

*Bibliothèque numérique*

**medic@**

**Marey, Etienne-Jules. - Soirées  
scientifiques de la Sorbonne.  
Conférence de M. Marey. De la  
production du mouvement chez les  
animaux**

*In : Revue des cours  
scientifiques de la France et de  
l'étranger, 1867, IV, n° 14, p.  
209-218*



(c) Bibliothèque interuniversitaire de médecine (Paris)  
Adresse permanente : <http://www.bium.univ-paris5.fr/hist/med/medica/cote?marey050>

# REVUE

DES

# COURS SCIENTIFIQUES

## DE LA FRANCE ET DE L'ÉTRANGER

QUATRIÈME ANNÉE

NUMÉRO 14

2 MARS 1867

### SOIRÉES SCIENTIFIQUES DE LA SORBONNE.

CONFÉRENCE DE M. MAREY.

#### De la production du mouvement chez les animaux.

Mesdames et Messieurs,

Dans une des conférences les plus remarquables de l'année dernière, M. Bert vous a fait connaître le système nerveux. Il a décrit la disposition générale de cet admirable appareil qui tient sous sa dépendance les trois grandes fonctions qui caractérisent les animaux : l'intelligence, la sensibilité et le mouvement.

Je suivrai le plan tracé par mon prédécesseur ; mais en restreignant davantage le sujet de cet entretien, je pourrai aborder l'étude des faits particuliers, reproduire quelques expériences, afin de mettre en lumière, autant que possible, la nature des phénomènes dont j'aurai à vous parler.

C'est la production du mouvement chez les animaux qui fera l'objet de cet entretien.

Le mouvement, vous le savez, est l'attribut le plus général de l'animalité. Si l'on observe chez quelques végétaux des mouvements assez caractérisés, ceux-ci ne constituent guère qu'une sorte de réaction de la plante contre des influences extérieures ; ils n'ont pas ce caractère de spontanéité qui nous frappe dans les mouvements des animaux.

L'animal seul peut commander à ses organes des mouvements appropriés à un but, soit qu'il fuie un danger, soit qu'il poursuive une proie, soit enfin qu'il exécute ces actes si intelligents et si variés qui font la supériorité de l'espèce humaine. Mais s'ils possèdent en propre les mouvements volontaires, les animaux présentent aussi des mouvements d'une autre nature. Il se passe en nous un grand nombre de phénomènes dont nous n'avons pas conscience, que nous ne commandons pas, que nous ne saurions empêcher.

Le cœur bat dans notre poitrine et fait circuler le sang dans tous nos organes sans que nous en ayons conscience, sans que notre volonté puisse, d'une manière directe, accélérer ou ralentir ses battements. Ces mouvements involontaires correspondent aux actes les plus importants pour la conservation de l'individu. Des nerfs spéciaux les régissent, des muscles spéciaux les exécutent : ces organes et ces fonctions appartiennent à ce que Bichat a si justement appelé la vie organique, tandis que les mouvements volontaires dont je vous parlais tout à l'heure sont du domaine de la vie animale.

(1) Voyez, dans la *Revue*, t. III, 1866, un cours de M. Marey sur la *Physiologie du mouvement chez les animaux*, et en particulier pages 205 et 350.

IV.

Le mouvement volontaire va m'occuper tout d'abord.

Pour qu'un mouvement volontaire se produise, trois organes doivent entrer en jeu. Le cerveau ordonne, le nerf transmet l'ordre du cerveau, le muscle exécute le mouvement.

Le cerveau est bien connu de tout le monde dans sa disposition générale. Je ne dirai rien de sa structure compliquée, qui n'éclaire pas encore les mystères de ses fonctions.

Les nerfs sont des cordons blancs dont la structure rappelle celle de la substance cérébrale. C'est par eux que se transmet au muscle l'ordre émané du cerveau. Si on les coupe, l'ordre est intercepté, et le muscle qu'ils animaient devient rebelle à la volonté. Il est paralysé.

Les muscles sont formés par cette substance rouge filamenteuse qui constitue la chair des animaux : chaque muscle est composé d'une infinité de fibrilles, qui toutes ont la propriété de se raccourcir lorsque le nerf agit sur elles. A ses extrémités, le muscle se condense en fibres plus résistantes, blanches et nacrées, qu'on nomme les *tendons*. C'est par là que le muscle s'implante solidement sur les os qu'il doit mouvoir.

Plus un muscle renferme de fibrilles, plus la force qu'il développe en se contractant est considérable. Chacune de ces petites actions fibrillaires s'ajoute aux autres, et c'est là surtout qu'on peut appliquer cet axiome : « *L'union fait la force.* » Mais aussi plus un muscle renferme de fibrilles, plus il est volumineux. C'est pour cela que l'inspection du système musculaire d'un animal permet de reconnaître, au premier abord, quels sont les mouvements qu'il est le plus apte à produire. Les zoologistes savent très-bien déduire de l'anatomie les aptitudes et les mœurs d'animaux qu'ils n'ont jamais vus vivants.

Voici un gorille. Vous remarquez l'énorme développement des muscles des mâchoires, de ceux de la région postérieure du cou, de ceux des épaules et des bras. Cette disposition suffit à faire prévoir la puissance avec laquelle cet animal peut étreindre et déchirer son ennemi. Des muscles puissants qui relient l'épaule à la région dorsale montrent l'aptitude du gorille à se soulever par la force des bras, ce qui en fait un animal grimpeur.

Chez le cheval, une disposition tout autre révèle d'autres aptitudes. Des masses musculaires énormes sont accumulées à la base des membres ; la vitesse à la course, la force pour trainer les fardeaux, pourraient se prévoir d'après cette conformation.

Cette esquisse rapide de la disposition anatomique de l'appareil moteur suffira pour nous préparer à l'étude de sa fonction. Une comparaison va la faciliter encore.

Ce cerveau qui ordonne, ce nerf qui transmet l'ordre, ce muscle qui le reçoit et l'exécute, tout cela ne rappelle-t-il pas d'une manière complète ce que la télégraphie électrique



réalise de nos jours. D'un point de la France part un ordre : il se transmet par un fil, il arrive à sa destination sous forme d'un signal qui consiste en un mouvement produit.

Vous voyez ici une sonnerie électrique. Ce marteau, qui va frapper un timbre représente l'organe producteur du mouvement, le muscle. Ce fil conducteur sera le nerf. Enfin, à l'autre extrémité, je remplirai le rôle du cerveau. J'envoie dans le fil l'ordre du mouvement sous forme de courant électrique. L'ordre est exécuté, le timbre a sonné.

Je vous ai dit que le nerf, pour transmettre l'ordre au muscle, doit être intact ; il en est de même du fil : si je le romps, la transmission cesse, le timbre ne sonne plus ; il est paralysé.

Cette analogie est si frappante, que bien des physiologistes ont pensé que les phénomènes nerveux ne sont autre que des effets de l'électricité elle-même ; que l'agent nerveux qui manifeste la pensée, la volonté, n'est autre que cet agent non moins insaisissable que nous appelons fluide électrique.

Lorsque, dans une science, on émet une hypothèse, il faut se hâter de la vérifier. Or, quel moyen de savoir si un courant électrique circule dans le nerf, si ce n'est de recourir aux appareils employés en physique pour reconnaître le passage de l'électricité dans les fils de métal. Le galvanomètre est l'appareil qui sert à constater l'existence, l'intensité et la direction de ces courants. C'est une boussole très-mobile, qui se dévie quand elle est soumise à l'influence d'un courant électrique.

Voici un de ces instruments disposé de façon à projeter sur le tableau l'image de son aiguille et les divisions du cadran.

Je le mets en rapport avec le fil du télégraphe, de manière que si un courant est lancé dans le fil, une partie de ce courant se dérive au travers du galvanomètre et le met en mouvement. Aucun courant ne passe à présent dans le fil du télégraphe, l'aiguille du galvanomètre est au zéro. Je fais passer maintenant le message électrique : le télégraphe obéit et l'aiguille se dévie, indiquant le passage du courant.

Cette même expérience a été faite sur les nerfs des animaux. Du Bois-Reymond, l'illustre physiologiste de Berlin, nous a appris que les nerfs sont le siège de courants électriques. Il a montré, en outre, que ces courants circulent dans le nerf précisément à l'instant où le cerveau envoie au muscle l'ordre qui le fait contracter.

Mais ce n'est pas tout encore, les muscles aussi sont le siège de phénomènes électriques, qui se modifient au moment de leur contraction. Voici comment les choses se passent.

Un muscle, dans les conditions normales et au repos, possède un état électrique déterminé. Sa surface extérieure est électrisée positivement, tandis que la coupe qu'on en fait, suivant un plan perpendiculaire à la direction des fibres, est chargée d'électricité négative. Il suit de là que si l'on met les deux faces en rapport chacune avec l'un des fils d'un galvanomètre, un courant passe dans l'appareil et dévie l'aiguille aimantée. Le muscle est donc un véritable élément de pile. Vous allez voir que le galvanomètre révèle d'une façon très-claire l'existence de ce courant.

Voici un muscle de grenouille placé sur une plaque de verre ; ce muscle a été coupé en travers, de manière à présenter une surface perpendiculaire à la direction de ses fibres. Je mets cette surface en contact avec l'un des fils du galvanomètre. Si je place maintenant l'autre fil en rapport avec la surface naturelle (c'est-à-dire longitudinale) du muscle, un courant se produit à travers le galvanomètre, et l'aiguille est déviée. On fait dévier l'aiguille en sens inverse, si l'on inverse

la position des fils par rapport aux deux surfaces du muscle.

Ces phénomènes électriques qui se passent dans les muscles à l'état de repos disparaissent entièrement aussitôt que le muscle entre en action. A cet instant, toute polarité électrique disparaît dans le muscle, et l'aiguille du galvanomètre, si elle était déviée, revient vers le zéro de la graduation. Pour vous faire assister à ces phénomènes, je n'ai plus besoin d'agir sur les muscles détachés d'un animal. Ici plus de mutilation ; je vais vous montrer le courant électrique produit par mes muscles.

D'après ce que je viens de dire, mes deux mains sont électrisées ; car la surface extérieure de leurs muscles est chargée d'électricité, et celle-ci se propage à travers la peau jusqu'à l'extérieur. Mes deux mains en repos sont donc chargées toutes deux d'électricité de même signe, en quantité à peu près égale. Aucun courant ne peut ainsi se produire si je saisis les deux poignées de zinc qui terminent les fils du galvanomètre, car il y a équilibre entre deux états électriques semblables agissant en opposition l'un avec l'autre. L'aiguille aimantée reste sensiblement immobile. Mais si je contracte les muscles d'une des mains, je détruis en partie l'état électrique qui existait de ce côté, et la main non contractée conservant son état électrique, un courant se produit qui dévie l'aiguille aimantée.

Vous voyez que je dévie l'aiguille du galvanomètre à droite, puis à gauche du zéro, en contractant alternativement la main droite, puis la gauche (1).

Voilà bien des expériences accumulées pour montrer que l'agent nerveux, cet agent mystérieux et insaisissable, n'est autre que l'électricité, non moins mystérieuse dans son essence, mais cependant mieux connue dans ses effets et en ce qui touche aux lois qui la régissent. C'est toujours une conquête de la science, lorsqu'elle démontre que des phénomènes, très-différents en apparence, se rattachent à une cause commune ; c'est un pas de plus qui nous rapproche de la vérité.

Un des plus grands physiologistes de notre époque, l'illustre Helmholtz, voulut soumettre l'agent nerveux à une nouvelle épreuve destinée à rechercher s'il avait, comme l'électricité, cette transmission si rapide qui étonne l'imagination. Prenons un des fils électriques tendus de Paris à Marseille, et supposons-le réuni dans cette dernière ville avec un autre fil revenant à Paris. La longueur totale de ce circuit représente plus de 1700 kilomètres. Or, si l'on envoie un courant par l'un des bouts de ce fil, le courant accomplit ce long trajet d'aller et de retour, et revient à l'observateur, sans que celui-ci puisse saisir d'intervalle appréciable entre l'envoi du message et l'arrivée du signal. Cet intervalle serait environ un dixième de seconde.

Mais si les sens de l'homme sont limités dans leur puissance, l'homme a su, par son intelligence, créer des appareils qui remédient à cette faiblesse. Il a fait le télescope, qui lui permet de plonger ses regards dans l'immensité de l'espace ; il a fait le microscope, qui lui a révélé le monde des infiniment petits. Les durées les plus courtes ne sauraient lui échapper non plus : on mesure aujourd'hui la vitesse des projectiles de guerre, on sait le temps qu'il faut à un boulet

(1) Un galvanomètre spécial a été construit par M. Ruhmkorff pour réaliser les expériences de physiologie dans les cours publics. Cet instrument est d'une extrême sensibilité. Son cadran, qui est transparent, peut être projeté au moyen de la lumière électrique, ce qui permet de voir de loin les moindres déviations de l'aiguille.



pour parcourir un mètre de distance. On a mesuré la vitesse de la lumière et celle de l'électricité. Helmholtz a mesuré celle de l'agent nerveux. Voici comment il s'y prit.

Vous voyez ce cylindre (fig. 159); il est recouvert de papier noirci à la fumée. Il tourne sur son axe, et fait un tour en une seconde, au moyen d'un mouvement d'horlogerie (1).

Je frappe sur ce cylindre deux petits coups très-peu distants l'un de l'autre. Chacun de ces coups a laissé sa trace en enlevant le noir de fumée et en mettant à nu le blanc du papier. J'arrête le cylindre, et je vois que les deux marques produites sont assez éloignées l'une de l'autre. Cela tient à ce que le cylindre a tourné d'une certaine quantité dans l'inter-

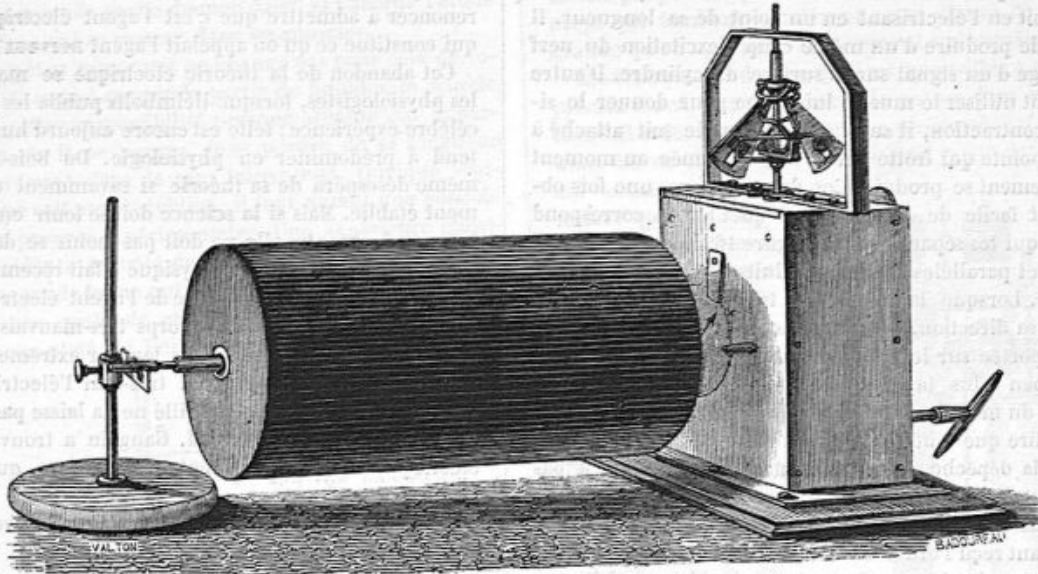


Fig. 159.

valle de ces deux coups. Supposons que la distance qui sépare les deux signaux soit égale à un dixième de la circonférence totale; puisque le tour complet s'effectue en une seconde, il s'est écoulé un dixième de seconde entre les deux coups.

A ce procédé imparfait on pourrait faire des objections. En effet, rien ne prouve que la rotation du cylindre soit parfaitement uniforme. Admettons que, dans ce mouvement, il existe quelque temps d'arrêt, quelque secousse; cette irrégularité peut porter précisément sur l'instant où se sont produits les signaux: il n'en faut pas davantage pour fausser les résultats de l'expérience. Un perfectionnement très-ingénieux a été apporté à la méthode graphique par M. Duhamel, qui employa le diapason pour la mesure des temps très-courts. On sait que le diapason, de même que le pendule, possède des oscillations isochrones. Or, ces oscillations peuvent être très-rapides, puisque certains diapasons vibrent plus de 9000 fois dans une seconde.

Supposez que l'on adapte une petite pointe à l'une des branches du diapason, et que cette pointe frotte sur le cylindre noirci pendant que celui-ci tourne autour de son axe. Chacune des vibrations de l'instrument s'enregistrera sur le papier; il en résultera une ligne sinueuse dont chaque feston

(1) Le moteur représenté dans cette figure est le régulateur de M. Foucault. Cet appareil donne le mouvement uniforme, même lorsqu'on oppose à la force motrice des résistances variables.

sera, suivant la tonalité du diapason employé, un centième, un millième, un neuf-millième de seconde.

L'expérience va être faite sous vos yeux; seulement, au lieu d'agir sur un cylindre, on opérera sur une plaque de verre enfumée, qui recevra la trace des vibrations du diapason et qui vous permettra de voir ces vibrations par transparence.

Voici (fig. 160) un diapason qui exécute 200 vibrations par seconde. Je le mets en mouvement après l'avoir fixé dans un étai. A côté de lui est un petit tambour métallique fermé sur l'une de ses faces par une membrane de caoutchouc. Je rapproche le tambour du diapason de façon que la membrane vienne au contact de l'une des branches vibrantes. Les vibra-

tions se transmettent par un tube de 15 mètres de longueur et vont s'enregistrer dans le mégascope électrique, qui projette sous vos yeux leur image amplifiée. Permettez-moi de ne pas décrire pour

le moment la disposition de l'appareil qui inscrit les vibrations dans le mégascope; cette description trouvera sa place plus loin. Constatez seulement que, sous l'influence des vibrations du diapason, il s'écrit sur le

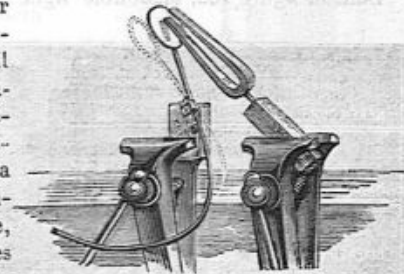


Fig. 160.

tableau une ligne sinueuse (Fig. 161). Le mouvement est imprimé par la main à la plaque de verre enfumée, aussi est-il

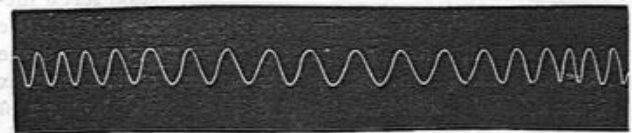


Fig. 161.

peu régulier. Il en résulte un déploiement fort inégal des vibrations du diapason, dont les unes sont larges et les autres



condensées. Cette irrégularité du mouvement de la plaque n'enlèverait rien à la précision des expériences, car le nombre des vibrations dont elle reçoit la trace permet d'évaluer, pour chaque instant, la vitesse de la translation.

Je puis exposer maintenant l'expérience par laquelle M. Helmholtz détermina la vitesse du courant nerveux.

Supposons que sur un cylindre on puisse pointer deux signaux, l'un au moment où l'agent nerveux entre dans le nerf, et l'autre au moment où le muscle, obéissant à cet agent, commence à se raccourcir, on pourra déterminer le temps qui s'est écoulé entre ces deux phénomènes. Or ce n'est pas la volonté seule qui a le pouvoir de mettre un nerf en action. On peut exciter le nerf artificiellement, soit en le frappant, soit en l'électrisant en un point de sa longueur. Il sera facile de produire d'un même coup l'excitation du nerf et le pointage d'un signal sur la surface du cylindre. D'autre part, on peut utiliser le muscle lui-même pour donner le signal de sa contraction, il suffit que ce muscle soit attaché à une petite pointe qui frotte sur le noir de fumée au moment où le mouvement se produit. Ces deux signaux une fois obtenus, il est facile de déterminer à quel temps correspond l'intervalle qui les sépare. On voit, figure 162, deux traits très-rapprochés et parallèles; ils sont produits par les deux pointes en question. Lorsque la pointe qui traçait le trait inférieur se dévie de sa direction, cela annonce que l'excitation électrique est portée sur le nerf. Lorsque le trait supérieur se dévie, un peu plus tard, cela se fait sous l'influence de la contraction du muscle et en signale le début.

Est-ce à dire que tout ce temps ait été employé à la transmission de la dépêche à travers le nerf. Helmholtz n'a pas jugé que cette conclusion fût légitime, et il a prouvé qu'une grande partie de ce temps était perdue par l'inertie du muscle, qui, ayant reçu l'ordre du nerf, ne lui obéit pas encore.

Pour montrer l'existence de ce *temps perdu*, on fait une seconde expérience. Cette fois, au lieu d'exciter le nerf le plus loin possible du muscle, on l'excite très-près de ce dernier. On obtient alors un deuxième graphique, pour lequel les deux signaux sont moins écartés que dans le cas précédent.

Dans la figure 162, la double ligne supérieure, celle qui porte pour indication *nerf court*, a été obtenue en agissant sur le nerf assez loin du muscle. La ligne inférieure est obtenue en agissant sur le nerf plus loin de son entrée dans le muscle.

Enfin, le diapason sert à mesurer la différence de durée des deux mesures obtenues; elle correspondrait, dans le cas présent, à la durée précise d'une vibration du diapason. Cette succession plus rapide des deux signaux dans le second cas tient à ce que l'agent nerveux a dû parcourir une moindre longueur de nerf. On peut donc attribuer l'excès de durée de la première expérience sur la seconde à l'excès de longueur du nerf parcourue dans le premier cas, et en déduire la vitesse de l'agent nerveux.

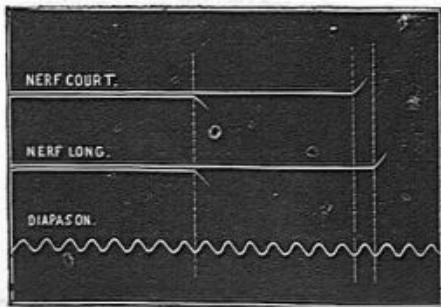


Fig. 162.

Elle sert à mesurer la différence de durée des deux mesures obtenues; elle correspondrait, dans le cas présent, à la durée précise d'une vibration du diapason. Cette succession plus rapide des deux signaux dans le second cas tient à ce que l'agent nerveux a dû parcourir une moindre longueur de nerf. On peut donc attribuer l'excès de durée de la première expérience sur la seconde à l'excès de longueur du nerf parcourue dans le premier cas, et en déduire la vitesse de l'agent nerveux.

Je ne sais, messieurs, si vous vous attendiez à trouver la vitesse de l'agent nerveux égale à celle de l'électricité dans les fils métalliques. En ce cas, les résultats obtenus par Helmholtz vous causeraient une déception. Le physiologiste de Heidelberg assigne à l'agent nerveux la vitesse bien modique de 24<sup>m</sup>,04 par seconde. D'autres expérimentateurs ont trouvé une vitesse encore moindre. En m'entourant de toutes les garanties d'exactitude que donne aujourd'hui la méthode graphique perfectionnée, j'ai trouvé, dans certains cas, 12 à 14 mètres seulement par seconde.

En présence de cette différence énorme de vitesse entre l'électricité et l'agent nerveux, faut-il renverser tout l'échafaudage de preuves que nous venons d'accumuler? Faut-il renoncer à admettre que c'est l'agent électrique lui-même qui constitue ce qu'on appelait l'agent nerveux?

Cet abandon de la théorie électrique se manifesta parmi les physiologistes, lorsque Helmholtz publia les résultats de sa célèbre expérience; telle est encore aujourd'hui l'opinion qui tend à prédominer en physiologie. Du Bois-Reymond lui-même désespéra de sa théorie si sagement et si prudemment établie. Mais si la science doit se tenir en garde contre les entraînements, elle ne doit pas moins se défier des réactions prématurées. Or, la physique a fait récemment un nouveau pas dans la connaissance de l'agent électrique: M. Gaugain a montré que dans les corps très-mauvais conducteurs, l'électricité chemine avec une lenteur extrême. Les liquides sont des corps qui conduisent très-mal l'électricité, de telle sorte qu'un fil de coton mouillé ne la laisse passer que très-lentement. Dans un tel fil, M. Gaugain a trouvé que l'agent électrique chemine plus lentement encore que ne le fait l'agent nerveux.

Quoi de plus naturel, après cela, que de comprendre la marche si lente de l'électricité dans les nerfs. Pour ceux-ci, le seul élément conducteur, c'est le liquide qui les imbibe. La matière solide du nerf desséchée ne laisserait rien passer du tout. Il ne faut donc plus s'étonner de la lenteur du courant électrique au travers des nerfs; il serait, au contraire, surprenant que les nerfs ne présentassent pas à ce fluide la résistance qui appartient à tous les conducteurs dans la composition desquels les liquides sont prédominants.

D'autres objections restent encore. Il en est une que les adversaires de l'identité des agents électrique et nerveux présentent comme accablante. Lorsqu'un nerf est écrasé entre les mors d'une pince, il cesse de transmettre l'agent nerveux, mais il est encore perméable au courant électrique d'une pile. A cette objection je ne ferai qu'une réponse. Toutes les électricités n'ont pas la même aptitude à surmonter les obstacles. Une tension forte est nécessaire pour qu'un courant passe à travers un circuit résistant; dans ces conditions, l'électricité d'une pile ne pourrait-elle pas franchir tel obstacle qui arrête l'électricité nerveuse? Or, n'est-il pas supposable que l'écrasement d'un nerf, en rompant la continuité des fibres nerveuses et en ne laissant subsister que la gaine, isolante peut-être, qui les enveloppe, crée un obstacle au passage du courant (1)? Dès lors tout s'expliquerait, et les objections que je signalais tout à l'heure tourneraient à la confirmation de l'hypothèse que j'ai eu l'honneur de vous exposer.

(1) Cette expression de courant appliquée aux phénomènes électriques qui se poursuivent dans un nerf isolé, est vicieuse au point de vue physique. Je la conserve pour me conformer à l'habitude, mais avec les réserves que posent si justement les physiologistes de l'école allemande.



Je vous demande pardon si, dans cet exposé rapide des phénomènes nerveux, j'ai pu vous paraître partial. C'est qu'en effet, il est bien difficile de rester spectateur indifférent dans un pareil débat. La question se pose aujourd'hui dans ces termes : ou bien l'agent nerveux n'est que l'électricité, et alors nous pouvons espérer comprendre de mieux en mieux la manière dont il se produit, les lois qui le régissent ; ou bien l'agent nerveux est d'une nature spéciale, et le problème reste tout entier à résoudre, le voile que nous croyions soulevé retombe encore une fois. Sans me permettre d'émettre une opinion formelle dans ce débat, où les plus grands physiologistes sont encore dans le doute, je vous ai présenté les pièces du procès ; peut-être apprendrez-vous quelque jour que la science est fixée sur ce point litigieux encore.

J'arrive à la seconde partie de mon sujet, et j'aborde l'étude des phénomènes qui se passent dans les muscles.

Un muscle qui se raccourcit ne change pas pour cela de volume absolu. Composé en grande partie de liquides, le muscle doit posséder l'incompressibilité presque absolue qui appartient à ceux-ci. Il ne pourra donc perdre de sa longueur qu'en s'accroissant dans le sens transversal. Quelque vraisemblable que soit une déduction, il faut autant que possible l'appuyer de preuves expérimentales. Une expérience classique rend évidente la fixité du volume d'un muscle, malgré les changements de forme qui accompagnent ses mouvements. Enfermons une patte de grenouille fraîchement préparée dans un flacon plein de liquide (fig. 163) ; fermons ensuite

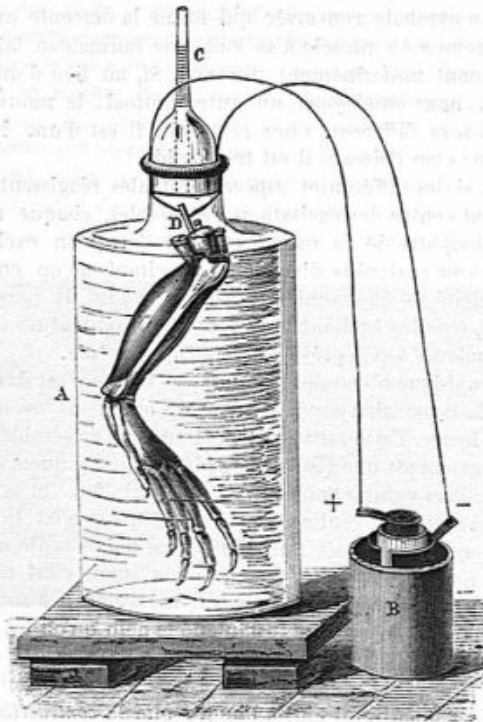


FIG. 163.

le flacon avec un bouchon que traverse un tube de verre très-étroit. Le niveau du liquide s'élève dans ce tube jusqu'à un point C que nous notons. Si maintenant, au moyen de deux fils électriques qui traversent le bouchon, nous excitions le nerf D de la patte de grenouille, nous la voyons s'agiter violemment. Or, pendant l'action de ses muscles, on n'observe aucun changement dans le niveau du liquide. On peut conclure ri-

goureusement que les muscles, en se contractant, n'ont pas changé de volume, car leur gonflement le plus léger eût déplacé l'eau du flacon et élevé le niveau du liquide ; d'autre part, s'ils eussent diminué de volume, une certaine quantité d'eau serait passée du tube dans le flacon, et le niveau dans le tube se serait abaissé.

Nous allons étudier le mouvement musculaire dans ce qu'il a de plus essentiel ; je veux parler de sa forme.

C'est chose un peu abstraite que la forme d'un mouvement ; le sens de cette expression a besoin d'être défini. — Tout le monde a vu un corps pesant tomber d'un lieu élevé. Ce corps semble d'abord presque immobile, puis sa vitesse augmente. Plus tard la chute devient plus rapide, l'œil à peine à le suivre. Enfin, le corps prend une telle vitesse, que nous cessons de le voir jusqu'à ce qu'il vienne se briser sur le sol. Tous les corps qui tombent acquièrent cette vitesse de plus en plus grande qu'on appelle le mouvement uniformément accéléré.

Est-il nécessaire de dire qu'il est impossible à nos sens d'apprécier d'une manière exacte la nature d'un pareil mouvement. Il suffit de rappeler que ce phénomène si vulgaire, qui avait été vu chaque jour depuis qu'il existe des hommes, n'a été connu dans sa nature qu'au XVI<sup>e</sup> siècle. Il faut arriver à Galilée pour trouver la démonstration de ce fait, que la chute des corps est un mouvement uniformément accéléré.

La méthode de Galilée était difficile à appliquer. Atwood, en donnant une autre solution du problème, simplifia peu la démonstration. Mais une véritable révolution fut opérée dans l'étude du mouvement, lorsque les généraux Poncelet et Morin créèrent l'ingénieux appareil qui détermine, par la méthode graphique, les lois de la chute des corps.

Nous connaissons déjà cette méthode, lorsqu'elle sert à mesurer les phénomènes d'une durée très-courte. Nous allons voir comment elle peut s'employer, non plus à signaler le commencement et la fin d'un mouvement,

mais à le traduire dans toutes ses phases. La figure 164 représente la machine Poncelet et Morin destinée à enregistrer le mouvement de la chute des corps. Un cylindre A tourne d'un mouvement uniforme sous l'in-

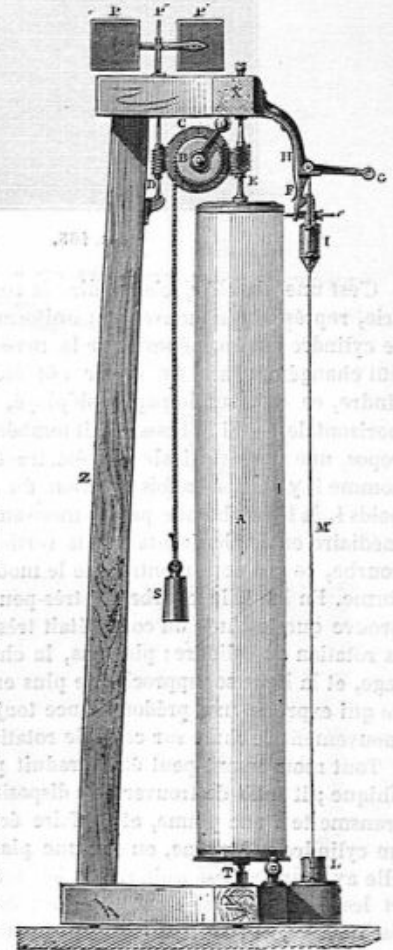


FIG. 164. (D'après la Physique de M. Desains.)



fluence d'un appareil d'horlogerie que règle le volant PPP, et que le poids S met en marche. A côté du cylindre est une masse pesante I qui porte un crayon e; cette masse tombe au moment où l'on presse sur la détente G. La masse tombe suivant la verticale M, et pendant cette chute le crayon e frotte sur le cylindre, et laisse une trace qu'il s'agit d'étudier.

Supposons que l'on ait enlevé le papier qui recouvrait le cylindre, et qu'on l'ait déployé sur un plan. La figure 165 représente la courbe tracée.

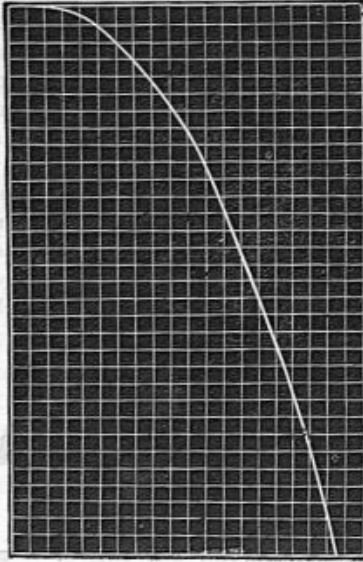


FIG. 165.

C'est une *parabole*, c'est-à-dire la courbe qui, en géométrie, représente le mouvement uniformément accéléré. — Si le cylindre eût tourné sans que la masse qui porte le crayon eût changé de place, un cercle eût été tracé autour du cylindre, ce qui, sur le papier déployé, eût donné une ligne horizontale. — Si la masse était tombée, le cylindre étant en repos, une ligne verticale eût été tracée sur le papier. Mais comme il y avait à la fois rotation du cylindre et chute du poids I, la ligne obtenue par ce mouvement devait être intermédiaire entre l'horizontale et la verticale. — Cette ligne est courbe, ce qui nous montre que le mouvement n'est pas uniforme. En haut, la courbe est très-peu descendante, ce qui prouve que la chute du corps était très-faible par rapport à la rotation du cylindre; plus bas, la chute s'accélère davantage, et la ligne se rapproche de plus en plus de la verticale, ce qui exprime une prédominance toujours plus grande du mouvement de chute sur celui de rotation.

Tout mouvement peut être traduit par la méthode graphique; il suffit de trouver une disposition mécanique qui le transmette à une plume, et de faire écrire cette plume sur un cylindre qui tourne, ou sur une plaque qui passe devant elle avec une vitesse uniforme. C'est ainsi que les physiiciens et les météorologistes ont construit des thermomètres, des baromètres, et beaucoup d'autres instruments enregistreurs.

Mais lorsqu'un mouvement est trop faible, les ondulations du graphique qu'il donne sont trop peu visibles; il faut alors grandir ce mouvement. L'emploi du levier est un des moyens les plus commodes pour obtenir ce résultat. Il fournit une amplification que l'on peut faire varier à volonté, en appli-

quant la force dont on étudie les effets plus ou moins près de l'axe de rotation du levier.

On peut donc attacher l'extrémité d'un muscle à un levier, et l'on aura, pour un faible mouvement de ce muscle, un grand déplacement de l'extrémité du levier. — C'est ainsi que, dans la nature, les muscles sont attachés, en général, très-près des articulations, c'est-à-dire du point autour duquel pivotent les leviers que représentent les os. Cela permet aux animaux de produire des mouvements étendus avec un faible raccourcissement de leurs muscles.

On va faire agir un muscle de grenouille sur l'un de ces leviers amplificateurs; la pointe qui termine le levier, va enregistrer le mouvement sur une plaque de verre enfumé, et le tracé sera projeté sur le tableau.

Vous voyez (fig. 166) se produire, à chaque excitation

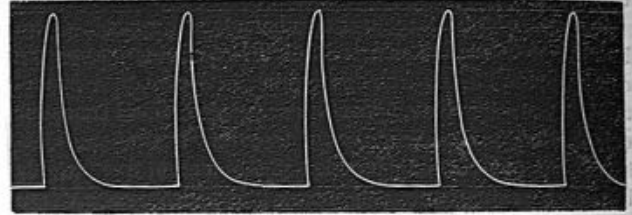


FIG. 166.

électrique, un mouvement brusque et de courte durée. La ligne presque verticale qui correspond à l'ascension de la courbe montre que le raccourcissement du muscle est soudain. La parabole renversée qui forme la descente exprime que le retour du muscle à sa longueur normale se fait d'un mouvement uniformément diminué. Si, au lieu d'une grenouille, nous employons un autre animal, le mouvement produit sera différent. Chez la tortue, il est d'une lenteur extrême; chez l'oiseau, il est très-rapide.

Mais, si les différentes espèces animales réagissent différemment contre des excitations semblables, chaque animal réagit toujours de la même manière lorsqu'on excite son nerf, et cela malgré la diversité des excitants qu'on emploie. L'électricité de la machine, celle de la pile, la percussion du nerf, tous les excitants en un mot, provoquent un mouvement toujours à peu près semblable à lui-même.

Le graphique obtenu est toujours le même, c'est dans tous les cas la convulsion soudaine et brève que nous avons vue tout à l'heure. Cette secousse instantanée ne ressemble guère aux mouvements que l'animal produit sous l'influence de la volonté, à ces contractions dont il gradue la force et la durée suivant l'acte qu'il veut accomplir. C'est qu'en effet le mouvement qui se produit sous l'influence d'une seule excitation du nerf n'est pas une contraction, mais c'est un des éléments qui constituent la contraction. — Permettez-moi donc d'enlever à ce phénomène instantané le nom qu'on lui avait donné jusqu'ici, et de le désigner par un autre, celui de *secousse*.

Je vous démontrerai tout à l'heure que la *contraction* proprement dite est produite par une série de *secousses* qui se succèdent à des intervalles très-courts. C'est ainsi que la physique nous montre le son comme un phénomène complexe produit par l'addition d'éléments très-nombreux: les vibrations sonores. Une seule vibration du diapason n'est pas plus un son qu'une secousse d'un muscle n'est une contraction.

Je vais vous faire assister à la naissance de la contraction



d'un muscle sous l'influence d'excitations électriques. En variant à volonté la fréquence de courants induits que j'envoie à ce muscle, je produirai d'abord des excitations très-espacées entre elles; plus tard je les ferai plus fréquentes, de façon que chaque secousse du muscle n'ait pas le temps de finir avant que la suivante arrive. Alors les secousses s'ajoutent entre elles et se fusionneront de plus en plus, à mesure que croîtra la fréquence des interruptions. Avec une certaine fréquence, les secousses disparaîtront tout à fait, et feront place à un état d'immobilité apparente du muscle raccourci.

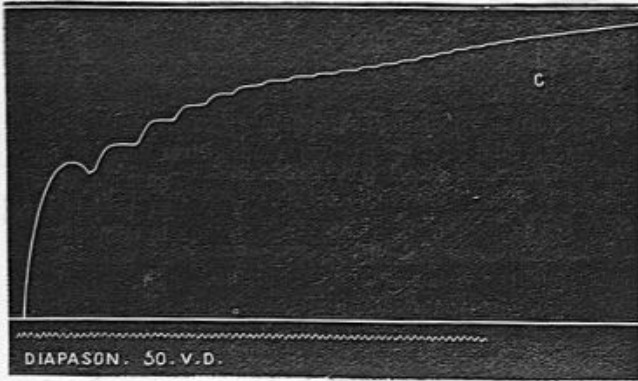


FIG. 167.

Ce sera la contraction proprement dite de ce muscle. La figure 167 montre comment se produit la contraction musculaire sous l'influence de l'électricité. S'il est vrai que la contraction se résulte de la fusion, de l'interférence des secousses musculaires, on obtiendra des effets bien différents, suivant que l'on agira sur les muscles d'animaux dont la secousse est rapide, ou sur ceux qui ont une secousse prolongée. A ce point de vue, l'oiseau et la tortue m'ont donné les résultats les plus différents. La figure 168 montre que l'oi-

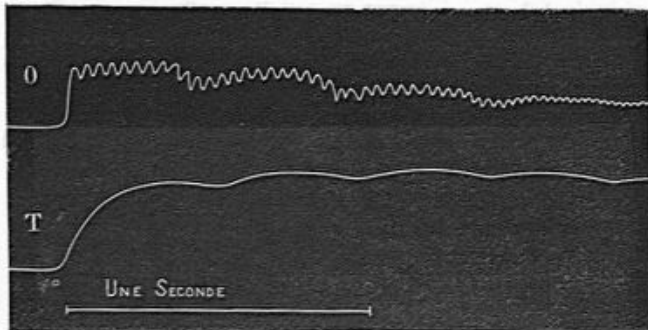


FIG. 168.

seau O peut recevoir plus de 75 secousses par seconde sans être en contraction, tandis que la tortue T est presque contractée avec 3 excitations par seconde.

L'électricité, vous le savez, n'est pas le seul agent qui excite les nerfs. Si l'on frappait un nerf de petits coups de plus en plus rapprochés les uns des autres, on arriverait au même résultat qu'avec l'agent électrique. A une certaine fréquence des percussions, le muscle cesserait de vibrer et présenterait un état de contraction véritable.

Il existe certains poisons qui provoquent chez l'homme ou

chez les animaux des contractions musculaires très-prolongées : ce que l'on appelle le tétanos. Or, cet état est constitué comme les contractions que nous venons de voir. Il est formé de vibrations musculaires très-fréquentes, que l'œil ne saisit pas toujours, mais qui, en général, sont rendues visibles au moyen du levier enregistreur. Voici (fig. 169) le graphique du

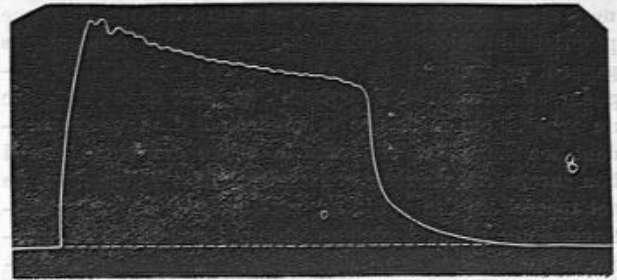


FIG. 169.

tétanos qui a été provoqué sur une grenouille par la strychnine; les secousses multiples qui le constituent sont très-distinctes.

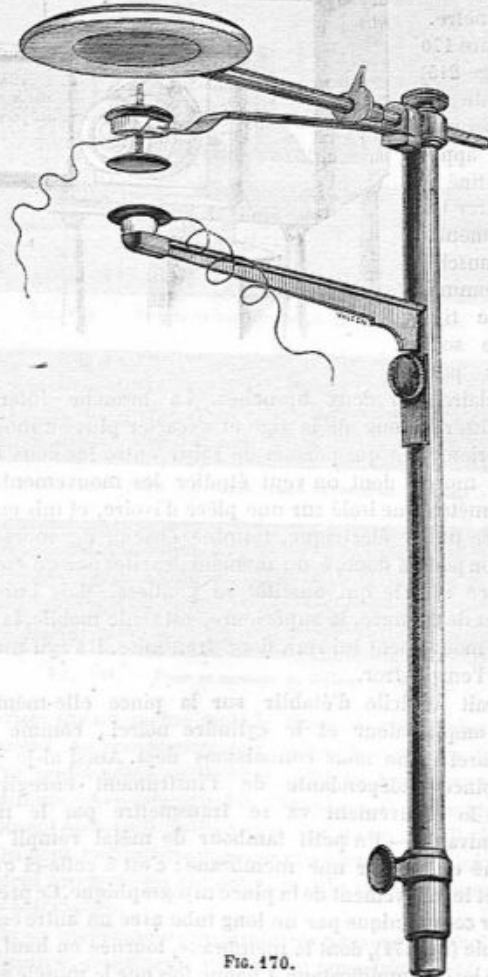


FIG. 170.

Les expériences que nous venons de passer en revue nécessitent la mutilation d'un animal. Les vivisections enlèvent



à la physiologie ce caractère de science aimable que possèdent les autres branches des sciences naturelles. Pour vous rendre témoins de la production du mouvement, il faudrait pouvoir expérimenter sans mutilation des organes que l'on explore. Cela permettrait en outre d'expérimenter sur l'homme dans les conditions de santé ou de maladie, et procurerait peut-être des signes nouveaux dans les affections des nerfs et des muscles. Or, ce moyen nous est fourni par une propriété physiologique que vous connaissez déjà : les muscles gagnent précisément en largeur ce qu'ils perdent en longueur au moment où ils agissent. On peut donc construire un appareil qui enregistre le gonflement d'un muscle pendant son action, et l'on aura le même graphique que si l'on enregistrerait son raccourcissement. Voici la disposition de cet appareil. Si l'on saisit un muscle entre les mors élastiques d'une pince, à chaque raccourcissement de ce muscle, les mors seront écartés l'un de l'autre ; ils se rapprocheront, au contraire, quand le muscle, revenant à sa longueur normale, perdra de son diamètre.

La figure 170 représente la pince myographique, appareil destiné à enregistrer les mouvements des muscles sur l'homme. Sur une tige verticale sont plantées perpendiculairement deux branches.

La branche inférieure peut glisser le long de la tige et s'écarter plus ou moins de la supérieure, ce qui permet de saisir entre les deux branches le muscle dont on veut étudier les mouvements. Un bouton métallique isolé sur une pièce d'ivoire, et mis en rapport avec un fil électrique, termine chacun des mors de la pince. On pourra donc, à un moment, exciter par un courant induit ce muscle qui aussitôt se gonflera. Mais l'une des branches de la pince, la supérieure, est seule mobile, la totalité du mouvement lui sera donc transmise. Il s'agit maintenant de l'enregistrer.

Il serait difficile d'établir sur la pince elle-même le levier amplificateur et le cylindre noirci, comme dans les appareils que nous connaissons déjà. Aussi ai-je laissé cette pince indépendante de l'instrument enregistreur auquel le mouvement va se transmettre par le mécanisme suivant. — Un petit tambour de métal rempli d'air est fermé en bas par une membrane ; c'est à celle-ci que se transmet le mouvement de la pince myographique. Ce premier tambour communique par un long tube avec un autre en tout semblable (fig. 171), dont la membrane, tournée en haut, supporte le levier amplificateur. Chaque fois que le muscle gonflé presse la pince contre la membrane du premier tambour, l'air comprimé s'échappe par le tube, passe dans le second

tambour, soulève sa membrane, et avec elle le levier. Le phénomène inverse se produit quand le muscle se relâche.

C'est au moyen de cet appareil que j'ai enregistré tout à l'heure les vibrations d'un diapason de 200. Une semblable épreuve suffit pour vous montrer que mon enregistreur reproduit fidèlement les mouvements qui lui sont transmis.

Ainsi on peut enregistrer les mouvements d'un muscle en laissant celui-ci dans ses conditions normales. L'expérience montre que le graphique obtenu est semblable à celui que donne le muscle mutilé.

Je vais appliquer sur mes muscles la pince myographique. Les mors de cette pince sont mis en communication avec les fils d'une bobine d'induction, de sorte que des courants électriques exciteront mon muscle lorsque je le voudrai. Au moyen d'excitations électriques, de fréquence croissante, je vais produire sur moi une contraction. Le mouvement transmis par un tube de 15 mètres ira s'enregistrer dans le mégascope, et sera projeté sur le tableau.

Remarquez que dans le graphique représenté figure 172, et qui est produit par des excitations électriques de fréquence toujours croissante, la ligne tracée s'élève de plus en plus, ce qui prouve que lorsque les vibrations qui

s'ajoutent les unes aux autres ont disparu à nos yeux, elles existent cependant encore, et s'ajoutent sans cesse pour produire une contraction d'autant plus intense qu'elles sont plus nombreuses.

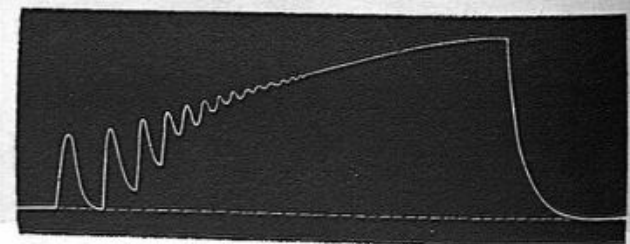


FIG. 172.

Jusqu'ici les contractions musculaires que nous venons d'étudier étaient provoquées par des excitations artificielles, l'électricité, la percussion, le poison, etc. Les contractions volontaires sont-elles de même nature ? présentent-elles aussi des vibrations multiples ?

Puisque nous avons défini la contraction du muscle un état dans lequel les vibrations sont tellement fusionnées, qu'elles ont disparu, il ne m'est pas possible de vous montrer les vibrations d'un muscle volontairement contracté ; mais vous pouvez les entendre.



Il y a longtemps déjà que Wollaston et Haughton ont signalé ce fait, qu'un muscle contracté rend un son d'une tonalité déterminable, et qui correspond aux sons que l'on peut produire avec 30 ou 32 vibrations par seconde. Helmholtz, en confirmant ces faits, a vu quelque chose de plus, c'est que si l'on électrise un muscle avec des courants interrompus, ce muscle rend un son d'autant plus aigu, que ces courants sont plus fréquents. Tout cela prouve bien que le son musculaire est la révélation des vibrations multiples que la méthode graphique m'a permis de vous montrer dans les cas où leur fréquence n'était pas excessive.

Telle est la nature des phénomènes de mouvement qui se produisent sous l'influence de la volonté. Je voudrais pouvoir poursuivre l'étude du mouvement dans les muscles involontaires, et vous montrer que le cœur, par exemple, n'exécute pas de véritables contractions, mais que chacun de ses battements n'est, à proprement parler, qu'une secousse musculaire; seulement cette secousse est très-lente, aussi lente à peu près que celle des muscles de la tortue.

Je voudrais aussi pouvoir vous montrer ce que devient ce mouvement produit par les muscles, lorsqu'il se transmet aux pièces osseuses du squelette, lorsqu'il pousse le sang dans nos vaisseaux et produit le phénomène de la circulation; lorsqu'il met en mouvement l'air que nous respirons, l'appelle dans la poitrine et l'expulse au dehors. Le temps, qui me presse, me permet à peine de vous exposer dans une revue rapide les principaux graphiques que l'on peut ainsi obtenir.

Le battement du cœur, qui ne semble être qu'un choc rapide, présente en réalité une forme assez complexe qui varie avec l'état de la circulation, avec les émotions morales, avec l'état de santé ou de maladie. Je puis produire sous vos yeux le graphique du battement de mon cœur.

J'applique sur ma poitrine, au point où l'on sent le battement du cœur, un petit appareil analogue au tambour qui transmettait à distance les mouvements de mes muscles ou les vibrations du diapason. Le battement du cœur va s'inscrire sur la plaque enfumée du mégascope. Vous voyez (fig. 173) se projeter sur le tableau le graphique obtenu :

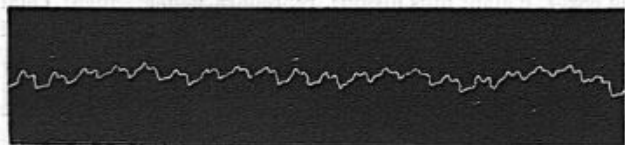


FIG. 173.

J'ai imaginé un autre instrument, le sphygmographe: le voici; il est destiné à enregistrer les battements du pouls. Je l'applique sur mon poignet; les battements de l'artère se transmettent au levier, celui-ci les écrit sur une feuille de papier qui chemine à côté de lui. On va projeter sur le tableau quelques-uns des types obtenus au moyen de mon appareil; vous y verrez que le pouls peut présenter les formes les plus variées (fig. 174 à 179). Personne assurément n'aura la prétention de reconnaître par le toucher ces types si divers.

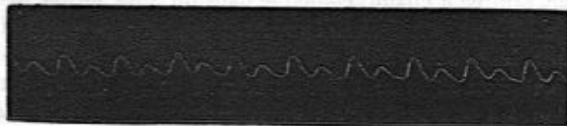


FIG. 174. — Pouls dans la fièvre typhoïde.



FIG. 175. — Pouls dans l'insuffisance aortique.



FIG. 176. — Pouls dans l'insuffisance mitrale.



FIG. 177. — Pouls dans l'ossification des artères.

Les graphiques du pouls ainsi obtenus peuvent être utiles au médecin, et lui fournir des renseignements importants sur les tendances des maladies. Voici quelques types que le docteur Lorain a recueillis sur des cholériques et qu'il a bien voulu me communiquer. On suit, d'après la forme du pouls, toutes les phases de la maladie. Les figures 178, 179, 180, 181

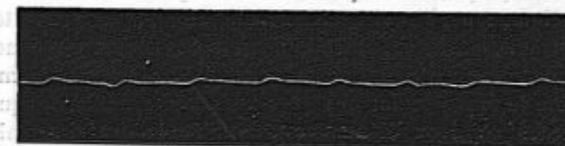


FIG. 178. — Pouls dans la période de froid du choléra.



FIG. 179. — Pouls à un moindre degré de refroidissement.



FIG. 180. — Pouls au commencement du retour de la chaleur.



FIG. 181. — Pouls au moment de la fièvre de réaction.

sont prises sur un même malade, dans les principales phases du choléra. Au commencement, existe le stade de froid, le pouls se sent à peine au toucher; plus tard, à mesure que le froid diminue, le pouls prend de l'ampleur; il devient très-fort au moment où le malade est arrivé à ce qu'on appelle la réaction. On peut reconnaître tous ces changements à l'inspection des tracés suivants, qui ont été recueillis successivement à de courts intervalles.

Enfin les mouvements respiratoires peuvent très-facilement s'enregistrer; ils présentent aussi des types très-variés, suivant les conditions dans lesquelles la respiration s'exécute.

Je termine en concluant que dans les fonctions de la vie, on peut trouver des phénomènes qui se prêtent à une analyse



exacte; que l'emploi d'appareils délicats permet d'introduire la précision la plus rigoureuse dans les études physiologiques et dans la médecine qui s'appuie sur la physiologie. C'est là ce que je désirais vous prouver; je n'aurai pas inutilement abusé de votre attention si j'ai réussi à vous convaincre.

MAREY.

### SOIRÉES SCIENTIFIQUES DE VERSAILLES.

CONFÉRENCE DE M. D. GERNEZ.

#### Les solutions salines sursaturées.

Lorsqu'on jette dans un verre d'eau une pincée de sel marin, on voit le sel disparaître peu à peu au sein du liquide; inversement, vient-on à exposer à l'air cette liqueur salée, l'eau s'évapore, et les particules salines qu'elle abandonne reprennent, l'une après l'autre, l'état solide et se juxtaposent de façon à former des assemblages d'une régularité parfaite que l'on appelle des cristaux. Le sel marin reparaît ainsi avec toutes ses propriétés. Ce passage d'un corps de l'état solide à l'état liquide, par l'intermédiaire d'un autre liquide, sans altération de la substance, porte le nom de dissolution physique, et l'on nomme cristallisation le retour à l'état solide. Je me propose de vous signaler quelques-unes des particularités que présentent ces deux phénomènes. Cette étude expérimentale n'est pas sans difficultés, et je ne vous dissimulerai pas mes appréhensions au moment de réaliser hors d'un laboratoire des expériences pour la plupart très-déliées; mais l'accueil sympathique qui a toujours été fait dans cette enceinte à ceux qui ont accepté le périlleux honneur d'y prendre la parole me permet d'espérer que votre indulgence ne me fera pas défaut.

Le phénomène de la dissolution des corps solides par les liquides est un des plus généraux de la nature, et parmi les liquides qui ont la faculté de dissoudre un grand nombre de corps, l'eau doit être mise au premier rang. Quelquefois la dissolution s'effectue avec une rapidité extrême. Ainsi, dans ce vase profond rempli d'eau, je jette des cristaux de biacétate de potasse, et à peine ont-ils touché le liquide, qu'ils disparaissent. Voici des petits cristaux d'un corps dont il sera souvent question dans cette séance, le sulfate de soude; je les laisse tomber dans l'eau, et ils ont disparu avant d'être arrivés au fond du vase. Un grand nombre de corps se comportent plus ou moins comme le sulfate de soude; mais voici un fragment de camphre presque insoluble dans l'eau, et du suif, du soufre et de l'étain, qui y resteraient indéfiniment sans se dissoudre.

Ces derniers corps se dissoudront, au contraire, dans des liquides convenablement choisis. Ainsi je plonge cette feuille d'étain dans du mercure: elle disparaît, et la solution coule entièrement liquide; de même le suif se dissout dans la benzine, le camphre dans l'alcool, le soufre dans le sulfure de carbone. Si maintenant vous considérez que l'étain et le mercure sont deux métaux, que les corps gras et la benzine sont riches en carbone et en hydrogène, comme le camphre et l'alcool, et que le sulfure de carbone contient les  $\frac{4}{5}$  de son poids de soufre, vous pourrez conclure que la solubilité des corps est généralement possible dans les liquides qui ont avec eux une certaine analogie de composition.

Étudions maintenant les caractères du phénomène. Sitôt que la dissolution commence, les particules solides, se sépa-

rant les unes des autres pour se disséminer dans le liquide consomment une certaine quantité de chaleur, d'où résulte un abaissement de température variable avec les substances. Cet effet est très-prononcé avec l'azotate d'ammoniaque; sitôt que j'en projette quelques cristaux dans ce tube rempli d'eau, vous voyez le thermomètre qui y est plongé accusé un abaissement considérable de température. Cette dissolution de l'azotate d'ammoniaque dans l'eau est un des moyens auxquels on a recours pour obtenir de basses températures dans les localités dépourvues de glaciers, et on l'emploie d'autant plus volontiers, qu'en chassant l'eau du mélange par la chaleur, on retire le sel, qui peut servir à une nouvelle opération.

Lorsque, dans un poids de liquide déterminé, on introduit des quantités du corps soluble graduellement croissantes, on constate qu'à partir d'un certain poids, la matière ne se dissout plus; le liquide est alors saturé. Ce poids maximum de matière que le liquide dissout reste le même tant que la température est constante; mais vient-elle à changer, ce poids change aussi. En général il est plus considérable si la température s'élève; plus faible, au contraire, si elle s'abaisse. C'est ainsi qu'à zéro, 100 grammes de sel dissolvent 35 grammes de sel marin, 12 grammes de sulfate de soude et 2 grammes d'alun; à la température de 100 degrés, près de 40 grammes de sel marin, 210 de sulfate de soude et 75 d'alun. La solubilité augmente donc suivant des lois différentes pour ces trois corps. Ainsi, tandis que la quantité de sel marin dissoute reste à peu près la même, celle du sulfate de soude est dix-sept fois plus grande, et celle de l'alun trente-cinq fois. Entre les limites de température zéro et 100 degrés, la solubilité croît, en général, d'une manière régulière; il y a cependant une exception présentée par le sulfate de soude. La solubilité de ce corps augmente jusqu'à la température de 33 degrés. 100 grammes d'eau en dissolvent alors 322 grammes, puis elle diminue lentement. Nous verrons que cette température de 33 degrés correspond à un changement dans la composition de la substance dissoute.

Considérons maintenant une solution saturée à une certaine température que nous maintenons constante; exposons-la à l'air libre, elle émettra une certaine quantité de vapeur, et le corps, n'étant plus dissous, reprendra généralement l'état solide. C'est ainsi que l'alcool abandonne le camphre qu'il avait dissous, que le soufre se sépare du sulfure de carbone, et que dans les marais salants l'eau de mer laisse déposer les sels qu'elle contient. Supposons, en second lieu, que la solution saturée soit contenue dans un vase fermé où elle ne puisse s'évaporer, et refroidissons-la. A cette nouvelle température, si le liquide ne peut dissoudre qu'une quantité de sel moins considérable que celle qu'elle contient, il abandonnera, sous forme solide, l'excédant de matière dissoute, et l'on obtiendra encore des cristaux; c'est ainsi que nous avons obtenu ces belles cristallisations de salpêtre, de sulfate de soude et de sulfate de cuivre que vous avez sous les yeux.

Ces phénomènes étaient connus depuis bien longtemps, mais il est une particularité curieuse que l'on n'avait signalée que vers la fin du siècle dernier. Une solution de sulfate de soude, saturée à chaud, contenue dans un vase fermé, peut être conservée liquide à la température ordinaire sans abandonner de cristaux, bien qu'elle contienne six ou sept fois plus de sel qu'elle n'en dissoudrait à cette même température. On donna à ce liquide le nom de solution sursaturée, et l'on reconnut bientôt qu'il lui arrivait de se prendre subitement