

Bibliothèque numérique

medic@

Capitaine, F.. - De l'influence des courants électriques sur les corps organisés, et de leur production spontanée pendant la vie

1839.

Paris : Imprimerie et fonderie de Rignoux, imprimeur de la Faculté de médecine

Cote : 90975



Licence ouverte. - Exemplaire numérisé: BIU Santé (Paris)

Adresse permanente : <http://www.biusante.parisdescartes.fr/histmed/medica/cote?90975x1839x03x01>

7
FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

CONCOURS

POUR

L'AGRÉGATION EN MÉDECINE

(SCIENCES ACCESSOIRES).

THÈSE

SUR LA QUESTION SUIVANTE :

DE L'INFLUENCE DES COURANTS ÉLECTRIQUES SUR LES CORPS ORGANISÉS,
ET DE LEUR PRODUCTION SPONTANÉE PENDANT LA VIE ;

Présentée et soutenue le mars 1839,

PAR F. CAPITAINE,

DOCTEUR EN MÉDECINE.

PARIS.

IMPRIMERIE ET FONDERIE DE RIGNOUX,

IMPRIMEUR DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE,


Rue des Francs-Bourgeois-Saint-Michel, 8.

—
1839

1839. — N° 4.

1

0 1 2 3 4 5 (cm)



CONCOURS

POUR

JURY DU CONCOURS.

Président.	M. ORFILA.
	MM. ADELON.
	DUMAS.
Professeurs.	PELLETAN.
	RICHARD.
	ROYER - COLLARD.
Secrétaire	M. BUSSY.
Agrégés.	MM. BAUDRIMONT.
	BOUCHARDAT.

COMPÉTITEURS.

MM. CAPITAINE.	MM. MIALHE.
MAISSIAT.	PERRIN.
MARTIN.	

PARIS.

IMPRIMERIE ET FONDRIE DE RIGNOUX,

IMPRIMER DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE,
Rue des Francs-Bourgeois-Saint-Michel, 8.

1839

1839 - N° 4

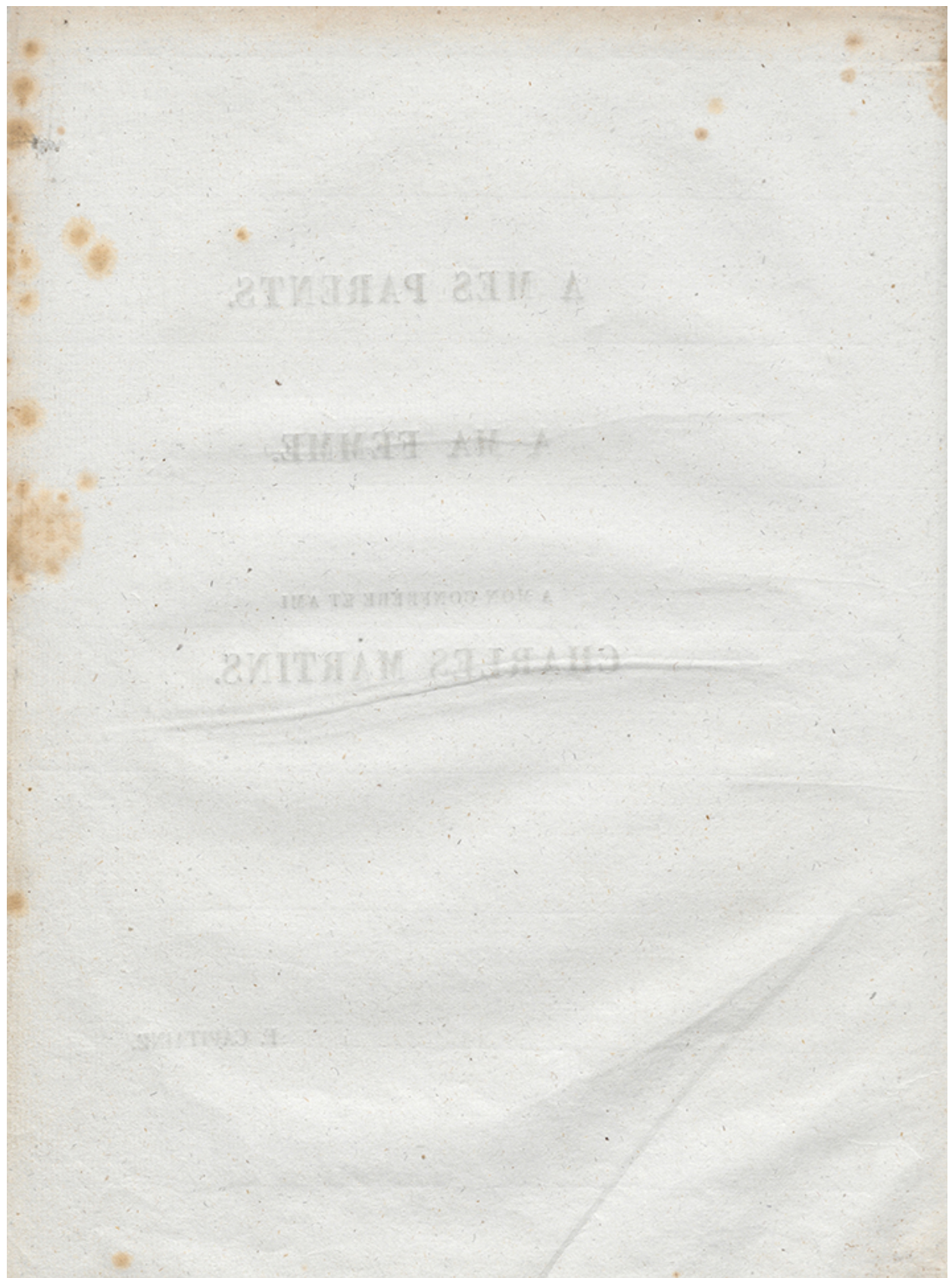
A MES PARENTS.

A MA FEMME.

A MON CONFRÈRE ET AMI

CHARLES MARTINS.

F. CAPITAINE.



CONCOURS

POUR

L'AGRÉGATION EN MÉDECINE.

QUESTION.

*De l'influence des courants électriques sur les corps organisés,
et de leur production spontanée pendant la vie.*

Les annales du monde savant ne présentent à aucune époque l'exemple d'un ébranlement aussi profond et aussi énergique que celui qui lui fut imprimé par les découvertes presque simultanées de Volta et de Galvani. En effet, tandis que le premier, dotant la physique de tant de faits et d'instruments précieux, ouvrait avec éclat cette carrière de conquêtes dont chacun de nos pas semble accroître l'étendue et reculer les limites, les prodigieuses expériences du second, adressées à la curiosité inquiète et crédule de son siècle, l'agitèrent plus vivement encore. Rappelons-nous, en effet, que la philosophie de cette époque, ayant prononcé l'affranchissement complet et définitif de la raison humaine, il était nécessaire, pour que celle-ci pût entrer en possession de ses nouveaux droits, que les ténèbres qui l'enveloppaient de toutes parts se dissipassent à la voix de la science et de la logique. Tout mystère quelle que fût sa nature, était donc pros- crit sans appel, et les problèmes qui se refusaient décidément à une solution immédiate étaient ajournés à des temps plus favorables.

Au premier rang des questions embarrassantes se trouvait l'influence de la volonté sur le mouvement; il avait été impossible, malgré des efforts inouïs, de lui trouver une réponse tant soit peu satisfaisante; et, après avoir décidé, *a priori*, que cette influence devait être purement physique de sa nature, l'on s'était résigné à attendre que la science voulût bien en donner la preuve. Il est indispensable de se représenter cet état de choses, ce besoin général des esprits, pour comprendre la profonde impression que produisirent les expériences de Galvani, variées de mille façons plus saisissantes les unes que les autres par les savants de son époque. Le principe vital, ce Protée insaisissable, était donc enfin surpris et enchaîné : la science humaine allait pouvoir prononcer sur sa nature, analyser les circonstances de sa production, les réunir peut-être à son gré, et les faire naître sous ses yeux; encore quelques pas, quelques efforts, et elle allait prendre possession des plus imposantes conquêtes! L'appel a été entendu. Les hommes les plus illustres se sont élancés dans cette voie nouvelle, récoltant çà et là sur leur route quelques faits nouveaux et inattendus. Mais, hâtons-nous de le dire par anticipation sur les conclusions qui doivent découler de ce travail, le but qu'ils voulaient atteindre, qu'ils semblaient, pour ainsi dire, toucher du doigt, ce but a fui devant eux, peut-être sans retour. En dépit de tant de travaux, le problème posé dans les mêmes termes est resté inaccessible, et aujourd'hui, comme avant Galvani, il est toujours impossible de lui prévoir une solution ni prochaine ni même probable. Quelques expériences plus curieuses qu'instructives, quelques moyens nouveaux d'investigation physiologique, enfin quelques applications thérapeutiques sur la valeur desquelles l'expérience n'a pas encore suffisamment prononcé, voilà tout ce qui est résulté de ce grand concours d'hommes et d'intelligences, tandis que les physiciens qui ont su se contenter de développer rationnellement les découvertes de Volta ont enrichi la science d'une multitude de faits qui resteront, et qui promettent au genre humain, sans franchir les limites imposées à sa curiosité, les plus intéressantes et les plus utiles révélations.

Après avoir ainsi donné sommairement l'histoire et la position actuelle de la question qui m'occupe, considérée sous le point de vue le plus élevé, il est temps d'entrer réellement en matière, et de justifier les conséquences que j'ai annoncées, par l'exposé et la discussion de tout ce que l'on connaît relativement à l'influence des courants électriques sur les êtres organisés, et à la production spontanée et naturelle de ces courants pendant la vie. L'énumération rapide de tous les faits que la science possède m'amènera à discuter la valeur des inductions que l'on en a tirées pour l'explication des phénomènes vitaux, et à poser des conclusions qui, du reste, représenteront l'opinion des hommes les plus capables de décider sur cette matière.

Découvertes et théorie de Galvani.

La science électrique, sortie enfin de l'engourdissement stérile où elle était restée plongée pendant une longue suite de siècles, et enrichie par les découvertes précieuses de Gilbert, d'Otto de Gueric, de Gray, de Dufay, et de tant d'autres savants, commençait à s'établir et à se constituer. La machine électrique, la bouteille de Leyde, étaient connues, et leurs effets, si étranges sur l'économie, avaient fait naître un enthousiasme de curiosité impossible à décrire. Enfin Volta, préludant à ses travaux par la découverte de l'électrophore et de l'électroscope, venait de constater la production de l'électricité de contact, et de poser ainsi les principes qui devaient le conduire plus tard à la construction de l'instrument fameux auquel il a laissé son nom, lorsque Galvani fut témoin, par hasard, des contractions musculaires produites par le choc en retour dans une grenouille préparée d'une certaine manière, et placée à proximité d'une machine électrique en activité. Frappé de cette observation, il la répéta un grand nombre de fois en en variant les circonstances, et il découvrit que tous les genres d'électricité, aussi bien celle de la machine et de la bouteille de Leyde, que l'électricité atmosphérique, pouvaient, par leur action directe ou médiate, déterminer des contractions dans la grenouille, pourvu

qu'elle fût morte, et que les nerfs fussent isolés et découverts. Enfin, en continuant ses recherches, il vit que ce phénomène pouvait se reproduire sans employer toutes ces puissances physiques, et qu'il suffisait pour cela d'un arc composé d'un seul métal, ou mieux, de deux métaux établissant un circuit entre le nerf principal d'un membre et les muscles dénudés auxquels il se distribue. L'état de la science à cette époque ne lui permettait pas de soupçonner dans cet arc métallique la source d'un courant électrique; il ne put donc envisager que la conductibilité, et, en rapprochant ses diverses expériences, il en déduisit une théorie que l'on peut résumer ainsi que je vais le faire:

Toute contraction musculaire est produite par le passage de l'électricité. Pendant la vie, le cerveau sécrète une grande quantité de ce fluide, qui, suivant la direction des nerfs, qui sont ses conducteurs, se distribue aux fibrilles musculaires, et s'accumule sur une de leurs faces, tandis que sur la face opposée, dont elle est séparée par une couche isolante, se produit une accumulation égale de fluide contraire et dissimulé, ainsi que cela se passe dans la bouteille de Leyde. Quand la contraction doit avoir lieu, la recombinaison de ces fluides se fait par l'intermédiaire de la peau, des nerfs cutanés qui retournent au cerveau, et, enfin, des nerfs qui en partent pour se rendre aux muscles en question. Après la mort, et lorsque l'animal est préparé de telle sorte que la partie postérieure est écorchée et séparée de la partie antérieure, le circuit est interrompu, et la recombinaison ne peut plus se faire, à moins qu'un arc métallique faisant communiquer le nerf et le muscle ne rétablisse leur continuité conductrice, et n'offre un passage facile aux deux électricités opposées. On voit que cette théorie ingénieuse supposait trois choses : la sécrétion électrique du cerveau, la conductibilité des nerfs, et enfin cette constitution particulière de la fibrille charnue. Du reste, elle ne cherchait pas même à rendre compte de la manière dont le mouvement électrique produisait la contraction. Nous verrons plus loin comment cette lacune a été remplie.

La publication de ces faits et de la théorie audacieuse que Galvani

en avait déduite causa une impression profonde et générale; j'en ai déjà dit les raisons : les expériences furent répétées et variées de mille manières par les physiciens, et surtout par Volta, qui dirigea particulièrement son attention sur cette circonstance, qu'un arc composé de deux métaux agit avec beaucoup plus d'efficacité qu'un arc métallique homogène. Possédant déjà, ainsi que je l'ai dit plus haut, la certitude que deux corps, et surtout deux métaux différents, produisaient par leur contact une décomposition électrique, il ne vit dans les phénomènes observés par Galvani qu'un des effets de sa force électromotrice, les muscles de la grenouille se contractant sous l'influence du courant particulier développé au sein du couple bi-métallique, comme lorsqu'ils sont soumis à l'action de la machine, de la bouteille de Leyde, ou de l'électricité atmosphérique. Galvani défendit avec talent son hypothèse, et, aidé de son neveu et collaborateur Aldini, sembla sur le point de l'emporter, surtout quand il fit voir qu'un arc métallique, ou simplement conducteur, n'était pas nécessaire pour obtenir la contraction, puisqu'il suffisait pour cela de mettre les muscles de la grenouille en contact avec ses nerfs, sans aucun intermédiaire. Mais ce principe physique au sein duquel Volta se retranchait était d'une telle largeur, qu'aucun fait ne pouvait lui échapper; car il suffisait, d'après lui, du contact de deux substances sensiblement différentes, tels qu'un nerf et un muscle, pour produire un courant, et, par conséquent, une contraction. En effet, Volta avait mis hors de doute, par ses expériences, la production de l'électricité dans toutes les circonstances de ce genre : ainsi, en suspendant les membres pelviens d'une grenouille par ses nerfs lombaires, et touchant simplement ces nerfs avec un morceau de muscle, il avait obtenu une contraction. La théorie de Galvani, qui impliquait tant d'hypothèses étranges et purement gratuites, dut succomber devant ces preuves décisives. Elle est abandonnée maintenant, et cependant il est aujourd'hui démontré que Galvani avait raison jusqu'à un certain point. Dans ces derniers temps M. Nobili a mis hors de doute l'état électrique différent des nerfs et des muscles de la grenouille, préparée de la manière

que nous avons décrite. Il a prouvé que les premiers sont positifs par rapport aux seconds, et que la contraction qui se produit quand on les réunit par un arc d'un seul métal dépend de la recombinaison des deux fluides en excès opposé sur chacun de ces organes. Ajoutons que, suivant M. Nobili, cet état électrique ne dépend en aucune manière des propriétés vitales de la grenouille, mais uniquement des conditions physiques résultant de la préparation qu'on lui a fait subir.

Acceptons donc maintenant la théorie de Volta, comme démontrée et établie, et, avant de la soumettre elle-même à la discussion, passons en revue toutes les expériences, toutes les découvertes de faits, auxquelles ces premiers travaux ont donné naissance.

Galvani fut un des premiers à essayer sur d'autres animaux l'effet de la puissance qu'il venait de découvrir. Avec l'aide de son neveu Aldini, il opéra sur une tête de bœuf, et, en faisant passer l'électricité des centres nerveux dans les différents muscles de la face, il fit naître à son gré tous les mouvements dont ces parties sont susceptibles.

Sur ces entrefaites, la découverte de la pile de Volta mit entre les mains des physiologistes un instrument beaucoup plus commode et plus puissant, et permit de varier et de multiplier à l'infini les expériences. C'est avec son secours que le docteur Andrew Ure obtint sur les suppliciés ces résultats fameux tant exploités par les faiseurs de romans, pour agir sur les nerfs irritables des femmes vaporeuses ou des jeunes gens étiolés. En faisant circuler l'électricité à travers un cadavre, la vie sembla y rentrer à sa suite, et le mouvement des membres, le jeu mécanique des diverses fonctions, se rétablirent instantanément, ou cessèrent de même, suivant que la volonté de l'observateur y dirigeait le courant en fermant le circuit, ou l'interrompait en supprimant tout contact. M. de Humboldt, auquel toutes les sciences humaines sont également familières et également redevables, étudia l'action du galvanisme sur les diverses classes d'animaux. Sur les animaux à sang chaud il constata tous les résultats de Galvani, de Ure, et de tant d'autres, et il s'assura de plus que, chez eux, le diaphragme

était le muscle qui obéissait le plus facilement à l'action électrique; les animaux à sang froid n'ont paru différer des autres qu'en ce que leur excitabilité électrique se conserve bien plus longtemps. Il révéla quelques particularités relatives à l'emploi de la grenouille pour ce genre d'expériences, et aux conditions les plus favorables à leur succès. En général, elles réussissent beaucoup mieux pendant la saison froide, et les sujets doivent être pris avant l'époque de la fécondation.

M. de Humboldt voulut aussi étudier l'action particulière de l'électricité sur les muscles indépendants de la volonté, tels que ceux du cœur, de l'estomac et du canal intestinal; mais il ne put rien obtenir de constant. Bichat ne fut guère plus heureux en s'occupant de la même question; cependant il obtint des contractions évidentes sur le premier de ces organes, en l'arrachant de la cavité thoracique, et le soumettant rapidement à l'influence d'une armature électro-motrice. Enfin MM. Vassali, Giulio et Rossi, dans un mémoire qu'ils présentèrent à l'Académie de Turin, annoncèrent qu'ils avaient obtenu constamment des effets de contraction sur les muscles de la vie organique en opérant très-peu de temps après la mort.

Suivant ces physiologistes, quarante minutes après la mort suffisent pour faire perdre entièrement au cœur de l'homme toute son excitabilité. Dois-je mentionner ici, comme preuve de l'influence galvanique sur les muscles indépendants de la volonté, l'expérience d'Achard, de Berlin, qui, en portant dans sa bouche une lame de zinc, et introduisant de l'autre main un cylindre d'argent dans le rectum, déterminait aussitôt des mouvements péristaltiques de l'intestin, puis une défécation; ou celle de M. de Humboldt, qui se servit de la même disposition pour rappeler à la vie une linote près d'expirer, et la surexciter à tel point qu'elle put encore se relever et battre des ailes? Puisque je suis revenu à cet illustre savant, achevons le compte rendu de ses travaux dans cette direction, en rappelant qu'à l'aide de l'excitation électrique, il est parvenu non-seulement à produire des mouvements dans les différents muscles, mais encore à modifier profondément la na-

ture des sécrétions. Le courage qu'il a déployé dans ces douloureuses recherches mérite que nous en fassions une mention toute spéciale : il se fit appliquer un vésicatoire sur le muscle deltoïde de chaque côté, puis, quand la peau fut dénudée, il posa sur l'une des plaies une plaque d'argent, et une de zinc sur l'autre, en établissant la communication à l'aide d'une lame métallique : il éprouva bientôt de vives douleurs, mais, de plus, la sérosité exhalée par la plaie, recouverte au moyen de la lame de zinc, changea de nature, devint rougeâtre, ichoreuse, et tellement corrosive, qu'elle excoriat la peau sur laquelle elle coulait.

En analysant ces résultats à l'aide des connaissances que nous possédons aujourd'hui, nous voyons que le système métallique dont M. de Humboldt se servait représentait une pile dont l'argent était le pôle négatif, et le zinc, le pôle positif; que le dernier attirait par sa présence à la surface de la plaie les liquides négatifs ou acides, au point de pouvoir en déterminer la formation, et de donner ainsi une excessive acreté aux humeurs qu'elle exhalait. La lame d'argent devait produire un effet opposé, et modifier dans le sens alcalin la nature chimique de la surface avec laquelle elle était en contact. Ces expériences semblent pouvoir servir de base pour l'application rationnelle de l'électricité à la thérapeutique. C'est ainsi, du moins, que M. Orioli les a interprétées dans l'ouvrage où il traite cette question; et il paraît qu'en étudiant attentivement les réactions liquides sécrétées à la surface des plaies rebelles, et en les modifiant par le contact d'une armature métallique appropriée, il est parvenu à obtenir des cicatrisations que nulle autre méthode connue n'aurait permis d'espérer.

L'emploi médical de l'électricité n'est pas compris dans la question dont je m'occupe; cependant je dois faire encore une exception en faveur de la méthode curative du tétanos et de la paralysie, qui a été proposée par M. Nobili, et avec d'autant plus de raison, qu'elle est appuyée sur la découverte de plusieurs faits intéressants relatifs à la myotilité électrique. Ce savant physicien, en multipliant ses expériences sur les grenouilles, observa que quelques-unes, soumises au

passage d'un courant souvent et brusquement interrompu, présentent tous les symptômes de l'état tétanique, tandis que cela n'arrive jamais quand le courant circule avec continuité; au contraire, dans cette dernière condition, les muscles présentent un haut degré d'inertie et de relâchement. Il en conclut que ces deux effets étaient opposés l'un à l'autre, comme les causes qui les avaient produits, et qu'ils devaient pouvoir se neutraliser réciproquement. Pour éprouver cette idée, il soumit à un courant continu une grenouille, que la succession d'un grand nombre de chocs électriques avait affectée de tétanos, et il s'assura que cette nouvelle influence dissipait la roideur musculaire. Il a donc proposé le courant électrique continu contre cette terrible maladie, et cette méthode, mise en usage par le docteur Farina de Ravenne, dans un cas tout à fait désespéré, a obtenu un demi-succès; car les douleurs et les contractions ont cessé tout à coup, comme par enchantement, ce qui n'a pu sauver le malade, trop affaibli par les accidents précédents. Ce médecin a eu soin, comme M. Nobili le recommande, de rendre la première introduction du courant et son interruption aussi douces, aussi insensibles que possible, afin de ne provoquer aucune contraction musculaire. M. Nobili a fait observer encore que l'action relâchante du courant continu défend de l'employer pour combattre les paralysies par défaut de ton, et que ces maladies, précisément contraires au tétanos, réclament l'usage des chocs successifs, qui aggraveraient nécessairement cette dernière affection.

Expériences sur la sensibilité.

Nous venons de voir l'influence électrique agir sur la myotilité, et modifier la nature des sécrétions. Étudions-la maintenant dans ses rapports avec la sensibilité, et voyons-la produire des impressions aussi bien que des mouvements. Pendant que la discussion entre Volta et Galvani partageait le monde savant, Pfaff, professeur à Kiel, en étudiant les expériences de ce dernier sur la grenouille, s'aperçut que la contraction avait lieu lorsqu'on interrompait le circuit métallique,

aussi bien qu'à l'instant où on le fermait, et publia ce fait, également inexplicable alors pour les deux théories en faveur. Cette observation s'étant généralisée, embarrassa beaucoup les physiciens jusqu'au moment où Ritter découvrit le principe des piles secondaires, qui peut s'exprimer en ces termes : Quand un système conducteur a été traversé quelque temps par un courant électrique dirigé dans un sens quelconque, mais constant, et qu'on vient à interrompre le circuit, le système se trouve posséder une polarité électrique inverse de celle que le courant pouvait lui donner, et il en résulte un courant dirigé en sens contraire : ainsi quand, à l'aide d'un arc métallique électromoteur, l'on fait communiquer les nerfs et les muscles d'une grenouille préparée, il en résulte une contraction due au passage du fluide produit par le contact des deux métaux ; puis, si l'on ouvre le circuit, une nouvelle circulation électrique, mais inverse de la première, se produit aussitôt, d'où résulte une seconde contraction. Si le premier courant, ou courant direct, était dirigé des nerfs aux muscles, le second cheminera des muscles aux nerfs, dont, pour ainsi dire, il remontera la pente, et sa route sera celle que suivent les impressions pour se rendre au cerveau. Du reste, si le courant primitif est actif, et l'animal très-excitabile, il se produit dans ces deux circonstances inverses des contractions qui n'offrent aucune différence ; mais, si la grenouille est fatiguée, il n'en est plus de même, ainsi que M. Nobili l'a observé. Le courant primitif va-t-il des nerfs aux muscles, la contraction se produit quand on ferme le circuit ; mais il ne se produit rien quand on l'interrompt. Le courant est-il dirigé des muscles aux nerfs, la contraction est nulle quand on ferme le circuit ; et, au contraire, c'est en l'ouvrant qu'on peut le faire naître. Ainsi le courant le plus propre à déterminer des mouvements musculaires doit suivre les nerfs dans leurs ramifications ; le courant contraire paraît beaucoup moins apte à remplir cette fonction. Quel est donc son effet spécial ? C'est pour répondre à cette question que M. Marianini fit l'expérience que je vais décrire : Il prépara une grenouille de telle sorte que ses deux moitiés antérieure et postérieure ne tenaient plus l'une à l'autre que par les nerfs lombaires, restés intacts ; puis il plongea les membres thoraciques et abdomi-

naux dans deux verres pleins d'eau où venaient se rendre les pôles d'une pile faiblement chargée. Le circuit étant ainsi complété, voici ce qu'il observa : Le courant entrant-il par la partie antérieure pour s'écouler à travers les pattes de derrière, en suivant la direction des nerfs, celles-ci se contractaient vivement, mais l'animal ne donnait aucun signe de sensibilité; si le sens du courant était interverti, les contractions devenaient faibles, et même nulles; mais en même temps l'agitation convulsive des membres antérieurs et de la poitrine, les efforts que l'animal faisait pour crier, ne laissaient aucun doute sur la sensation douloureuse qu'il éprouvait. M. Marianini s'assura encore d'une autre manière des propriétés inverses des deux courants. En faisant communiquer les deux verres où se rendaient les pôles d'une pile, au moyen d'un arc conducteur formé par les deux pattes postérieures d'une grenouille entière, mais écorchée, il vit que le membre par lequel le courant pénétrait n'éprouvait rien, tandis que l'autre, qui servait à lui donner écoulement, était agité par de vives contractions. Enfin, comme le même savant l'a encore observé, si l'on fait passer à travers ses deux bras le courant d'une pile fortement chargée, l'on éprouve une sensation douloureuse dans celui qui communique avec le pôle positif, et des secousses sans douleur dans l'autre bras, qui complète le circuit.

Le sens du toucher n'est pas le seul que le fluide électrique ait le pouvoir de modifier; les autres sens peuvent en être affectés également, et avec cette circonstance, commune et singulière, que, sur tous, l'influence électrique se révèle par une sensation de la nature de celle que l'organe est destiné à percevoir. Ainsi le passage du courant au voisinage de l'œil, pour peu qu'il rencontre quelque nerf ayant avec ceux qui servent à la vision une connexion anastomotique, suffit pour produire une apparition lumineuse d'un grand éclat. Pour éprouver son action sur l'organe de l'ouïe, il est nécessaire de faire pénétrer un des pôles au fond du conduit auditif externe, tandis que l'autre s'applique sur quelque point de la cavité buccale : l'on entend alors un bourdonnement fort et bien distinct, analogue à celui qui accompagne

certaines névroses de l'appareil auditif. Il n'y a pas de fait plus connu que l'impression sapide que l'on perçoit en plaçant la pointe de la langue entre deux disques de métaux différents que l'on fait toucher par un point de leur périphérie. Si le métal positif est au-dessus, la saveur semble acide; elle est alcaline, au contraire, si le métal négatif se trouve à son tour en contact avec la surface sensible de l'organe du goût. C'est ici le lieu de mentionner cette singulière observation de Volta, rapportée dans le tome XXIII des *Annales de chimie*. Si l'on saisit avec la main mouillée une capsule d'étain contenant une solution fortement alcaline, et que l'on y plonge l'extrémité de la langue, l'on percevra d'abord une saveur franchement acide, qui bientôt deviendra salée, puis, enfin, urineuse. Voici de quelle manière Volta a expliqué ce fait étrange : « Le contact de la main mouillée avec la capsule d'étain produit dans ce métal un excès de fluide négatif qui se répand dans le liquide alcalin, et, passant dans la langue aussitôt qu'elle y est plongée, y produit une saveur acide qui s'affaiblit bientôt à mesure que ce liquide, imbibant de plus en plus les téguments de la langue, neutralise, par la saveur qui lui est propre, celle qui est due au passage du fluide négatif, et qui finit par disparaître quand elle est devenue relativement trop faible. Le sens de l'odorat est le sens qui, jusqu'à présent, ait échappé à la règle générale. Les courants électriques portés avec toutes les précautions possibles sur la membrane muqueuse olfactive n'ont pu produire autre chose jusqu'à présent qu'une douleur pongitive insupportable. Ce résultat s'explique en réfléchissant à l'extrême sensibilité des nerfs de l'odorat, et à leur situation superficielle. Le courant le plus faible est encore beaucoup trop énergique pour un appareil d'une si exquise délicatesse. Hâtons-nous de dire, en passant, que ces observations curieuses ont été mises à profit par la thérapeutique. L'électricité paraît être le moyen le plus sûr et le plus énergique à opposer aux paralysies des organes des sens : c'est, du moins, ce qui résulte de plusieurs faits remarquables, et dont les noms les plus honorables garantissent l'authenticité.

Je ne puis mieux terminer cette énumération des effets de l'électri-

cité sur l'économie animale qu'en rappelant la fameuse expérience de Philipp Wilson, qui, ayant coupé les nerfs pneumo-gastriques sur un lapin dont l'estomac était rempli d'aliments, vit le travail digestif se suspendre, puis parvint à le rétablir en faisant passer un courant électrique dans l'organe par le bout inférieur des nerfs. Il semble résulter de cette expérience qu'il est indifférent, pour que la fonction s'accomplisse, que l'appareil communique avec le cerveau, ou avec une source d'électricité. Une conséquence analogue paraît découler naturellement de tous les autres faits que j'ai rapportés. Ainsi nous avons vu un animal mutilé recevoir d'un appareil voltaïque les ordres de mouvement que son cerveau détruit ne pouvait plus lui communiquer. Les expériences faites sur les organes de la sensibilité semblent prouver, de plus, qu'un courant électrique, circulant dans les nerfs de leur terminaison à leur origine cérébrale, peut y apporter une sensation qui, malgré l'uniformité de son origine, revêt un caractère spécial pour chacun d'eux. En présence de pareils faits, il était bien difficile de ne pas partager les illusions de Galvani, et de se refuser à conclure, comme lui, que le fluide électrique, à l'aide duquel on peut reproduire si fidèlement tous les phénomènes de la vie, en était l'agent naturel et spécial, et qu'en un mot, il y avait identité absolue de nature et de propriétés entre lui et le fluide nerveux.

Théorie électro-vitale.

Cette opinion fut adoptée, en effet, par un grand nombre de physiologistes qui, dès lors, s'occupèrent à l'envie à rechercher la cause productrice de l'électricité animale. Il parut nécessaire, ainsi que Galvani l'avait pensé, de lui assigner le cerveau comme siège, et cette proposition étant admise, il ne s'agit plus que de découvrir dans cet organe les conditions physiques d'une pile. L'hypothèse de Volta sur le mécanisme de ces appareils, hypothèse alors généralement adoptée, rendit cette recherche extrêmement facile. En effet, comme il était admis, en vertu de cette hypothèse, que le contact de deux substances

sensiblement hétérogènes suffisait pour produire de l'électricité, on n'avait plus, pour ainsi dire, que l'embarras du choix; car, dans un corps organisé, où ne trouve-t-on pas de substances hétérogènes en contact? Ajoutons même que, sous ce rapport, le cerveau paraît merveilleusement disposé; car sa constitution élémentaire peut être représentée par une lame formée de deux couches hétérogènes adossées l'une à l'autre, l'une, de couleur grise, qui est extérieure, l'autre, intérieure, de couleur blanche, et d'une moindre consistance. La moelle épinière présente la même opposition de tissus, avec cette différence que les deux matières sont disposées en sens inverse, la grise occupant l'axe, et la blanche, la périphérie. Telle était la source de l'électricité destinée à l'exercice des fonctions organiques et des fonctions de relation volontaire, électricité qui devait se rendre des centres nerveux aux organes. Quant aux fonctions de relation involontaire, c'est-à-dire, aux sensations, leur électricité était produite, non plus à l'origine commune des nerfs, mais à leur terminaison, par l'impression mécanique des agents spéciaux. Quand on connaît l'instabilité extrême de l'équilibre électrique que le plus faible ébranlement moléculaire peut troubler, on ne peut se refuser à admettre, en effet, que le choc des vibrations lumineuses sur la rétine, et, à plus forte raison, l'ébranlement communiqué aux renflements terminaux du nerf auditif par les vibrations du liquide de Cotugno, ne soient très-capables de modifier leur état électrique, et, par conséquent, d'engendrer des courants en rapport d'intensité et de nature avec l'accident qui en est la cause première. A l'égard des impressions qui agissent sur le toucher, et qui constituent, pour ainsi dire, des violences mécaniques au prix de celles dont je viens de parler, on ne peut conserver de doutes sérieux. Il en est de même des sensations perçues par le goût et l'odorat, et qui sont dues vraisemblablement à des réactions chimiques particulières, réactions qui constituent la cause la plus puissante et la plus commune des mouvements électriques. Ici se présente, il est vrai, une difficulté à laquelle les physiologistes n'ont pas fait assez d'attention, et qui peut faire naître des doutes sérieux sur la valeur de cette théo-

rie. En effet, il ne suffit pas, pour que la vérité soit démontrée, de l'existence au sein de l'économie vivante des circonstances capables de troubler l'équilibre électrique, ce qui ne saurait être contesté raisonnablement, dût-on même renoncer à l'effet électro-moteur du contact des deux substances nerveuses; il faut encore qu'il se trouve dans tous les lieux où les fluides sont séparés, et pour empêcher leur recombinaison immédiate, une matière douée d'une conductibilité beaucoup plus parfaite, afin qu'ils s'y répandent de préférence pour y opérer leur neutralisation, malgré la différence énorme des trajets. Pour rendre cette objection plus facile à saisir, je l'appuierai d'une observation faite par M. Faraday : ce célèbre physicien a vu qu'en combinant de l'acide sulfurique avec une dissolution de potasse, et plongeant dans le vase les deux extrémités d'un multiplicateur, on n'obtenait aucune trace d'électricité, quoique, dans cette réaction, il y en ait certainement une énorme quantité de dégagée. C'est que les fluides contraires, chassés de chaque molécule par sa neutralisation, se trouvant en présence à une distance infiniment petite, se recombinaient aussitôt avec beaucoup plus de facilité qu'ils ne le feraient s'il leur fallait traverser le circuit du multiplicateur, malgré sa conductibilité bien supérieure à celle du liquide. Il est vrai que M. Becquerel, en répétant la même expérience, est parvenu à obtenir un courant électrique, mais c'est en s'entourant de conditions qui confirment la vérité de ce que je viens de dire : ainsi, au lieu de laisser les deux liquides se mêler librement, il ne les a mis en contact que par une portion de leur surface, et a gêné leurs mouvements, de telle sorte que l'électricité, mise en liberté sur chacune des faces opposées de la couche au sein de laquelle la réaction s'opérait, éprouvant beaucoup de résistance à la traverser, passait en partie dans le circuit du multiplicateur. Pour appliquer cela à la question qui m'occupe, je dirai qu'indépendamment des contacts hétérogènes, sur l'efficacité desquels il est permis d'ailleurs aujourd'hui d'élever des doutes sérieux, l'économie vivante est le siège d'une foule de réactions chimiques dé-

pendantes de la nutrition, qui mettent certainement l'électricité en mouvement dans tous les points, et au cerveau plus qu'ailleurs, puisque c'est l'organe qui reçoit le plus de sang eu égard à sa masse, et dans lequel, par conséquent, le mouvement nutritif se fait avec la plus grande activité. Mais, pour que cette agitation électro-chimique déterminât des courants dans les nerfs, il serait nécessaire qu'ils jouissent d'une conductibilité bien supérieure à celle des autres tissus : or, c'est ce qui n'a jamais pu être démontré. M. Peltier, entre autres, a fait un grand nombre d'expériences à ce sujet, et il a constaté qu'il n'y avait aucune différence sensible, à volume égal, entre les nerfs et les muscles ; M. Nobili est arrivé aux mêmes résultats. D'ailleurs les substances organisées, comparées aux métaux, sont de fort mauvais conducteurs. Cela pourrait-il être, si l'électricité était destinée à jouer un rôle si important dans l'économie animale ? L'œil, destiné à nous mettre en rapport avec l'agent de la lumière, n'est-il pas le plus admirable et le plus parfait des instruments d'optique ? L'oreille n'est-elle pas aussi un appareil acoustique, si profondément combiné, qu'il nous faudra sans doute bien perfectionner nos connaissances sur la théorie du son pour en analyser le mécanisme et l'admirer autant qu'il le mérite ? Que ne pourrait-on pas dire de l'exacte et minutieuse appropriation des autres organes des sens aux fonctions qu'ils sont destinés à remplir ? Maîtresse de tous les secrets de la nature, parce que c'est elle qui a tiré du néant la nature et ses secrets, la Providence, si elle avait réellement dévolu au système nerveux les fonctions qu'on lui attribue dans la théorie électrique, lui aurait assigné une structure tellement en rapport avec ses usages, qu'on pourrait y trouver non-seulement l'application de toutes les propriétés connues de l'électricité, mais encore l'indice de tout ce qui nous reste à découvrir sur cet agent mystérieux : c'est ainsi qu'Euler, par l'étude approfondie de l'œil, et sa foi aux causes finales, a été conduit à deviner l'achromatisme, qui avait échappé à Newton !

Les physiologistes, pour sortir de l'embarras où les jetait l'objection relative à l'imparfaite conductibilité des nerfs, ont supposé, tout à fait

gratuitement, qu'il pouvait y avoir relativement à cette propriété une grande différence entre les nerfs considérés pendant la vie ou après la mort.

Application aux phénomènes de la vie.

Mais laissons là pour un moment les objections légitimes que l'on peut faire au système que nous exposons, et, acceptant comme des faits démontrés la sécrétivité électrique des centres nerveux et les fonctions conductrices des cordons qui en proviennent, voyons comment les physiologistes les ont appropriés à l'explication des phénomènes de la vie. Ces phénomènes peuvent être partagés en quatre classes : 1° sensation ; 2° nutrition ; 3° sécrétion ; 4° mouvement.

Nous avons exposé suffisamment le mécanisme de la sensation au point de vue électrique ; pour compléter nos connaissances à ce sujet, il nous reste à savoir comment le courant sensitivo-moteur, parvenu au cerveau, se transforme en perception.

La nutrition dans les animaux supérieurs exige le concours de plusieurs fonctions, telles que la respiration, dont le but paraît être de donner au sang ses vertus réparatrices et excitantes, et la circulation, dont un des objets est d'amener au sein même de la trame organique les matériaux destinés à la renouveler et à l'entretenir. C'est là que se passe le phénomène de la nutrition, composé, sans aucun doute, du transport des matériaux, du point où la circulation les dépose, jusqu'à la molécule à laquelle ils sont destinés, d'une combinaison et d'une décomposition dont les produits éliminés sont charriés de même par une force indépendante de la circulation, jusqu'aux derniers ramuscules veineux. Transport à travers des liquides conducteurs, combinaison, décomposition, tout cela peut se reproduire sous l'influence des courants électriques dont on peut même déterminer la nature et la direction à l'aide de l'examen chimique du sang artériel et du sang veineux.

Les sécrétions se font à l'aide d'organes glanduleux plus ou moins compliqués, dépendants de l'enveloppe cutanée externe et in-

terne. Ces sécrétions présentent de grandes variétés dans leur nature et leur usage comme dans les circonstances anatomiques et physiologiques de leur production. Mais, au point de vue qui nous occupe, on peut les partager en deux classes, les sécrétions acides : telles que la sueur, l'urine, le suc gastrique, et les sécrétions alcalines, comprenant la bile, la salive et le mucus intestinal. Les premières exigeront un état électro-négatif dans les organes qui les sépareront du sang, et les chasseront par les voies ouvertes à cet effet les secondes devront, au contraire, leur naissance à une prédominance électro-positive. Ces états électriques des organes n'ont jamais pu être démontrés; on n'a fait que les supposer d'après la réaction chimique de leurs produits excrétés, et en partant, comme principe, de l'existence nécessaire des courants. Voici, du reste, les expériences qui ont été faites pour éclairer cette partie. M. Donné s'est assuré qu'en mettant les deux pôles en platine du multiplicateur en contact avec les organes opposés par la nature chimique de leurs produits, on obtenait toujours un courant dont la direction confirmait l'idée qu'on devait se faire de la nature de leur électricité propre, mais qui pouvait également reconnaître pour cause la réaction du liquide de leurs sécrétions sur les lames réophoriques. Pour distinguer ce qui était dû à chacune de ces sources, M. Matteuci, ardent et habile défenseur de la théorie électro-vitale, répéta l'expérience de M. Donné, avec cette différence qu'il opéra sur le même animal pendant la vie et après la mort. Il annonça que, dans cette dernière circonstance, le courant avait beaucoup moins d'intensité, ce qui n'aurait pas dû arriver s'il avait été produit uniquement par l'état chimique des liquides. Il y a donc, suivant ce physicien, au sein de chaque organe sécréteur, une prédominance électrique spéciale en nature et en quantité, entretenue pendant la vie par l'action des centres nerveux, et qui se dissipe en donnant naissance à ses derniers produits, lorsque la mort arrête les fonctions cérébrales. Mais M. Donné, en répétant, avec tout le soin possible les expériences de M. Matteuci, n'a pu découvrir aucune trace des différences signalées par lui; et M. Berzelius est arrivé précisément aux mêmes résultats.

Ainsi, je le répète avec conviction, l'état électrique des organes est une assertion absolument dénuée de preuves, du moins jusqu'à ce jour.

Théorie de MM. Prevost et Dumas.

Ainsi que je l'ai déjà fait remarquer, Galvani, en combinant les éléments de sa théorie, n'avait eu en vue que d'expliquer la nature du mouvement électrique qui détermine la contraction musculaire, mais n'avait pas même essayé d'indiquer la liaison physique de ces deux faits. La physiologie électrique conserva quelque temps cette lacune, que MM. Prevost et Dumas ont enfin essayé de faire disparaître; et, procédant en cela avec plus de logique que leurs devanciers, ils ont voulu commencer l'étude de cette haute question par un examen anatomique complet de la nature du muscle, et de la manière dont les nerfs s'y terminent. Relativement à ce dernier point, qui nous intéresse particulièrement, voici ce qu'ils ont observé: les rameaux nerveux qui pénètrent dans l'épaisseur d'un muscle pour s'y distribuer tendent constamment à les couper à angle droit, et cette disposition est d'autant plus marquée que le filet nerveux est plus délié et plus près de sa terminaison. Quant à cette terminaison elle-même, ils ont constaté que le nerf, parvenu à son dernier degré de division, s'infléchissait vers le filet le plus voisin, et se réunissait à lui sans se ramifier davantage ni se perdre, de manière à former une anse simple analogue aux anastomoses par arcades qui confondent les dernières divisions des artères mésentériques. Cette disposition a été confirmée depuis par les observations de Valentin et de plusieurs autres anatomistes. Ainsi, d'après ces savants, les tissus musculaire et nerveux ne se confondent nulle part, et l'on ne doit plus appeler les muscles les extrémités mouvantes des nerfs, puisqu'ils en restent partout isolés anatomiquement. D'après la direction que les filets nerveux affectent relativement aux fibres musculaires, il se trouve que chacune d'elles est traversée de distance en distance par des intersections nerveuses qui les coupent à

angle droit, et qui forment des stries apparentes sur leur surface. En étudiant, à l'aide du microscope, la fibre musculaire dans l'état de relâchement et de contraction, ils ont vu que, pour passer du premier de ces états au second, la fibre, d'abord rectiligne, présentait ensuite l'apparence d'une ligne brisée par un grand nombre d'angles successivement opposés de direction, sans que sa longueur primitive semblât varier, et qu'ainsi son raccourcissement tenait uniquement à la première de ces circonstances. De plus, ils ont vu que le sommet de chaque angle se formait sur une des intersections nerveuses dont je viens de parler, ce qui semblait démontrer que c'était l'influence des nerfs qui déterminait les brisures dont le résultat était de rapprocher les uns des autres les filets parallèles. Mais dans l'hypothèse électro-vitale admise par MM. Prevost et Dumas, quelle pouvait être la cause physique de ce mouvement ? Ampère, développant avec le génie analytique qui le distinguait la découverte d'Oersted, venait de publier la série de ses mémoires sur l'électro-magnétisme, nom alors nouveau dans la science, ainsi que la science elle-même à laquelle il s'appliquait, et qui venait de naître, pour ainsi dire, toute armée du vaste cerveau de notre célèbre physicien. Il y était démontré, entre autres choses, que les courants électriques et les conducteurs qu'ils traversent s'attirent quand leur direction est la même. En admettant l'existence des courants électriques dans les nerfs, MM. Prevost et Dumas s'aperçurent qu'il devait y avoir nécessairement attraction entre les filets provenant d'un même tronc, et que la conséquence de leur rapprochement, en vertu de cette attraction, devait être un plissement de la fibre musculaire semblable à celui que l'observation, à l'aide du microscope, leur avait fait découvrir.

Cette théorie ingénieuse a l'avantage de ne s'appuyer que sur des faits anatomiques et des lois physiques bien démontrées ; aussi a-t-elle eu un immense succès. Malheureusement sa fortune étant liée à celle de l'hypothèse de Galvani, sur les fonctions du cerveau et des nerfs, elle devra, quoiqu'à regret, être abandonnée, s'il est démontré que cette hypothèse ne peut plus survivre aux atteintes que tant de découvertes

modernes lui ont portées. Avant d'aborder franchement la partie critique de mon travail, où ces découvertes trouveront naturellement leur place, disons quelques mots d'une observation de M. Prevost, qui était destinée à peser d'un grand poids dans la discussion, si elle eût été confirmée. Ce physiologiste plaça une aiguille d'acier à l'état naturel sur le nerf crural d'une grenouille, et perpendiculairement à sa direction; puis, ayant irrité l'animal de manière à l'obliger de contracter un grand nombre de fois les muscles auxquels ce nerf se distribue, il vit que l'aiguille avait acquis la propriété d'attirer la limaille de fer. Cette expérience mettait hors de doute le passage de courants électriques dans le nerf, pendant la contraction. Malheureusement un physicien français, dont chacun connaît les profondes connaissances et l'habileté expérimentale, M. Peltier, a répété l'expérience de M. Prevost, en s'entourant de toutes les précautions possibles pour qu'aucune cause étrangère ne pût agir sur l'aiguille, et, en se servant d'une aiguille astatique comme magnétoscope infiniment plus délicat que la limaille, il n'a pu découvrir aucune trace d'aimantation nouvelle.

En terminant cet exposé succinct de l'histoire et des applications de la théorie que je nomme électro-vitale, je rappellerai que je n'ai fait jusqu'ici que lui opposer des difficultés tirées de la comparaison entre la structure et les propriétés des appareils nerveux et les fonctions qu'on leur attribue dans cette théorie : c'est ainsi que j'ai parlé de l'imparfaite conductibilité des nerfs qui ne permettait pas de supposer que l'électricité, dans le cas où il s'en développerait, en effet, au sein de certains organes, ou même de tous, ce qui est probable, pourrait passer dans ces nerfs, de manière à former des courants véritables, susceptibles d'aller produire au loin des effets physiques ou chimiques. Mais je n'ai cité jusqu'ici aucune expérience dirigée contre la théorie elle-même, et fournissant la preuve directe que le fluide nerveux est absolument différent du fluide électrique; c'est maintenant ce que je vais essayer de faire.

Expériences et théories contraires

On savait, depuis Haller, que du sel, des acides, ou autres substances chimiques irritantes, déposées sur les muscles dénudés d'un animal mort, pouvaient produire leur contraction; qu'on pouvait obtenir le même effet en les exposant à la chaleur, en les tourmentant avec un instrument aigu, etc.

Lorsque Galvani publia ses expériences et sa théorie, plusieurs physiologistes ne voulurent voir dans l'électricité, à laquelle le professeur de Bologne attribuait un rôle si important, qu'un moyen irritant, nouveau et puissant à ajouter à la liste de ceux que l'on connaissait déjà. Des expériences de M. de Humboldt, de Volta, démontrèrent bientôt que l'on pouvait faire contracter les muscles isolés d'une grenouille en irritant seulement les nerfs. Muller avait fait la même observation. Souvent, en préparant l'animal pour ses expériences, il avait vu les muscles entrer en contraction à l'instant où la pointe de ses ciseaux rencontrait le tronc nerveux qui lui envoyait des rameaux, et il avait attribué cet effet au courant électrique déterminé dans son instrument par l'inégalité de température de la pointe et du manche qu'il tenait à la main. Pour s'en assurer, il fit passer un courant électrique à travers l'épaisseur de la portion libre du même nerf, et il obtint de même la contraction des muscles correspondants. Dans cette dernière expérience, il était évident que ce n'était plus l'électricité de l'électro-moteur employé qui, circulant dans le nerf, allait agir sur le muscle; mais l'on pouvait supposer, avec quelque raison, que le passage d'un courant à travers l'épaisseur d'un nerf pouvait troubler son équilibre électrique, et produire lui-même un courant par induction. Muller est parvenu à lever toute incertitude à cet égard à l'aide des moyens suivants : l'on sait que pendant la vie la ligature d'un nerf frappe sur-le-champ de paralysie les organes auxquels il se distribue.

Différence fondamentale entre les fluides nerveux et électrique.

La ligature empêche donc le passage du fluide nerveux, quel qu'il soit. Muller s'assura, par des expériences faciles, qu'il n'en était pas de même du fluide électrique, et qu'il circulait dans un nerf interrompu par une ligature presque aussi facilement que dans un nerf intact dans toute sa continuité. Pour faire avec succès cette expérience, il faut éviter de placer la ligature au point même où le nerf pénètre dans le muscle, et trop près de ce dernier, parce qu'alors le courant électrique ne produit plus de contraction : cela dépend de ce que ce courant éprouve un peu moins de facilité à traverser le nerf, dont la ligature diminue le diamètre et dessèche l'intérieur. Trouvant alors à sa portée le tissu musculaire, qui est aussi bon conducteur, il s'y répand dans toutes les directions, et ne se trouve plus dans les conditions convenables pour produire la contraction. Il est donc nécessaire de placer la ligature à une certaine distance de la masse musculaire. Ce fait une fois démontré, et possesseur d'un moyen certain de distinguer le fluide nerveux du fluide électrique, Muller l'a appliqué à l'analyse de l'expérience en question. Ayant lié le bout isolé du nerf lombaire d'une grenouille, il a fait passer le courant à travers son épaisseur, et au-dessus de la ligature : il n'y a pas eu le moindre vestige de contraction. Ce n'était donc pas le fluide électrique qui la déterminait avant que le nerf fût lié, car cet obstacle ne l'eût pas arrêté. Il n'en est pas de même du fluide nerveux. C'est donc cet agent mystérieux de la vie qui, réveillé par l'excitation électrique, agissait sur la fibre musculaire à l'aide d'une puissance spéciale qu'aucun autre agent n'a encore pu jusqu'à présent ni usurper ni même imiter. Disons, en passant, que Muller s'est servi de cette manière d'appliquer aux nerfs l'excitation électrique pour étudier les usages de ceux qui ont donné lieu à quelques contestations, tels que les nerfs de la langue. Si l'on vient à appliquer l'un des pôles de la pile sur les nerfs,

et l'autre sur la langue elle-même, on ne pourra rien conclure des contractions qu'elle éprouvera, parce que l'excitation électrique appliquée au muscle seul peut produire cet effet. Mais, en faisant passer le courant à travers l'épaisseur du nerf, et à une distance suffisante du muscle auquel il va se rendre, on évite cet inconvénient. C'est ainsi que Muller s'est assuré que le nerf hypoglosse était le nerf moteur de la langue, et le lingual celui de la sensibilité spéciale à cet organe. Pour fixer avec certitude les fonctions des racines antérieures et postérieures des nerfs spinaux, Muller s'est encore servi de la grenouille dont on peut mettre la moelle épinière à nu sans lui causer de malaise bien sensible. En faisant passer un courant électrique à travers l'épaisseur des racines nerveuses, il a vu que les antérieures jouissaient seules de la propriété motrice.

Influence des courants sur les végétaux.

Pendant les beaux jours de la théorie électro-vitale, lorsque la plupart des physiologistes, regardant son principe comme à l'abri de toute contestation, n'avaient plus d'autre souci que de l'appliquer convenablement à l'analyse des fonctions animales, on voulut naturellement essayer de l'étendre aux végétaux, et l'on tenta, dans cette intention, un assez grand nombre d'expériences, qui eurent presque toutes un résultat négatif : on en jugera facilement d'après les observations que le docteur Giulio, de Turin, a faites sur les végétaux les plus excitable, tels que le *Mimosa pudica* et le *M. sensitiva*. Ces plantes, dont le choc mécanique le plus léger fait plier aussitôt les folioles, les feuilles, et même les petits rameaux, n'ont éprouvé presque aucun effet du passage d'un courant électrique énergique ; les mouvements de l'*hodysarum gyrans* n'ont éprouvé, de la part de la même cause, aucune perturbation sensible.

L'influence des courants électriques sur les mouvements des végétaux vient encore d'être étudiée récemment dans des conditions bien plus délicates par MM. Dutrochet et Becquerel. On sait que la tige

du *chara* est composée de tubes creux unis ensemble par des articulations ; en enlevant leur épiderme, on donne à ces tubes une transparence presque parfaite, qui permet de les soumettre à l'examen du microscope. Voici ce qu'on découvre alors : les tubes sont remplis d'eau, et contiennent en outre des globules verts dont les uns sont immobiles et fixés aux parois internes des tubes, tandis que les autres, libres et nageant dans l'eau, circulent continuellement avec une rapidité variable d'une extrémité à l'autre de chaque tube. L'on s'est assuré, de plus, que ces mouvements des globules libres s'exécutent sous l'influence des autres, au point que tout dérangement dans la position de ces derniers produit dans le mouvement circulatoire une perturbation correspondante. Il était naturel de considérer cette influence comme étant de nature électrique ; mais MM. Becquerel et Dutrochet, en soumettant un tube de *chara* au passage d'un courant électrique, n'ont observé aucun effet sensible sur le mouvement des globules. Il faut donc encore retirer ce phénomène singulier du domaine de la physiologie électrique pour le rendre à la force vitale, dénomination mystérieuse qu'il faudra bien conserver cependant tant que la science conservera ses mystères.

Électricité propre aux végétaux.

M. Donné a appliqué à la recherche de cette électricité la même méthode dont il s'était déjà servi sur les organes des animaux. Il plongeait les extrémités en platine d'un multiplicateur dans différentes parties des fruits, et, dans presque tous les cas, il obtint un courant. Dans la pomme et la poire, les fils plongés, l'un près de l'œil, et l'autre près de la queue, indiquaient un courant allant de la seconde de ces régions à la première. C'était l'inverse pour les fruits à noyau, tels que la prune, la pêche et l'abricot : l'œil fournit l'électricité positive, et la queue, la négative. En plongeant les fils dans une même zone perpendiculaire à l'axe du fruit, il n'obtint aucun effet. Ces résultats dépendaient-ils d'un état électrique propre aux diverses parties du fruit, ou

devaient-ils simplement être attribués à la réaction des liquides qui remplissent ses cellules sur le métal multiplicateur ? Pour répondre à cette question, M. Donné coupa perpendiculairement à l'axe, et en deux moitiés égales, un de ces fruits, dont il avait éprouvé l'action, en exprima les sucs dans deux verres réunis par un conducteur humide, et y plaça les pôles de son instrument ; il obtint un courant semblable d'intensité et de direction à celui que lui avaient donné les régions du fruit auquel ces liquides appartenaient. Cette expérience démontre d'une manière évidente que les végétaux, pas plus que les animaux, n'ont d'électricité propre.

C'est ici, du reste, le lieu de répéter ce que nous avons déjà dit à l'occasion de ces dernières : il est bien probable que les séries continues de combinaisons et de décompositions qui constituent la nutrition du végétal, que le frottement des liquides contre les parois de leurs canaux, que les courants d'endosmose et d'exosmose qui traversent incessamment leurs membranes, que l'évaporation qui s'opère à leur surface libre, et bien d'autres circonstances encore, sont des causes permanentes et actives de décompositions électriques. Mais pour recueillir les fluides de manière à constituer des courants, il serait nécessaire qu'il se trouvât d'excellents conducteurs à portée de tous les lieux où ces décompositions s'opèrent ; autrement la neutralisation en détruira les effets à mesure qu'ils se produiront et s'opposera à toute accumulation sensible. Or, c'est ce qui doit arriver dans les végétaux comme dans les animaux, où aucun organe ne peut passer ici pour bon conducteur, ni seulement pour conducteur suffisamment moins imparfait que les autres.

Poissons électriques.

Malgré toutes ces considérations, tirées tant de la disposition des parties animales que des propriétés connues du fluide électrique, et qui démontrent, *a priori*, l'impossibilité des hypothèses sur lesquelles la théorie électro-vitale est fondée ; malgré les expériences négatives de

M. Donné, et les raisons décisives que Muller a fournies pour exclure le galvanisme de la physiologie, la victoire pourrait encore leur être enlevée, s'il était prouvé positivement que dans quelques animaux, que dis-je, dans un seul, il existe de véritables courants électriques qui, prenant leur source au sein du cerveau, traversent les nerfs pour se rendre aux organes, où ils peuvent être reconnus par des caractères irrécusables. Or, c'est ce qui a paru à quelques savants devoir résulter de leurs études sur les poissons électriques. Pour apprécier jusqu'à quel point ces conclusions sont légitimes, occupons-nous maintenant de ces êtres singuliers. Ce sont, comme chacun le sait, des poissons qui font éprouver, lorsqu'on les irrite, une commotion analogue à celle de la bouteille de Leyde. Il y en a sans doute un assez grand nombre d'espèces; mais trois seulement sont bien connues: ce sont la *torpille*, le *malapterure électrique* que l'on a rangé longtemps dans le genre silure, et le *gymnote électrique* ou anguille de Surinam. Le premier de ces poissons habite la mer; on le trouve en assez grande abondance dans la Méditerranée et dans l'Adriatique; il n'est pas rare non plus sur les côtes occidentales de la France. Les deux autres vivent dans l'eau douce, et appartiennent, le malapterure, à l'ancien continent; on le pêche dans le Nil et le fleuve Sénégal; et le gymnote, à l'Amérique méridionale, dont les fleuves le nourrissent, et particulièrement l'Orenoque, ainsi que les étangs et les marais répandus en si grand nombre sur les plaines qu'il arrose. Ces poissons ont cela de commun, qu'ils sont également privés d'écailles; mais, du reste, ils appartiennent à des genres fort différents, et dont les autres espèces ne présentent aucune propriété électrique. Étudions maintenant la manière dont cette propriété se manifeste dans chacun d'eux.

Le malapterure a été fort peu étudié; c'est, d'ailleurs, celui qui donne les secousses les plus faibles.

Le gymnote est beaucoup mieux connu. Il a été observé avec soin dans sa patrie elle-même par M. de Humboldt, et à Stockholm, où il a été transporté par MM. Walh et Falkberg. C'est le plus grand des poissons électriques; son corps anguilliforme peut atteindre une longueur de six

pieds, dont la queue fait plus des deux tiers. La secousse qu'il donne est extrêmement forte, et peut étourdir un cheval au point de le faire noyer quand il traverse les eaux où ces poissons pullulent. Mais, du reste, il ne suffit pas de le toucher pour l'éprouver; il faut encore l'irriter; ainsi, cette faculté dépend entièrement de la volonté de cet animal. Il y a plus, c'est que non-seulement il peut retenir ou lancer à son gré cette foudre d'une si étrange espèce, mais encore la diriger où il lui plaît pour défendre le point qui lui semble le plus menacé. Ainsi M. de Humboldt s'est assuré que, de deux observateurs qui le touchent chacun avec un doigt dans des points fort rapprochés, souvent un seul reçoit la commotion. Si l'un le saisit par la queue, et l'autre par la tête, l'animal frappe tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, sur celui qui l'irrite le plus. Lorsqu'il est bien portant, et qu'on ne l'a pas fatigué, sa décharge peut vaincre la résistance des conducteurs imparfaits, et se faire sentir à la fois à plusieurs personnes, dont une seulement le touche. Elle peut aussi traverser des couches d'eau d'une grande épaisseur pour aller foudroyer un autre poisson dont le gymnôte veut faire sa proie, ainsi que M. Falkberg l'a vu bien des fois à Stockholm. où, comme je l'ai déjà dit, on en a conservé assez longtemps pour les observer à souhait. Du reste, l'usage de cette arme offensive paraît les fatiguer beaucoup, quoiqu'il ne leur coûte aucun mouvement visible. Si on oblige un gymnôte à donner un grand nombre de décharges successives, leur intensité s'affaiblit rapidement, au point de devenir à peine sensibles, tandis que les premières ne pourraient être supportées sans un grand danger. Il lui faut ensuite quelque temps et une nourriture abondante pour réparer ses forces et recouvrer toute sa puissance. M. de Humboldt s'est assuré que la quantité d'oxygène que le gymnôte consomme par la respiration augmente quand, par des expériences fréquentes, on maintient ses organes dans un haut degré d'excitation.

Aussitôt que la secousse de la bouteille de Leyde fut connue, l'analogie de cette impression avec celle que ces poissons font éprouver fit supposer qu'elles tenaient à la même cause : on chercha donc à s'as-

surer de la nature électrique de ces décharges. Pour nous en tenir au gymnôte dont nous nous occupons maintenant, M. Walh, en opérant sur un de ceux qu'on avait transportés à Stockholm, parvint à apercevoir une étincelle en faisant passer la décharge à travers un conducteur métallique, interrompu par un espace étroit où une feuille d'or se trouvait suspendue. M. de Humboldt, auquel on devait déjà des recherches si intéressantes sur le rôle physiologique de l'électricité, profita de son voyage dans l'Amérique méridionale pour étudier soigneusement le gymnôte dans les circonstances les plus favorables. C'est à sa narration que sont empruntés les détails que j'ai donnés déjà sur les propriétés de sa décharge. Il essaya vainement de constater le moindre vestige de tension électrique dans ses organes, et d'apercevoir l'étincelle qui avait été obtenue par l'observateur suédois; cependant il a fourni de précieux arguments en faveur de la nature électrique de ce phénomène: ainsi il a prouvé que le choc du gymnôte peut se transmettre à travers toutes les substances conductrices de l'électricité, mais est complètement intercepté par les corps isolants. Ces faits sont sans doute insuffisants pour prononcer sur l'identité absolue du fluide du gymnôte et de l'électricité. Il y aurait maintenant bien d'autres épreuves décisives à lui faire subir à l'aide des instruments dont la science s'est enrichie depuis l'époque peu éloignée de nous où M. de Humboldt accomplissait ses voyages. Du reste, ces épreuves vont se trouver naturellement indiquées en parlant de la torpille, dont l'étude, poussée aussi loin que le permettent les ressources de la science moderne, a déjà fourni de si curieuses révélations.

La torpille est un poisson du genre raie, assez répandu dans les mers qui baignent les rivages de l'ancien continent; elle peut atteindre jusqu'à trois pieds de longueur. Les pêcheurs sont avertis de sa présence dans leurs filets par la commotion qu'ils reçoivent lorsqu'ils les retirent de la mer. Ses propriétés singulières sont connues depuis fort longtemps, et ont donné lieu à de fort étranges hypothèses; mais ce n'est que depuis la découverte des principaux faits de la science électrique que son étude a été faite d'une manière fructueuse. Je passe

sous silence les expériences tentées sur ce poisson par plusieurs physiciens, pour arriver de suite au travail publié par MM. Gay-Lussac et de Humboldt, à cause de l'importance que lui donnent l'intérêt des faits qu'il renferme et le rang élevé que ces auteurs occupent dans la science. Voici les résultats de leurs observations. La torpille ne lance sa décharge que lorsqu'on l'irrite; c'est un acte purement volontaire: elle ressemble en cela au gymnote, et possède de plus, comme lui, le pouvoir de porter le coup dans telle direction qu'elle veut. La commotion de la torpille ne se compose pas d'une seule secousse, mais de trois ou quatre, qui se succèdent avec une extrême célérité; du reste, elle est beaucoup moins énergique que celle du gymnote, et l'on peut sans danger s'y exposer, même lorsque l'animal est dans toute sa force. C'est sans doute en raison de cette faiblesse relative de la décharge qu'elle ne peut traverser la couche d'eau la plus mince, ni même des conducteurs métalliques, lorsque l'observateur qui les présente est isolé; ainsi la torpille ne pourrait, comme le fait le gymnote, foudroyer d'autres poissons à distance. Pour recevoir sa commotion, il faut être immédiatement en contact avec elle; et, plus la surface par laquelle ce contact s'opère est étendue, plus aussi l'effet est énergique. La secousse la plus forte s'obtient en pressant à la fois de ses deux mains les surfaces supérieure et inférieure. Il a été, du reste, impossible à ces savants observateurs de recueillir des traces de tension permanente, ni d'apercevoir une lumière électrique; cependant ils ont pensé que la commotion de la torpille était analogue, par sa nature et son mécanisme, à celle de la bouteille de Leyde. Suivant eux, il est nécessaire, pour qu'elle se produise, de comprendre dans la surface par laquelle le contact s'opère, des parties contenant les fluides opposés: c'est pour cela que l'on obtient un effet si faible, et même nul, quand cette surface est trop petite. M. Matteuci a vu depuis qu'en touchant la torpille irritée avec le nerf lombaire d'une grenouille préparée, on n'obtenait aucune contraction, quoique cet électroscope animal soit fort sensible aux effets de la torpille. En effet, Galvani avait montré depuis longtemps qu'en plaçant une grenouille écorchée

sur le corps d'une torpille, chacune des décharges de ce poisson déterminait de vives contractions dans les muscles de la grenouille. Or, il est très-facile de savoir le moment du choc sans s'y exposer; car il est toujours accompagné de mouvements convulsifs des nageoires pectorales; et en cela la torpille diffère du gymnote, qui porte ses coups les plus terribles sans dépenser plus de mouvement musculaire qu'un homme qui, en réfléchissant, passe d'une idée à une autre: ce rapprochement appartient à M. de Humboldt.

Plus récemment M. John Davy s'est occupé de l'étude de la torpille dans le but de constater l'identité de son fluide avec le fluide électrique. L'appareil dont il s'est servi consistait dans un fil de cuivre roulé en spires nombreux autour d'un tube de verre, et dans lequel était placée une aiguille d'acier; ensuite il mit l'une des extrémités du fil en contact avec la face supérieure, et l'autre avec l'inférieure d'une torpille. En irritant l'animal, il détermina plusieurs décharges successives qui traversèrent le conducteur; et lorsqu'en suite il retira l'aiguille, il constata qu'elle avait acquis une certaine quantité de magnétisme. M. Davy parvint aussi à opérer des décompositions chimiques à l'aide de ce courant: pour cela il mit en contact avec les deux faces de l'animal deux conducteurs terminés par des fils d'or d'une extrême finesse, enduits de gomme-laque, excepté à leurs extrémités, et plongeant dans un liquide qui fut, dans une expérience, de l'eau salée, et, dans une autre, une solution de nitrate d'argent. Le courant, en traversant le circuit, opéra, dans le premier cas, la décomposition de l'eau, et, dans le second, celle du nitrate, dont le métal se déposa sur l'un des fils en couche noirâtre. D'ailleurs il crut devoir conclure de ses recherches que le courant de la torpille allait du ventre au dos, ce qui est une erreur, ainsi que cela a été démontré depuis par MM. Becquerel et Matteuci. Le premier de ces observateurs, qui s'est rendu avec M. Breschet sur les bords de l'Adriatique pour faire ses expériences, a constaté que le courant allait de la face supérieure à l'inférieure: il s'est servi pour cela d'un multiplicateur à long fil, enduit avec soin d'un vernis isolant,

suivant la méthode de M. Colladon, et il a placé dans le circuit une certaine épaisseur d'eau distillée que la décharge pouvait traverser facilement, mais qui devait arrêter le courant accidentel développé par la réaction des liquides, dont la surface du corps est imbibée sur les lames de platine qui formaient les deux extrémités du multiplicateur. M. Becquerel a obtenu ainsi, comme M. Davy, l'aimantation d'aiguilles d'acier et des décompositions chimiques; mais il n'a pu parvenir à observer d'étincelle. Cette découverte était réservée à M. Matteuci, qui a résolu ce problème difficile, d'abord d'une façon assez compliquée, en introduisant dans le circuit conducteur plusieurs appareils à extra-courant inventés par M. Faraday, et que l'on construit en faisant faire à un fil de cuivre recouvert de soie un grand nombre de circonvolutions autour d'un tube de carton renfermant un cylindre de fer doux. Par ce moyen il a vu l'étincelle jaillir dans l'étroit espace ménagé entre les deux moitiés de l'arc conducteur. Plus récemment M. Matteuci a découvert qu'il suffisait, pour obtenir cette étincelle, de recouvrir les deux surfaces avec deux plats de métal portant chacun sur un point correspondant de leurs bords une feuille d'or légère. En les inclinant de manière à rapprocher leurs bords, on voit au moment de la décharge les feuilles se rapprocher, et l'étincelle jaillir entre elles. Cet habile observateur a vérifié la direction du courant du dos au ventre, découverte par MM. Becquerel et Breschet, et il y a ajouté des détails plus précis relativement au mode de distribution des fluides sur les divers points de ces régions.

Anatomie des organes électriques.

Après avoir ainsi étudié en détail les phénomènes extérieurs produits par les poissons électriques, nous devons tenter de remonter à leur source, et de reconnaître le siège anatomique de cette fonction, ainsi que les circonstances de tous genres qui peuvent en rendre compte. Ce problème était bien capable de piquer la curiosité des naturalistes; et cependant nos connaissances à ce sujet ne sont pas aussi complètes.

qu'on pourrait le supposer. Je dois ajouter que cette remarque ne s'applique pas à la torpille, dont nous possédons plusieurs bonnes descriptions, et par laquelle je vais commencer.

La torpille, ainsi que tous les autres poissons électriques, ne diffère des espèces voisines du même genre que par la présence d'un organe particulier, remarquable par son volume et les dispositions qu'il présente, et dans lequel il a été naturel de placer le siège de la faculté électrique. Cet organe a été décrit avec beaucoup de soin par Hunter, puis par M. Geoffroy Saint-Hilaire, et enfin par M. Breschet, auquel nous empruntons les détails que nous allons donner. Il est pair et symétrique, placé de chaque côté de la tête, et de forme semi-lunaire; il est en contact par son bord interne avec les arcs branchiaux qui le soutiennent, et avec la peau par tout le reste de la surface. Son épaisseur va en croissant des bords externes à la partie moyenne du bord interne. Il est enveloppé en entier par une membrane de nature fibreuse, peu adhérente aux parties voisines, dont on l'isole avec la plus grande facilité: elle s'insère en dehors sur plusieurs pièces cartilagineuses disposées en arc de cercle et articulées les unes avec les autres, qui donnent attache à des muscles destinés, les uns à comprimer l'organe, les autres à produire un effet opposé. De la paroi interne de cette membrane partent des feuillets verticaux dirigés en plusieurs sens, et qui, en s'entre-croisant, interceptent des espaces prismatiques à six pans, semblables aux alvéoles d'un gâteau d'abeilles, et qui sont remplis par une matière demi-liquide, analogue à la vitrine oculaire par son aspect et sa composition. Ces prismes sont coupés par un grand nombre de cloisons horizontales formées par des membranes beaucoup plus fines que celles qui constituent leurs pans verticaux. L'organe reçoit un grand nombre de vaisseaux, et quatre rameaux volumineux, provenant de la cinquième paire, qui, se divisant en filets innombrables, vont se distribuer ainsi que ces vaisseaux dans l'épaisseur des minces cloisons fibreuses qui sont communes à deux prismes. Ces détails sont suffisants pour donner une idée exacte de l'appareil électrique de la torpille.

Le gymnote, ainsi que nous l'avons dit plus haut, a une queue qui fait les deux tiers de la longueur de son corps, et qui renferme la plus grande des deux vessies natatoires dont ce poisson est muni, quelques muscles, et enfin l'organe électrique formé de quatre lobes, deux grands et deux petits. Cette division, reconnue par Hunter, est peu apparente. Considéré dans son entier, l'organe est composé de plusieurs membranes fibreuses horizontales placées les unes au-dessus des autres, et coupées perpendiculairement par des lames de même nature, mais beaucoup plus fines et plus nombreuses; les espaces dessinés par ces divers plans fibreux contiennent une matière tout à fait analogue à celle qui remplit les prismes de la torpille. Cet organe reçoit un grand nombre de nerfs provenant de plusieurs paires vertébrales, ainsi que des vaisseaux sanguins, tellement volumineux, qu'ils ont paru à M. de Humboldt hors de toute proportion avec les muscles de l'extrémité caudale; ces vaisseaux et ces nerfs se distribuent, comme dans la torpille, aux cloisons fibreuses, et s'y ramifient à l'infini.

Le malapterure diffère beaucoup des deux poissons précédents, quant à l'aspect et au siège de son organe électrique; il se présente sous l'apparence d'une couche lardacée de peu d'épaisseur, qui double intérieurement la peau du corps de ce poisson, et l'enveloppe ainsi tout entier. Examinée au microscope, cette substance lardacée paraît composée par l'entre-croisement en tous sens de plans fibreux formant une masse réticulée dont les mailles sont encore remplies de ce liquide gélatino-albumineux. Elle reçoit des vaisseaux nombreux, ainsi que des gros nerfs qui proviennent de la huitième paire.

La comparaison de ces trois descriptions peut donner lieu à deux remarques importantes : la première, c'est que tous les organes électriques connus ont essentiellement la même composition organique; la seconde a pour objet la diversité d'origine des nerfs qui s'y rendent, ce qui prouve que toutes les paires auraient pu également remplir ces fonctions, à la condition de se rendre dans un appareil disposé suivant les lois que nous venons de faire connaître, et ce qui semble encore prouver que c'est dans cet appareil, et nullement dans le nerf

qui s'y distribue, qu'il faut rechercher l'origine et la cause de la faculté électrique. Ce fut aussi l'opinion du célèbre Volta, et il se livra dans ce but à un examen attentif de l'organe électrique de la torpille: mais préoccupé de ses idées personnelles sur la puissance électro-motrice du contact, il voulut absolument y voir une pile formée de couples superposés, et supposa gratuitement une composition hétérogène aux deux surfaces de chaque cloison. Pour appuyer sa théorie, il étudia le pouvoir conducteur du liquide des prismes, et vit qu'il était vingt, ou même trente fois supérieur à celui de l'eau pure.

Galvani, partant d'une conception théorique toute différente, s'appliqua, au contraire, à démontrer que l'organe de la torpille ne fait que retenir et condenser dans son tissu l'électricité élaborée dans le cerveau, et amené par la voie des nerfs. Ses expériences purent faire croire qu'il y était parvenu. En effet, il fit voir que cet appareil ne jouit de son pouvoir qu'autant qu'il conserve ses rapports avec le cerveau; car il les perd aussitôt que l'on abolit ces rapports en détruisant le cerveau, et plus simplement en coupant, ou même en liant les nerfs qui vont de l'un à l'autre. Spallanzani a répété ces expériences, et vérifié l'exactitude de leurs résultats.

Dans ces derniers temps, M. Matteuci a repris l'étude de la torpille au point où l'avaient laissée Galvani, MM. Becquerel et Breschet, et plusieurs autres physiologistes et physiciens dont j'ai omis à dessein de parler. D'abord il a étudié l'influence de la chaleur sur l'énergie du pouvoir électrique, et il a vu que dans de l'eau à 18° il n'éprouvait aucune diminution tant que durait la vie de l'animal; en abaissant la température, ce pouvoir diminue, et cesse bientôt entièrement; en l'élevant, au contraire, l'animal donne quelques sortes de charges, et meurt bientôt dans un état tétanique: ainsi la chaleur active cette fonction comme toutes les fonctions vitales. M. de Humboldt avait déjà fait les mêmes observations sur l'anguille de Surinam. M. Matteuci a essayé ensuite l'action des excitants spéciaux du système nerveux, tels que la strychnine, et même l'électricité de la pile. Ces agents ont augmenté beaucoup l'énergie et le nombre des commotions: nouveau

trait de ressemblance entre cette fonction et les autres fonctions vitales qui s'exécutent sous l'influence du système nerveux. Après avoir achevé ces expériences, l'habile observateur dont je raconte les travaux reprit la question du côté anatomique, et essaya de remonter à la source même du phénomène que Galvani avait déjà poursuivi jusqu'au cerveau, mais sans aller au delà. Il observa l'effet de la destruction successive des différents lobes cérébraux de la torpille, et il vit avec étonnement que l'ablation des trois lobes antérieurs laissait la faculté électrique intacte, mais qu'elle s'évanouissait aussitôt que le quatrième lobe était enlevé. Il refit alors l'expérience en détruisant seulement le quatrième lobe, et, respectant tout le reste du cerveau, tout effet électrique cessa également. Ce quatrième lobe est donc le point de départ de l'influence, quelle qu'elle soit, qui donne à l'organe électrique ses propriétés : aussi lui donna-t-il le nom de *lobe électrique*, qui a été adopté avec raison, parce qu'à la rigueur on peut supposer qu'il fait simplement allusion à la fonction placée sous sa dépendance. Mais l'on sait que M. Matteucci y attache une autre valeur, et que, partisan de la théorie électro-vitale de Galvani, il admet que le fluide électrique qui charge l'organe est formé de toutes pièces dans ce quatrième lobe. Pour juger cette opinion, il doit suffire de rappeler l'expérience de Muller sur les effets de la ligature des nerfs, et de la rapprocher de cette autre expérience de Galvani, répétée par M. Matteucci lui-même, qui démontre que la ligature des nerfs qui se rendent à l'organe détruit, à l'instant son pouvoir électrique. Ce n'est donc pas de l'électricité toute faite qui circule dans ce nerf, car l'on sait que la ligature ne l'arrêterait pas. Mais une dernière et malheureuse objection pourrait encore nous être faite. L'électricité de la torpille, en raison des circonstances singulières de sa formation, ne pourrait-elle pas être modifiée et avoir perdu le pouvoir de franchir une ligature ? Il suffit, pour répondre, de rappeler que le courant d'une torpille, dirigé au travers de l'un des nerfs électriques d'une autre, le parcourt aussi facilement quand il est libre, comme lorsqu'il est étranglé par une ligature.

Quelques expériences qui ont été tentées sur le gymnote permettent

de supposer que tout se passe chez lui comme chez la torpille, et que le cerveau et l'organe électrique sont dans les mêmes rapports de fonctions et de dépendance. Il en est probablement de même du malapterure, qui est le plus mal connu des trois, et sur lequel il serait bien à désirer que nous fussions mieux instruits; cependant les analogies déjà constatées peuvent permettre d'en deviner d'autres, et d'appliquer à ces deux derniers poissons, aussi bien qu'à la torpille, si bien connue aujourd'hui, les idées que nous allons exposer relativement à la faculté électrique en général.

Essai de théorie.

Il me semble qu'il n'y a rien dans la science de mieux défini que la part qui doit être attribuée au cerveau, au nerf et à l'organe électrique dans l'accomplissement de la fonction qui nous occupe. C'est au sein de ce dernier appareil que s'élabore le fluide électrique, à l'aide d'une disposition spéciale dont nous parlerons bientôt: mais cette opération ne peut s'exécuter que sous l'influence du cerveau transmise par les nerfs, et dont la suspension produit immédiatement une paralysie. Nous avons déjà vu pourquoi il était impossible de placer dans le quatrième lobe cérébral, si c'est de la torpille qu'il s'agit, la source de l'électricité qui s'accumule dans ses organes. S'il pouvait être encore utile de revenir sur cette question, nous ferions voir les défauts du mode de recherche adopté par M. Matteuci, et des déductions qu'il en a tirées, à l'aide de la comparaison suivante. Considérons le poulmon uniquement sous le point de la chaleur qui s'y produit, et, pour remonter à la source de cette chaleur, opérons comme M. Matteuci, interceptons toute communication entre cette partie et le cerveau, par la ligature ou la section des nerfs pneumogastriques: aussitôt la production de chaleur cessera. Pourrons-nous en conclure que cette chaleur n'était pas développée dans le poulmon, mais dans le cerveau, qui la lui distribue à l'aide de son nerf, envisagé cette fois comme conducteur du calorique. Cette conclusion serait évidemment con-

traire aux faits les mieux connus; et c'est cependant de cette manière que l'on a raisonné sur la torpille, et que l'on a interprété les résultats qu'a fournis son étude physiologique. Pour ne pas sortir de cet animal, disons, pour la dernière fois, qu'il se passe dans ses organes électriques quelque chose de tout à fait analogue à ce qui se produit en même temps dans ses organes respiratoires. Les fonctions qui s'y exécutent sont liées absolument à la disposition anatomique de leurs parties, en sont pour ainsi dire le produit, la traduction physiologique, et cependant ces conditions organiques, dans leur état le plus parfait, ne suffisent pas pour déterminer l'exercice de la fonction, s'ils ne sont vivifiés par l'influence nerveuse, agent encore inexplicable pour nous, mais auquel la logique des faits nous oblige de croire, comme à tant d'autres choses qui révoltent également l'orgueil de notre raison.

Contrairement à l'opinion de Galvani et de Hunter, qui ne voyaient dans l'organe de la torpille qu'un réceptacle d'électricité, Volta, ainsi que nous l'avons dit plus haut, y rechercha la cause active de sa production; mais il est impossible, après le plus léger examen, de reconnaître avec lui les éléments d'une pile dans ce tissu fibreux et aréolaire, gorgé de mucosités.

M. Becquerel a adopté une opinion mixte, et, partisan de la sécrétivité électrique du cerveau, il suppose cependant que la torpille peut réagir sur le fluide parvenu dans son organe en comprimant ce dernier à l'aide des muscles que M. Breschet a décrits. C'est de cette compression, suivant lui, que résulte la polarité inverse des extrémités supérieures et inférieures des prismes. Cela peut, en effet, s'appliquer à la torpille, dont chaque décharge est accompagnée d'une contraction musculaire, mais non au gymnote, qui conserve, dans les mêmes circonstances, une complète immobilité. D'ailleurs, il n'est pas possible aujourd'hui de croire à la puissance électro-motrice du cerveau. Ce sont là, à ma connaissance, les seules hypothèses qui aient été proposées; et certainement elles ne sont pas acceptables. Quand la solution de ce problème a échappé aux efforts de ces hommes éminents, peut-il être permis à un débutant dans la science de se croire plus

heureux, et de proposer comme vraisemblable une théorie fondée *a priori* sur quelques rapprochements opérés à la hâte et dénués de toute preuve expérimentale? En toute autre circonstance je répondrais négativement; mais, aujourd'hui, je m'y crois suffisamment autorisé par la nature de ce travail, qui ne peut être considéré que comme un simple exercice scientifique.

Voici donc ma pensée sur ce point de physiologie : les conditions nécessaires pour produire de l'électricité se rencontrent partout dans l'économie vivante. La circulation, et surtout la nutrition, par les phénomènes chimiques qui les constituent, en sont certainement des sources abondantes; mais l'absence de bons conducteurs qui puissent recueillir les fluides et les soustraire à une neutralisation immédiate empêche qu'il ne se forme nulle part ni tension, ni véritables courants. Changez ces dispositions, et faites pénétrer dans les tissus animaux un conducteur qui puisse recueillir les produits électriques de leurs altérations nutritives, et vous pourrez en accumuler suffisamment pour donner lieu à des décharges et à des courants. Or, suivant moi, ces conditions se trouvent réalisées dans l'organe de la torpille que nous prenons pour type, comme dans ceux du gymnôte et du malapterure; ils sont composés essentiellement de membranes extrêmement minces, dans lesquelles se distribuent une foule de nerfs et de vaisseaux. Elles sont donc le siège d'une circulation active et abondante; une quantité considérable de sang artériel s'y désoxyde, et se transforme en sang veineux, en subissant une altération chimique d'où résulte nécessairement un dégagement considérable d'électricité, et, en définitive, un excès de fluide positif dont nous allons analyser la formation. Le sang artériel arrive à l'état neutre dans les dernières cellules où se produisent des phénomènes encore bien peu connus de la nutrition, mais qui peuvent se résumer ainsi : désoxydation du sang artériel, combustion du carbone appartenant au tissu organique; enfin évacuation de l'acide carbonique par le sang devenu veineux. On sait, depuis les expériences de M. Pouillet, que l'oxygène, en se combinant au carbone, lui

C. — N° 4. supérieures qui se distribuent à l'organe électrique

donne du fluide négatif, tandis que l'acide carbonique qui se dégage emporte un excès de fluide de nom contraire ; celles de MM. Delarive et Becquerel nous ont appris de plus que l'oxygène, en se séparant du corps auquel il était uni, leur laisse un excès de fluide positif. Appliquant ces documents de l'observation au phénomène de la nutrition, nous voyons que le sang artériel, en perdant son oxygène, doit se trouver électrisé positivement : cet oxygène se combine au carbone du tissu qui se charge de fluide négatif, et enfin l'acide carbonique produit de cette combinaison communique au sang qui le ramène, et aux parois des veines le fluide positif qui lui est échu. En admettant que ces deux derniers effets se neutralisent, il restera le fluide positif, résultat de la première de ces réactions, qui se répandra d'autant plus facilement dans le liquide conducteur qui baigne les membranes sur leurs deux surfaces, que leur ténuité le place à une distance extrêmement petite des sources où il s'élabore.

Après avoir démontré comment l'électricité de la nutrition peut être recueillie dans les animaux dont je m'occupe, tandis que partout ailleurs elle est entièrement perdue et insensible pour nos instruments, il faut essayer de rendre compte des autres conditions du phénomène à l'aide d'une hypothèse qui, je crois, peut être acceptée. Je suppose que la circulation dans l'organe électrique ne se fait pas toujours avec la même activité, et que, dans les circonstances ordinaires, lorsque l'animal est tranquille, elle est fort lente; de telle sorte que l'électricité, dont la production est affaiblie dans la même proportion, est neutralisée immédiatement. C'est pour cela qu'on ne peut constater alors aucune tension appréciable. Au contraire, si l'animal est irrité et forcé de se servir de ses armes, en un instant, à l'aide de l'influx nerveux transmis à l'organe par les nerfs volumineux qui s'y rendent, il peut donner à cette circulation locale un surcroît d'activité d'où résulte une grande quantité de fluide positif libre qui, échappant à la recombinaison, se répand dans le liquide conducteur d'où il s'élance sur l'ennemi contre lequel l'animal veut le diriger. Ainsi, pour moi, les nerfs si remarquables qui se distribuent à l'organe électrique n'ont d'autre

usage que de mettre sa circulation locale sous la dépendance la plus étroite de la volonté, fait dont l'histoire naturelle nous offre tant d'exemples. On connaît le pouvoir que possède la volonté de faire affluer le sang dans certains organes de manière à y produire une turgescence, comme on l'observe dans la crête du coq, les caroncules qui hérissent le cou du dindon, et dans les corps caverneux du pénis d'un grand nombre de mammifères. Le fait que je suppose est donc tout à fait possible, et n'a rien qui soit en désaccord avec les données actuelles de la physiologie. Mais je n'ai pas de preuves positives à l'appui; cependant l'épuisement rapide et profond que la décharge détermine dans ces poissons, et surtout la suspension des fonctions digestives, constatée par M. John Davy, quand on oblige la torpille à faire une grande dépense d'électricité, semblent prouver que le sang abandonne toutes les autres parties pour affluer dans l'organe, tandis que, dans l'état de repos, il n'en reçoit que la quantité justement nécessaire pour l'entretien de la vie. M. Matteucci a observé aussi que, dans les mêmes circonstances, la peau qui revêt inférieurement l'organe de la torpille rougissait d'une manière remarquable. D'ailleurs ce physicien pense que l'énergie des fonctions circulatoire et respiratoire croît dans la même proportion que l'activité de l'organe électrique, ce qui semble confirmer ma manière de voir.

Mais la torpille présente une dernière particularité dont, je dois l'avouer, il m'est impossible de rendre aucun compte satisfaisant : c'est l'état négatif de la partie inférieure de son organe relativement à la surface supérieure, de façon que, pour obtenir la plus forte décharge, il faut réunir ces deux régions par un arc conducteur. Une nouvelle étude anatomique et physiologique de ce poisson serait nécessaire pour résoudre cette difficulté; n'ayant ni le temps ni les moyens de m'y livrer, je me contenterai de hasarder quelques suppositions parmi celles que je crois les moins improbables. D'abord, la torpille est le seul poisson électrique dans lequel cette polarité ait été remarquée; elle n'est donc pas liée nécessairement à l'existence de la faculté qui nous occupe, mais dépend sans doute de quelque disposition spéciale. Quelle

idée pouvons-nous nous faire *a priori* de cette disposition ? Serait-il permis de penser que le voisinage des branchies joue là quelque rôle important ? Je m'explique. L'acte respiratoire peut être considéré en dernière analyse comme une combustion du carbone du sang veineux par l'oxygène contenu dans l'air ou en dissolution dans l'eau, et les résultats électriques de cette réaction doivent être du fluide négatif qui reste dans l'organe, et du fluide positif qui est emporté par l'acide carbonique produit de la combustion. Ainsi il peut se trouver au sein des branchies une polarité négative d'autant plus prononcée que la circulation et la respiration s'opèrent avec plus d'activité. Cette polarité serait donc inverse de celle de l'appareil électrique ; et, faute d'avoir prévu cette particularité, il aurait pu se faire qu'on eût attribué à la partie inférieure de la batterie de la torpille un effet dépendant du contact des branchies, de sorte que ces parties deviendraient, dans l'état de sur-activité circulatoire, comme une seconde batterie inverse et complémentaire de la première. Si cette hypothèse toute gratuite méritait qu'on s'y arrêtât un instant, on pourrait l'appuyer de quelques arguments tels, par exemple, que la communauté d'origine des nerfs, qui, chez la torpille, président aux fonctions électriques et respiratoires, et qui appartiennent également à la cinquième paire, tandis que le malapterure reçoit ses nerfs de la huitième paire, et le gymnose de la moelle vertébrale.

Quelque précieuses que soient ces explications, je n'y attache, je le répète, aucune importance, attendant, pour avoir sur cette question une opinion sérieuse, que je puisse aller moi-même interroger la nature, le scalpel et le galvanomètre à la main.

Phosphorence. — Pour terminer enfin tout ce qui est relatif à l'électricité animale et végétale, il ne me reste plus qu'à parler de la phosphorence dans laquelle elle joue certainement le principal rôle.

Certains végétaux jouissent de la propriété d'être lumineux dans l'obscurité : tels sont quelques *Byssus* dont un a été décrit par Linné, et a reçu de lui pour cette raison le nom de *Byssus phosphoræus*. Tel,

est encore l'agaric de l'olivier, qui a été étudié avec soin par M. Delille, et auquel nous empruntons les détails suivants. Cet agaric, lorsqu'il commence à croître, jouit de la phosphorescence pendant plusieurs nuits de suite; sa lumière commence à apparaître peu de temps avant le coucher du soleil, et dure jusqu'à l'aurore. Elle ne se manifeste que pendant la nuit, et jamais pendant le jour, quelque profonde que soit l'obscurité où on renferme cette plante. Il paraît donc qu'elle ne jouit de cette propriété qu'autant qu'elle a été soumise à la lumière du jour; nous retrouvons dans les lamproles quelque chose de tout à fait semblable. Toutes les parties ne contribuent pas également à la production du phénomène; mais son siège est limité aux feuillets membraneux de sa face inférieure, qui constituent l'hymen des botanistes. Ces feuillets continuent à luire quand on les détache; mais, en désorganisant leur surface par le frottement, ils perdent sans retour cette propriété.

Le règne animal est plus riche en espèces phosphorescentes : un grand nombre d'insectes répandus sur toute la surface de la terre présentent cette curieuse particularité. Les plus connus sont le *taupin cucujo*, si répandu dans l'Amérique méridionale, et qui présente, de chaque côté du corselet, une tache jaunâtre dont s'échappe, pendant la nuit, une lueur tellement vive, qu'elle permet de lire l'écriture la plus fine, et que les Indiens en attachent à leurs chaussures pour s'éclairer dans leurs voyages nocturnes, au travers des forêts; puis le lamprole, vulgairement appelé *vers luisant*, qui pullule dans les régions tempérées de l'Europe. La femelle est privée d'ailes, et possède seule la propriété phosphorique. Cette propriété paraît résider dans des taches situées au-dessus des trois derniers anneaux de l'abdomen. La lumière commence à apparaître, pendant les mois les plus chauds de l'année, à l'instant du coucher du soleil. Cet animal a été le sujet d'un grand nombre d'observations; mais je ne rapporterai que les plus remarquables, qui sont dues à Spallanzani et à M. Macaire de Genève. Le premier a constaté que le lamprole, plongé dans un gaz irrespirable, perdait peu à peu sa lumière, ce qui prouve que ce n'est pas une

combustion lente, analogue à celle du phosphore dans l'air, car ce serait sur-le-champ que la lumière devrait s'éteindre. Au contraire, elle renaît dans l'oxygène. L'action des irritants physiques, chimiques ou mécaniques, semble l'accroître, tandis qu'elle diminue par le refroidissement, et disparaît quand il est porté, jusqu'à la congélation de l'animal. Cependant, en le réchauffant peu à peu, on parvient à ranimer, à la fois, et sa vie et sa phosphorescence. Il la perd également quand on le dessèche, mais la recouvre quand on lui rend son humidité en le plongeant dans l'eau.

M. Macaire a observé que les lampyres, gardés pendant le jour dans l'obscurité, en deviennent plus lumineux pendant la nuit : la lumière solaire paraît donc agir sur lui comme sur certaines substances minérales, telles que le diamant, etc.

Il a vérifié, en les développant, les résultats énoncés par Spallanzani. Ainsi, il a vu que la chaleur activait la lumière de l'animal, même après sa mort. Il en est de même d'un courant électrique, quand on place le lampyre dans le circuit, en l'humectant pour accroître sa conductibilité. Sa volonté paraît exercer une grande influence sur l'émission de la lumière phosphorique, dans les circonstances où elle peut se produire ; la plus indispensable, c'est la présence du gaz oxygène. Si l'on coupe la tête de cet insecte, la lumière s'affaiblit beaucoup, mais elle reprend un vif éclat lorsqu'on fait passer un courant électrique à travers son corps, en faisant pénétrer un des fils conducteurs par la plaie jusqu'auprès des anneaux phosphorescents. M. Macaire a recherché le siège anatomique de cette fonction, et il l'a trouvé dans un enduit jaunâtre, demi-transparent, qui revêt intérieurement la peau des trois derniers anneaux. Examinée au microscope, cette substance lui a paru formée de fibrilles ramifiées et entrelacées dans tous les sens. Extraite du corps du lampyre, elle a continué à luire comme auparavant, et s'est comportée de la même manière sous l'influence des gaz, de la chaleur, du froid et de l'électricité : on peut donc la considérer comme l'organe phosphorique lui-même.

Il nous reste à nous demander quelle est la nature et le mécanisme

de ce phénomène. Sa nature est vraisemblablement électrique, c'est du moins l'avis de M. Becquerel; quant à son mécanisme, il consiste, suivant le même physicien, dans une série de décompositions et de recompositions électriques qui sont accompagnées de lumière, en raison de la mauvaise conductibilité de ces corps. Cette opinion est appuyée par des observations récentes de M. Ehrenberg sur les infusoires et les annélides qui rendent la mer lumineuse. En plaçant sur le porte-objet de son microscope de l'eau renfermant de ces animalcules, il a vu avec surprise que la lueur diffuse qui les entourait était formée par la réunion d'une multitude de petites étincelles qui partaient de toutes les parties de leur corps, et qui offraient la ressemblance la plus frappante avec les étincelles électriques. Il a constaté, de plus, que cette propriété, comme la secousse de la torpille, dépend de la volonté de l'animal, et subit la même action de la part de tous les moyens irritants.

CONCLUSIONS.

Voilà donc de nouveaux exemples de la production d'une tension électrique sous l'influence vitale. Mais, ici l'anatomie ne peut nous fournir que peu de lumières pour remonter à sa source; cependant rien ne s'oppose à ce que nous ne la rapportions aux actions chimiques de la nutrition. Nous pouvons également supposer la présence d'un milieu conducteur propre à recueillir et à condenser le fluide libre, et analogue au liquide qui remplit les cellules des organes électriques; peut-être même que la description de la matière phosphorescente du lampyre, que nous devons à M. Macaire, permettrait de tenter quelques rapprochements entre elle et ces organes. Mais, nous devons le déclarer ici parce que c'est notre conviction profonde, et c'est par là que nous terminerons ce travail trop long, et cependant bien incomplet, toutes les hypothèses proposées jusqu'ici pour expliquer les mystères de la physiologie, y compris, à plus forte raison, celle à laquelle j'ai donné tant de place qui aurait pu être beaucoup mieux remplie, quand on compare les efforts de science et d'imagina-

tion qu'ils ont coûté à leurs auteurs, à leur valeur réelle et reconnue, sont bien propres à nous dégoûter désormais des tentatives de ce genre. Sous le règne de la force électro-motrice du contact, Volta démontre dans l'organe de la torpille toutes les conditions de la pile, tandis que d'autres physiciens, partisans de ses principes, mais rejetant l'application qu'il en avait faite, placent le siège du contact électro-moteur dans les centres nerveux, et voient clairement les éléments d'un couple dans les superpositions des deux substances qui les constituent.

Aujourd'hui, la théorie électro-chimique a renversé définitivement celle de Volta, et s'est emparée de son instrument, dont elle réclame le principe. Nous apercevons à chaque source d'électricité un phénomène de décomposition, ou de recomposition aussi clairement que nos devanciers y constataient un contact de substances hétérogènes. Leur aveuglement nous étonne, et, quand l'observation aura fait faire à la science quelques pas de plus, quelques découvertes nouvelles, à son tour l'explication se transformera pour se tenir au courant; les phénomènes seront envisagés sous un autre point de vue, et l'on ne pourra plus comprendre que nous nous soyons fait illusion à ce point. Heureusement pour l'humanité que ses progrès dans d'autres voies sont plus réels et plus durables; mais elle ne les a faits que sur les pas de l'expérience et de l'observation. Connaître et appliquer, c'est à cela que se bornent ses droits et sa puissance: l'explication n'est pas de son domaine.

FIN.