

ANNALES SCIENTIFIQUES DE L'É.N.S.

MAREY

Mémoire sur la Torpille

Annales scientifiques de l'É.N.S. 2^e série, tome 1 (1872), p. 85-114

http://www.numdam.org/item?id=ASENS_1872_2_1__85_0

© Gauthier-Villars (Éditions scientifiques et médicales Elsevier), 1872, tous droits réservés.

L'accès aux archives de la revue « Annales scientifiques de l'É.N.S. » (<http://www.elsevier.com/locate/ansens>) implique l'accord avec les conditions générales d'utilisation (<http://www.numdam.org/conditions>). Toute utilisation commerciale ou impression systématique est constitutive d'une infraction pénale. Toute copie ou impression de ce fichier doit contenir la présente mention de copyright.

NUMDAM

Article numérisé dans le cadre du programme
Numérisation de documents anciens mathématiques
<http://www.numdam.org/>

MÉMOIRE SUR LA TORPILLE,

PAR M. MAREY,

PROFESSEUR AU COLLÈGE DE FRANCE.

Beaucoup de physiologistes ont étudié la fonction électrique dont certains poissons sont doués. Le nombre des espèces pourvues d'appareils électriques, restreint naguère encore à cinq seulement (¹), s'est notablement accru depuis que M. Robin a montré que toutes les espèces du genre Raie possédaient, à un état plus ou moins rudimentaire, l'appareil et la fonction électrique.

D'autre part, l'analyse de cet acte singulier qu'on appelle *décharge électrique*, a été de mieux en mieux étudiée à mesure que les physiiciens ont mieux connu eux-mêmes les différentes propriétés de l'agent électrique.

Au xviii^e siècle on écrivait, en parlant de la Torpille, que « ce poisson, lorsqu'on le touche, lance un venin qui paralyse et endort la main du pêcheur ». Muschenbroeck, au siècle dernier, reconnut la nature électrique de la décharge de la Torpille. Walsh, en 1778, vit également que l'engourdissement produit par la Torpille ne diffère en rien de celui que provoque la décharge d'une machine électrique. Il prouva, par un grand nombre d'expériences, que c'est bien de l'électricité qui est produite par ce poisson. Il en soumit la décharge à une série d'épreuves dans lesquelles elle se comporta comme l'électricité des machines. Ainsi, il reconnut qu'on peut impunément toucher l'animal

(¹) Les cinq espèces anciennement connues étaient la *Raja torpedo*, le *Gymnotus electricus*, le *Silurus electricus*, le *Tetraodon electricus* et le *Trichiurus electricus*.

en prenant pour intermédiaires des corps non conducteurs de l'électricité. De plus, il fit circuler la décharge à travers une chaîne d'individus qui se tenaient par la main, et tous ressentirent cette commotion singulière qu'on produit avec la bouteille de Leyde.

Plus tard Davy obtint, avec le courant de la Torpille, la déviation du galvanomètre, l'aimantation d'aiguilles d'acier placées dans une spirale de laiton traversée par la décharge, et la décomposition de l'eau salée. Becquerel et Breschet vérifièrent les mêmes faits et virent que, dans le fil du galvanomètre, le courant circule du dos au ventre de l'animal.

La démonstration de l'étincelle vint plus tard encore : le P. Linari et Matteucci ont obtenu cette étincelle en rompant de différentes manières un circuit métallique à travers lequel passait le courant de la Torpille. Le procédé le plus ingénieux est celui dans lequel Matteucci se servit d'une lime dans les conditions suivantes.

Une plaque métallique adhérant à un fil de laiton est placée sous le ventre de la Torpille ; sur son dos on pose une lime sur laquelle on frotte l'extrémité du fil métallique. On irrite l'animal pendant ce temps, et l'on voit, si l'on est placé dans l'obscurité, une ou deux étincelles jaillir entre la lime et le fil de laiton. La production de l'étincelle arrive si la rupture du circuit se fait au moment précis du passage du courant de la Torpille. On conçoit dès lors le rôle de la lime, qui, produisant sous la friction du laiton une série de clôtures et de ruptures du circuit à de très-courts intervalles, doit nécessairement produire une de ces ruptures coïncidant avec la décharge, pour peu que celle-ci ait de durée. Notons en passant que ce fait, que deux étincelles aient pu se produire pendant la décharge de la Torpille, montre bien clairement que cette décharge a une durée appréciable, mesurée, au moins, par le temps qui s'est écoulé pendant le passage du laiton sur deux dents successives de la lime. Moreau réussit à recueillir cette électricité sur un condensateur, ce qui lui permit de mesurer les variations d'intensité de cette décharge, d'après les indications d'un électroscope à feuilles d'or.

On voit par quels degrés successifs a passé la connaissance du phénomène électrique produit par la Torpille. Sur ce point les progrès de la physique se sont transportés un à un dans le domaine de la physiologie. La découverte des machines électriques de tension a permis à

Walsh de démontrer la nature électrique de la décharge. La découverte de la pile de Volta, de ses actions électrolytiques, de son influence sur le galvanomètre, de l'étincelle qui accompagne la rupture de son circuit, provoquèrent des recherches nouvelles qui montrèrent que les mêmes phénomènes se produisent ainsi dans la décharge des poissons électriques.

Au point de vue physiologique, la question se pose aujourd'hui dans des termes très-simples. A-t-on toutes les notions possibles actuellement sur l'électricité des poissons? A-t-on soumis la décharge de ces animaux à toutes les expériences qui permettent de caractériser et de classer entre elles les différentes manifestations de l'électricité de nos machines? Assurément non. La décharge de la Torpille, telle que nous la montrent les travaux que je viens de citer rapidement, nous apparaît comme un phénomène hybride, participant à la fois de la décharge des machines de tension et des courants de la pile. De nouvelles recherches seront donc nécessaires pour déterminer, à ce point de vue, les caractères de l'électricité des poissons, et pour assigner leur place dans la série des différentes manifestations connues de l'agent électrique.

Considérée au point de vue physiologique, c'est-à-dire comme fonction animale, la décharge de la Torpille n'est pas moins curieuse à étudier. Ce phénomène, que l'animal produit à sa volonté ou à titre d'action réflexe, qui éclate par l'excitation artificielle des nerfs, qui s'épuise par l'action même, comme le mouvement dans un muscle fatigué, qui prend naissance dans un appareil spécial de structure bizarre, mais toujours à peu près constante chez les différentes espèces de poissons électriques; cet acte, dis-je, à quoi se rattache-t-il au point de vue de l'ensemble des fonctions animales? A-t-il quelque analogie avec une autre fonction connue et bien étudiée? En ce cas, soumettons-le à des études nouvelles, en vue de contrôler les vues philosophiques qui nous porteraient à assimiler la fonction électrique à quelque autre fonction.

Ici le plan d'étude est le même que tout à l'heure. C'est en soumettant le phénomène qui nous occupe à une série d'épreuves physiologiques qu'on arrivera à reconnaître ses analogies avec d'autres phénomènes dont l'organisme vivant est le théâtre, et à déterminer sa place

dans l'harmonieux ensemble des fonctions de la vie. Un rapide coup d'œil montrera l'état de la question au point de vue anatomique et physiologique.

Structure de l'appareil électrique des poissons. — Chez tous les poissons électriques l'appareil qui fournit la décharge présente à peu près la même structure, mais diffère par sa forme extérieure. Ainsi, chez la *Torpille*, les deux appareils, situés de chaque côté de la tête, sont, au point de vue de leur contour, de figure réniforme, le hile étant tourné en dedans, du côté des branchies. Quant à l'épaisseur de ces organes, assez considérable à la partie interne, elle va en diminuant d'une façon graduelle, de sorte que l'appareil électrique est très-mince à son contour extérieur, près duquel s'implantent les nageoires pectorales du poisson. L'appareil du *Gymnote* s'étend le long du corps de l'animal, il occupe les trois quarts de sa longueur, et forme de longs faisceaux symétriquement placés sur les parties latérales du corps. Chez le *Silure*, l'organe électrique enveloppe à peu près tout le corps, formant un revêtement sous-cutané.

Sauf ces différences de disposition générale, l'appareil électrique présente, d'une espèce à l'autre, de grandes analogies. D'après De La Rive, il est formé de vésicules contenant un liquide légèrement albumineux ($\frac{1}{10}$ d'albumine et $\frac{9}{10}$ d'eau). Ces vésicules, aplaties comme des disques, n'ont que $0^{\text{mm}}, 016$ d'épaisseur, et sont empilées les unes au-dessus des autres pour former une colonne prismatique hexagonale de 4 centimètres de haut dans les points les plus épais de l'appareil électrique de la *Torpille*. Ces prismes sont hexagonaux, comme cela arrive à tous les faisceaux de tissus organiques qui sont disposés parallèlement entre eux, et qui sont comprimés les uns contre les autres.

On ne peut s'empêcher de reconnaître une certaine analogie entre la structure de ces appareils à disques empilés et celle de la fibre musculaire striée, qui, dans des dimensions beaucoup plus petites, présente, elle aussi, l'apparence de disques empilés.

Le *Gymnote* possède un appareil analogue à celui de la *Torpille*, avec cette différence, que les dimensions du disque élémentaire, comme celles de l'appareil tout entier, sont beaucoup plus considérables. Ainsi chaque disque a pour épaisseur environ $0^{\text{mm}}, 15$; l'organe tout entier,

sur un individu de taille moyenne, aurait environ 85 centimètres de longueur et se composerait de 4 000 disques superposés. Le *Silure*, dans son appareil électrique, n'offre plus le même empilement de disques, mais un réseau de cellules octaédriques juxtaposées.

Ch. Robin trouva dans la queue des Raies un appareil qui reçut le nom de *pseudo-électrique* et dont la structure présente une apparence lamellaire qui parfois rappelle l'aspect de la fibre musculaire striée. Plus tard, le même auteur reconnut que cet appareil jouit réellement de la fonction électrique, mais à un faible degré.

Ne serait-il pas possible, dans une synthèse générale, d'établir les caractères communs à tous ces appareils dont la fonction présente tant d'analogies? C'est ce qui a été essayé par M. Schultze. Pour cet auteur, la substance homogène qui forme chacune des lamelles d'un organe électrique serait la continuation du *cylindre-axe* des nerfs énormes qui animent cet appareil.

Le côté de ces lames qui est en rapport avec le nerf est différemment tourné, suivant le sens dans lequel se fait le courant électrique chez l'animal observé, mais toujours ce côté correspond à la partie qui représenterait le pôle négatif dans cette pile vivante.

De ces observations, M. Schultze conclut que, si l'appareil *pseudo-électrique* des Raies donnait naissance à un courant, ce dernier serait dirigé, chez cet animal, de la tête à la queue.

Or, six ans plus tard, Ch. Robin annonça qu'il avait obtenu sur les différents genres de Raies la décharge de l'appareil. Cette décharge a précisément lieu dans le sens prévu par M. Schultze, c'est-à-dire de la tête à la queue du poisson. Mais le phénomène électrique chez la Raie est d'une extrême faiblesse; un galvanomètre très-sensible ne le décelait qu'à la condition qu'on choisit, pour l'application des rhéophores, les points où l'appareil électrique n'est séparé de la peau par aucune couche musculaire.

La composition chimique de l'appareil électrique des poissons, comparée à celle du muscle, présente une frappante analogie avec celle-ci. Parmi les substances bien caractérisées, on y a trouvé l'*urée*, la *créatinine*, une grande quantité de *syntonine* (fibrine des muscles), enfin différents sels et matières organiques mal déterminés, qui, peut-être, sont identiques dans ces deux sortes d'organes.

Il était assez naturel d'assimiler à des éléments de pile les différentes cellules ou lamelles des appareils électriques des poissons et de chercher, en vertu de cette idée, quel était le pouvoir électromoteur de chacun de ces petits éléments, quels sont les effets de tension qui résultent de l'association de ces couples. Or voici ce que l'expérience a démontré à Matteucci.

Une particule de l'appareil électrique d'une Torpille, mise en rapport avec les coussinets d'un galvanomètre, donne naissance à un courant électrique dont le sens est le même que dans l'appareil dont elle fait partie. Plus on augmente la longueur du prisme ainsi détaché, plus, par conséquent, sont nombreux les éléments de cette sorte de pile animale, plus aussi est grande la déviation du galvanomètre au moment de la décharge. On provoque cette décharge en excitant le filet nerveux qui correspond au petit fragment d'appareil électrique placé sur les coussinets du galvanomètre. Jusqu'ici, l'analogie de l'appareil électrique avec la pile est parfaite, au point de vue des effets de tension qui croissent avec le nombre des éléments dont on fait usage. Cette analogie se vérifie sur tous les poissons électriques, lorsqu'on cherche à comparer l'intensité des courants obtenus en différents points de l'appareil. Sur la Torpille, on trouve que les décharges sont à leur maximum quand on touche les deux faces de l'appareil électrique à sa partie interne, c'est-à-dire au point où il a le plus d'épaisseur et contient, par conséquent, le plus grand nombre de disques superposés. Sur le Gymnote, dont les prismes électriques ont une si grande longueur, à cause du volume plus grand des éléments et de leur plus grand nombre, la décharge est plus forte encore; elle est proportionnée à l'étendue de l'espace compris entre les deux points qui reçoivent cette décharge. Chez le Silure, il en est de même; on reçoit une impression d'autant plus vive qu'on touche des points de l'animal plus éloignés l'un de l'autre.

Enfin, sur une même face de l'espace électrique de la Torpille, on peut encore recevoir une décharge en touchant des points dissymétriques, c'est-à-dire des points où le nombre des éléments de pile n'est pas le même, à cause des différences de longueur des prismes qui le constituent. Ainsi, bien que la polarité soit la même sur une même face de l'appareil, le seul fait de l'inégalité de la tension électrique

sur les différents points de cette face suffit pour créer la possibilité d'un courant et pour en déterminer la direction.

En somme, la direction du courant électrique des divers poissons est la suivante, chez les trois types qui ont été étudiés.

Dans le fil du galvanomètre que ce courant traverse, sa direction, chez la Torpille, est du dos au ventre de l'animal; chez le Gymnote, de la tête à la queue; chez le Silure, de la queue à la tête. Il va sans dire que, dans le corps de l'animal, le courant doit suivre une direction inverse, ainsi que cela se voit dans les piles dont le courant intérieur va du zinc au cuivre, tandis que dans le circuit extérieur il va du cuivre au zinc.

Certains auteurs, toutefois, ont admis que le courant de la Torpille ou du Gymnote ne saurait traverser le corps de ces animaux, mais qu'il n'existe qu'au dehors, dans le liquide ambiant ou dans les corps conducteurs qui sont en contact avec l'animal.

On disait que si la Torpille, par exemple, recevait sa propre décharge, elle serait pourvue d'un moyen d'attaque ou de défense dont elle souffrirait la première; bien plus à plaindre encore serait le Gymnote dont la décharge peut tuer ou tout au moins paralyser pour quelque temps les animaux de la plus forte taille. Le Gymnote, toutefois, avant de frapper sa proie, s'enroule autour d'elle, de façon que sa décharge chemine suivant la corde de l'arc décrit par la courbure du poisson.

L'expérience devait intervenir pour juger cette question délicate. *A priori*, il est difficile de comprendre que deux électricités contraires, libres en deux points du corps de l'animal, ne se recomposent pas à travers les tissus de cet animal, si ces tissus sont conducteurs. Or les tissus des poissons électriques sont parfaitement conducteurs de l'électricité, aucune couche isolante ne vient entraver le passage du courant dans le corps du poisson. Ainsi, chaque fois que la Torpille, par exemple, ne se trouvera pas dans un milieu très-bon conducteur de l'électricité, c'est à travers son corps que devra se faire la décharge.

Faraday a remarqué que le Gymnote, quand on l'excite avec des corps bons conducteurs de l'électricité, donne des décharges fréquentes et fortes, mais qu'il semble ménager sa propre sensibilité et renonce bien vite à donner des décharges si on l'excite avec des corps non con-

ducteurs, de façon à le faire traverser par son électricité propre. Toutefois, il ne semble pas que les poissons électriques soient doués d'une bien vive sensibilité au point de vue des courants qui les traversent. Une tolérance spéciale de leurs nerfs expliquerait comment ils ne se donnent pas à eux-mêmes de trop douloureuses commotions. Un Silure fut placé par du Bois-Reymond dans un aquarium que des courants très-intenses traversaient tout entier. La main plongée dans l'eau était douloureusement impressionnée par ces courants. Quant au Silure, il nageait dans cette eau sans paraître aucunement souffrir, seulement il prenait avec persistance la même orientation pendant toute la durée du passage du courant. Cette orientation était celle qui faisait traverser le poisson dans sa moindre longueur. L'axe du corps était perpendiculaire à la direction du courant dans l'eau de l'aquarium.

Rien ne répugne donc à admettre qu'une sensibilité moindre aux effets de l'électricité existe chez les poissons électriques. Il semble même démontré par l'expérience de du Bois-Reymond que cette insensibilité spéciale est bien réelle, mais il eût été choquant pour la raison d'admettre une faculté particulière par laquelle le poisson eût résisté aux lois physiques de la conductibilité électrique.

Caractères physiologiques de la décharge des poissons électriques. — Les différents auteurs qui ont étudié la fonction de l'appareil électrique ont recouru à des appareils plus ou moins délicats; les uns ont employé, avons-nous dit, le galvanomètre; les autres ont recouru au galvanoscope physiologique, c'est-à-dire à la cuisse de grenouille avec son nerf préparé suivant la méthode de Galvani; d'autres ont mis à profit la propriété électrolytique de la décharge, etc. C'est en multipliant les moyens d'analyse qu'on a perfectionné la connaissance de cette intéressante fonction. C'est aussi en suivant cette méthode qu'on peut espérer ajouter quelques notions nouvelles à celles que nous ont léguées nos devanciers.

Formation de l'électricité dans la Torpille. — Lorsque du Bois-Reymond eut montré que le tissu nerveux possède une force électromotrice assez grande et qu'il existe dans les nerfs vivants un courant de direction constante, on pensa que les nerfs volumineux qui se rendent à l'ap-

pareil électrique des poissons y portaient l'électricité comme les vaisseaux portent le sang aux organes. Matteucci a montré qu'un lobe volumineux du cerveau de la Torpille est le point d'émergence des nerfs de son appareil électrique; il a vu qu'on pouvait enlever le reste du cerveau sans empêcher l'animal de fournir des décharges volontaires ou réflexes, mais qu'il n'en est plus ainsi quand on détruit ce lobe, qu'il a appelé pour cette raison lobe électrique de la Torpille.

Sur un animal mourant qui ne donnait plus de décharges spontanées, il suffisait, dit Matteucci, de toucher le lobe électrique pour obtenir des décharges plus violentes que celles que l'animal donnait volontairement pendant son état d'activité parfaite.

Toutefois, on a exagéré la pensée de Matteucci quand on lui a attribué cette idée : que l'électricité se forme dans le cerveau de la Torpille et chemine par ses nerfs. C'est comme si l'on disait que la force motrice se crée dans le cerveau et se rend aux muscles par les nerfs de mouvement. L'électricité de la Torpille s'engendre dans l'appareil spécial de ce poisson comme le travail mécanique s'engendre dans un muscle. Quand nous voyons se produire les phénomènes d'électricité ou de mouvement, les nerfs moteurs ou électriques ne sont chargés que de transmettre l'ordre émané du cerveau; mais l'électricité qui circule dans ces nerfs n'est pas celle qui se manifeste si énergiquement dans la décharge de l'appareil. C'est, dit Matteucci lui-même, comme si l'on confondait l'effet de la poudre à canon avec celui de l'amorce qui n'a servi qu'à provoquer l'explosion de la poudre.

En somme, l'action des nerfs électriques semble tout à fait assimilable à celle des nerfs à action centrifuge, c'est-à-dire de ceux qui président au mouvement. Non-seulement ces nerfs transmettent à l'appareil de la Torpille les ordres de la volonté ou les excitations réflexes, mais, séparés du centre nerveux et directement excités, ils provoquent des décharges électriques, comme des nerfs moteurs provoqueraient des convulsions dans les muscles qu'ils animent.

C'est Nobili qui a montré que les nerfs électriques soumis à l'action des courants de piles provoquent des décharges électriques dans les conditions où les nerfs moteurs provoquent des mouvements. On connaît les distinctions établies par Nobili sur les différentes phases de l'excitabilité d'un nerf moteur qui s'épuise. Le nerf électrique présente

les mêmes phases et réagit de la même manière à l'ouverture et à la clôture des courants, selon que la direction de ceux-ci est ascendante ou descendante.

Mais, a-t-on dit, le curare qui tue les nerfs moteurs respecte parfois les nerfs électriques de la Torpille, de sorte que l'on peut constater à la fois, sur une Torpille curarisée, que la décharge existe avec la plus parfaite immobilité de l'animal et, d'autre part, que le nerf électrique ne se comporte pas absolument comme un nerf de mouvement sous l'influence de ce poison.

Ces expériences, qui semblaient démentir l'analogie que tant de faits établissent, furent reprises avec plus de soin. A. Moreau vit que le curare ne respecte point les nerfs électriques, seulement il les atteint un peu plus tard que la plupart des nerfs moteurs. Ajoutons que, parmi les nerfs de mouvement, il en est qui sont encore plus réfractaires au curare que les nerfs électriques : certains filets du plexus cardiaque résistent encore plus longtemps que les nerfs électriques aux effets de l'empoisonnement.

Un autre poison employé sur la Torpille a donné des résultats extrêmement intéressants. La strychnine produit dans l'appareil électrique des séries de décharges qu'on peut assimiler entièrement à la série de secousses musculaires que produit le même poison; elle provoque sur la Torpille un véritable tétanos électrique, suivant l'heureuse expression de A. Moreau.

Enfin, les recherches instituées sur la terminaison des plus fines ramifications des nerfs électriques ne démentent pas l'assimilation que nous venons d'indiquer. Ces filets qui pénètrent dans l'appareil et vont animer la série des vésicules successives qui composent chaque prisme, ces filets, dis-je, sont le siège de courants à direction centrifuge; jamais l'irritation d'un de ces rameaux nerveux n'a provoqué la décharge ailleurs que dans les parties de l'appareil situées au-dessous du point qui a été irrité.

Toutes les expériences faites sur les nerfs de la Torpille les assimilent donc entièrement aux nerfs moteurs, c'est-à-dire aux nerfs à action centrifuge. Mais il reste encore d'autres épreuves auxquelles ces nerfs moteurs ont été soumis. Ainsi, les expériences de détermination de la vitesse de l'agent nerveux moteur ne pourraient-elles pas être trans-

portées aux nerfs électriques de la Torpille? Ce *temps perdu*, comme Helmholtz l'a nommé, qui s'écoule entre l'excitation du muscle et la secousse musculaire, aurait-il un analogue dans la décharge électrique, et pourrait-on mesurer l'intervalle qui sépare cette décharge de l'excitation qui la provoque?

Telles sont les questions que j'ai tenté de résoudre. J'exposerai plus loin mes tentatives sur ce sujet. Pour le moment, notons seulement cette lacune à combler dans l'étude de la fonction électrique de la Torpille, et continuons de passer en revue les travaux qui ont été faits sur ce sujet.

Si nous continuons la comparaison de l'acte musculaire avec l'acte électrique, nous constatons ce fait remarquable : que la chaleur poussée à 45 degrés détruit la fonction électrique. Or, cette même élévation de température détruit aussi la fonction musculaire. Il semble même que ces deux effets tiennent à la même cause : la coagulation de la syntonine, qui entre dans la composition du muscle comme dans celle de l'organe électrique.

Mais, s'il fallait s'en rapporter aux études de Matteucci et de A. Moreau, des différences fondamentales sépareraient le muscle de l'organe électrique au point de vue des phénomènes intimes qui se passent dans ces organes.

Un muscle est le siège d'une sorte de respiration par laquelle il exhale de l'acide carbonique et absorbe de l'oxygène; cet acte chimique s'exagère sous l'influence de l'activité musculaire. C'est à cette action chimique qu'on attribue en général la production du travail musculaire. Rien de pareil, selon Matteucci, ne se produit dans l'appareil électrique. A. Moreau va plus loin; d'après lui, la circulation du sang dans l'organe électrique ne serait même pas nécessaire à la production des décharges. Après avoir injecté au suif les vaisseaux de la Torpille, ce physiologiste vit persister les décharges électriques.

En outre, depuis qu'il est admis que les réactions acides ou alcalines influent beaucoup sur la production du travail musculaire, que les muscles au repos sont alcalins et que par la fatigue ils deviennent acides; que si par des moyens artificiels on acidifie la substance musculaire on abolit, ou diminue tout au moins, la production du travail, il devenait intéressant de transporter à l'appareil de la Torpille toutes

les expériences faites sur les muscles, en modifiant leur réaction acide ou alcaline.

A. Moreau prit, sur une Torpille vivante, un certain nombre de prismes qu'il traversa d'outre en outre avec une aiguille. Il fit dans chacun de ces prismes une injection acide, et vit que la fonction électrique n'était pas abolie. Une injection alcaline faite dans les mêmes conditions respecta également la fonction électrique.

Toutefois l'acide azotique éteint la fonction électrique de l'organe, mais tout porte à croire que c'est en coagulant la syntonine, comme l'indique la teinte opaline que prend l'organe électrique au contact de l'acide.

Que faut-il penser de ces expériences et de ces conclusions? Croirait-on avec Matteucci que l'appareil électrique n'est pas le siège d'actions chimiques desquelles l'électricité prend naissance? Ce serait le seul organe qui eût le privilège de fonctionner sans l'intervention de modifications chimiques de sa substance.

Admettons-nous avec A. Moreau que la circulation du sang n'est pas nécessaire à la fonction électrique? On sait que l'on pourrait soutenir la même thèse à propos de l'appareil musculaire. Tous les physiologistes ont vu des Grenouilles dont le cœur était incisé, et par conséquent la circulation supprimée, et qui, malgré cela, sautaient et nageaient pendant un temps assez long. Un membre de Grenouille isolé de l'animal, et par conséquent dépourvu de circulation, continue à fonctionner.

Mais si l'on examine de plus près la fonction de ces muscles où la circulation est supprimée, on voit que la secousse musculaire y perd peu à peu son amplitude et prend une durée considérable, jusqu'à ce qu'elle s'éteigne peu à peu. Peut-être la décharge électrique se comporte-t-elle de la même façon si l'on supprime le cours du sang dans l'appareil; mais ici, de même que pour le muscle, il ne suffit pas d'un examen superficiel pour saisir les changements qui se produisent sous l'influence d'un arrêt de la circulation du sang, il faut des appareils délicats pour les constater.

Les mêmes réflexions s'appliquent à la persistance de la décharge après la ponction de plusieurs prismes de l'appareil et l'injection acide ou alcaline faite à leur intérieur. Un pareil procédé ne saurait influencer

d'une manière assez régulière sur la réaction acide ou alcaline de l'organe électrique, l'injection aurait, ce me semble, plus d'effet si elle était envoyée dans les vaisseaux sanguins de l'appareil.

En somme, les actes chimiques auxquels sont liés les phénomènes musculaires doivent avoir leurs analogues dans l'appareil électrique des poissons. Mais ce qui manque jusqu'ici pour affirmer ou pour infirmer la ressemblance physiologique de ces deux sortes d'appareils, ce sont les moyens précis d'analyse de la décharge électrique. On va voir qu'il est possible de pousser assez loin l'étude des caractères de cette décharge.

Matteucci, à d'autres points de vue encore, se refusait à admettre l'analogie entre la fonction électrique et la fonction musculaire. Voici l'argument qu'il produisait toujours contre ceux qui admettaient une pareille analogie.

Les muscles sont, à l'état normal, le siège de courants électriques. Si l'on place sur les coussinets d'un galvanomètre un muscle de Grenouille coupé transversalement, de façon que la coupe repose sur l'un des coussinets, tandis que l'autre est en rapport avec la surface naturelle du muscle, on constate que, dans le fil du galvanomètre, le courant va de la surface naturelle du muscle à la surface de coupe. Un courant existe aussi sur l'appareil électrique de la Torpille, en dehors de toute décharge, et sa direction, pour un fragment quelconque de l'appareil, est toujours la même. Dans le fil du galvanomètre, le courant chemine de la partie dorsale de l'animal à la partie ventrale. Tout est ressemblance jusqu'ici, mais que l'on fasse fonctionner les deux appareils, que l'on excite des contractions dans le muscle et que l'on provoque des décharges dans l'appareil de la Torpille, le galvanomètre accusera deux résultats bien différents : dans le muscle, le courant aura diminué d'intensité; il aura augmenté, au contraire, dans l'appareil électrique de la Torpille.

Telle est l'objection de Matteucci à ceux qui font ressortir les analogies si nombreuses qui rapprochent la décharge électrique de l'action musculaire. Il me semble, à certains égards, qu'on peut, dans le fait que Matteucci signale, trouver un argument en faveur de l'analogie de fonction des deux appareils, et, de plus, certaines indications sur la nature intime du phénomène électrique.

Remarquons d'abord que la manifestation électrique des muscles

semble tout opposée à l'action musculaire, et que la force électromotrice diminue ou disparaît dans le muscle au moment où le mouvement s'y produit. Il semble que le mouvement se substitue à l'électricité, ou même que celle-ci se transforme en mouvement. Cette transformation n'a rien d'inadmissible, aujourd'hui que nous voyons sans cesse la chaleur se transformer en travail et inversement, aujourd'hui que nous savons que l'électricité elle-même peut devenir du travail ou de la chaleur suivant le cas.

D'après ces données, l'appareil musculaire, provoqué par le système nerveux moteur, transformerait en travail l'électricité qui se dégage pendant son repos. L'appareil de la Torpille, au contraire, sous l'influence nerveuse, exagérerait seulement la production électrique dont il est le siège pendant le repos même. M. le professeur Bert m'a dit qu'il croit avoir remarqué que la Torpille, au moment de sa décharge, subit un abaissement de température. Ce fait serait en contradiction avec des expériences de Matteucci (*Annales de Physique et de Chimie*, 1860). S'il est réel, nous aurions dans la décharge de la Torpille, un exemple de transformation de la chaleur en électricité. Cette expérience est à refaire, car M. Bert ne put, paraît-il, s'assurer de la réalité de ce phénomène.

Il me semble probable que, dans les manifestations de la vie, il existe beaucoup d'exemples de transformation de ce genre. La lumière elle-même, dans certains animaux, le Lampyre par exemple, semble jaillir sous l'influence nerveuse par l'effet d'une transformation analogue à celle que nous venons de citer.

J'ai cherché, dans cet exposé sommaire, à montrer la tendance des physiologistes contemporains; il semble que la plupart d'entre eux considèrent l'acte musculaire et la décharge électrique comme deux phénomènes de même ordre. Il faut, par des expériences nouvelles, contrôler cette opinion. Nul doute que la comparaison de ces deux actes ne profite à l'étude de chacun d'eux.

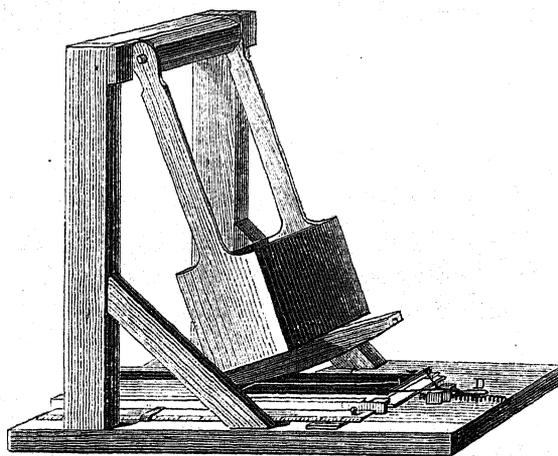
La première lacune à combler, c'est de soumettre les nerfs électriques et l'appareil lui-même aux expériences délicates que Helmholtz a introduites dans la physiologie des nerfs et des muscles, et par lesquelles on estime la vitesse du parcours de l'agent nerveux moteur, la

durée et les différentes phases de l'acte musculaire. J'ai essayé moi-même, dans le courant de ces dernières années, de simplifier les expériences de ce genre et de les rendre si faciles qu'on puisse exécuter en peu de temps un nombre considérable de ces mesures, afin de suivre les modifications que certains agents physiques ou chimiques amènent dans la fonction des nerfs et dans celle des muscles.

Telles étaient les recherches à réaliser lorsque, dans le mois de juin de cette année, je me trouvai à Naples, où les Torpilles sont assez nombreuses. Le professeur Albinì avait gracieusement mis son laboratoire et ses instruments à ma disposition. Malheureusement les appareils enregistreurs qui existaient dans le laboratoire de Naples étaient tout à fait insuffisants, à cause de la lenteur de leur marche; je ne pouvais faire venir de France les appareils nécessaires, il fallait donc renoncer à mes expériences ou construire moi-même des appareils assez précis pour toutes les déterminations que je voulais faire. Je pris ce dernier parti et construisis l'appareil dont on verra plus loin la description, et qui, malgré une exécution assez grossière, présente une précision suffisante pour la détermination que j'avais en vue.

Description des appareils. — La *fig. 1* représente l'appareil qui

Fig. 1.



reçoit les signaux. C'est une plaque recouverte de papier noirci à la fumée, glissant horizontalement sur des rails en bois. Pour entraîner

cette plaque, je me sers d'un lourd pendule monté sur un bâti en charpente. Ce pendule est formé d'une caisse de bois remplie d'environ 15 kilogrammes de plomb et grenaille. Cette caisse oscille suspendue par deux règles verticales que traverse un axe commun situé en haut de la charpente. Au-dessous de cette caisse est une pièce de bois dont le bord inférieur est courbé suivant un arc qui aurait pour rayon la longueur totale du pendule. Une corde fixée à l'arrière de cette pièce et glissant dans une rainure est fixée par une longue vis en avant de la planchette. Grâce à cette disposition, la corde entraîne le chariot pendant l'oscillation pendulaire, et exerce sa traction en restant toujours parallèle à elle-même.

L'expérimentateur, placé à droite de l'appareil, tire à lui la plaque enfumée, et par l'intermédiaire de la corde dont j'ai parlé, dévie le pendule de la verticale. On fixe alors la plaque en cette position au moyen d'une anse de fil métallique qui s'accroche à un clou saillant. L'appareil reste dans cette position jusqu'au moment où l'on appuie sur une touche D qui produit le déclenchement de la plaque. Alors, le pendule libre de se mouvoir entraîne la plaque dans son oscillation, et, arrivée au bout de sa course, s'accroche et reste fixé à cette position extrême.

Quand la plaque a exécuté un semblable mouvement, elle a reçu le tracé fourni par des appareils dont on verra la description tout à l'heure.

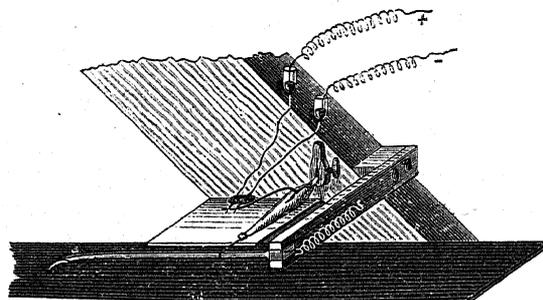
J'ajouterai seulement que le mouvement de cette plaque étant varié, puisqu'il est emprunté à l'oscillation d'un pendule, a besoin d'être contrôlé à chaque instant pour permettre d'évaluer l'intervalle du temps auquel correspond l'écoulement de deux signaux successifs enregistrés sur le papier. Je me servis à cet effet d'une lame vibrante (voir *fig. 3*), fortement assujettie à l'un des montants de la charpente et portant à son extrémité libre une masse de plomb munie d'un style qui trace les vibrations sur le papier noir.

Au moment de son passage, le pendule lui-même donne un choc à la lame vibrante qui trace ses vibrations sur le papier.

Pour obtenir un signal écrit de la décharge de la Torpille, j'ai recours au mouvement que produit un muscle de Grenouille dès qu'on fait agir sur lui l'électricité. Ce signal est recueilli au moyen d'un

myographe, dont la *fig. 2* représente les principaux détails. Contre un des supports de l'appareil est vissée une planchette fourchue qui porte

Fig. 2.



l'axe du levier auquel s'attache le muscle de Grenouille. Ce levier, terminé par une pointe écrivante, se courbe de façon à toucher par cette pointe la plaque enfumée qui recevra le tracé.

Le muscle gastro-cnémien de Grenouille, relié par son tendon d'Achille au levier enregistreur, est fixé, d'autre part, par une petite pince adhérente au support de la machine, et qui, dans ses mors, étreint le fémur de la grenouille. Enfin, le nerf qui anime ce muscle repose sur une plaque de verre et s'y trouve en contact avec deux fils de métal par lesquels lui arrivera l'excitation électrique. Cette excitation est produite par le courant induit que provoque, dans une petite bobine, la rupture d'un courant inducteur. C'est le passage même de la plaque enfumée qui, à un moment donné, produit cette rupture. Tout est donc automatique dans le fonctionnement de cet appareil, de façon que l'expérience se fait d'elle-même, aussitôt qu'on appuie sur la touche D (*fig. 1*) qui produit le déclenchement du pendule.

Détermination du temps qui s'écoule entre l'excitation du nerf électrique de la Torpille et la décharge de son appareil. — Le plan de l'expérience est celui-ci :

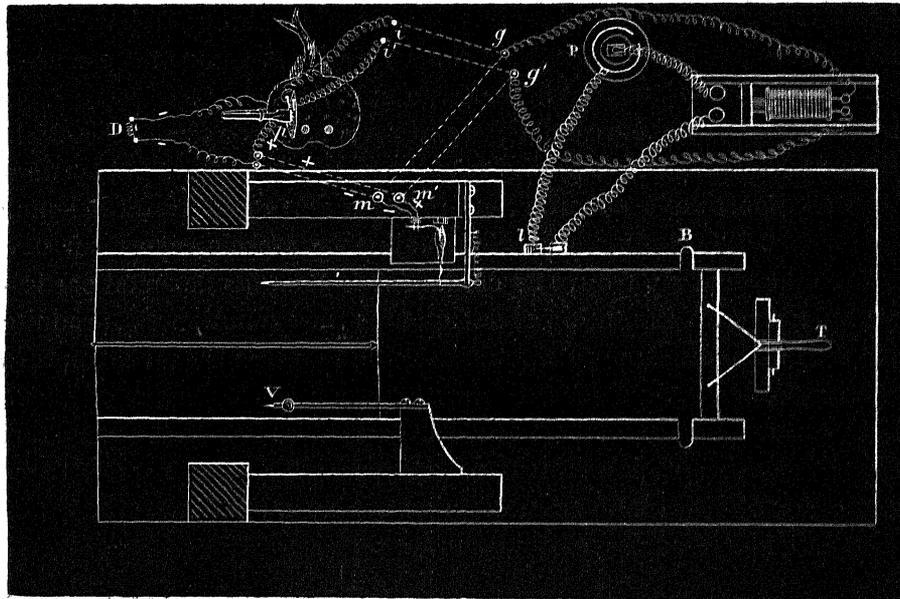
1° On cherchera, par une première expérience, à quel moment du passage de la plaque noircie correspond la rupture du courant de pile qui produit l'excitation.

2° Puis, dirigeant le courant excitateur dans le nerf de la Grenouille,

on déterminera le temps qui s'écoule entre l'excitation électrique et le signal musculaire.

3° On enverra le courant excitateur au nerf électrique de la Torpille, et l'on se servira de la décharge de ce poisson pour exciter le muscle de Grenouille. On verra alors de combien le signal donné par la patte de Grenouille retarde sur celui qu'on avait obtenu dans l'expérience n° 2. La différence correspondra au temps consommé par la Torpille entre le moment où elle est excitée et celui où elle fournit sa décharge. Pour bien comprendre la succession de ces trois phases de l'expérience, il faut en suivre les détails sur la *fig. 3*, sur laquelle, pour l'intelligence de l'appareil, on suppose le pendule enlevé.

Fig. 3.

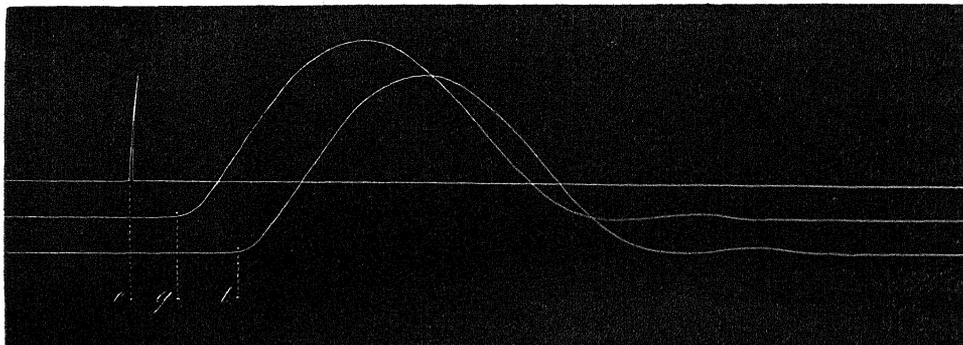


La plaque noircie qui recevra le tracé est représentée au moment où elle est tirée du côté de l'opérateur et fixée à sa détente. Elle entrera en mouvement aussitôt qu'on appuiera sur la touche T. Une barre B, qui fait saillie sur le côté de la plaque et qui sera entraînée avec elle, frappera en l un levier qui rompt le circuit d'une petite pile de Daniell P, et provoque un courant induit dans la bobine, dont les fils plon-

gent dans deux godets à mercure g, g' . Chacun de ces godets étant mis en rapport avec les fils qui portent l'excitation au nerf de la Grenouille, tout est disposé pour les deux premiers temps de l'expérience.

1^{er} TEMPS. — *Détermination du point auquel se produit l'excitation électrique.* — On établit une communication entre le nerf de Grenouille et le courant induit (*fig. 3*) en reliant, par des conducteurs mobiles, les godets g, g' avec ceux qui sont en m, m' . Puis on déclanche la détente T en retenant à la main l'anse de métal qui retenait la plaque; on conduit celle-ci doucement sur le chemin de fer jusqu'à ce que la barre B vienne, avec une vitesse négligeable, rencontrer le levier l . La rupture du circuit de pile a lieu alors, et le courant induit qu'elle engendre

Fig. 4.



excite la patte de Grenouille qui trace son signal. Ce dernier s'enregistre en e (*fig. 4*), sous forme d'un petit arc de cercle tracé par la montée et la descente du levier. La vitesse de la plaque étant presque nulle, la pointe écrivante repasse presque par les mêmes traits.

2^e TEMPS. — *Détermination du retard du signal musculaire.* — On replace la plaque dans sa position initiale, accrochée à la détente T, en ayant soin toutefois de faire glisser cette plaque parallèlement à elle-même, de façon que le myographe écrive sur une ligne inférieure à la précédente. Puis, appuyant sur la détente, on laisse la plaque se lancer à toute vitesse. Cela fournit le tracé représenté sur la seconde ligne, dans lequel le début de la secousse musculaire se trouve en g (*fig. 4*).

La secousse elle-même se déploie en une courbe allongée semblable à celles que j'ai représentées dans mes *Études de myographie* (1).

La distance *eg* est donc l'expression de retard du signal musculaire sur l'excitation électrique.

3^e TEMPS. — *Détermination du temps qui s'écoule entre l'excitation du nerf de la Torpille et la production de sa décharge.* — Une Torpille est préparée selon le procédé de Moreau, qui, par une longue et profonde incision, tranche tous les nerfs électriques d'un côté. Deux aiguilles sont implantées dans l'un des nerfs de cet appareil, et reliées par des conducteurs mobiles *ig*, *i'g'* avec le courant induit de la bobine. On rompt la communication qui, tout à l'heure, envoyait l'excitation de cette bobine aux fils *m*, *m'* du myographe. C'est la décharge de la Torpille qu'on doit envoyer au muscle signal. A cet effet, une pince *p* (*fig. 3*), dont les mors métalliques sont isolés l'un de l'autre, étroit la moitié de la Torpille au niveau de l'appareil dont les nerfs ont été coupés et vont recevoir l'excitation. Les mors de la pince sont armés de petites griffes qui les empêchent de glisser sur la peau de l'animal. Chacun de ces mors porte un fil métallique, et se relie avec les excitateurs *m*, *m'* du myographe.

Pour suivre le trajet de la décharge de la Torpille à travers le circuit qu'elle doit parcourir, prenons la décharge au moment où elle s'échappe par le mors placé sur le dos de l'animal et entre dans le fil marqué du signe +, la décharge parcourt un conducteur mobile qui la porte au godet *m'*, et de là à l'un des fils excitateurs du myographe; elle traverse le nerf de la Grenouille pour revenir, par un autre fil métallique, au godet *m*, qui, par un autre conducteur mobile, la conduit à travers le fil D jusqu'au mors de la pince qui est situé sous le ventre de la Torpille. A partir du nerf de la Grenouille, les conducteurs parcourus par la décharge sont désignés dans la *fig. 3* par le signe —.

Les choses étant ainsi disposées, on fait fonctionner l'appareil comme tout à l'heure, et l'on obtient le tracé représenté sur la troisième ligne (*fig. 4*). Le signal de la Grenouille arrive en *t*, et présente du reste les mêmes caractères que dans l'expérience précédente.

(1) MAREY, *Du mouvement dans les fonctions de la vie*, p. 242 et suiv.

On voit que l'intervalle *et*, qui s'écoule cette fois entre l'excitation et le mouvement est plus considérable que dans le cas précédent. Mais il est clair que l'on doit retrancher de cet intervalle le temps *eg*, dépensé par la Grenouille, de sorte que le reste *gt* représente le temps que la Torpille elle-même a consommé entre le moment où son nerf a été excité et celui où elle a fourni sa décharge électrique.

Pour estimer la durée qui correspond à ces intervalles *eg* et *gt* je n'avais, comme on a vu, que les vibrations d'une tige munie d'un style (*fig.* 3). Ce chronographe à indications arbitraires devait être gradué par comparaison avec un diapason dont le nombre de vibrations fût bien déterminé. C'est ce que je ne pus faire qu'à mon arrivée en France. J'obtins alors, pour la valeur du temps *eg* consommé par la Grenouille $\frac{1}{80}$ de seconde et, pour celle du temps *gt* consommé par la Torpille, $\frac{1}{60}$ de seconde. Ces deux durées sont donc assez voisines l'une de l'autre.

Ces expériences prouvent déjà qu'au point de vue fonctionnel il existe une analogie frappante entre la décharge électrique de la Torpille et la secousse musculaire. La concordance de ces résultats ne fait que rendre plus intéressante la comparaison de ces deux actes à d'autres points de vue encore.

Tentatives de détermination de la vitesse de l'agent nerveux dans les nerfs électriques et de la durée du temps perdu dans l'appareil de la Torpille. — Le temps consommé par la Grenouille et la Torpille avant de réagir contre l'excitation qu'elles ont reçue peut se composer de deux éléments distincts. On sait que, chez la Grenouille, le retard du mouvement tient, d'une part, au temps que l'agent nerveux met à parcourir la longueur de nerf qui sépare le muscle du point excité et, d'autre part, à ce phénomène que Helmholtz a appelé le *temps perdu* du muscle, sorte de repos de l'organe qui a reçu l'excitation et ne réagit pas encore. Les mêmes éléments existent-ils dans le temps *gt* consommé par la Torpille? On sait que, pour un muscle de Grenouille, le temps perdu est d'environ $\frac{1}{100}$ de seconde; il constitue donc la plus grande partie du temps *eg*. On peut avoir la preuve expérimentale de ce fait en électrisant directement le muscle de Grenouille au lieu d'agir sur le nerf. Dans ces conditions nouvelles, le signal musculaire arrive beaucoup plus tôt, il est

très-voisin du point *e* qui correspond au moment où l'excitation électrique a eu lieu. Mais il m'a été absolument impossible, vu la petitesse des Grenouilles d'Italie, de faire la mensuration directe de la vitesse de l'agent nerveux. Cette vitesse est d'ailleurs si variable, suivant les circonstances extérieures, qu'elle présente peu d'intérêt.

Il entrerait dans mon programme de mesurer la vitesse de l'agent nerveux dans les nerfs électriques de la Torpille, afin de faire la part des deux éléments qui constituent le retard *gt* et de les comparer aux mêmes éléments du retard *eg* de la Torpille.

L'expérience consistait donc à exciter successivement deux points du nerf électrique inégalement distants de l'appareil, et à voir quelle modification se produirait dans le retard du signal.

Mais les nerfs de la Torpille traversent les branchies, où il est difficile de les isoler même par une dissection délicate. De plus, les tentatives que l'on fait pour disséquer ces nerfs constituent une mutilation considérable qui épuise l'animal surtout pendant les grandes chaleurs de l'été. En conséquence, j'ai dû renoncer à obtenir la répétition exacte de l'expérience que Helmholtz a instituée sur le système nerveux moteur. Toutefois, en promenant l'excitateur électrique sur différents points du nerf de la Torpille, j'ai constaté qu'on faisait peu varier le moment d'apparition de la décharge. Des appareils plus sensibles que ceux dont je disposais permettraient, sans doute, de mesurer cette vitesse qui m'a paru un peu plus faible que celle de l'agent nerveux moteur. J'ai dû, pour le moment du moins, me contenter de comparer entre elles les durées totales qui séparent l'excitation nerveuse de la secousse musculaire, chez la Grenouille, et de la décharge, chez la Torpille.

Mais, s'il est difficile de déterminer le temps employé par l'agent nerveux à parcourir le nerf de l'appareil électrique, pour le défalquer du temps consommé avant l'apparition de la décharge, peut-être pourrait-on, procédant de la manière inverse, déterminer la durée du temps perdu pour la défalquer ensuite. Rien de plus facile que cette détermination, quand elle s'adresse au système musculaire; il suffit d'électriser directement le muscle et d'apprécier l'intervalle qui sépare cette électrisation du début du mouvement qu'elle provoque. Cette méthode est malheureusement inapplicable à l'appareil de la Torpille.

Quand on électrise directement cet appareil au moyen d'un courant induit, l'effet de ce courant se transmet inévitablement à la Grenouille, qui réagit par une secousse : puis, quand arrive à son tour la décharge de l'appareil de la Torpille, le mouvement provoqué dans le muscle de Grenouille se confond avec celui qui est déjà commencé, et l'on ne peut distinguer l'instant auquel il se produit. Le vice de l'expérimentation est donc celui-ci : c'est l'électricité qui excite l'appareil, et c'est encore l'électricité qui constitue l'effet que l'on provoque; ces deux actes électriques se suivent de trop près pour pouvoir, dans un muscle de Grenouille, produire deux effets distincts.

Cherchons les différentes manières de remédier à cet inconvénient.

Si la Grenouille, avons-nous dit, avait le temps de réagir deux fois distinctement entre les deux excitations électriques qu'elle reçoit, il serait facile de saisir la succession que nous cherchons à déterminer. Mais on sait que si la Grenouille ne peut donner qu'une secousse assez lente, l'Oiseau en fournit une beaucoup plus rapide; de sorte que si nous prenions pour signal un muscle d'Oiseau au lieu d'un muscle de Grenouille, nous pourrions avoir deux signaux distincts, l'un au commencement, l'autre à la fin de l'intervalle qu'il s'agit de mesurer.

Une autre méthode consisterait à exciter l'appareil électrique à un certain moment de la course du pendule, en employant pour cela un agent autre que l'électricité, de façon à n'impressionner en rien le nerf de la Grenouille au moment où l'excitation du nerf de la Torpille se produit. Un choc, par exemple, se produirait sur le nerf électrique de la Torpille au moment où le pendule occupe une certaine position. Le moment où ce choc a lieu serait pointé sur la plaque enfumée qui recevrait ensuite le tracé de la secousse de la Grenouille. L'intervalle entre les deux signaux contiendrait le temps *eg*, dont la signification est déjà connue (la constante dépensée sur le nerf et le muscle de la Grenouille-signal), et le temps perdu dont nous cherchons la valeur. On obtiendrait cette mesure par une simple soustraction.

Enfin, une troisième méthode consisterait, tout en excitant le nerf de la Torpille, à employer à cet usage une électricité dont les effets ne soient pas les mêmes que ceux de la décharge de la Torpille.

On sait que Matteucci a réussi à produire avec la décharge de la Torpille la décomposition électrolytique de l'iodure de potassium. On peut

donc bleuir par cette décharge un papier amidonné imbibé d'une solution d'iodure de potassium.

D'autre part, une décharge d'électricité statique d'une bouteille de Leyde, par exemple, tout en excitant à un haut degré le nerf de la Torpille, serait incapable de produire l'effet électrolytique donné par la décharge de ce poisson. Si donc on remplace le papier enfumé par un papier impressionnable à l'électrolyse et que la coloration caractéristique soit prise pour signal, on peut se débarrasser des effets de l'excitant électrique et conserver seulement ceux de la décharge dont il s'agit de déterminer le moment précis d'apparition.

Le temps et les moyens nécessaires m'ont fait défaut pour réaliser ces expériences pendant mon séjour à Naples. Peut-être retrouverai-je l'occasion de reprendre ces études. En indiquant les méthodes qui me semblaient capables de résoudre le problème que je m'étais posé, je souhaite qu'un autre expérimentateur comble prochainement ces lacunes.

De la durée de la décharge électrique chez la Torpille. — Si nous continuons le parallèle entre l'appareil électrique de la Torpille et l'appareil musculaire, nous sommes conduits à comparer entre eux les phénomènes qui se passent dans l'intimité de ces organes.

Or, dans un muscle, la force motrice s'engendre d'une façon graduelle, arrive par des phases successives à un maximum d'intensité, puis décroît graduellement. La durée et les phases de la force motrice nous ont été révélées par la myographie, qui traduit par une courbe la durée de la *secousse musculaire*, et les variations d'intensité de l'effort développé par le muscle aux différents instants de son activité.

Plusieurs raisons tendent à faire supposer que la décharge de la Torpille, comme celle de tous les poissons électriques, présente une durée mesurable, et peut-être aussi des phases d'intensité variable comme celles de la force musculaire.

Tous les auteurs signalent ce fait, que la décharge des poissons électriques, Torpilles, Gymnotes, Raies, etc., dévie l'aiguille du galvanomètre. Or cette action appartient aux courants bien plutôt qu'aux décharges d'électricité statique, dont l'instantanéité s'oppose à ce que le petit barreau magnétique ait le temps d'obéir à leur action.

L'expérience de Matteucci et Linari, dans laquelle ces auteurs ont

fait jaillir des étincelles électriques en frottant une pointe de métal mise en communication avec le ventre de la Torpille, sur une lime qui reposait sur le dos de cet animal, cette expérience, dis-je, est plus concluante encore. En effet, la théorie fait penser que, pour que l'étincelle jaillisse dans ces conditions, il faut que la pointe de métal rompe le circuit en quittant une dent de la lime pendant la durée du courant; et pour que deux étincelles apparaissent successivement, il faut que deux ruptures se produisent ainsi, toujours pendant la durée de ce courant de la Torpille. Dès lors, puisque deux passages de la pointe sur les dents de la lime peuvent avoir lieu pendant la décharge, celle-ci a pour mesure minimum la durée de ces deux passages.

Un seul doute peut encore s'élever dans l'esprit : si, par une excitation de l'animal, celui-ci donnait deux décharges consécutives, les deux étincelles pourraient à la rigueur appartenir à ces deux actes successifs. Ce doute devra être levé dans des expériences spéciales; il suffit pour cela de rompre toute communication nerveuse entre l'appareil électrique et les centres nerveux de la Torpille. On éliminera ainsi les effets réflexes qui, pour une seule excitation, produisent plusieurs réactions consécutives, comme cela arrive sur la Torpille empoisonnée par la strychnine.

Enfin du Bois-Reymond (1) a montré sur le Malaptérure que la décharge a une durée suffisante pour que le muscle d'une Grenouille, excité par l'électricité de ce poisson, ait le temps de se raccourcir au maximum, même en soulevant un poids, avant que le courant électrique du Malaptérure ait cessé. J'ignore si, dans ce cas, l'appareil électrique du poisson était à l'abri des causes de décharges multiples.

Pour apprécier à la fois la durée et les phases de la décharge de la Torpille, la meilleure méthode peut-être serait l'emploi de l'électrolyse si l'on avait des appareils assez sensibles pour déceler instantanément

(1) Au moment de mettre cette Note sous presse, je trouve (dans le *Central-Blatt für die Med. Wiss.*, 2 décembre 1871) cette indication du travail de M. du Bois-Reymond signalée par M. Rosenthal. Le même article signale aussi des expériences de Eckard sur la Torpille (*Beitr. zur Anat. und Physiol.*, I, 157). Je regrette de ne pouvoir en ce moment consulter ces ouvrages; mais je pense que les présentes recherches, si elles concordent pour quelques-uns de leurs résultats avec ceux des physiologistes allemands, pourront encore y ajouter quelque chose de nouveau.

le courant de la Torpille indiquant ainsi sa durée et sa fin, tandis que des différences d'intensité de la coloration du papier sensibilisé correspondraient aux différences d'intensité du phénomène s'il a des phases variables. J'ai dit plus haut comment il m'a été impossible d'entreprendre ces recherches, mais j'ai pu, avec les appareils dont je disposais, déterminer un des éléments du problème, à savoir la *durée de la décharge*.

En effet, admettons pour un instant que cette décharge ait une durée de cinq centièmes de seconde, par exemple. Il est facile de modifier l'appareil qui a été décrit précédemment, de façon à recueillir l'électricité de la Torpille pendant un temps beaucoup plus court pour l'envoyer au nerf de la *Grenouille signal*. On peut disposer les choses de façon à fermer le circuit de la Torpille pendant un centième de seconde. D'autre part, il est facile de disposer l'appareil de façon à recueillir, à des instants successifs, cette partie de la décharge qui a un centième de seconde pour durée.

Si l'on cherche, à des instants successifs, la décharge de la Torpille, et si on la trouve dans cinq explorations consécutives, séparées entre elles par un centième de seconde, cela prouve qu'elle a duré cinq centièmes de seconde. Dès lors, dans une sixième exploration, on ne devra plus retrouver cette décharge, et le muscle de Grenouille ne devra donner aucun signal.

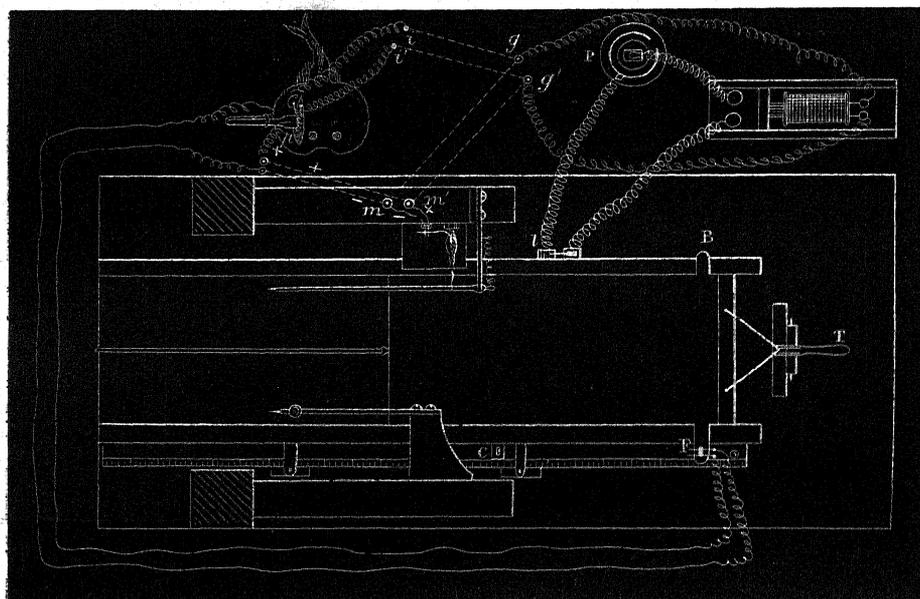
On voit sur la *fig. 5* la modification de l'appareil qui m'a permis de réaliser cette série d'explorations successives de l'état électrique de la Torpille. Tout étant disposé comme pour la dernière expérience, celle qui sert à déterminer le temps qui s'écoule entre l'excitation du nerf et l'apparition de la décharge, on rompt le circuit de la Torpille en D (*fig. 3*), et l'on prolonge chacun des fils conducteurs jusqu'en F, où ils se terminent par deux pointes isolées l'une de l'autre et fixées sur une barre horizontale au chariot qui porte la plaque enfumée. Dans le mouvement de la plaque, la pointe des fils effleure une goutte de mercure C qui ferme un instant le circuit de la Torpille. Si la décharge a lieu au moment où se produit cette clôture dont la durée est de $\frac{1}{200}$ de seconde environ, le nerf de Grenouille sera excité et le muscle donnera un signal.

Or, cette goutte est placée dans un godet de cire qui repose sur une longue règle plate divisée en millimètres. On peut, en poussant ou en

tirant cette règle, la faire glisser le long du chariot, et faire varier ainsi la position de la goutte de mercure, de façon à avancer ou à retarder le moment où, dans la course du chariot, la clôture du circuit de la Torpille se produira.

Disposons d'abord l'appareil de façon à faire coïncider l'instant où

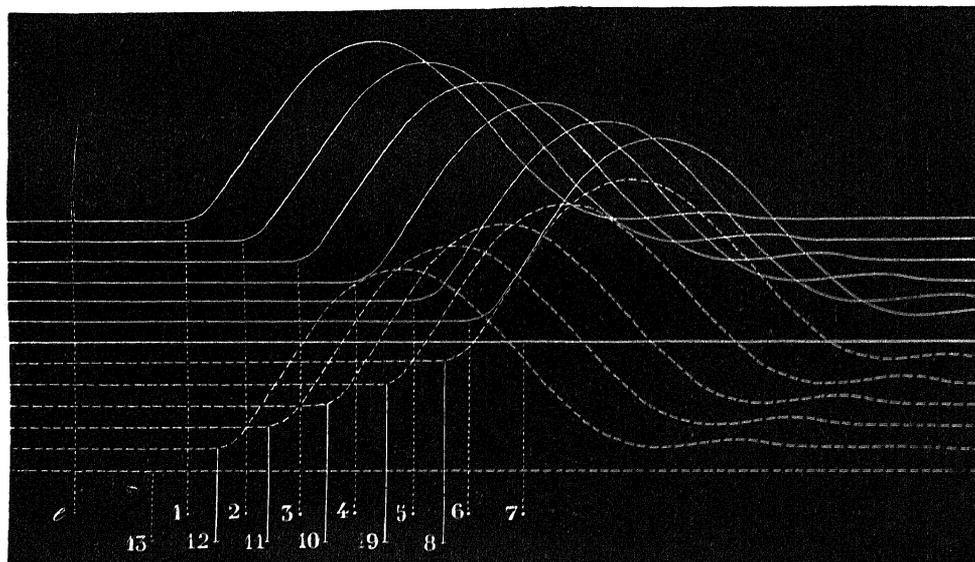
Fig. 5.



la clôture de circuit de Torpille a lieu avec celui où se produit l'excitation de l'animal. Si le chariot est mis en mouvement avec une vitesse extrêmement faible, on verra, au moment où le courant de pile est rompu, le muscle de Grenouille donner un signal représenté (*fig. 6*) en *e*. C'est le signal de l'instant de l'excitation. Mais si avec la même disposition de l'appareil on lance le pendule à toute vitesse, la Grenouille ne donnera aucun mouvement. Cela s'explique par ce fait que la décharge de la Torpille, qui retarde notablement sur l'excitation, ne se produit qu'à un moment où le circuit de pile est rompu de nouveau après le passage des fils *F* à travers la goutte de mercure *C*. En poussant graduellement la règle, de façon à retarder de plus en plus le moment où l'on recueille la décharge de la Torpille par rapport à celui de l'excita-

tion, on arrive à obtenir un premier signal représenté (*fig. 6*) sous le n° 1. Ce point correspond au début du phénomène; il se trouve, du reste, à la même distance du moment de l'excitation que dans la *fig. 3*, où se trouve déterminé le retard de l'acte électrique de la Torpille.

Fig. 6.



Si la décharge était instantanée, en poussant la règle d'une petite quantité, de façon à retarder de $\frac{1}{200}$ de seconde l'instant de la clôture du circuit, on verrait cesser le mouvement de la Grenouille; le courant, en effet, n'existerait plus au moment où l'on chercherait à le recueillir.

Mais il n'en est pas ainsi, et, en fermant le circuit de plus en plus tard, on retrouve la décharge de la Torpille à des instants de plus en plus éloignés de son début, et l'on obtient ainsi les signaux 2, 3, 4, 5, 6, qui montrent que ce phénomène a duré pendant tout le temps que la plaque a mis à parcourir l'espace qui sépare les instants 1 et 6. Mesuré au diapason, ce temps correspond à $\frac{1}{14}$ de seconde.

Dans une septième tentative, en retardant encore le moment de la clôture du circuit, on n'a plus obtenu le signal musculaire, ce qui prouve que la décharge était finie au moment de la clôture du circuit de la Torpille.

Pour faire la contre-épreuve des expériences précédentes, il suffit de

ramener la règle en arrière, c'est-à-dire de rapprocher la clôture du circuit du moment de l'excitation, et l'on obtient les signaux 8, 9, 10, 11, 12, jusqu'à ce que enfin, dans une treizième expérience, on ait amené le contact trop près de l'excitation, ce qui supprime de nouveau le signal, la clôture du circuit étant finie avant le commencement de la décharge.

Pour donner autant de précision que possible à cette détermination de la durée du phénomène électrique, il faut, vers le début et vers la fin de l'expérience, multiplier les tâtonnements, et ne faire avancer ou reculer la règle que d'une très-petite quantité entre deux explorations successives. On peut assez facilement obtenir cette détermination avec une approximation de $\frac{1}{125}$ de seconde.

La durée de la décharge électrique, dans le cas ci-dessus, était, avons-nous vu, $\frac{1}{14}$ de seconde. A l'inspection de la figure, on voit que cette durée est très-sensiblement celle de chacune des secousses musculaires qui nous servaient de signal.

Les expériences myographiques ont donc confirmé de tout point les prévisions qui me les avaient fait entreprendre, elle ont montré qu'une parfaite analogie existe entre la décharge électrique de la Torpille et la secousse d'un muscle de la vie animale, tant au point de vue du retard de ces phénomènes sur l'excitation qui les provoque qu'à celui de la durée de chacun d'eux.

Toutes ces analogies fonctionnelles entre le muscle et l'appareil électrique me faisaient vivement désirer de soumettre cet appareil à l'action des substances et des agents physiques, qui modifient les caractères de la secousse musculaire. J'ai montré les différences profondes qu'impriment à la courbe de ce mouvement la chaleur, le froid, l'empoisonnement par la vératrine, etc.

Pour étudier sur l'appareil électrique les influences de cet agent, il faudrait disposer d'appareils qui fussent capables de signaler les phases du phénomène électrique, c'est-à-dire son intensité à tous les instants.

J'ai trouvé, dans le *Compte rendu* des travaux du laboratoire du professeur Donders d'Utrecht, un Mémoire relatif à la durée des décharges d'une bobine d'induction à long fil. L'auteur de ce travail, M. A. Nijland, se sert de papier sensibilisé au cyanoferrure de potassium, sur lequel

il écrivait les vibrations d'un diapason muni d'un style que traversait la décharge de la bobine. On voit, au moment de la décharge, les vibrations du diapason s'écrire sous forme de sinuosités ponctuées, montrant ainsi que la décharge est formée d'étincelles multiples plus fréquentes au milieu du phénomène qu'au commencement et à la fin. Le nombre de vibrations du diapason pendant lesquelles le papier reçoit la coloration caractéristique permet de mesurer directement la durée du courant induit de la bobine.

Je termine cette Note, que je regrette de laisser si incomplète malgré son étendue, en signalant cette ingénieuse méthode aux physiologistes qui auront l'occasion d'étudier les poissons électriques.