

qu'une portion dérivée plus ou moins considérable, la plus grande partie devant s'opérer par l'intermédiaire de la surface extérieure du poisson.

Il résulte donc de la théorie qui précède, que nous faisons dépendre la fonction électrique de la torpille de la même force nerveuse qui produit la contraction musculaire, c'est-à-dire d'une modification dans l'état électrique des nerfs provenant d'une action du cerveau qui dépend elle-même de la volonté, ou qui peut être provoquée soit dans le cerveau lui-même, soit plus directement encore sur le nerf, par une irritation artificielle d'une nature quelconque.

Le gymnote et les autres poissons électriques doivent leurs propriétés à des causes semblables à celles que nous venons d'analyser dans la torpille; tous ont en effet comme la torpille un organe particulier qui est l'organe électrique, et quoique cet organe diffère chez eux dans sa disposition générale et dans sa structure en quelques points, de celui de la torpille, il est facile de voir que son organisation est analogue et que son rôle est identique.

Le gymnote, ou anguille de Surinam¹, le plus étudié de ces poissons après la torpille, en diffère totalement par son aspect extérieur; il est long, flexible, gris-verdâtre, semblable à un long serpent, présentant une tête assez grosse avec des yeux placés en dessus; il atteint une longueur de 2^m,5 à 3 mètres. Les secousses électriques qu'il lance sont bien plus fortes et surtout plus soutenues que celles de la torpille; on sait, par la description si pittoresque qu'a donnée Humboldt de la pêche des gymnotes, que leurs décharges électriques peuvent étourdir des chevaux et des mulets qu'on oblige de rester dans l'eau où se trouvent réunis plusieurs de ces poissons, au point de les faire tomber dans cette eau où ils se noient. Mais la force du gymnote s'épuise bientôt, et il lui faut du repos et une nourriture abondante pour pouvoir de nouveau posséder une grande puissance électrique. Le gymnote vit dans l'eau douce et non comme

¹ Il y a deux espèces de gymnotes, le *gymnote électrique* et le *gymnote royal*; mais ils ne diffèrent qu'en quelques points peu essentiels.

la torpille dans l'eau salée; on doit, quand il est captif, changer souvent la masse d'eau dans laquelle il vit. Toutes ces observations et d'autres encore concourent à montrer que sa fonction électrique est toujours, comme pour la torpille, proportionnelle à l'activité de la respiration et de la nutrition, ainsi qu'au degré de repos des muscles de l'animal.

Faraday a réussi à déterminer la direction du courant électrique dans le gymnote, qu'il a trouvé être de la tête à la queue dans le fil du galvanomètre dont les extrémités communiquent l'une avec la tête, l'autre avec la queue, en sorte que l'électricité positive est accumulée à la partie antérieure de l'animal, et l'électricité négative à sa partie postérieure. La décharge électrique du gymnote est donc dirigée de sa tête à sa queue dans l'eau où il plonge; aussi, quand il se courbe, la partie de l'eau comprise dans sa courbure est traversée par une foule de filets électriques disséminés qui tuent, en les foudroyant, les petits poissons qui sont sur leur route. Faraday a encore obtenu avec l'électricité du gymnote la décomposition de l'iodure de potassium, l'aimantation des aiguilles d'acier et l'étincelle d'induction. Schoenbein, qui a eu l'occasion de répéter la plupart des observations de Faraday sur le même gymnote qui avait servi aux expériences du savant anglais, a réussi à produire de vives étincelles, et même la combustion de l'or, en faisant communiquer deux feuilles d'or battu, respectivement avec la tête et la queue du poisson électrique. Il a fait passer la décharge à travers une chaîne de plusieurs personnes qui toutes ont éprouvé une très-violente commotion.

Enfin, MM. Miranda et Paci ont fait une étude détaillée des propriétés électriques du gymnote sur l'un de ces poissons arrivé de Rio-Janeiro à Naples en 1844, et sur lequel nous avons pu, M. Matteucci et moi, faire ensemble plusieurs expériences en 1845, à l'époque de la réunion du congrès scientifique. Il me paraît bien établi, par des observations multipliées, que la secousse électrique ne dépend que de la volonté de l'animal; mais quant à l'opinion émise par les deux physiciens napolitains, que le gymnote dirige son courant où il veut et en proportionne l'intensité à la résistance qu'il éprouve, elle n'est

qu'une illusion. Le gymnote peut seulement, par la flexibilité de son corps, se recourber de façon que l'animal qu'il veut tuer soit sur la ligne droite qui passe par sa tête et par sa queue, et par conséquent sur la direction du courant, qui, d'ailleurs, se disséminant dans le liquide, traverse tous les corps qu'il rencontre; c'est dans ce sens seulement qu'on peut dire que le gymnote dirige son courant. Quant à la supposition que le gymnote proportionne l'intensité de son courant à la résistance qu'il éprouve, les faits sur lesquels elle est fondée s'expliquent tout naturellement en se rappelant que l'effet du courant est toujours plus sensible dans les points où la résistance est la plus grande. Et si, quand on touche le gymnote par un corps isolant ou isolé, il ne donne que des décharges très-faibles et à peine sensibles, comme s'il savait que cette décharge ne pourra traverser le corps, cet effet tient, ainsi que M. Matteucci le fait remarquer, à ce que le poisson, éprouvant une sensation plus forte par la portion de la décharge, qui, dans ce cas, est obligée de passer par son corps, il est conduit, par cette sensation, à ne plus continuer les décharges.

MM. Miranda et Paci ont produit tous les effets magnétiques, calorifiques et chimiques qu'on avait déjà obtenus avant eux avec l'électricité du gymnote; ils ont, de plus que leurs devanciers, réussi à décomposer d'autres électrolytes que l'iodure de potassium, et en particulier le nitrate d'argent et l'acétate de plomb. M. Matteucci et moi nous avons observé un fait qui assimile bien le courant du gymnote à celui d'une pile voltaïque, c'est que lorsqu'on touche l'animal, d'une part, au milieu du corps, d'autre part, à la tête ou à la queue, on obtient au galvanomètre un courant qui est en intensité juste la moitié de celui qui est développé quand les deux points touchés sont la tête et la queue elle-mêmes.

Le gymnote possède, en effet, comme la torpille, un organe électrique composé d'un grand nombre de prismes semblables à des piles. Mais, seulement, ces piles sont dirigées de la tête à la queue de l'animal au lieu de l'être transversalement, comme dans la torpille, du ventre au dos. M. Pacini, qui a fait une étude anatomique de cet organe, a trouvé qu'il est formé de cloisons

minces et d'une nature fibreuse C (fig. 351), dirigées de la tête à la queue, et qui font l'office des parois des prismes dont se compose l'organe; ces prismes sont séparés en un très-grand nombre de compartiments par des diaphragmes A A, qui ont la forme de petites membranes longues et étroites, et qui sont situés perpendiculairement à la longueur de l'animal, de sorte qu'une de leurs faces est du côté de la tête et l'autre du côté de la queue. Nous pouvons appeler, comme

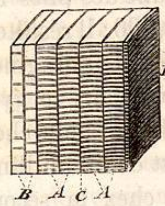


Fig. 351.

dans la torpille, les premières les *faces supérieures*, et les secondes les *faces inférieures*, si nous supposons le gymnote suspendu verticalement la tête en haut, la queue en bas; supposition que nous avons faite dans la figure 351, qui représente son organe. La distance des cloisons mesure la largeur des diaphragmes qui varie de 1 à 3 millimètres; quant à leur longueur, elle est de 2 centimètres en moyenne, quantité qui exprime par conséquent la largeur des cloisons. Les diaphragmes se succèdent parallèlement entre eux dans chaque canal prismatique d'une extrémité à l'autre de l'organe électrique à de très-petites distances; M. Pacini a trouvé que l'espace occupé par 10 diaphragmes successifs était, en moyenne, de $0^{\text{mm}},530$, ce qui donne une distance moyenne de $0^{\text{mm}},15$ d'un diaphragme à l'autre. Il a observé, dans un angle de l'organe, des séries de diaphragmes tellement irrégulières qu'il les a distingués sous le nom de diaphragmes anormaux B (fig. 351); ils sont comme atrophiés, plus étroits et plus éloignés les uns des autres que les diaphragmes normaux.

Dans un gymnote de longueur moyenne, c'est-à-dire de 80 centimètres, on trouve que l'organe électrique est de 65 centimètres environ; on en déduit que le nombre des diaphragmes électriques, dans une seule série, est à peu près de 4,000. D'après Hunter, le nombre des canaux prismatiques est d'environ 56 de chaque côté¹, soit 96 en tout; ces 94 piles renferment

¹ Ces 48 canaux prismatiques sont répartis entre deux organes séparés par

chacune 4,000 diaphragmes. Dans la torpille, il a 940 piles ou séries de diaphragmes au lieu de 96; il est vrai que chacune des piles ne renferme que 2,000 diaphragmes au lieu de 4,000; il résulte cependant de cette comparaison que le nombre des diaphragmes est bien plus considérable dans la torpille que dans le gymnote. Mais, par contre, leur surface est bien plus grande chez le gymnote que chez la torpille, puisqu'elle est de 50 millimètres carrés chez le premier, et seulement de 7 chez la seconde. Une autre différence, c'est que l'espace occupé par deux diaphragmes successifs est considérablement plus grand dans le gymnote que dans la torpille, puisque, lors même qu'ils ne renferment qu'un nombre double de diaphragmes, les prismes sont 15 fois plus longs environ.

Cette plus grande épaisseur des cellules est liée à une complication de structure que M. Pacini a observée; en effet, chaque diaphragme du gymnote est composé de deux parties solides superposées, mais éloignées l'une de l'autre; l'une, d'une apparence cellulaire, l'autre, très-mince, formée de *fibrilles*. Il y a de plus deux liquides, l'un interposé entre le corps *cellulaire* et la lamelle *fibrillaire*, et l'autre entre deux diaphragmes successifs. Le corps cellulaire, qui forme la partie supérieure de chaque diaphragme, est formé principalement d'une grosse lame ondulée, semi-transparente, qui a, en moyenne, une épaisseur de 0^{mm},01. Des deux surfaces inférieure et supérieure du corps cellulaire s'élèvent une multitude de protubérances qui sont comme autant de cellules composées, destinées à augmenter la surface du corps cellulaire, surtout dans sa partie supérieure, où elles sont plus élevées, et qui est rendue par là environ cinq ou six fois plus grande. L'extrémité libre de ces protubérances cellulaires est très-rapprochée de la lamelle fibrillaire du diaphragme situé au-dessus, mais sans jamais le toucher; cet espace est rempli d'un liquide que M. Pacini appelle *surcellulaire*; les cellules inférieures, plus rares et plus petites, arrivent jusqu'à toucher la lamelle fibrillaire placée au-des-

une couche adipeuse, dont l'un, le *grand organe électrique* en renferme 34, et l'autre, le *petit organe électrique*, 14.

sous, et qui appartient au même diaphragme; cet espace est également rempli d'un liquide appelé *sous-cellulaire*. Quant à la lamelle fibrillaire, elle est composée d'une multitude de fibrilles tendineuses qui forment une espèce de toile d'une épaisseur de 0^{mm},01 environ, et qui est fixée sur les bords des cloisons fibreuses, non par une simple adhésion, comme le corps cellulaire, mais par continuité de tissu, car la lamelle fibrillaire est de la même nature fibreuse que les cloisons. Quant aux nerfs, après avoir traversé l'épaisseur des cloisons, ils pénètrent dans la lamelle fibrillaire de chaque diaphragme, et ils s'y distribuent en se bifurquant à de longs intervalles; mais la quantité de fibres nerveuses est beaucoup moins grande chez le gymnote que chez la torpille, sur une égale étendue d'un diaphragme électrique.

En résumé, on voit qu'à chaque diaphragme électrique du gymnote correspondent quatre parties qui se succèdent de haut en bas, le gymnote étant toujours supposé placé verticalement la tête en haut: le liquide surcellulaire, le corps cellulaire, le liquide sous-cellulaire et la lamelle fibrillaire; cette lamelle, qui constitue la partie inférieure des diaphragmes, représente leur surface négative, ce qui montre que chez le gymnote, comme chez la torpille, c'est la face du diaphragme où se distribuent les nerfs qui est la face négative.

M. Pacini croit voir dans l'appareil électrique du gymnote une image de la pile à deux liquides dans laquelle la membrane fibrillaire jouerait le rôle de la cloison poreuse. L'action chimique se passerait entre le liquide sous-cellulaire et le corps cellulaire, le liquide surcellulaire ne jouant que l'office de conducteur. Pour expliquer l'influence de la volonté de l'animal sur la production de l'électricité, M. Pacini admet que les réactions chimiques étant en très-grande partie subordonnées, dans l'économie animale, à l'action nerveuse, c'est cette action qui détermine l'effet chimique, d'où résulte l'effet électrique. Ainsi, tandis que dans la torpille la production de l'électricité serait un effet immédiat de l'action nerveuse, cette production ne serait dans le gymnote qu'un effet indirect de cette même action qui, en provoquant une action chimique, déter-

minerait ainsi la manifestation de signes électriques. M. Pacini appuie son opinion sur ce que dans l'organe électrique de la torpille les nerfs prédominent et les matériaux sont en moindre quantité, tandis que dans celui du gymnote, ce sont les matériaux qui prédominent et les nerfs qui font défaut.

De quelque manière qu'agisse la force nerveuse dans le gymnote, elle n'est pas moins indispensable dans le gymnote que dans la torpille pour la production de l'électricité; nous savons, en effet, d'après les observations de M. de Humboldt, que les décharges du gymnote cessent entièrement quand le cerveau a été enlevé, et qu'on ne réussit pas à les obtenir lors même qu'on irrite la moelle épinière. Ce fait est d'autant plus significatif qu'une grande partie des nerfs qui se ramifient dans l'organe du gymnote viennent de la moelle épinière. Mais, d'un autre côté, on ignore s'il existe dans le cerveau du gymnote, comme dans celui de la torpille, un lobe particulier d'où émanerait l'influence électrique. Du reste, quelles que soient les différences de structure entre l'organe électrique de la torpille et celui du gymnote, il me paraît difficile d'admettre qu'il y ait dans l'influence nerveuse deux modes d'action si différents, selon qu'il s'agit de l'un ou de l'autre des deux poissons électriques. Je suis plutôt disposé à admettre que dans le gymnote comme dans la torpille, la source primitive de l'électricité est dans les nerfs, mais en reconnaissant que les réactions chimiques que cette électricité provoque dans les deux organes, entretiennent cette électricité et contribuent à la formation du circuit électrique. La différence de structure des deux organes ne serait-elle point liée à la différence de conformation des deux poissons dont l'un long et flexible, l'autre large et rigide, ne pourraient évidemment renfermer deux appareils électriques semblables? La surface, proportionnellement plus grande et le nombre plus petit de diaphragmes électriques dans le gymnote, comparativement à la torpille, ne proviendraient-ils pas de la différence des deux milieux dans lesquels ils sont appelés à vivre, l'eau douce moins conductrice pour le premier, l'eau salée plus conductrice pour le second? Le fait est qu'une fois qu'il nous est bien démontré, par les recherches de M. Dubois-Reymond,

que les nerfs sont doués d'une électricité propre, et que c'est par voie électrique que se transmettent les influences nerveuses, il nous paraît éminemment probable que ce qui caractérise les poissons électriques, c'est la présence chez eux d'un organe particulier qui, par sa structure, par la manière dont les nerfs s'y distribuent, accumule, en leur conservant leur nature, les effets électriques de ceux des nerfs qui s'y rendent, effets qui, pour les autres nerfs chez ces poissons et dans les autres animaux où il n'y a pas d'organes semblables, se transforment en contractions, en sécrétions, etc. Mais nous reconnaissons que, pour confirmer notre manière de voir, il y aurait encore à faire soit sur la torpille, soit surtout sur le gymnote, de nombreuses et importantes recherches.

Il existe encore un poisson, le *silure électrique*, dont l'organe électrique a été l'objet d'un examen détaillé de la part de M. Pacini, qui a trouvé qu'il est formé (fig. 352) par de petites



Fig. 352.

membranes BB, qui s'entrecroisent dans des directions différentes et constituent les parois d'espaces ou alvéoles de formes octaédriques, d'un millimètre cube de capacité environ, et remplis d'un liquide albumineux. Ce singulier organe électrique forme au-dessous de la peau AA une couche spongieuse qui enveloppe tout le corps de l'animal, moins l'extrémité du museau et les différentes nageoires, de sorte que le poisson est renfermé dans son organe électrique comme dans un sac. Il est à remarquer que son corps ne se trouve pas en contact immédiat avec le *sac électrique* qui le renferme, mais qu'il existe une forte couche adipeuse EE, interposée, qui semble destinée à isoler le corps de l'animal et à le garantir de sa propre électricité; couche séparée de même par une forte membrane fibreuse des alvéoles octaédriques¹. Cette précaution paraît d'autant plus nécessaire que dans le silure les diaphragmes de l'organe n'étant point disposés en séries parallèles, mais tous dans plu-

¹ C'est dans la membrane fibreuse que pénètrent en n le nerf, en a l'artère, et en v la veine.

sieurs directions différentes, les décharges électriques peuvent être dirigées dans une foule de sens différents, et par conséquent sortir de tous les points de la surface de son corps ; de sorte que sans la couche adipeuse isolante, le silure serait exposé à souffrir des effets électriques auxquels il donne lui-même naissance. Il est à présumer que chez lui l'organe électrique est plutôt une arme de *défense* comme les épines du hérisson, tandis qu'il est une arme d'*offense* chez la torpille et le gymnote.

§ 7. Production d'électricité dans les végétaux.

En voyant la force vitale déterminer dans les animaux des phénomènes électriques, on s'est souvent demandé si, sous l'empire de cette même force, il ne se manifesterait pas dans l'acte de la végétation quelques signes d'électricité. Bien des tentatives ont été faites dans ce but, et si les résultats en sont encore incertains, cela tient à la difficulté d'isoler les causes variées qui peuvent donner naissance à des manifestations électriques quand on opère sur des végétaux vivants. Parmi ces causes, les plus actives sont sans aucun doute les réactions chimiques soit des parties humides des végétaux sur les conducteurs solides ou liquides destinés à soutirer leur électricité, soit des différentes portions fluides des végétaux les unes sur les autres. Les différences de température des diverses parties d'un même végétal peuvent aussi avoir quelque influence. Enfin l'action de l'électricité atmosphérique dont les végétaux vivants sont d'excellents conducteurs, doit aussi quelquefois se faire sentir dans la perception de l'électricité végétale.

Sans remonter à d'anciennes observations dont les résultats vagues et incertains ne peuvent inspirer aucune confiance, nous nous bornerons à rappeler les recherches de MM. Pouillet, Becquerel et Wartmann. M. Pouillet, en faisant germer des plantes dans des capsules isolées et au milieu d'une atmosphère suffisamment sèche, avait réussi à recueillir de l'électricité négative dans les capsules, ce qui indiquait qu'une quan-

tité égale d'électricité positive avait passé dans l'air. M. Riess, en répétant ces expériences, n'obtint pas autant de constance dans la manifestation des signes électriques que M. Pouillet en avait trouvé. MM. Becquerel et Wartmann opéraient d'une autre manière. Leur procédé consistait à insérer dans des parties différentes d'un végétal des pointes ou des lames de platine mises en communication avec les extrémités d'un galvanomètre. Les résultats obtenus par ces deux physiiciens sont à peu près semblables. Tous les deux ont trouvé des courants électriques dans toutes les parties de la plante et dans toutes les saisons de l'année. Dans la même section transversale de plantes ligneuses, le courant se dirige de l'aubier vers l'écorce fraîche en passant par le point de contact. L'écorce et l'aubier sont négatifs relativement au cœur de l'arbre. Les parties de l'écorce qui contiennent la sève (le *parenchyme*) sont négatives relativement à celles qui sont situées plus haut. Les sucres descendant dans l'aubier (le *cambium*) sont négatifs à l'égard de ceux qui sont dans les feuilles. Si l'une des pointes du galvanomètre est plongée dans le sol près des racines d'une plante et l'autre en contact avec les feuilles, ou insérée dans l'écorce, il se manifeste un courant qui indique que la terre est chargée d'un excès d'électricité positive et l'écorce et les feuilles d'électricité négative. On n'obtient que peu ou point d'effet quand une des aiguilles est dans le ligneux près de la moelle et l'autre dans la terre. Les végétaux, quels qu'ils soient, même ceux qui ont une tige herbacée, donnent les mêmes effets. Becquerel en conclut que, dans l'acte de la végétation, lorsque la germination est accomplie, la sève ascendante qui communique avec le sol par l'intermédiaire des racines, lui transmet constamment l'excès d'électricité positive dont elle s'empare dans sa réaction sur le liquide qui se trouve dans le parenchyme cortical, tandis que ce liquide prend l'électricité contraire qu'il fournit à l'air par l'évaporation. La végétation agirait dans un sens inverse des causes qui font que l'air est en général positif et la terre négative, et il pourrait en résulter, dans certains cas, une influence sur les phénomènes électriques de l'atmosphère.

Becquerel estime que des courants fermés circulent constam-