résistance de frottement d'une plume sur du papier glacé. Alors le tracé s'écrit avec l'encre ordinaire, c'est la manière la plus simple. Ce moyen peut être employé pour les mouvements respiratoires, pour ceux du poulx et même pour ceux du cœur quand ils sont bien prononcés. Il faut, toutefois, que la plume exerce le moins de

pression possible sur le papier sans toutefois cesser d'être en contact avec lui. Pour cela, je place cette plume au bout d'un mince ressort, qui se courbe légèrement par le contact de la plume avec le papier, mais dont l'extrême élasticité n'exerce contre celui-ci qu'une pression très-faible et très-régulière.

Si l'on écrit sur le verre enfumé, le même ressort, taillé à son extrémité en *pointe sèche*, peut être employé. On peut avantageusement remplacer ce ressort d'acier par une lame de baleine effilée en pointe et râpée avec du verre jusqu'à ce qu'elle soit amincie au point de devenir diaphane. Cette pointe réunit, comme le ressort, l'extrême flexibilité dans le sens de son épaisseur et la rigidité complète dans celui de sa largeur, c'est-à-dire dans le sens vertical.

La même pointe sert à écrire sur une feuille de papier enfumée et tendue sur la glace que traîne le chariot.

Pour fixer les tracés au noir de fumée, s'ils sont sur papier, on trempe celui-ci dans l'essence de térébenthine, et lorsqu'il est sec, le noir est fixé suffisamment. Le même procédé peut être employé pour les tracés reçus sur une plaque de verre enfumé, à moins qu'on ne préfère employer ceux-ci comme clichés photographiques, ce qui permet de tirer un tracé à plusieurs exemplaires.

Il existe, m'a-t-on dit, d'autres moyens encore : ainsi le transport d'un tracé de noir de fumée sur papier gélatine, mais je n'ai pas vu employer ce procédé, et je n'ai pu réussir à obtenir ainsi de bonnes épreuves.

*Des appareils qui amplifient et transmettent le mouvement.* — Entre la plume qui écrit et l'organe qui se meut, il faut nécessairement des appareils intermédiaires dont la forme variera avec le besoin, et qui, s'ils ne sont pas bien construits, peuvent modifier la forme du mouvement. On prouve facilement ce fait en inscrivant le même mouvement au moyen de deux appareils différemment construits ; soit le battement d'une artère qu'il s'agisse d'enregistrer, on pourra se servir du manomètre enregistreur, du sphygmographe de Vierordt ou de mon sphygmographe. Dans ces trois cas, on aura trois tracés différents. Cela prouve déjà que deux au moins de ces appareils ont altéré le mouvement. J'espère vous prouver, plus tard, que le troisième n'est pas passible du même reproche.

Il est facile de démontrer que le manomètre n'obéit pas fidèlement au mouvement qui lui est imprimé. Il suffit de souffler dans cet appareil et d'élever ainsi l'une des colonnes de mercure à un certain niveau au-dessus de l'autre. Lorsqu'on cesse de souffler, le niveau devrait se rétablir dans les deux colonnes, puisque la pression atmosphérique agit également sur les deux branches. Or, vous savez qu'il n'en est rien, et que le niveau ne s'établit dans les deux branches de l'appareil qu'après des oscillations nombreuses qui sont *propres* à l'instrument. Ce défaut du manomètre est inhérent à l'emploi d'une colonne de mercure, et doit faire rejeter d'une manière absolue l'emploi du mercure dans les expériences graphiques. Le manomètre est un excellent instrument, si on lui demande d'indiquer l'intensité d'une pression fixe, positive ou négative ; il cesse d'être bon s'il doit signaler des états variables.

Passons au sphygmographe de Vierordt ; cet appareil est composé de leviers équilibrés par des contre-poids, il se comporte à la manière d'une balance dont l'un des plateaux serait agité par un moteur quelconque, et dont l'autre répéterait le mouvement du premier. Or, une balance est-elle capable d'obéir fidèlement à la force motrice qui la sollicite. Vous



pouvez vous convaincre facilement du contraire : chargez de 1 kilogramme chacun des deux plateaux, et laissez tomber dans l'un d'eux un poids de 1 gramme. Le plateau surchargé va-t-il tomber avec le poids qu'il reçoit et partager son mouvement rapide. Non, sans doute, vous savez qu'il descendra lentement, et que son mouvement sera d'autant plus lent, que le poids ajouté représentera une moindre fraction de la masse en équilibre. Le sphymographe de Vierordt, instrument pondéré, semblable à la balance, présente comme elle l'inconvénient d'obéir avec lenteur aux impulsions qu'il reçoit, et par conséquent d'en changer la forme en vertu de son inertie.

J'ai cherché à éviter ces deux inconvénients, en construisant mon sphymographe. Ce n'est pas le moment de donner une description de cet appareil que j'aurai l'occasion de vous montrer plus tard.

En résumé, entre l'organe qui se meut et la pointe qui écrit le mouvement, il faut une pièce intermédiaire. La plus facile à employer et la plus avantageuse, c'est le levier. Celui-ci en effet, amplifie ou réduit le mouvement suivant le besoin. Quant à la manière d'éviter les inconvénients des appareils qui déforment le mouvement en vertu de leur masse, le remède le plus naturel est de diminuer cette masse elle-même le plus possible. Pour cela, on fait ce levier d'une substance très-légère, amincie transversalement, afin qu'elle ait, dans le sens vertical, une résistance aussi forte que possible tout en étant très-légère. On comprend que ce levier n'a plus de tendance à déformer le mouvement qu'il reçoit, d'autant plus qu'on exerce sur lui la pression constante d'un petit ressort qui assure son contact permanent avec l'organe qui fournit le mouvement exploré.

Enfin, le levier présente un léger inconvénient, celui de tracer un arc de cercle lorsqu'il s'élève ou s'abaisse par un mouvement vertical, ce qui fait que les courbes obtenues appartiennent au système des coordonnées polaires, et non au système orthogonal que nous avons décrit précédemment. Ces deux systèmes sont réductibles l'un dans l'autre par la géométrie analytique; mais, pour éviter ces pénibles transformations, il vaut mieux donner au levier beaucoup de longueur, et ne pas chercher à donner au tracé une grande amplitude; de cette manière, le court axe du cercle tracé par un long levier peut, sans erreur sensible, être considéré comme une ligne droite. Le seul inconvénient, c'est de donner moins de netteté au tracé, par suite de l'extrême petitesse des courbes obtenues. On y remédie en donnant à la pointe ou à la plume écrivant une extrême finesse et en grandissant optiquement le tracé, ce qui n'altère pas ses proportions; on peut donc examiner avec une petite loupe un tracé très-fin et très-petit, ou si ce tracé est recueilli sur un verre enfumé, le projeter sur un écran au moyen du mégascope qui l'amplifie autant qu'on veut, et permet de le décalquer avec les dimensions désirées.

*Transmission à distance du mouvement obtenu.* — Souvent il est indispensable de pouvoir faire agir sur un ou plusieurs leviers établis les uns au-dessus des autres, des mouvements émanés de points différents et souvent éloignés. Pour cela, un excellent moyen de transmission consiste dans l'emploi de tubes pleins d'air, terminés aux deux extrémités par des entonnoirs que ferment des membranes élastiques. C'est le procédé imaginé par Buisson, et qu'avait déjà employé dans des conditions analogues le docteur Upham de

Boston. Cette transmission m'a servi dans les expériences de cardiographie et dans différentes recherches sur l'action musculaire.

Enfin, étant donné un tracé enregistré par l'appareil, il est important de trouver des procédés pour le reproduire sans l'altérer dans les publications diverses. — Dans ces cas, la photographie peut rendre de très-grands services, surtout lorsqu'elle permet de graver les figures photographiques sur plaques métalliques sans l'intervention du burin.

Une des grandes difficultés de la méthode graphique tient à l'extrême faiblesse de mouvements qu'on a quelquefois à enregistrer. Ainsi, en thermographie, on verra que mon appareil, placé dans des conditions d'équilibre constamment variables, ne développe pas de force motrice suffisante même pour tracer des courbes sur du verre enfumé. Dans ces conditions, la plume ne doit plus frotter sur le verre, mais elle doit osciller perpendiculairement au plan de celui-ci, de manière à donner des pointages à ses différentes positions successives. Comme ces pointages sont très-rapprochés les uns des autres, ils constituent dans leur ensemble une ligne continue.

Un autre cas se présente, c'est celui où non-seulement la force motrice est très-minime, mais où les mouvements constituent des vibrations qui se succèdent avec une très-grande rapidité. Dès que le nombre des vibrations qui doit être enregistré en une seconde dépasse trente ou quarante, l'inertie du levier se fait sentir, quelque légèreté qu'on ait essayé de donner à celui-ci. Une nouvelle ressource reste encore, c'est d'étudier les vibrations par la méthode optique de König, c'est-à-dire au moyen des flammes vibrantes dont l'image se réfléchit dans un miroir tournant. Cette intéressante expérience sera exposée plus tard. J'indiquerai les services qu'elle peut rendre à la physiologie.

Enfin, M. Onimus a institué d'ingénieuses recherches dans lesquelles il a obtenu l'image photographique d'un mouvement rythmé. Ainsi, dans des battements de cœur des petits animaux, l'organe se contractant et se relâchant tour à tour passe par deux positions extrêmes, l'une de distension, l'autre de resserrement; il revient sans cesse de l'une de ces positions à l'autre, s'arrêtant plus longtemps à chacune d'elles que dans les positions intermédiaires. Il suit de là, que l'image photographique d'un cœur qui se contracte donne assez nettement les contours superposés de l'organe en relâchement et en contraction, et permet de mesurer assez exactement la différence de forme et de volume du cœur dans ces deux conditions.

Vous voyez, messieurs, que nous sommes en mesure d'étudier, avec une rigueur jusqu'ici inconnue, ce phénomène essentiellement fugitif du mouvement fonctionnel, et cela quelque faible qu'il puisse être, quelque grande que soit sa rapidité. Voici un point établi: c'est que l'insuffisance de nos sens est suppléée par la puissance des appareils enregistreurs, et qu'on pourrait appeler ceux-ci des microscopes du mouvement, puisqu'ils nous font percevoir des mouvements infiniment petits, infiniment lents ou rapides, tels enfin qu'ils échappent à nos sens d'une manière à peu près complète.

#### ORIGINE DU MOUVEMENT FONCTIONNEL.

La plupart des fonctions s'accompagnent, vous le savez, de mouvements plus ou moins apparents. Ces mouvements, que les physiologistes et les médecins de l'antiquité attri-



buient à des causes souvent mystérieuses, ou, que plus souvent encore, ils croyaient expliquer par une propriété spéciale de l'organe qui les présentait, sont aujourd'hui mieux connus dans leur cause. On sait, en effet, que presque tous sont engendrés plus ou moins directement par le raccourcissement ou l'allongement d'un tissu spécial que l'on nomme tissu contractile ou musculaire.

Le raccourcissement d'un muscle et son relâchement sont par eux-mêmes des mouvements parfaitement appréciables, mais ils deviennent à leur tour cause de mouvements secondaires qui servent à l'accomplissement d'une fonction. Ainsi la locomotion, qui transporte l'individu d'un point à un autre, emprunte à la contraction musculaire la force qui produit les flexions et extensions successives des leviers osseux, les glissements des surfaces articulaires, en un mot tout le mécanisme de la marche. La respiration, qui à chaque instant apporte l'air dans les poumons et l'en expulse, n'atteint ce résultat qu'à l'aide de certains muscles. La circulation a pour premier moteur un muscle, le cœur, et pour régulateur à la périphérie du corps, les muscles vasculaires. Les battements des artères, que les anciens croyaient expliquer par une *virtu pulsifuge* de ces vaisseaux, sont aujourd'hui réellement expliqués comme effets secondaires de la contraction du cœur. Les congestions ou les anémies qui se produisent dans certains organes sont des effets de la contraction ou du relâchement des muscles vasculaires.

Il est donc naturel, dans une étude de la physiologie du mouvement, de commencer par examiner la manière dont se comporte l'appareil moteur; de voir quelle est la nature du mouvement primitif qui s'y produit, afin de saisir comment et sous quelles influences ce mouvement se transforme ou se transmet pour devenir ce que nous le voyons en définitive, quand nous observons les fonctions de l'être vivant.

Aujourd'hui la terminologie est bien fixée relativement à la propriété qui nous occupe. La *contractilité* consiste dans le pouvoir spécial que possèdent les tissus vivants de modifier leurs formes, tandis que le nom d'*élasticité* est réservé à la propriété physique que possède un tissu quelconque organisé ou non de revenir à sa forme lorsqu'on la lui a fait perdre par une pression ou une traction quelconque.

Malgré les efforts des anatomistes et des physiologistes, on n'a pu jusqu'ici ramener à un élément unique l'origine du mouvement. L'observation microscopique nous montre la contraction dans des tissus amorphes et dans des tissus organisés. Les animaux inférieurs, les méduses, par exemple, sont éminemment contractiles, sans qu'on découvre en elles le tissu spécial, qui est le siège de la contraction chez les animaux plus perfectionnés. Les amibes nous montrent la matière contractile sous son apparence la plus singulière, car il n'existe pour cette matière aucune forme déterminée; on la voit dans le champ du microscope prendre spontanément les formes les plus bizarres, sans qu'on puisse saisir d'où lui vient ce mouvement.

Les cils vibratiles de certaines cellules épithéliales présentent une organisation plus avancée; mais, dans leur tissu diaphane, on ne voit encore rien qui par sa forme explique la production du mouvement qui les anime. On en peut dire autant des spermatozoïdes.

Cependant il existe des conditions physiques ou chimiques qui agissent de la même manière sur tout ce qui est contractile. Ainsi, la chaleur augmente la contractilité, le froid la

diminue. L'action des alcalis la favorise, celle des acides la détruit. Aussi, malgré l'impuissance des histologistes à ramener le tissu contractile à un élément unique, est-il permis d'admettre qu'une même substance sous des aspects divers est douée de la contractilité.

Pour mieux comprendre les conditions dans lesquelles se produit cette force motrice qu'on appelle contraction, il faut l'étudier dans les tissus où elle est le plus développée, c'est-à-dire dans les diverses espèces de tissus musculaires.

Le microscope nous a révélé deux formes principales de l'élément contractile ou musculaire : la  *fibre striée* , appartenant aux muscles de la vie animale, et la  *fibre lisse* , qui constitue les muscles de la vie organique. — Ces deux espèces de muscles présentent des différences physiologiques aussi tranchées que leurs caractères histologiques eux-mêmes. Le muscle strié, lorsqu'on excite le nerf qui l'anime, paraît se contracter avec une extrême rapidité et se relâcher aussitôt; le muscle lisse se contracte tardivement, lentement et d'une façon prolongée. On rattache aux muscles de la vie organique ou à fibre lisse un grand nombre de tissus contractiles, d'apparences variées, mais qui tous renferment les cellules caractéristiques des muscles lisses, et de plus partagent leur propriété de se contracter lentement et d'une façon prolongée, tels sont les muscles des vaisseaux et de la plupart des viscères, qui possèdent à un degré plus ou moins manifeste la contractilité.

Cette distinction, établie sur la nature des fibres qui constituent un muscle et sur le mode de contraction de celui-ci, est très-naturelle; cependant elle n'établit pas un caractère tranché d'une manière absolue; certains muscles possèdent des fibres des deux ordres. Ainsi, le cœur, surtout constitué par des fibres striées, renferme pourtant aussi des fibres lisses. L'œsophage est dans le même cas. A cette structure mixte se rattache une fonction mixte elle-même, c'est-à-dire un mode de contraction qui offre un peu de la soudaineté de la contraction de la vie animale, et un peu de la persistance des contractions de la vie organique.

#### CONTRACTION DES MUSCLES A FIBRES STRIÉES.

C'est dans cet ordre de muscles que les physiologistes ont le mieux étudié le phénomène de la contraction, aussi commencerai-je par exposer les principaux faits découverts à ce sujet.

L'appareil moteur se compose du nerf qui transmet une excitation et du muscle qui se contracte sous l'influence nerveuse. En dehors des actions volontaires qui se transmettent à travers les nerfs moteurs, il y a deux manières de faire contracter un muscle. La première consiste à irriter le nerf qui l'anime, soit par des agents chimiques, soit par l'électricité, le pincement, etc. La seconde est d'agir directement sur le muscle et de porter sur lui des agents de même nature que ceux qui ont servi pour l'irritation du nerf. De là on peut conclure que le nerf moteur possède une *excitabilité* en vertu de laquelle il agit sur le muscle, et que celui-ci est doué de *contractilité* indépendamment de toute action nerveuse. Telle est l'opinion des physiologistes modernes, opinion déjà émise par Haller, mais qui était restée sans preuve suffisante, jusqu'au moment où M. Claude Bernard prouva l'exactitude de cette distinction, en montrant que le curare arrête toute influence du nerf sur le muscle, tout en laissant intacte la contractilité musculaire.



Dans les expériences physiologiques, quand on fait agir l'électricité sur les nerfs ou sur les muscles, on remarque ordinairement que la contraction obtenue diffère notablement de celle que l'on observe dans les conditions de l'acte musculaire normal. Une décharge d'électricité statique, l'ouverture ou la rupture d'un courant voltaïque ou même du courant propre des muscles de la grenouille, les irritations mécaniques, etc., produisent dans le muscle une secousse brusque et violente qui ne ressemble en rien aux mouvements gradués et durables que provoque la volonté. En effet, tout semble aujourd'hui prouver qu'une contraction véritable se compose d'une série plus ou moins prolongée de ces convulsions ou *secousses* que produit une excitation isolée; celle-ci est à la contraction ce qu'une seule oscillation d'une corde tendue est au son proprement dit. Ainsi, de même qu'un son exigé pour se produire une série de vibrations d'une certaine fréquence, de même aussi la contraction prolongée est constituée par une série de secousses.

Deux voies différentes ont conduit les physiologistes à cette opinion, qui semble aujourd'hui bien démontrée. D'une part, l'analyse du son produit par les muscles qui se contractent a fait conclure que la contraction s'accompagne de vibrations ou de secousses fréquentes du tissu musculaire. D'autre part, l'expérimentation synthétique a prouvé à d'autres physiologistes que si l'on provoque dans un muscle une série de secousses assez fréquentes, ces muscles paraissent être dans un état de contraction permanent analogue au tétanos.

**A. Études analytiques du bruit musculaire.** — En 1809, le docteur Wollaston s'occupa des sons qu'on percevait en auscultant un muscle en contraction. Dans le son qui se produit dans ces circonstances, et que nos traités d'auscultation se bornent à signaler sous le nom de bruit musculaire, ou bruit rotatoire, Wollaston sut reconnaître une tonalité, et compara le son musculaire à celui que produit, pendant la nuit, le roulement des voitures de Londres.

Haughton reprit ces recherches et reconnut que certains bruits qui se passaient dans ses oreilles, et qu'il attribuait à la contraction du masséter, présentaient un timbre qu'il rapporta à celui de 32 à 35.

Or, en rapprochant ces évaluations, on trouve une concordance assez frappante; c'est que tous les observateurs attribuent au bruit de contraction musculaire une tonalité qui suppose un nombre de 32 à 35 vibrations par seconde. — Le docteur Collongue, qui s'est occupé des mêmes recherches, a trouvé la même tonalité dans les muscles en contraction, et en soumettant sa remarque à notre habile acousticien Koenig, il a fait déterminer, avec le diapason, la tonalité du son perçu. Or, le diapason qui vibrait à l'unisson du muscle exécutait 32 vibrations par seconde. Nous ne suivons pas le docteur Collongue dans ses appréciations de la signification du bruit ainsi perçu, bruit auquel il attribue une grande valeur dans le diagnostic des maladies. Il semble donc bien établi que la contraction normale se compose d'environ 32 à 35 secousses musculaires par seconde. J'ai moi-même, après tant d'autres, constaté que telle est en effet la tonalité de mes muscles. Ceux-ci m'ont donné tantôt le *si*, tantôt le *do* de l'octave inférieure d'un piano. Tout le monde peut vérifier cette expérience, qui présente une légère difficulté, celle de bien percevoir la tonalité des sons graves.

**B. Production synthétique de la contraction permanente au moyen d'excitations successives.** — À côté des recherches analytiques dont nous venons de parler, d'autres expérimentateurs, employant la méthode synthétique, démontraient qu'une série de secousses assez fréquentes donnait lieu à la contraction musculaire permanente, ou tétanos. Heidenhain (1848) employa les excitations traumatiques. Il se servit d'un petit marteau qu'une roue dentée faisait mouvoir et qui frappait sur un nerf des coups répétés d'une certaine fréquence. Il vit qu'en donnant à l'appareil une rotation assez rapide, il obtenait, non plus une série de secousses isolées, mais une contraction permanente. — En 1861, Rood obtint une contraction des muscles de l'avant-bras en tenant dans la main un cylindre qui tournait excentriquement autour de son axe avec une grande rapidité. Enfin Helmholtz, après avoir constaté de nouveau que le son produit par la contraction du masséter correspondait à 32 vibrations par seconde, fit agir sur le même muscle une bobine d'induction qui donnait 32 décharges dans le même temps, et vit que le muscle entraînait alors en contraction permanente. L'illustre physiologiste reconnut que ce nombre était le minimum nécessaire pour produire l'état permanent de contraction, et de plus, que toute série de décharges induites produit dans un muscle, si elle est assez fréquente, une contraction permanente accompagnée d'un son d'une tonalité plus ou moins élevée, en raison même du nombre des interruptions du courant. Il a pu constater que le son rendu par le muscle est précisément celui que donne en vibrant l'interruption de la machine d'induction.

Vous voyez, messieurs, que les expériences que je viens de citer montrent l'acte musculaire sous un jour entièrement nouveau. Si je vous ai donné cet aperçu sommaire de la fonction de motricité, c'est que je l'ai cru susceptible de vous faciliter l'intelligence des faits de détails que nous allons passer en revue.

D<sup>r</sup> MAREY.

## BULLETIN DES COURS.

Université de Liège (Faculté des sciences).

CHIMIE INORGANIQUE. — M. Chandelon.

CHIMIE ORGANIQUE. — M. de Koninck.

PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE. — M. L. Perard.

BOTANIQUE. — M. Ed. Morren.

ZOOLOGIE. — M. Th. Lacordaire.

MINÉRALOGIE. — M. G. Dewalque.

HAUTE ALGÈBRE. — M. C. E. Catalan.

GÉOMÉTRIE ANALYTIQUE. — M. A. C. de Cuyper.

STATIQUE. — M. L. J. Trasenster.

GÉOMÉTRIE DESCRIPTIVE. — M. J. B. Brasseur.

CALCUL DIFFÉRENTIEL ET INTÉGRAL. — M. C. E. Catalan.

ANATOMIE COMPARÉE. — M. Th. Lacordaire.

PHYSIOLOGIE COMPARÉE. — M. Fossion.

GÉOLOGIE. — M. G. Dewalque.

ASTRONOMIE PHYSIQUE ET MATHÉMATIQUE. — M. A. C. de Cuyper.

PHYSIQUE MATHÉMATIQUE. — M. Gloesener.

Le propriétaire-gérant : GERMER BAILLIÈRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2.