

la contraction a cessé; et cette persistance doit avoir lieu chez l'homme comme chez les animaux. On peut d'ailleurs le prouver directement en observant que si, après avoir fait dévier l'aiguille du galvanomètre par la contraction des muscles d'un bras, on laisse ces muscles revenir à l'état naturel, l'aiguille ne revient au zéro qu'avec une extrême lenteur.

On a objecté contre les conclusions de M. Dubois-Reymond que lorsqu'on fait avec la grenouille une expérience semblable à celle qui montre l'existence du courant musculaire dans l'homme, on obtient un effet inverse. En effet, si l'on place une grenouille à cheval par ses muscles inférieurs sur les vases de communication, on n'aperçoit d'abord aucun courant, mais si l'on fait contracter un de ses muscles après avoir coupé l'un des nerfs sciatiques pour paralyser l'autre, le galvanomètre accuse un courant qui est descendant dans le muscle contracté, tandis qu'il est ascendant dans le muscle contracté de l'homme; aussi bien quand les muscles qui servent à former le circuit sont ceux des pieds que lorsque ce sont ceux des bras. Cette différence tient très-probablement à la différence si grande qui existe dans la forme et les dispositions des masses musculaires chez l'homme et chez la grenouille. Au reste, on peut reconnaître une semblable opposition dans les résultats chez les animaux eux-mêmes. Ainsi les choses se passent chez le lapin comme chez l'homme, et cependant les lois du courant musculaire sont les mêmes chez le lapin que chez la grenouille et les autres animaux. Mais le fait est qu'il existe dans la disposition des muscles de la grenouille, du lapin et de l'homme une différence importante qui explique peut-être la différence des résultats. Dans la grenouille, à l'extrémité supérieure du muscle gastrocnémien, la coupe transversale naturelle est comme ensevelie dans la masse du muscle, ce qui fait que ce muscle ne peut donner à l'état de repos qu'un courant ascendant; tandis que dans l'homme et dans le lapin la masse musculaire qui correspond au gastrocnémien de la grenouille, se termine à sa partie supérieure par des aponévroses parfaitement libres, ce qui fait que dans l'état de repos le muscle peut produire un courant descendant dans le circuit extérieur.

Nous ne terminerons pas ce paragraphe sans indiquer un moyen que M. Dubois-Reymond a employé pour augmenter considérablement le courant produit par la contraction volontaire des muscles, et qui consiste à enlever l'épiderme au moyen de vésicatoires appliqués au bras, et de mettre ces plaies artificielles en communication avec le galvanomètre. De cette manière il a obtenu un courant de 60 à 70°, tandis qu'en faisant communiquer le galvanomètre avec les mêmes points de la peau demeurés intacts, il ne produisait qu'une déviation de 2 à 3° par la même contraction d'un bras; ce qui prouve que la présence de l'épiderme occasionne la plus forte des résistances qui s'opposent à la manifestation des courants de l'organisme humain.

#### § 4. Du courant nerveux.

Le rôle des nerfs dans la production de l'électricité animale, envisagé dans l'origine comme très-important, avait paru plus tard, à la suite des recherches multipliées de M. Matteucci, se réduire à celui de corps simplement conducteurs et participant à l'état électrique de la partie du muscle à laquelle ils étaient liés. Nous avons déjà vu que, même sous le rapport de la conductibilité, la substance nerveuse est très-inférieure au tissu musculaire<sup>1</sup>, quoique le nerf proprement dit soit un peu meilleur conducteur que la substance cérébrale. Mais M. Dubois-Reymond a réussi à démontrer au moyen d'expériences faites avec soin et à l'abri de toute objection, qu'il existe dans les nerfs comme dans les muscles des animaux vivants ou récemment morts, des courants électriques parfaitement déterminés. Il suffit, pour cette démonstration, de prendre un fragment tout récemment enlevé au nerf ischiatique d'une grenouille, et de le placer sur les coussinets de façon qu'il soit en contact avec eux, d'un côté par sa section longitudinale, de l'autre par une section transversale artificielle (fig. 341), et on obtient aussitôt un courant qui peut aller jusqu'à 25 ou 30°, mais ordinairement

<sup>1</sup> Tome II, page 453.

seulement jusqu'à 15 ou 18°; ce courant qui finit par produire une déviation constante de 5 à 8° est constamment dirigé,

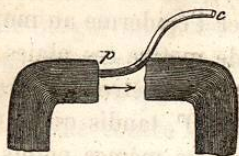


Fig. 341.

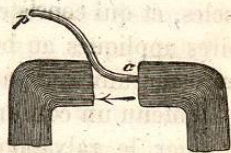


Fig. 342.

comme dans le muscle de la section longitudinale à la transversale, à travers le fil du galvanomètre. Il est parfaitement indifférent pour la direction du courant que ce soit l'une ou l'autre des deux sections transversales qui soit en contact avec le coussinet, le courant marche toujours dans le même sens (fig. 342). Si le nerf est mis en communication avec les deux coussinets par ses deux sections transversales également en étant soutenu sur une petite plaque de verre (fig. 343), l'aiguille du galvanomètre ne se meut pas; ou si elle manifeste quelques légères déviations soit dans un sens, soit dans un autre, cela tient à la difficulté qu'il y a à ne toucher les coussinets que par la section transversale seule, en évitant tout contact de la section longi-

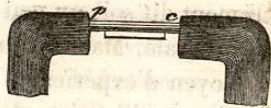


Fig. 343.

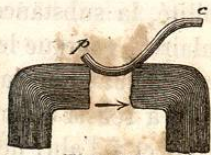


Fig. 344.

tudinale. La petitesse de la section transversale empêche qu'on puisse étudier les différences d'action électromotrice de ses différents points, mais il n'en est pas de même pour la section longitudinale; il est facile, comme pour les muscles, de mettre en contact avec les coussinets deux points non symétriques de cette section, et on obtient alors (fig. 344) un courant beaucoup plus faible il est vrai que lorsque le circuit est fermé par les sections transversale et longitudinale, mais qui pourtant produit une impulsion de 6 à 7° et une déviation constante de

2 à 4°. Le sens du courant indique que les points rapprochés du milieu du fragment nerveux sont positifs par rapport à ceux qui sont plus voisins des extrémités. Quand les deux points de la section longitudinale sont à égale distance du milieu, il n'y a aucun courant.

Les phénomènes électriques que nous venons de décrire sont les mêmes dans les nerfs quelle que soit leur nature, aussi bien dans les nerfs du sentiment que dans les nerfs du mouvement, dans les racines antérieures que dans les postérieures, dans les centres nerveux mixtes que dans les simples. Le nerf optique de la grenouille étant trop petit pour ce genre d'expérience, M. Dubois-Reymond a pris celui d'un poisson, de la tanche par exemple, et il a obtenu un courant de 40 à 45° dirigé toujours de la section longitudinale à la transversale à travers le fil du galvanomètre, dans le cerveau qui ne présente pas de section longitudinale proprement dite, c'est toute section artificielle qui est négative par rapport aux points de la surface naturelle, laquelle joue le même rôle que la section longitudinale. Ajoutons que, de même que lorsqu'il s'agit du courant musculaire, les nerfs de l'homme et des animaux des diverses classes présentent tous les mêmes phénomènes.

M. Dubois-Reymond a réussi à percevoir le courant nerveux au moyen de la grenouille galvanoscopique aussi bien qu'en employant le galvanomètre multiplicateur. Il suffit en effet de mettre le nerf de la grenouille galvanoscopique dans le circuit du courant nerveux en employant un coussinet auxiliaire placé entre les deux autres, pour voir la grenouille se contracter par l'effet de ce courant, dans les mêmes cas où l'aiguille du galvanomètre est déviée.

Ainsi le courant nerveux est soumis aux mêmes lois que le courant musculaire; nous pouvons donc assimiler ces deux courants et considérer le premier comme étant, aussi bien que le second, une dérivation du courant qui s'établit dans les nerfs et dans les conducteurs dont il est entouré, par l'effet de la polarité électrique des particules nerveuses et de la disposition qu'elles affectent sous l'influence de la force vitale. Quant à la puissance électromotrice des particules nerveuses compa-

rée à celle des particules musculaires, il est difficile de l'apprécier, mais on peut affirmer qu'à circonstances égales le courant nerveux n'est nullement inférieur en force au courant musculaire.

Il est important maintenant de savoir ce que devient le courant nerveux quand le nerf est mis dans cet état particulier qui le rend propre à transporter aux muscles ou aux centres nerveux ces modifications que nous percevons sous forme de mouvement ou de sensation. La première chose à faire, c'est de trouver un moyen de mettre le nerf dans un état analogue à celui qui représente dans le muscle la tétanisation; cet état est pour le nerf de mouvement évidemment celui qui produit le tétanos dans le muscle correspondant, et pour le nerf de sentiment celui qui produit la sensation la plus vive possible de quelque nature qu'elle soit. Nous appellerons *tétaniser* le nerf le mettre dans cet état, et pour le tétaniser nous avons vu que le moyen le plus simple est de faire passer dans une partie de sa longueur une série de courants interrompus.

Mais, avant d'examiner l'effet de la tétanisation, il est nécessaire d'étudier celui qui résulte du passage de courants constants

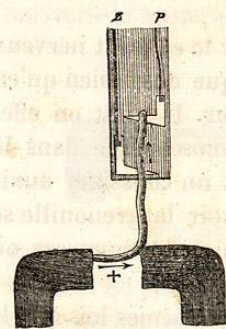


Fig. 345.

à travers le fragment nerveux. Pour cela il suffit de placer le nerf (fig. 345) de manière qu'il soit en contact par sa section transversale avec l'un des coussinets et par sa section longitudinale avec l'autre, pendant que son prolongement va reposer sur les deux lames de platine, de façon à ce que la portion comprise entre ces lames soit traversée par un courant constant auquel elles servent d'électrodes. Si le courant de la pile a une direction semblable à celle du courant nerveux qui circule entre les deux coussinets, on voit aussitôt celui-ci augmenter d'intensité; il diminue si la direction des deux courants est inverse. Ces variations se maintiennent aussi longtemps que le prolongement du nerf est traversé par le courant voltaïque; elles cessent aussitôt que celui-ci est interrompu. Il résulte donc

évidemment de la circulation dans une partie du nerf de ce courant étranger, une altération dans tout le nerf lui-même, et c'est cette altération que Dubois-Reymond a désignée sous le nom d'*état électrotonique* du nerf. Il distingue deux phases différentes dans cet état électrotonique, celle pendant laquelle le courant nerveux éprouve une augmentation d'intensité et qu'il appelle *positive*, celle pendant laquelle il éprouve une diminution et qu'il appelle *negative*.

On peut déterminer les deux phases en même temps dans le même nerf en faisant passer le courant artificiel dans une portion prise au milieu de sa longueur, et en faisant aboutir chacune de ses extrémités à deux systèmes de coussinets réunis chacun séparément par un galvanomètre au moyen d'un arrangement semblable à celui que représente la figure 345 pour une seule des extrémités du nerf. On voit alors par l'effet du même courant voltaïque, celui des deux courants nerveux qui va dans le même sens que le courant artificiel augmenter d'intensité, pendant que l'autre qui va en sens contraire est affaibli.

Ajoutons que les phénomènes sont d'autant plus prononcés que l'intervalle qui sépare la portion du nerf placée dans le circuit du courant extérieur de la portion qui est dans le circuit du galvanomètre, est plus petit, que le courant extérieur lui-même est plus fort, et que la portion du nerf soumise directement à son action est plus longue.

Il résulte de l'étude du phénomène que nous venons de décrire et des circonstances qui le favorisent, qu'on peut s'en rendre compte en supposant que l'état électrotonique qu'affecte le nerf est dû à une polarisation moléculaire du nerf analogue à celle qui est déterminée dans tous les corps conducteurs par l'effet du passage d'un courant électrique. Cette polarisation consiste en ce que les molécules nerveuses, douées naturellement, comme celles du muscle, de deux pôles électriques, tournent toutes leurs pôles positifs du côté vers lequel se dirige le courant, et leurs négatifs du côté d'où il vient. Il faut seulement admettre que cette action polarisante peut s'étendre avec une intensité décroissante, il est vrai, jusqu'aux portions du

nerf qui sont en dehors du circuit du courant artificiel. Cette explication, que nous empruntons à M. Dubois-Reymond, n'exige point qu'on doive admettre, avec ce physicien, dans le nerf pas plus que dans le muscle, l'existence de molécules péripolaires qu'il suppose être formées dans le nerf, chacune de la juxtaposition de deux molécules bipolaires. Nous estimons qu'il est suffisant de supposer que ces molécules sont bipolaires, et que, sous l'influence du principe vital, elles sont dans le nerf comme dans le muscle disposées de manière que leurs pôles positifs soient tournés extérieurement et leurs négatifs intérieurement. Cette disposition explique pour le nerf de la même manière que pour le muscle, la manifestation d'un courant propre, appelé dans ce cas courant nerveux, qui a lieu quand on fait communiquer une section transversale du nerf avec une section longitudinale. Mais, sous l'influence du courant extérieur, les molécules nerveuses plus mobiles que celles des muscles peuvent, en partie du moins, se disposer les unes à la suite des autres suivant le mode désigné sous le nom de polarisation, et affecter cette disposition même dans les portions du nerf non traversées directement par le courant. Il en résulte la circulation dans le nerf d'un courant nouveau qui doit augmenter ou diminuer, suivant sa direction, le courant nerveux lui-même.

Si le courant qu'on fait passer par le fragment du nerf placé entre les deux lames de platine, au lieu d'être continu, est discontinu et encore mieux dirigé alternativement en sens contraire, cas dans lesquels la tétanisation est produite, la partie du nerf placée dans le circuit du galvanomètre éprouve une diminution dans son propre courant, quelle que soit la direction du courant extérieur, tandis qu'avec le courant continu il y a augmentation quand le courant va dans un sens, et diminution quand il va dans l'autre. L'effet de la tétanisation est par conséquent le même pour le nerf que pour le muscle. Mais il importe de savoir si cet effet a encore lieu quand on tétanise le nerf autrement que par la voie électrique; M. Dubois-Reymond a réussi à constater qu'il en est ainsi, et pour cela il a été obligé d'employer un galvanomètre de 24,160 tours. Au moyen de

cet instrument si sensible et par conséquent si difficile à manier, il a obtenu une oscillation négative du courant nerveux en opérant sur le nerf d'une grenouille empoisonnée par la strychnine, nerf qu'il avait mis à nu depuis le jarret jusqu'à la colonne vertébrale et qui se trouvait tétanisé par l'effet du poison. On obtient également une oscillation négative du courant nerveux, mais de 1° à 3° seulement, en brûlant, en meurtrissant l'extrémité libre d'un nerf placé entre les coussinets, comme il est disposé dans les figures 341 et 342.

Pour savoir si l'oscillation négative du courant nerveux, que produit la tétanisation, est continue ou interrompue comme dans le muscle, il est nécessaire de substituer au galvanomètre multiplicateur le galvanomètre physiologique. Dans ce but on place sur les lames de platine de l'appareil de la figure 345 un fragment de nerf dont le reste vient reposer sur une lame de verre bien sèche, puis l'on ferme le circuit en unissant, au moyen d'une portion du nerf de la grenouille galvanoscopique, la section transversale et la section longitudinale du premier nerf; on transmet à travers ce nerf un courant rendu discontinu au moyen d'une roue dentée mise dans le circuit d'un couple de Grove, et on obtient la contraction secondaire dans la grenouille galvanoscopique. Afin de déterminer si cet effet provient de la variation négative du courant nerveux dans le nerf traversé par le courant artificiel, comme lorsqu'il s'agit du muscle, ou simplement de l'apparition ou de la disparition successives dans ce nerf de l'état électrotonique, M. Dubois-Reymond a tenté avec succès d'obtenir la contraction secondaire en posant simplement à côté l'une de l'autre les extrémités du nerf excité par le courant et du nerf de la grenouille galvanoscopique (fig. 346). Il n'est donc pas nécessaire que le nerf excité soit en contact avec l'autre par la section longitudinale et la section transversale en même temps, ce qui semble indiquer que la contraction secondaire

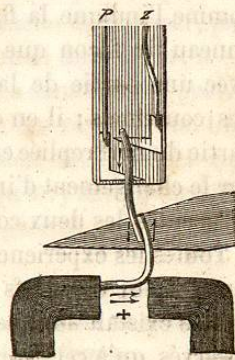


Fig. 346.

ne tient effectivement pas à la variation négative du courant nerveux ; mais bien aux oscillations de l'état électrotonique. Ce qui confirme cette conclusion, c'est que pour obtenir la contraction secondaire, il ne faut pas que la portion du nerf principal qui est à côté de celui de la grenouille galvanoscopique soit trop éloignée de la portion soumise directement à l'action du courant extérieur, et il est nécessaire que la tétanisation soit produite par voie électrique.

Il y a donc une différence importante entre les muscles et les nerfs quant à la cause de la contraction secondaire qui résulte de leur tétanisation, l'effet étant produit dans les premiers par la variation négative du courant musculaire qui accompagne la contraction et étant indépendant de la cause de cette contraction, tandis que dans les nerfs il est lié avec l'apparition et la cessation de l'état électrotonique, et par conséquent dépendant du mode employé pour les exciter ; mode qui doit être un courant électrique. On ne peut donc décider par les expériences qui précèdent la question de savoir si la variation négative est continue ou intermittente.

M. Dubois-Reymond a réussi à démontrer, en disposant l'expérience comme l'indique la figure 346, que l'état électrotonique du nerf excité directement détermine aussi dans le nerf contigu un état électrotonique, mais inverse du sien propre. Il a même réussi à produire l'état électrotonique dans un nerf par l'effet de son propre courant ; dans ce but, après avoir disposé le nerf comme l'indique la figure 344, il a relié l'extrémité libre en anneau de façon que la section transversale *c* fût en contact avec une partie de la section longitudinale située en dehors des coussinets ; il en est résulté un courant circulant dans la partie du nerf repliée en anneau, et un état électrotonique accusé par le changement d'intensité du courant dans la portion comprise entre les deux coussinets.

Toutes les expériences relatives au courant nerveux ont été répétées sur des nerfs de nature différente, et on s'est assuré qu'il n'existait aucune différence entre eux, quant aux effets observés, qu'à cet égard les nerfs du mouvement et les nerfs du sentiment se conduisent de la même manière ; cette observa-

tion a permis de résoudre la question de savoir si dans chaque classe de nerf l'irritation n'est propagée que dans une direction, de haut en bas dans les nerfs du mouvement, et de bas en haut dans ceux du sentiment, ou si elle peut être propagée dans tous les nerfs dans les deux directions opposées également. En effet, la question ne peut être résolue que de la seconde manière, une fois qu'il est démontré que, quelle que soit la portion d'un nerf quelconque qu'on tétanise, il se manifeste une variation négative du courant nerveux dans le reste du nerf, preuve que l'irritation se propage dans tous les sens également.

Une dernière observation importante en ce qui concerne l'état électrique des nerfs, est encore due à M. Dubois-Reymond. Il avait remarqué que dans les animaux à sang chaud il arrive quelquefois que la direction de leur courant musculaire est renversée un instant très-court avant le moment où il disparaît tout à fait par l'effet de la perte de la vitalité. Le courant nerveux présente une modification du même genre, quoique non identique, quand on blesse le nerf par des actions soit mécaniques, soit calorifiques, soit chimiques. Ainsi si l'on approche brusquement d'un nerf placé sur les coussinets un fer rouge, mais sans le toucher avec ce fer, on voit le courant nerveux changer rapidement de direction, sans que cependant la propriété du nerf d'agir sur le muscle soit détruite ; si on replace le nerf en contact avec le muscle de manière qu'il recouvre son humidité naturelle, il reprend en même temps son pouvoir électromoteur ordinaire. Cependant il est facile de prouver, par des expériences directes, que ce renversement du courant n'est point dû à une augmentation de résistance dans le nerf, provenant de sa dessiccation par l'effet de la chaleur rayonnante. Une chose remarquable, c'est que lorsque le nerf est dans cet état anormal, toutes les sections transversales qu'on y détermine en le coupant, sont positives au lieu d'être négatives, par rapport à la section longitudinale.

§ 5. Rapprochement entre le courant musculaire et le courant nerveux et conséquences physiologiques.

Nous pouvons maintenant regarder comme démontré d'une