

tissu et par suite dans l'état de ces derniers. Ces phénomènes, généralement négligés faute de connaître la nutrition dans les divers tissus, sont cependant des plus féconds en applications thérapeutiques pour les affections internes, les névralgies, etc.

§ II. — Phénomènes des courants organiques.

Les phénomènes dont il s'agit dans ce paragraphe ne traitent plus des modifications des propriétés des nerfs ou des muscles sous l'influence de l'électricité galvanique ou de celle d'induction, mais bien d'une production d'électricité par les tissus vivants comme résultat de leur activité spéciale ou de leur activité nutritive. Ainsi, par ce fait même qu'un muscle ou qu'un nerf, par exemple, entrent en action, ils dégagent une petite quantité d'électricité, qui se manifeste sous forme de courants. C'est un fait analogue à ceux dont nous avons parlé en disant que par ce fait seul qu'un tissu se nourrit, cette nutrition a pour résultat la production d'un peu de chaleur. Il importe donc de ne pas confondre les phénomènes traités dans le paragraphe précédent avec ceux dont il s'agit ici. Dans les premiers, l'action des tissus ou leurs modifications morbides ou dans un but thérapeutique étaient produites par l'application sur eux, soit de l'électricité voltaïque ou galvanique, soit de l'électricité par induction. Dans le second, la production d'électricité est un résultat de l'activité naturelle des tissus, de telle sorte qu'ils deviennent à leur tour une source d'électricité, qu'on peut les dire doués d'une force électro-motrice capable de produire des effets divers, faibles mais réels, tant sur les tissus d'autres animaux convenablement disposés, que sur les galvanomètres.

Dans ces phénomènes, Galvani soutenait l'électricité propre; Volta soutenait au contraire l'électricité d'origine étrangère au tissu : il fallait, pour décider cette question, que Nobili eût inventé son multiplicateur, qui a donné gain de cause à Galvani.

Avec cet instrument ce dernier physicien a constaté les faits généraux suivants :

1° La grenouille galvanique a un courant propre dirigé des muscles aux nerfs ou des pieds à la tête.

2° En disposant à la suite l'une de l'autre, dans le même ordre, plusieurs grenouilles galvaniques, on obtient une pile dont la tension va croissant avec le nombre des éléments, comme le démontrent les déviations croissantes du galvanomètre.

3° On constate la présence des faibles courants étrangers et leur direction en les faisant passer seulement par une portion libre du nerf de la grenouille ; les contractions qu'elle éprouve accusent le

courant direct ou inverse, suivant qu'elles ont lieu à la rupture ou à la fermeture du circuit.

Plus tard, Matteucci, par un grand nombre d'expériences, est venu confirmer la doctrine de Galvani sur l'électricité propre.

Il a montré : 1° que dans tous les animaux à sang chaud et à sang froid, ou vivants ou récemment privés de la vie, il y a un courant électrique musculaire dirigé dans le muscle lui-même, de son intérieur à sa surface.

2° Que la grenouille rhéoscopique entre en contraction lorsque son nerf est mis en contact avec le muscle d'une autre grenouille ou avec celui d'un lapin, et que l'on détermine dans le muscle dont il s'agit une contraction prononcée, soit à l'aide d'un courant extérieur, soit par des actions mécaniques.

Dubois-Reymond a fait des recherches suivies que Pouillet dans son rapport à l'Institut résume ainsi :

1° Les nerfs, après leur section et pendant leur vitalité, c'est-à-dire pendant tout le temps qu'ils sont aptes à exciter des contractions musculaires ou à transmettre des impressions, donnent naissance à un courant qui est sensible au galvanomètre et qui, hors du nerf, est dirigé de la surface ou de la section longitudinale à la section transversale.

L'intensité de ce courant est dépendante de la position et de la distance des points par lesquels le nerf est introduit dans le circuit du galvanomètre : elle est nulle quand ces points sont symétriques par rapport à l'équateur du tronçon nerveux, considéré comme cylindre, c'est-à-dire au centre des sections transversales.

2° Les muscles de tous les animaux, pendant tout le temps qu'ils sont aptes à se contracter sous des influences quelconques, manifestent un courant analogue à celui des nerfs et soumis aux mêmes lois, tant pour la direction que pour l'intensité.

Sur quoi il faut remarquer que certains muscles, tels, par exemple, que le gastrocnémien et le triceps de la grenouille, offrent des sections transversales naturelles là où les faisceaux musculaires vont aboutir au tendon, les aponévroses musculaires n'étant alors que des revêtements de ces sections transversales naturelles.

3° En comparant les divers muscles entre eux, on observe que le courant est d'autant plus intense que le muscle est destiné à exercer une action mécanique plus grande, soit que cette action doive être volontaire ou involontaire : ainsi, les faisceaux du cœur, qui ne sont pas soumis à l'empire de la volonté, manifestent un courant énergique comme les muscles destinés à la vie de relation, qui sont tous faits pour obéir à la volonté ; tandis que les faisceaux

musculaires des intestins montrent un courant très faible, comme n'ayant à exercer que de faibles actions mécaniques.

4° Lorsqu'on observe au galvanomètre le courant produit par le muscle gastrocnémien d'une grenouille, et que, par un moyen extérieur quelconque, électrique ou non électrique, on détermine dans le muscle des contractions répétées, on voit qu'à l'instant l'intensité du courant ordinaire et naturel auquel il avait donné naissance éprouve une diminution d'intensité des plus remarquables. Il en résulte que la contraction musculaire, quelle qu'en puisse être la cause, ne s'accomplit pas sans qu'il survienne un changement considérable dans la circulation électrique intérieure.

Ainsi les muscles sont une source d'électricité, sont doués d'une force électro-motrice. M. J. Regnault a montré (1854) que cette force est susceptible d'offrir des variations dont l'étude avait été négligée. Il a montré que pour tomber au même degré d'affaiblissement, le muscle de l'animal à température variable emploie cinq heures, tandis qu'il suffit de trois heures au muscle du mammifère. En outre, à partir de la plus grande intensité du courant jusqu'à son extinction, le temps nécessaire pour que la force électro-motrice perde une même fraction de sa valeur, subit des accroissements remarquables alternant avec des phases de diminution de plus en plus prononcées.

La grenouille rhéoscopique, mise en contact par son nerf, et sous les conditions requises, avec ce muscle tétanisé, éprouve elle-même des contractions correspondantes qui résultent de ces diminutions d'intensité. On la voit s'agiter convulsivement, si le muscle avec lequel son nerf est mis en contact est lui-même dans un état de convulsion; et si, au contraire, les contractions de ce muscle sont espacées et successives, la grenouille rhéoscopique les compte en quelque sorte et les mesure par ses mouvements espacés et successifs, toujours correspondants.

5° Lorsqu'on observe au galvanomètre le courant produit par un tronçon nerveux qui n'entre, par exemple, dans le circuit que par la moitié de sa longueur, touchant d'un côté par sa section transversale, et de l'autre par les points de son équateur, et que l'on vient exercer des actions diverses sur l'extrémité de la moitié libre qui est en dehors du circuit, on voit qu'à l'instant le courant ordinaire et naturel, auquel il avait donné naissance, éprouve une diminution d'intensité analogue à celle qui se montre dans le muscle à l'instant de la contraction.

Les actions que l'on exerce sur l'extrémité libre du tronçon nerveux peuvent être, soit un courant direct ou inverse, soit une cautérisation, soit une intoxication, soit un froissement mécanique,

Il en résulte que les actions locales qui se transmettaient, soit au muscle, soit au centre nerveux, si le nerf n'était pas détaché de l'un et de l'autre, semblent efficaces pour modifier l'état électrique du nerf dans les portions même qui n'en sont pas directement affectées.

6° Après avoir coupé, à la hauteur du bassin, l'un des nerfs sciatiques d'une grenouille entière et vivante, on la dispose de telle sorte que, par chacune de ses extrémités inférieures, elle entre dans le circuit du galvanomètre et le ferme: aucun phénomène électrique n'apparaît. On fait absorber en haut l'azotate de strychnine, le tétanos se manifeste, et se manifeste seulement dans le membre inférieur dont le nerf n'a pas été coupé: à l'instant l'aiguille du galvanomètre accuse un courant qui est, en dehors, dirigé du membre contracté à celui qui ne l'est pas, et qui est, par conséquent, un courant direct dans le membre contracté.

Dubois-Reymond a encore trouvé un courant qui se manifeste dans le corps humain doué de toute la plénitude de la vie, au moment où l'on contracte les muscles du bras par la puissance de la volonté.

Deux expérimentateurs, Pfaff et Ahrens (1), au moyen d'un électromètre à feuilles d'or, ont étudié l'électricité sur l'homme et les influences qu'elle subit sous l'action des agents extérieurs. La personne sur laquelle ils opéraient se trouvait sur un isoloir; le collecteur du condensateur, vissé sur l'électromètre, fut touché par cette personne et sa plaque supérieure mise en communication avec le sol. Voici quels furent les résultats:

1° D'ordinaire, l'électricité propre à l'homme en santé est positive.

2° Elle dépasse rarement en intensité celle que produit avec le zinc du cuivre qui communique avec le réservoir commun.

3° Les hommes irritables, d'un tempérament sanguin, ont plus d'électricité que les sujets lourds et d'un tempérament lymphatique.

4° La somme d'électricité est plus grande le soir qu'aux autres moments de la journée.

5° Les boissons spiritueuses augmentent la quantité d'électricité.

6° Les femmes ont, plus souvent que les hommes, une électricité négative, sans cependant qu'il y ait de règle précise à cet égard.

Gardini a trouvé de l'électricité négative au temps des règles.

(1) *Annales de chimie et de physique*, t. XXXV, p. 420.

7° En hiver, les corps très refroidis ne montrent aucune électricité, mais celle-ci apparaît peu à peu, à mesure que les corps s'échauffent.

8° Le corps tout nu et chacune de ses parties donnent lieu au même phénomène.

9° L'électricité semble se réduire à zéro pendant la durée des *maladies rhumatismales*, et reparaitre lorsque la maladie diminue.

*Théorie de la production d'électricité.* — Nobili a indiqué que le courant propre pourrait bien avoir une *origine thermo-électrique*; mais il ne l'a pas démontré, et il faut le dire, aucun physicien n'a essayé de le démontrer, tant les analogies semblent peu favorables à cette opinion.

Voici comment Pouillet résume son opinion sur la cause des courants organiques :

1° Cette cause est inconnue.

2° Il est probable que ces courants ne résultent pas d'une action chimique extérieure.

3° Il n'est pas démontré qu'ils résultent d'une action chimique intérieure; c'est là une question à résoudre, et, suivant qu'elle recevra une solution positive ou négative, les conséquences ultérieures prendront des caractères très différents.

Les expériences de Bacchio, de M. Donné, et surtout de M. Pouillet, ont prouvé qu'il y a des courants électriques faibles dans les plantes; que dans les fruits, par exemple, il y a un courant continu allant du pédoncule, qui présente une électricité positive, vers le sommet, lequel possède l'électricité négative ou *vice versa*, selon l'espèce de fruit dont il s'agit (Donné). Ces faits semblent prouver que c'est dans les actions moléculaires nutritives qu'il faut chercher la cause de la production d'électricité chez les êtres vivants.

### § III. — Fonction d'électrogénie ou phénomènes de l'appareil électrique des poissons.

Les poissons qui ont des appareils électriques sont assez nombreux. Ce sont : les Torpilles (*Torpedo*, Dum.), poissons plagiotomes, et les Raies (*Raia*, C.), dont les premiers ont leur appareil placé sur les côtés de la tête et les autres sur les côtés de la queue (Ch. Robin); le *Mormyrus longipinnis* de Ruppert, parmi les malacoptérygiens abdominaux de la famille des Ésoques, qui porte le sien à la queue de chaque côté; le *Malaptérure électrique* (*Malapterurus electricus*) parmi les malacoptérygiens abdominaux de la famille des Malaptérures, qui porte le sien sur les côtés de l'abdomen

(c'est le poisson considéré pendant longtemps comme un silure sous le nom de *Silurus electricus*; mais on sait actuellement que les *siluriens* sont très différents des malaptérures, qu'ils appartiennent à l'ordre des ganoïdes, près des polyptères, des esturgeons, etc., et qu'il n'y a pas parmi eux de poisson électrique); le gymnote électrique (*Gymnotus electricus*, L.), de l'ordre des malacoptérygiens apodes, qui porte son appareil sur les côtés de la queue. Les appareils électriques sont composés de petits prismes ou disques d'une substance particulière, homogène, demi-transparente (*substance et tissu électriques*, Ch. Robin), disques disposés en piles verticales dans les torpilles, et en séries longitudinales chez les autres poissons. Ils sont séparés les uns des autres par des cloisons de tissu cellulaire dans lesquelles arrivent les vaisseaux et les nerfs. Ces derniers viennent des *racines antérieures* des paires nerveuses, de celles qui correspondent aux nerfs moteurs; leurs tubes se terminent à la surface des prismes ou disques par des extrémités libres très effilées, après s'être subdivisés chacun en branches très nombreuses. Ces nerfs se distribuent à l'une des faces du disque, laquelle ne reçoit pas de vaisseaux, et les capillaires à l'autre face, qui ne reçoit pas de tubes nerveux. Ces capillaires ne se ramifient pas dans la substance propre du disque, mais s'enfoncent en décrivant des flexuosités dans les excavations ou alvéoles creusées dans ces disques. L'ensemble de l'appareil est enveloppé d'une couche de tissu cellulaire, qui n'offre rien qui la distingue des enveloppes fibreuses ou celluleuses des muscles, etc. (Ch. Robin.)

La secousse que fait éprouver une torpille vivante que l'on prend entre les mains, est violente et douloureuse; elle est perçue dans les poignets et dans les bras. Si l'on reste en contact avec ce poisson, plusieurs commotions se succèdent avec rapidité, et l'on est forcé de l'abandonner. Mais cette énergie d'action est de courte durée, l'animal fût-il plongé dans le milieu nécessaire à son existence.

On remarque, en général, des mouvements assez apparents dans la torpille au moment où elle donne la commotion; ils sont cependant peu violents et quelquefois presque nuls, si l'on excepte une sorte de rétraction des globes oculaires. On peut démontrer expérimentalement que la décharge du poisson s'opère sans aucune variation de son volume total. Plusieurs physiciens ont pensé autrefois que la torpille a la propriété singulière de diriger la décharge dans un point déterminé lorsqu'elle est irritée; cette opinion est erronée: la décharge est bien sous l'influence de la volonté du poisson, mais il ne peut lui imprimer telle ou telle direction. M. Becquerel père a prouvé que le dos de l'animal représente le pôle po-

sitif, tandis que le pôle négatif se trouve au ventre ou à la face ventrale de l'appareil ; telle avait été aussi l'opinion de Volta, opinion qu'aucune expérience ne justifiait à cette époque.

Matteucci a montré que les signes d'électricité se manifestent toujours au galvanomètre lors des premières décharges de la torpille, quels que soient les points du ventre et du dos qui servent à établir le courant ; mais lorsque l'animal s'affaiblit par une suite de décharges, les directions de l'aiguille ne sont plus sensibles que si l'on applique les fils du galvanomètre dans deux points correspondants situés, l'un à la partie ventrale, l'autre à la partie dorsale de l'organe électrique.

La déviation de l'aiguille du galvanomètre peut être obtenue non-seulement dans ce cas, mais encore lorsque les deux extrémités du fil sont mises en contact avec une même face de l'animal. Pour que l'effet devienne sensible, il faut que l'une des lames de platine repose près de la ligne médiane du poisson, tandis que l'autre est placée à sa périphérie : le courant indiqué par la déviation du galvanomètre est constamment dirigé du premier point au deuxième. Les différents modes d'expériences prouvent que le courant produit par la torpille a une direction *parfaitement déterminée et invariable*. Si l'on détermine une décharge de la torpille en l'irritant par un procédé quelconque, on trouve qu'elle aimante les aiguilles et les rend magnétiques. La position des pôles est d'ailleurs constamment la même, et s'accorde parfaitement avec le sens de la déviation que l'on obtient dans le galvanomètre et avec l'effet produit par une pile.

J. Davy est parvenu à produire, au moyen du même courant, de faibles effets chimiques. Ayant appliqué des fils d'or, l'un sur la face dorsale, l'autre sur la face ventrale de la torpille, il fit passer la décharge électrique à travers des solutions de nitrate d'argent, de sel commun, d'acétate de plomb, et observa que toutes ces solutions furent décomposées ; mais la dernière n'était modifiée que quand l'animal semblait employer toute son énergie après avoir été très irrité. Outre les effets électriques déjà indiqués, nous citons encore la production de l'étincelle. Ce phénomène a été observé pour la première fois par MM. Matteucci et Linari.

*Influence des agents extérieurs.* — La température modifie d'une manière très remarquable les propriétés électriques de la torpille. Si l'on abaisse jusqu'à 0 degré le degré thermométrique de l'eau où elle vit, toute décharge cesse, bien qu'on cherche à irriter le poisson. Mais cet effet n'est que temporaire, et l'animal reprend toute son énergie à une température de 15 à 20 degrés.

Si l'on plonge la torpille dans de l'eau dont la température s'é-

lève à plus de 30 degrés centigrades environ, elle meurt au bout de quelques instants ; mais sa mort est précédée d'un grand nombre de décharges en général fort intenses. M. Matteucci a observé que chez les torpilles irritées et donnant des commotions, la circulation et les phénomènes respiratoires étaient singulièrement exagérés.

L'action des narcotiques, de l'opium, de la morphine, et celle des tétaniques, de la noix vomique, de la strychnine, ont été étudiées. Si ces matières sont employées à doses élevées, la mort de l'animal arrive peu de temps après l'administration du poison, mais elle est précédée de décharges d'une grande violence. Des proportions faibles des mêmes substances produisent une exagération considérable de la faculté de donner des commotions.

Si, dans ce dernier cas, on coupe transversalement la moelle épinière, les parties situées au-dessous de la section peuvent être impunément irritées, aucune commotion ne se fait sentir. Cette expérience démontre nettement que la décharge produite après une irritation extérieure dépend d'une action réflexe.

Les moyens mécaniques de déterminer la torpille à donner une commotion sont assez nombreux. On l'obtient avec facilité en comprimant l'organe dans un point qui correspond au passage des nerfs ; en pressant les yeux, même légèrement ; en faisant quelques frictions sur les branchies. Un point assez digne d'intérêt, c'est que le passage d'un courant électrique entre deux parties quelconques de l'animal est aussi une cause de décharges.

De tous ces faits, il résulte comme conséquence immédiate, qu'il existe des analogies impossibles à méconnaître entre les contractions musculaires et les décharges électriques données par la torpille.

*Action des causes internes.* — Si l'on extrait l'appareil électrique de l'animal, en ménageant autant que possible les troncs nerveux qui s'y rendent, on peut obtenir la production d'électricité pendant quelque temps, en déterminant une irritation dans ces derniers. On remarque dans ces circonstances tous les phénomènes que nous avons déjà signalés : contractions des grenouilles, déviation de l'aiguille du galvanomètre. Mais si l'on se borne à agir sur quelques filets isolés qui se rendent en des points déterminés de l'appareil électrique, la contraction des grenouilles se fait seulement dans ces parties. L'agent excitant, dont l'action sur l'organe présente le plus de durée, est un courant d'une pile électrique que l'on fait passer dans le nerf. Si l'on applique une ligature sur un filet nerveux dans un point compris entre l'organe électrique et l'axe cérébro-spinal, toute irritation portée au-dessus de la liga-