

Bibliothèque numérique

medic@

Regnault, Jules. - De la production de l'électricité dans les êtres organisés ; de ses causes, de ses effets ; des organes producteurs de l'électricité

1847.

Paris : Imprimerie de L. Martinet

Cote : 90975



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

Adresse permanente : <http://www.biusante.parisdescartes.fr/histmed/medica/cote?90975x1847x01x01>

FACULTÉ DE MÉDECINE DE PARIS.

CONCOURS POUR L'AGRÉGATION

(SECTION DE PHYSIQUE MÉDICALE).

DE LA

PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ

DANS LES ÊTRES ORGANISÉS ;

DE SES CAUSES, DE SES EFFETS ;

DES ORGANES PRODUCTEURS DE L'ÉLECTRICITÉ.

THÈSE PRÉSENTÉE ET SOUTENUE

PAR

M. REGNAULD (JULES),

Docteur en médecine,
Licencié ès-sciences, pharmacien en chef des cliniques de la Faculté.



PARIS.

IMPRIMERIE DE L. MARTINET,
RUE JACOB, 50.

1847.

0 1 2 3 4 5 (cm)

PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ

DANS LES ÊTRES ORGANISÉS.

JUGES DU CONCOURS.

PROFESSEURS

MM. ORFILA, président,
ADELON, suppléant,
BÉRARD, suppléant,
DUMAS,
GAVARRET,
RICHARD,
TROUSSEAU.

AGRÉGÉS

MM. MAISSIAT, suppléant,
MARTINS,
MIALHE.

DE LA

PRODUCTION DE L'ÉLECTRICITÉ

DANS LES ÊTRES ORGANISÉS,

DE SES CAUSES, DE SES EFFETS ;

DES ORGANES PRODUCTEURS DE L'ÉLECTRICITÉ.

1° Les causes capables de produire de l'électricité sont nombreuses ; elles se rapportent à trois genres d'actions principales : les actions mécaniques, physiques ou chimiques. Le texte de notre question prouve assez qu'il existe encore une source électrique importante. Ce sont certains phénomènes physiologiques qui s'accomplissent au sein des êtres organisés. Mais avant d'aborder ce sujet, il est nécessaire de définir ce qu'on entend, en général, par production d'électricité.

Les expériences des physiciens modernes semblent prouver que toute action chimique, quelque faible qu'on la suppose, produit la décomposition du fluide neutre et sa séparation en deux fluides de noms contraires.

Tantôt les deux fluides isolés ne peuvent se combiner dans le lieu même où ils se sont développés, et si la cause qui les engendre continue à agir, ils acquièrent une tension qui atteint une certaine limite. Il n'y a de courant formé que lorsqu'un corps bon conducteur établit une communication suffisamment facile entre les parties où les fluides sont accumulés. Dans ces circonstances, la production d'électricité est incontestable, puisqu'il y a manifestation électrique.

Mais un autre cas peut se présenter, c'est celui où une action chimique s'effectuant, il est cependant impossible de recueillir un courant ou un effet de tension ; c'est, il faut bien le dire, ce qui a lieu le plus généralement. Que se passe-t-il dans ces circonstances ? Deux interprétations sont possibles : les uns, en généralisant les principes que nous venons d'énoncer, ont admis qu'il y a séparation des deux électricités au moment de l'action chimique, puis recombinaison presque instantanée dans le lieu même de la génération ;

les autres, ne pouvant arriver à une solution expérimentale du problème, semblent disposés à nier qu'il y ait production d'électricité, là où n'apparaît aucune manifestation électrique.

La discussion de cette question nous entraînerait peut-être trop loin; remarquons d'ailleurs que la distinction que nous avons mentionnée est plutôt subtile qu'importante. Pour le point spécial qui nous occupe, nous ne reconnaitrons une production d'électricité que lorsque nous pourrions constater des courants ou des phénomènes de tension.

2° Plusieurs savants du XVIII^e siècle ont fait jouer à l'électricité un rôle immense dans la médecine et dans la physiologie. Les applications prématurées qu'ils ont faites du fluide électrique à l'interprétation des phénomènes normaux ou pathologiques ne sont plus aujourd'hui qu'un monument quelquefois intéressant, plus souvent ridicule, des erreurs auxquelles conduisent nécessairement l'enthousiasme et le mépris des recherches expérimentales.

Après la grande découverte de Galvani, lorsque Volta eut doté la science de son puissant instrument, tant de phénomènes merveilleux, jusqu'alors inconnus, enflammèrent de nouveau les imaginations. De toute part on chercha encore à trouver dans le fluide mystérieux, que tant d'actions diverses faisaient surgir, la solution du problème de la vie. Les tentatives des médecins d'alors furent-elles plus heureuses que celles de leurs devanciers? Cette question est aujourd'hui jugée. Les explications furent plus spécieuses, les théories bâties et présentées avec plus d'habileté; mais les idées préconçues qui en formaient la base devaient conduire à l'erreur. Nous ne pouvons nous arrêter ici à faire l'histoire de toutes ces créations imaginaires, où le fluide électrique, sans cesse développé, sans cesse circulant dans le corps humain, règle toutes les fonctions, et préside à leur accomplissement.

Dans les sciences, le règne des fausses théories est toujours éphémère, et toutes ces idées électro-physiologiques ont heureusement disparu de la médecine; c'est à peine si les noms de leurs auteurs ont échappé à l'oubli que méritaient ces travaux. Aujourd'hui, grâce aux recherches consciencieuses d'un grand nombre de physiciens et de physiologistes habiles, la production de l'électricité chez les êtres organisés ne peut plus être mise en doute. C'est en profitant des résultats les mieux constatés de leurs investigations, que nous allons étudier les phénomènes électriques d'abord chez les animaux; et ensuite dans les êtres appartenant au règne végétal.

3° *De la production de l'électricité chez les animaux.* Il existe plusieurs animaux chez lesquels la production de l'électricité est de la plus grande évidence, tels sont les poissons électriques; chez eux cette décomposition du fluide neutre est une fonction physiologique. Nous nous occuperons d'abord

des faits nombreux qu'une étude attentive de ces êtres a permis de constater.

Nous aurons à traiter ensuite des manifestations électriques qui apparaissent chez les animaux, et semblent se rattacher aux phénomènes généraux de la nutrition. Mais ici nous devons nous préoccuper de la question importante de savoir si les faits observés ne dépendent pas, en grande partie au moins, des dispositions expérimentales employées pour les mettre en évidence.

Nous ferons ensuite connaître quelques faits de phosphorescence en recherchant toutefois si la production de lumière est toujours due à des phénomènes électriques du même ordre.

4^e *Poissons électriques*. Il n'existe pas d'exemple plus frappant de la production d'électricité chez les animaux que celui qui est offert par quelques êtres appartenant à la classe des poissons.

Le nombre des poissons électriques est très restreint, puisque les ichthyologistes n'en reconnaissent que neuf; sur ce nombre même il en est quelques uns dont les propriétés paraissent encore problématiques. On cite plusieurs espèces ou variétés de torpilles : *Torpedo narke*, *T. galvanii*, *T. marmorata*, *T. unimaculata*; les gymnotes électriques (*Gymnotus electricus*, L., et *Gymnotus æquilabiatus*, Humboldt), le silure électrique ou malaptérure, et un tétrodon dit électrique. On trouve encore mentionnés par quelques auteurs le trichiurus indicus, et le rhinobate électrique signalé par Marcgrave. L'électricité développée par ces deux derniers animaux est très douteuse. S'il était permis de suppléer l'expérience par des convictions, nous placerions à côté des poissons électriques déjà connus quelques raies chez lesquelles M. Ch. Robin a décrit un appareil nouveau qui présente l'identité la plus complète avec les organes électriques, tant par sa structure que par la disposition de ses éléments anatomiques.

Tout en nous abstenant de la description anatomique des animaux que nous venons de citer, nous ferons remarquer, avec la plupart des auteurs qui se sont occupés de ce sujet, que la peau de tous les poissons électriques est nue, qu'elle est couverte d'un enduit visqueux. Faut-il attacher de l'importance à la remarque faite par Volta, que cette espèce de mucus conduit l'électricité environ trente fois mieux que l'eau pure?

Organes électriques. Leur description anatomique complète est trop en dehors du sujet de mes études ordinaires pour que j'essaie de l'entreprendre; je me bornerai à signaler la disposition générale de ces singuliers appareils.

Les organes électriques présentent dans les différents poissons qui en sont pourvus, une structure identique, et ne diffèrent généralement entre eux que par des variétés d'arrangements. Excepté chez le silure, ils sont toujours constitués par des corps prismatiques accolés les uns aux autres et constitués

par un tissu cellulaire disposé en forme de tubes, coupés par des cloisons nombreuses, entre lesquelles se trouvent des disques d'une substance particulière, *tissu électrique*. De sorte que chaque tube n'est autre chose qu'une espèce de pile de disques entièrement isolés les uns des autres par le tissu cellulaire ou *connectif*. La forme de ces piles est assez régulière; elles présentent six faces le plus souvent, quelquefois plus, quatre faces seulement dans la rangée la plus extérieure de l'organe électrique des torpilles. La couleur des disques est un gris perlé, sur lequel tranche la teinte blanche du tissu connectif qui dessine à la surface de l'appareil des figures en rapport avec la forme des piles et des disques dont il remplit les intervalles.

Les disques sont formés d'une substance translucide renfermant de nombreux granules isolés, et quelques noyaux granulés, enveloppés d'une aréole circulaire de granules, d'après les observations de M. Ch. Robin, qui leur a reconnu un aspect analogue à la gélatine avec plus de consistance et de ténacité, dans ses recherches sur les organes électriques des raies. M. Savi a trouvé cette substance entièrement liquide sur des torpilles récemment tuées.

Les disques sont aplatis et se répondent par leurs faces les plus larges dans une même pile. M. Ch. Robin a trouvé, dans les raies, leur face antérieure lisse, tandis que la postérieure est creusée d'enfoncements alvéolaires.

Les nerfs et les vaisseaux qui se rendent aux organes électriques, se divisent d'abord en formant un réseau à la surface extérieure et dans l'intervalle des piles, ensuite ils pénètrent dans les cloisons de tissu connectif qui séparent les disques. M. Ch. Robin a montré que, dans chaque cloison, les vaisseaux se portent vers la face postérieure du disque qui se trouve en avant, tandis que les nerfs vont former un réseau anastomotique très remarquable à la face antérieure du disque qui se trouve en arrière; mais ni les uns ni les autres ne pénètrent dans le tissu électrique.

Avec ces conditions essentielles qui sont toujours les mêmes, les organes électriques varient par d'autres conditions accessoires, telles que leur situation par rapport aux autres parties de l'animal, la direction des piles dans l'organe même, l'origine de leurs nerfs et de leurs vaisseaux. Dans les torpilles, les appareils sont placés symétriquement sur les côtés de la tête, entre les nageoires pectorales et les branchies, et leurs piles se dirigent de la face dorsale à la face ventrale.

Dans le gymnote, les organes électriques sont situés sur les côtés de la queue et les piles dirigées longitudinalement. Dans les raies, les appareils s'étendent aussi des deux côtés de la queue, et leurs rangées de disques sont longitudinales ou plutôt forment une hélice autour de l'axe fictif de l'organe. Chez le silure, celui des poissons électriques qui est le moins connu au point

de vue anatomique, comme sous le rapport des propriétés, l'appareil semble différer notablement de ceux que nous avons brièvement décrits; il occupe les deux faces latérales du tronc et les entoure complètement, ses nerfs émanent de la première paire dorsale ou nerf sous-occipital. Quant au nombre des piles dans chaque organe, il ne varie pas moins chez les différents poissons; dans la torpille, il est de 470 pour chaque organe suivant Hunter, M. Ch. Robin l'a trouvé de 14 à 24 en moyenne dans la queue des raies, il s'élève cependant quelquefois à 35.

Les nerfs qui, chez les torpilles, viennent de la cinquième et de la huitième paire, émanent chez le gymnote et chez la raie de la moelle caudale. Mais ils ont toujours cela de particulier qu'ils ne donnent dans leur trajet aucune branche à des parties autres que l'organe électrique. Les vaisseaux artériels et veineux proviennent également de sources diverses suivant la région qu'occupe l'organe.

Outre l'enveloppe générale que leur fournit le tissu connectif, ces organes électriques sont encore entourés d'un feuillet aponévrotique. Du reste, leur surface externe se trouve tantôt en contact avec la peau, tantôt séparée de cette membrane par une couche musculaire.

5° *Propriétés électriques de la torpille.* La torpille se trouve en abondance dans la Méditerranée; dès lors il n'est pas étonnant que ses propriétés aient été connues des anciens. Aristote, Hippocrate, Pline, ont indiqué plusieurs faits qui se rapportent à son histoire : on trouve dans Scribonius Largus, Galien et Dioscoride quelques passages qui prouvent que dans l'antiquité la torpille fut employée comme agent thérapeutique.

La torpille et tous les poissons électriques furent longtemps considérés avec crainte par les peuples qui purent les observer; de là les noms de *poissons magiciens*, de *poissons trembleurs*, qui leur furent imposés. A cette époque les phénomènes, quelque surprenants qu'ils fussent, devaient recevoir une théorie, et la commotion de la torpille fut attribuée à des molécules engourdissantes qui émanaient de son corps.

C'est à Muschenbroeck qu'appartient l'honneur d'avoir comparé ces effets remarquables à ceux de la décharge de la bouteille de Leyde, et depuis on a désigné la torpille et les animaux que nous avons cités, sous le nom de poissons électriques.

La torpille a été le sujet de recherches importantes faites par plusieurs observateurs; nous citerons les travaux de Galvani, de Redi et de Lorenzi, ceux de Volta, de Walsh, de Humboldt et de Gay-Lussac, de J. Davy, de Linari, de M. Becquerel et surtout ceux de M. Matteucci. Les expériences de Walsh, faites à La Rochelle, sont fondamentales; en 1772, dans une lettre

adressée à Franklin, il indique un grand nombre de faits qui démontrent l'identité absolue des phénomènes offerts par la torpille, et de ceux qui sont dus à l'électricité. Dans le cours de cette description, nous aurons occasion de citer les auteurs auxquels revient la plus large part des connaissances qui sont aujourd'hui acquises à la science.

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

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

Il n'est pas indispensable que le contact entre la torpille et ceux qui reçoivent la commotion soit immédiat; les plus anciens observateurs de la torpille, les pêcheurs de l'Adriatique, ont tous remarqué qu'ils reçoivent une secousse assez violente au moment où ils tirent de l'eau les filets où se trouvent ces poissons. L'explication de ce fait avait paru fort difficile à Walsh. Ce même observateur reconnut qu'en touchant la torpille avec les matières isolantes, aucune décharge n'était perçue. Il indiqua même ce fait d'une grande importance que le dos et le ventre de la torpille doivent être considérés comme deux pôles présentant des états électriques différents; nous aurons bientôt occasion de revenir sur ce sujet.

Si l'on dispose à la surface du corps de la torpille quelques grenouilles préparées à la manière de Galvani, au moment de la décharge, on les voit se contracter.

L'expérience peut même être faite en établissant une communication liquide entre les grenouilles et le poisson.

On a déjà vu que les commotions successives perdent rapidement de leur intensité; ce fait peut être mis en évidence en plaçant sur la torpille plusieurs grenouilles dans des points différents. Dans les premières décharges toutes entrent en contraction avec une grande énergie; mais peu à peu les secousses

s'affaiblissent de la manière la plus évidente; on reconnaît alors que les grenouilles placées dans les points les plus rapprochés de l'organe ou à sa surface même se contractent encore, quand celles qui sont situées à quelque distance n'éprouvent plus aucun effet.

6° John Davy a appliqué le premier le galvanomètre à l'étude des phénomènes électriques de la torpille; il reconnut que, si l'on place les extrémités des fils de platine d'un galvanomètre, l'une en contact avec le dos, l'autre en contact avec le ventre de l'animal, l'aiguille est déviée avec une grande énergie.

Cette expérience de Davy laissait cependant à désirer; chacun connaît la sensibilité extrême de l'instrument dont s'était servi cet observateur. Le courant observé ne pouvait-il pas être dû à l'action de l'eau de mer sur les lames de platine placées à la surface de l'animal? Ces observations furent résolues par les expériences de M. Becquerel; en écartant toutes les causes d'erreur que présentait l'expérience conçue par Davy, il mit en évidence le courant produit par la torpille et en précisa la direction. Il montra que le dos de l'animal représente le pôle positif, tandis que le pôle négatif se trouve au ventre; telle avait été aussi l'opinion de Volta, opinion qu'aucune expérience ne justifiait à cette époque.

L'étude de l'électricité dans la torpille au moyen du galvanomètre est arrivée à un haut degré de précision entre les mains de M. Matteucci. Ce physicien a confirmé et étendu considérablement les faits qui avaient été observés par ses prédécesseurs. Il a montré que les signes d'électricité se manifestent toujours au galvanomètre lors des premières décharges de la torpille, quels que soient les points du ventre et du dos qui servent à établir le courant; mais lorsque l'animal s'affaiblit par une suite de décharges, les directions de l'aiguille ne sont plus sensibles que si on applique les fils du galvanomètre dans deux points correspondants situés, l'un à la partie ventrale, l'autre à la partie dorsale de l'organe électrique.

La déviation de l'aiguille du galvanomètre peut être obtenue non seulement dans ce cas, mais encore lorsque les deux extrémités du fil sont mises en contact avec une même face de l'animal. Pour que l'effet devienne sensible, il faut que l'une des lames de platine repose près de la ligne médiane du poisson, tandis que l'autre est placée à sa périphérie: le courant indiqué par la déviation du galvanomètre est constamment dirigé du premier point au deuxième.

Il est un autre moyen d'obtenir une déviation, il consiste à appliquer un des fils, soit sur la face dorsale, soit sur la face abdominale, et à plonger l'autre fil dans l'intérieur de l'organe même; quand la décharge a lieu, on

obtient encore un courant marchant toujours de la partie voisine de la face dorsale, à la face abdominale. Ces différents modes d'expériences prouvent que le courant produit par la torpille a une direction parfaitement déterminée et invariable.

7° Il était intéressant de rechercher si ce courant a toutes les propriétés de ceux que l'on obtient au moyen des appareils dont disposent les physiiciens. Voici quelques expériences instituées par J. Davy et répétées un grand nombre de fois par d'autres observateurs, qui ne laissent aucun doute à ce sujet. On établit la communication entre la face dorsale et la face ventrale au moyen d'un fil métallique, qui, dans une portion de son circuit, est contourné en spirale. Dans l'intérieur de cette spirale, et suivant l'axe du cylindre, on place une aiguille d'acier ne présentant aucune polarité magnétique. Or, si on détermine une décharge de la torpille en l'irritant par un procédé quelconque, on trouve que l'aiguille est devenue magnétique. La position des pôles est d'ailleurs constamment la même, et s'accorde parfaitement avec le sens de la déviation que l'on obtient dans le galvanomètre.

8° J. Davy est parvenu à produire, au moyen du même courant, de faibles effets chimiques. Ayant appliqué des fils d'or, l'un sur la face dorsale, l'autre sur la face ventrale de la torpille, il fit passer la décharge électrique à travers des solutions de nitrate d'argent, de sel commun, d'acétate de plomb, et observa que toutes ces solutions furent décomposées; mais la dernière n'était modifiée que quand l'animal semblait employer toute son énergie après avoir été très irrité.

Voici une expérience qui réussit constamment. Le circuit entre les deux faces de l'organe est fermé au moyen d'un papier imprégné d'une forte solution d'iodure de potassium. Entre les bords du papier et les surfaces de l'organe, on place deux lames de platine. Si on détermine alors plusieurs décharges du poisson, il est facile de reconnaître une décomposition de l'iodure. La direction suivant laquelle marche le courant est reconnue par le lieu où se fait le dépôt des éléments décomposés.

9° Outre les effets électriques déjà indiqués, nous citerons encore la production de l'étincelle. Ce phénomène a été observé pour la première fois par MM. Matteucci et Linari. Voici un appareil convenable pour l'obtenir. On place une torpille énergique entre deux disques métalliques horizontaux bien isolés. Des bords de chacun des disques s'élèvent deux tiges métalliques parallèles terminées par deux boules sur lesquelles sont appliquées deux lames d'or très légères; celles-ci doivent être très rapprochées. Si on irrite l'animal en le pressant entre les deux disques, il donne une décharge et l'étincelle apparaît.

10° Après avoir décrit les phénomènes électriques de la torpille dans leur

généralité, il est nécessaire de chercher l'influence qu'exercent sur la décharge divers agents, les uns externes, les autres internes.

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

Si on plonge la torpille dans de l'eau dont la température s'élève à plus de 30° cent. environ, elle meurt au bout de quelques instants; mais sa mort est précédée d'un grand nombre de décharges en général fort intenses. M. Matteucci a observé que chez les torpilles irritées et donnant des commotions, la circulation et les phénomènes respiratoires étaient singulièrement exagérés.

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

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

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

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

B. *Action des causes internes.* — Nous allons indiquer brièvement l'influence des diverses parties de l'animal sur la décharge électrique.

M. Matteucci a fait sur ce sujet plusieurs expériences très dignes d'intérêt. Elles prouvent que si l'on extrait l'appareil électrique de l'animal, en ménageant autant que possible les troncs nerveux qui s'y rendent, on peut obtenir des contractions pendant quelque temps, en déterminant une irritation dans

ces derniers. On remarque dans ces circonstances tous les phénomènes que nous avons déjà signalés; contractions des grenouilles, déviation de l'aiguille du galvanomètre. Mais si on se borne à agir sur quelques filets isolés qui se rendent en des points déterminés de l'appareil électrique, la contraction des grenouilles se fait seulement dans ces parties. L'agent excitant, dont l'action sur l'organe présente le plus de durée, est un courant électrique que l'on fait passer dans le nerf. L'influence de la direction de ce courant, par rapport à celle du nerf, rentre dans les lois générales de l'action de l'électricité sur le système nerveux; je m'abstiens d'en parler ici. Si on applique une ligature sur un filet nerveux dans un point compris entre l'organe électrique et l'axe cérébro-spinal, toute irritation portée au-dessus de la ligature cesse de retentir sur l'organe; il n'y a plus de secousse électrique.

L'influence des organes nerveux centraux sur la décharge de la torpille méritait d'être examinée. Voici les principaux résultats fournis par cette étude: Les lobes olfactifs, les lobes optiques, le cervelet peuvent être lésés impunément, la faculté de donner des décharges appartient encore à la torpille. Mais il n'en est pas de même si on atteint la moelle allongée, partie de l'encéphale décrite par plusieurs auteurs comme un lobe à part, sous le nom de lobe électrique. Aussitôt que l'on touche cette portion de l'axe cérébro-spinal, l'animal réagit en donnant des commotions. On observe que si l'irritant mécanique est porté d'un côté ou de l'autre, la décharge a lieu seulement dans l'organe correspondant. Mais si la blessure est profonde, toute manifestation électrique cesse, quel que soit le degré d'énergie de l'animal et malgré l'intensité des autres portions de l'organe nerveux central.

11° *Des gymnotes électriques.* — Les propriétés électriques du gymnote ont été étudiées par plusieurs savants; nous citerons surtout les observations de Walsh, celles de Ingenhouse, de Williamson et Fahlberg, à Stockholm, de MM. de Humboldt et Bonpland, et les recherches de MM. Faraday et Matteucci.

La description de la pêche des gymnotes par M. de Humboldt est trop répandue pour que nous la rapportions ici. Cet observateur célèbre a fait connaître un grand nombre d'expériences qui montrent combien est grande l'intensité de la décharge donnée par ces poissons. Il ne paraît pas que le gymnote puisse plus que la torpille imprimer une direction déterminée à sa commotion, bien que celle-ci soit aussi sous la dépendance de sa volonté. Cette fonction s'affaiblit avec rapidité par une suite de décharges successives. Tantôt, lors de la commotion on observe dans le gymnote quelques contractions musculaires, tantôt il conserve une immobilité complète.

Les phénomènes électriques du gymnote comme ceux de la torpille sont

sous l'influence du cerveau; par l'ablation de cet organe on suspend toute décharge électrique d'après M. de Humboldt.

Les observations de M. Faraday sur le gymnote sont d'une haute importance, ce physicien a remarqué que les parties antérieures de l'animal constituent le pôle positif, et les postérieures le pôle négatif; cet état électrique se retrouve encore entre deux points quelconques pris sur la longueur de l'animal. L'intensité des effets produits par la décharge varie suivant la forme que prend l'animal, et sa position par rapport au corps qui la reçoit. Lorsqu'il veut frapper sa proie il se courbe, en général, de manière à l'entourer.

On remarque que le gymnote touché avec les mains, ou avec un corps bon conducteur, donne plusieurs décharges successives; mais si le contact est opéré au moyen d'un mauvais conducteur, l'effet ne se produit qu'une ou deux fois. Il est probable que dans ce dernier cas la décharge étant ressentie par l'animal, celui-ci cesse d'en donner de nouvelles. Tous les effets physiques, chimiques et physiologiques obtenus au moyen de la torpille se sont présentés dans la décharge du gymnote; la direction des pôles découverte par M. Faraday, vérifiée par M. Matteucci, à Naples, est, sans contredit, le fait le plus intéressant de toutes ces recherches par la liaison qu'il présente avec la disposition anatomique de l'organe.

Quant aux autres poissons électriques, quant au silure même, les phénomènes qu'ils présentent ont été l'objet de trop peu de travaux précis pour que nous croyions devoir nous en occuper. Les faits qui ont été observés chez ces derniers animaux n'ajouteraient rien à ce que nous avons dit des précédents.

12° *Existe-t-il une théorie de la décharge des poissons électriques?* — Il n'existe aucune théorie complète de la décharge des poissons électriques; il n'y a encore à mentionner sur ce sujet que quelques hypothèses plus ou moins satisfaisantes.

Volta avait comparé l'appareil électrique à une pile que l'animal mettait en activité quand il le voulait. Il pensait que, pour produire cet effet, il suffisait au poisson d'amener la peau au contact avec les pôles des prismes. Cette hypothèse n'est appuyée sur aucune base sérieuse. Plusieurs physiciens ont assimilé la décharge des poissons électriques à celle qui est obtenue au moyen de la communication établie entre les deux armatures d'une bouteille de Leyde. Cette explication n'explique rien, car il faudrait montrer dans l'organe les conditions semblables à celles que l'on trouve dans l'appareil de physique, ce que l'on n'a pas fait. Il est bon de noter d'ailleurs que l'aimantation d'une aiguille d'acier au moyen de la décharge d'une torpille se fait toujours dans le même sens, tandis que la direction des pôles varie sans cesse en éta-

blissant les mêmes communications entre les armatures de la bouteille. M. Matteucci présente une hypothèse fort ingénieuse, mais qui est basée sur un fait encore sans démonstration, la séparation des deux électricités sous l'influence de l'irritation nerveuse.

Au lieu de chercher à faire coïncider une théorie quelconque avec les principales conditions des phénomènes et de donner à croire qu'elle est vraie, il nous semble qu'il est préférable de noter seulement que l'influence du système nerveux sur l'organe électrique paraît être du même ordre que celle qu'il exerce sur la contraction musculaire. Mais il paraît tout aussi impossible dans l'état actuel de la science de trouver le lien mystérieux qui unit la production de l'électricité à la force nerveuse, que de saisir la relation qui existe entre ce même agent et le brusque raccourcissement des fibres d'un muscle.

13^o *Courant propre de la grenouille.* — J'ai conservé la dénomination de courant propre aux phénomènes dont je vais traiter dans ce chapitre. Il est évident, comme on le verra par la suite, que les faits qui s'y rattachent sont assez nombreux pour prouver qu'il n'est pas l'apanage exclusif de l'animal, chez lequel on l'a primitivement observé. C'est ce que les expériences ingénieuses de M. Matteucci mettent hors de toute contestation.

La brillante découverte de Galvani sur la contraction de la grenouille est trop connue pour que je m'y arrête; je me bornerai à rappeler que c'est dans la lutte qu'il eut à soutenir contre Volta, que ce célèbre physicien observa le fait suivant : Lorsque l'on replie les muscles de la jambe d'une grenouille sur ses nerfs lombaires, il y a une contraction musculaire. Cette expérience importante, d'abord niée par Volta, fut expliquée par lui au moyen de la théorie de la force électromotrice : il fit dépendre la contraction de l'hétérogénéité de la substance nerveuse et tendineuse, et de la présence d'un liquide animal interposé. Aldini reprit depuis l'expérience de son oncle, et il dit dans son *Traité du galvanisme*, que les contractions de la grenouille peuvent être obtenues en faisant communiquer les nerfs et les muscles de cet animal, par l'intermédiaire d'autres animaux et de son propre corps. M. de Humboldt a fait aussi quelques expériences intéressantes sur le phénomène qui nous occupe; mais les recherches modernes de Nobili et de M. Matteucci complètent tout ce que nous avons à en dire.

Pour étudier le courant propre de la grenouille, Nobili se servait du galvanomètre; voici la disposition adoptée par ce physicien. Dans deux capsules de verre on place de l'eau, puis on plonge dans un des vases les jambes d'une grenouille préparée à la manière de Galvani, tandis que les nerfs lombaires sont introduits dans la seconde. Si maintenant on ferme le circuit en plaçant

les extrémités du fil d'un galvanomètre dans chacune des capsules, on observe une déviation. Le nombre de degrés parcourus par l'aiguille est fonction d'éléments divers; telles sont la conductibilité du liquide employé, l'épaisseur de la couche comprise entre les fils métalliques et les parties immergées de l'animal. L'activité plus ou moins grande de la grenouille a aussi une influence incontestable.

Lorsque l'expérience est disposée ainsi que nous l'avons dit, lorsque la grenouille est douée d'une grande énergie, on observe une contraction musculaire au moment où on ferme le circuit par un fil galvanométrique. Si on cherche à conclure le sens du courant de la direction suivant laquelle l'aiguille est déviée, on reconnaît que le courant marche des jambes aux nerfs, c'est-à-dire des jambes à la partie supérieure de l'animal.

14° Dans le but d'augmenter l'intensité des effets produits par le courant propre, M. Matteucci a construit, au moyen de plusieurs grenouilles, une véritable pile. Pour former un appareil de ce genre, ce physicien place sur un plan horizontal un morceau de taffetas verni destiné à jouer le rôle de corps isolant; puis il dispose à la suite les unes des autres plusieurs grenouilles préparées de telle façon que les nerfs lombaires de l'une soient toujours en contact avec les jambes de la suivante. Cette série se termine nécessairement à une des extrémités par des nerfs, à l'autre par des muscles: ce sont en réalité les pôles de la pile. On peut les faire plonger dans deux cupules pleines de liquide. Si on immerge dans le liquide les deux extrémités du fil galvanométrique, le circuit est fermé et la déviation de l'aiguille ne laisse aucun doute sur le courant développé dans ces circonstances, non plus que sur sa direction. Il est facile de reconnaître, au moyen du galvanomètre, que le courant obtenu est réellement continu. Les expériences de M. Matteucci, faciles à répéter, prouvent que l'affaiblissement des effets produits par le courant propre, tient en grande partie à la polarisation des électrodes. Si on se met à l'abri de cet effet perturbateur, les manifestations électriques sont sensibles pendant plusieurs heures, bien qu'elles s'affaiblissent sans cesse.

Galvani avait observé qu'en immergeant une grenouille préparée, dans une solution alcaline, la contraction était beaucoup plus énergique; des grenouilles, chez lesquelles ce phénomène n'avait pu être produit, l'ont offert après cette immersion. La vérité de ces faits a été reconnue par M. Matteucci; il a de plus reconnu que les solutions acides ont une puissance encore plus grande.

Nous ne pouvons entrer ici dans la description des expériences aussi nombreuses qu'intéressantes de M. Matteucci; qu'il nous suffise de résumer les principales déductions qu'il a pu en tirer. Dans une pile, aussi bien que dans

l'expérience de Nobili, on reconnaît que le courant marche toujours des jambes aux nerfs pour chacune des grenouilles. L'arc parcouru par l'aiguille du galvanomètre croît en amplitude avec le nombre des grenouilles mises en expérience. Si les cupules qui reçoivent les extrémités polaires sont chargées d'eau alcaline, ou même d'eau acidulée, la déviation est accrue, tout en conservant une direction définie et constante.

Dans la pile que nous venons de décrire, on observe que chaque grenouille se contracte au moment où le circuit est fermé au moyen des fils du galvanomètre. Il est à peine besoin de faire remarquer que ces effets sont tout à fait identiques avec ceux qui furent observés par Galvani dans l'expérience que nous avons déjà citée; ils se présentent toutes les fois que l'on établit une communication entre les nerfs et les muscles de l'animal au moyen d'un conducteur, quelle que soit d'ailleurs sa nature. M. Matteucci, dans un grand nombre d'expériences, a cherché à déterminer avec précision les organes de la grenouille indispensables au développement d'électricité. Le mode d'observation suivant ne laisse aucun doute sur ce sujet. On dispose une première pile, semblable à celle que nous avons décrite, avec six grenouilles; puis une seconde formée de six jambes séparées des cuisses et des nerfs lombaires. Ces deux piles sont mises en communication l'une avec l'autre, de telle sorte que la marche du courant soit inverse dans l'une et dans l'autre. Si alors on fait communiquer les fils d'un galvanomètre avec les extrémités de ce système, on n'observe, suivant M. Matteucci, aucune déviation. Il est permis d'en conclure que le courant développé par les pattes seules, a la même énergie que celui produit par les portions de grenouille qui sont ordinairement employées.

On peut démontrer par plusieurs expériences, que le courant propre existe dans les grenouilles vivantes. Pour mettre ce fait en évidence, il faut écorcher les cuisses de la grenouille, pratiquer une incision abdominale dans laquelle on met les nerfs lombaires à nu; si on replie alors les muscles sur les nerfs, on observe la contraction tant de fois signalée. Dans ces derniers temps, M. Matteucci a reconnu, comme nous l'avons indiqué en commençant ce chapitre, que le courant développé dans les diverses circonstances que nous avons fait connaître, n'est pas particulier à la grenouille. Le résultat de ses recherches peut être formulé de la manière suivante. Dans tous les muscles où les phénomènes de nutrition s'opèrent encore, dans lesquels les extrémités tendineuses ne se distribuent pas également, existe un courant dirigé du tendon au muscle, dans l'intérieur du muscle.

Dès que cette proposition est admise, il est facile de comprendre que le phénomène observé doit appartenir à un grand nombre d'animaux. Il suffit

de chercher un muscle, tel que l'une de ses extrémités tendineuses soit très différente par sa forme et ses dimensions de la seconde; or, il nous semble que cette condition est sans cesse réalisée dans l'économie. Chez la grenouille et chez plusieurs animaux le muscle jumeau, chez les oiseaux le pectoral, offrent, de la façon la plus évidente, un rapport de cet ordre entre leurs parties constituantes.

Pour arriver à mettre en évidence le courant musculaire dans ces diverses circonstances, il est nécessaire et il suffit d'isoler parfaitement les muscles qui doivent entrer dans la composition de la pile, sans mettre à nu les fibres musculaires par l'incision de l'aponévrose d'enveloppe.

On dispose les différents éléments de façon que l'extrémité tendineuse de l'un soit posée sur la surface musculaire de l'autre, et toujours dans le même ordre. On obtient dans ces circonstances une manifestation électrique au moyen des fils du galvanomètre.

Les agents extérieurs physiques et chimiques influencent de la même manière le courant propre et le courant musculaire dont nous allons nous occuper; pour éviter des répétitions inutiles, nous parlerons de ces influences en traitant de ce second ordre de phénomènes: c'est alors aussi que nous nous proposons de discuter la question de savoir si ces courants électriques existent en réalité dans les animaux auxquels on n'a fait subir aucune mutilation, ou bien si ce ne sont pas les conditions toutes spéciales engendrées par le physicien qui permettent de percevoir les manifestations électriques.

15° *Du courant électrique dans les muscles.* Les premières expériences sur le courant électrique musculaire sont vaguement indiquées dans l'ouvrage d'Aldini: c'est aux travaux nombreux et importants de M. Matteucci que la science doit une étude très approfondie de cet ordre de phénomènes. Une expérience fort simple met parfaitement en évidence une production d'électricité au moyen des muscles d'un animal récemment tué, lorsqu'on établit une communication entre deux parties différentes de ceux-ci, au moyen d'un conducteur suffisamment parfait. Pour reconnaître facilement l'existence d'un courant dans les muscles d'un animal vivant, d'un pigeon, par exemple, on introduit le filament nerveux de la patte galvanoscopique dans une plaie faite au muscle pectoral de cet oiseau.

Au moment où deux points différents du nerf de la grenouille se trouvent en contact, l'un avec la partie profonde des muscles, l'autre avec la partie superficielle, il y a une contraction. Cette contraction indique le passage d'un courant dans le nerf qui établit la communication.

Il suffit pour se convaincre que les conditions électriques spéciales, nées dans le muscle de l'animal, sont l'origine du courant développé, de faire

quelques expériences fort simples. Si on touche avec deux points différents du filament nerveux une goutte de liquide, ou un corps solide conducteur, ne présentant pas d'hétérogénéité de texture, aucune contraction n'apparaît dans la grenouille galvanoscopique. Il était nécessaire de savoir si le contact d'une goutte de sang avec deux points différents du filament nerveux, ne suffisait pas pour déterminer le passage d'un courant dans la patte galvanoscopique. L'expérience répond négativement à cette présomption. Le courant que l'on a obtenu au moyen des muscles d'un pigeon peut être reconnu dans le système musculaire de tout animal, quelle que soit la classe à laquelle il appartient.

Nous avons dit que le courant existe non seulement dans les muscles d'un animal vivant, mais encore dans ceux d'un être récemment tué. Si on sépare la cuisse d'une grenouille et si l'on pratique une incision dans les muscles, l'expérience précédente au moyen de la patte galvanoscopique réussit parfaitement. Le même phénomène a lieu si on opère sur les muscles détachés d'un animal à sang chaud, d'un oiseau ou d'un mammifère. Une remarque intéressante que nous ne devons pas omettre, c'est que les contractions de la grenouille cessent beaucoup plus rapidement dans ces dernières circonstances que si on se sert d'un animal à sang froid pour observer les mêmes effets.

Pour étudier d'une manière plus complète les phénomènes électriques produits dans les muscles, il était nécessaire de constater l'existence d'un courant, et de déterminer la direction au moyen du galvanomètre.

Les premières expériences de M. Matteucci consistaient à mettre les deux fils du galvanomètre en contact, l'un avec la partie profonde de la plaie faite au muscle d'un animal vivant, l'autre avec sa partie superficielle. L'existence du courant ne pouvait être douteuse, puisque l'aiguille était constamment déviée. Mais le sens de la déviation n'était pas suffisamment défini et ce mode d'expérimentation fut rejeté.

16° La construction d'une pile musculaire de grenouilles conduit à des résultats très satisfaisants. Pour la disposer, il est nécessaire d'écorcher plusieurs grenouilles; on désarticule la cuisse d'avec la jambe, et on coupe avec netteté les muscles cruraux perpendiculairement à l'axe du fémur. Les moitiés de cuisse ainsi obtenues sont les éléments de la pile; on les place les uns en contact avec les autres sur une table vernissée, de manière que la surface interne de la section musculaire reçoive le sommet tendineux de la portion désarticulée. Quel que soit le nombre des éléments, la pile se termine toujours par une surface musculaire à une de ses extrémités, par une surface tendineuse ou aponévrotique à la seconde.

Ces parties extrêmes doivent plonger dans deux cupules que l'on a soin de pratiquer à la surface de la table qui sert de support et que l'on remplit d'eau. Si on plonge les extrémités du fil d'un galvanomètre dans chacune des cupules, le courant est mis en évidence par la déviation instantanée de l'aiguille. L'intensité du courant musculaire exprimée par la déviation galvanométrique, croît d'une manière facilement appréciable avec le nombre des éléments.

Lorsqu'on veut se borner à rendre sensible le courant développé par la pile sans mesurer l'intensité des effets produits, on peut donner aux cuisses de grenouilles une direction curviligne; les pôles sont assez rapprochés pour que l'on puisse fermer le circuit au moyen du filament nerveux de la patte galvanoscopique.

Dans les premiers moments de la préparation de cette dernière, la contraction s'observe au moment où l'on ouvre le circuit et lorsqu'on le ferme. Après quelque temps, la contraction a lieu seulement quand on l'ouvre ou quand on le ferme, suivant la direction que l'on donne aux nerfs par rapport aux pôles musculaires. Les lois de l'influence du courant électrique sur le système nerveux permettent de conclure la direction du courant dans la pile de ce dernier résultat de l'expérience. On trouve par ce procédé, ou en faisant usage du galvanomètre, que le courant est constamment dirigé de la partie interne à l'extérieur du muscle.

Il est facile de comprendre que l'on peut construire des piles avec les muscles de différents animaux. Les conditions de la construction de ces appareils organiques sont les mêmes que celles que nous avons énoncées plus haut.

Les phénomènes que l'on observe présentent une identité complète lorsque l'on se sert des muscles d'animaux à sang froid; si on fait usage d'animaux à sang chaud, les déviations galvanométriques, plus intenses au début de l'expérience, décroissent avec une beaucoup plus grande rapidité.

M. Matteucci a cherché à produire des courants analogues à ceux que nous venons de décrire, en employant comme éléments divers tissus, tels que le foie, le cerveau, le poumon, le cœur. Il nous semble important de noter que, dans ces circonstances, il est parvenu à reconnaître un courant électrique, beaucoup plus faible, il est vrai, que dans les appareils musculaires. Le courant obtenu avec le tissu du cœur présentait un degré d'intensité assez remarquable; ce fait est peu surprenant, puisque chacun connaît la nature musculaire de cet organe.

17° En faisant usage de grenouilles vivantes convenablement préparées et fixées sur une table analogue à celle que nous avons décrite, on constate un courant musculaire chez ces animaux, courant qui, par sa direction, ne dif-

fère en rien de ceux que nous avons déjà fait connaître. L'intensité d'une pile construite avec ces grenouilles vivantes l'emporte sur celle du courant produit avec un nombre égal d'éléments musculaires séparés complètement des animaux. Si on construit une pile musculaire avec des pigeons vivants, l'intensité du courant produit est constamment plus considérable que celle d'une pile de grenouilles semblable dans les premiers temps de l'expérience; mais le décroissement d'intensité est beaucoup plus rapide.

Il est facile de démontrer que le système nerveux ne joue aucun rôle dans la production du courant musculaire. Des piles construites avec des cuisses de grenouilles, auxquelles on avait enlevé par une dissection attentive la plupart des filets nerveux, ont présenté une énergie aussi grande que lorsque ces parties étaient restées intactes. Il en a été de même pour des piles construites avec des cuisses de grenouilles dont la moelle avait été détruite quelques jours auparavant avec un fer rougi, ou qui avaient été tuées par la morphine.

Plusieurs modifications de l'intensité du courant sous l'influence d'agents extérieurs ou de dispositions organiques particulières à l'animal méritent d'être notées. Si on emploie, à la formation de la pile, des grenouilles privées depuis plusieurs jours d'aliments, chez lesquelles la circulation est faible et la respiration incomplète, les déviations que l'on observe sont à peine appréciables. Il en est tout autrement si les muscles des grenouilles employées sont le siège d'un mollimen inflammatoire, si les vaisseaux qui les parcourent sont gorgés de fluide sanguin; les effets produits ont une intensité anormale.

Lorsque les grenouilles employées à la formation de l'appareil musculaire ont été soumises pendant quelque temps à un abaissement de température un peu considérable, on constate dans le courant de la pile un affaiblissement très notable. Si l'expérience est répétée sur des animaux à sang chaud, la déviation conserve une valeur constante. Il est évident que, dans ce dernier cas, l'effet obtenu doit être attribué à la résistance de cet état à subir l'influence d'une température extérieure.

18° L'action des agents toniques sur la production du courant musculaire est généralement nulle. Des grenouilles tuées par l'immersion dans l'acide carbonique, par l'ingestion de l'acide hydrocyanique, ou la respiration de l'hydrogène arsénié, n'ont rien perdu de leur aptitude électrique. Un seul gaz, l'hydrogène sulfuré, a une influence très remarquable par son énergie; il abolit presque complètement la propriété de donner des courants musculaires chez les animaux qu'il a fait périr. Cette action spéciale reste encore sans interprétation.

Il est nécessaire d'indiquer ici un fait dont l'importance ne saurait être mé-

connue; c'est que dès que la pile musculaire est disposée, son action sur le galvanomètre paraît indépendante du milieu gazeux dans lequel on la plonge. Les déviations ne changent pas; la durée des phénomènes n'est nullement modifiée, qu'on la place dans de l'oxygène pur, dans de l'air, dans l'hydrogène ou dans l'acide carbonique.

Il me reste à indiquer une disposition de la pile, dans laquelle les communications entre les différents éléments sont opérés, non pas au moyen d'un contact immédiat entre les parties interne et externe des muscles, mais par l'intermédiaire du tronc nerveux qui est plongé au milieu des muscles cruraux. On a soin d'isoler et de laisser intacte la portion qui se continue dans la région lombaire, ou de conserver une des branches qui va se rendre à la jambe.

Dans toutes les dispositions que l'on a pu adopter au moyen de ces diverses préparations, on a constamment observé que le nerf servait seulement de conducteur aux fluides électriques, sans modifier en rien la direction du courant qui le parcourait; l'intensité seule a été affaiblie; mais il est facile de prévoir qu'il devait en être ainsi, puisque l'expérience se résume dans l'interposition d'un conducteur imparfait et de petite section entre les divers éléments musculaires.

19° *La cause des courants musculaires est-elle connue?* — M. Matteucci ayant récemment trouvé l'identité du courant propre et du courant musculaire, les considérations suivantes s'appliquent évidemment à ces deux ordres de faits.

Les différentes manifestations électriques dont nous nous sommes occupé présentent un grand intérêt; mais appartiennent-elles aux animaux dont les organes convenablement préparés servent à les mettre en évidence? C'est ce dont il est permis de douter. Nous avons déjà dit que l'on est porté à admettre, d'après une foule de faits, que dans toute action chimique il y a production d'électricité; mais, pour qu'un courant soit développé, il faut certaines conditions sans lesquelles les fluides, un instant séparés, se recomposent dans le lieu même où l'action s'est produite. M. Faraday, l'illustre fondateur des lois de l'électrochimie, a prouvé que la quantité de fluide neutre décomposé par l'action de l'acide sulfurique sur un gramme de zinc est réellement énorme. Cependant, ce phénomène chimique peut s'effectuer sur des masses considérables du métal, sans qu'on parvienne à saisir la plus petite trace d'électricité libre; c'est ce qui a constamment lieu lorsque dans l'acide sulfurique étendu, on plonge une lame de zinc ou de tout autre métal susceptible de produire la décomposition de l'eau. Mais si dans ce même liquide on place une lame de platine, qui par elle-même ne détermine aucune

action chimique, si au moyen d'un fil métallique on fait communiquer les deux lames, un courant est développé, la circulation des fluides isolés devient alors évidente.

Que s'est-il passé dans ces circonstances diverses? La réponse est facile. Dans le premier cas, les électricités se sont combinées dans le lieu même de leur séparation; il ne pouvait y avoir production d'un courant. Dans le second, le zinc, en présence de l'acide, a déterminé la décomposition de l'eau comme précédemment, le fluide électrique neutre de cette dernière a été partagé en fluide négatif, qui, avec l'oxygène, s'est porté sur le zinc, tandis que le fluide positif est allé sur le platine avec l'hydrogène mis en liberté. Ces deux fluides libres, trouvant un corps bon conducteur, l'arc jeté entre les deux métaux, l'ont parcouru en se neutralisant dans son intérieur; il y a eu courant.

En considérant les actions chimiques nombreuses qui se passent au sein des tissus des animaux vivants, on ne peut se refuser à admettre que la décomposition du fluide électrique soit un fait bien probable. Mais tout porte à penser que cette production d'électricité est analogue à celle que développe l'action du zinc seul sur l'acide sulfurique, car on ne trouve pas dans les différentes parties de l'appareil anotamique, ces dispositions sans lesquelles le mouvement des fluides électriques reste un problème impossible à résoudre dans l'état actuel de la science.

M. Matteucci, prenant le cas le plus simple de ces expériences compliquées, celui des piles musculaires, a cherché à interpréter physiquement les phénomènes observés, en se fondant sur la direction constante des déviations obtenues au moyen du galvanomètre. On sait combien est grande l'énergie des actions chimiques qui accompagnent la nutrition dans la fibre musculaire; la texture peu vasculaire du tissu qui l'enveloppe ou la termine porte à croire aussi que les phénomènes de nutrition sont moins actifs dans ces parties. D'après ces remarques, la portion interne des muscles représente en quelque sorte le métal attaqué de notre expérience précédente; la surface extérieure est le métal inerte. Dans chaque élément de la pile de grenouilles, ces deux portions se constituent dans deux états électriques différents, et si l'on jette entre elles un corps suffisamment conducteur, les électricités séparées se combinent en suivant cette voie; le courant est engendré. Bien que dans les piles musculaires, même chez celles que l'on construit au moyen d'animaux vivants, quelques actions qui n'existaient pas chez ces êtres intacts semblent simplifier les interprétations, l'appréciation des conditions nécessaires à la production du courant laisse encore à désirer. Trouver dans ces diverses matières organisées, baignées de liquides complexes réagissant entre

eux ou sur les tissus par un reste de vitalité, les circonstances nécessaires à la marche des fluides suivant des directions déterminées, est un problème qui n'est pas encore résolu. Les tentatives faites pour obtenir un courant au moyen d'électro-moteurs composés exclusivement de liquides, c'est-à-dire sans employer les métaux comme producteurs d'électricité ou comme corps conducteurs, sont d'ailleurs encore peu nombreuses, et les plus récentes, dues à M. Becquerel, n'ont pas été couronnées d'un succès complet.

On sait que dans la majorité des piles usitées, la production du courant est due à l'action chimique déterminée par un métal sur une dissolution qui l'attaque. Mais la décomposition du fluide neutre peut résulter de la réaction réciproque de deux liquides convenablement disposés, et les métaux employés à fermer le circuit jouent seulement le rôle de corps conducteurs.

On obtient une pile de ce genre en partageant la capacité d'un vase rectangulaire en trois parties égales au moyen de deux diaphragmes de terre poreuse. Dans l'un des compartiments extrêmes, on verse une solution de potasse, et dans l'autre de l'acide nitrique; la cavité moyenne comprise entre les deux cloisons perméables reçoit une solution de nitrate de potasse. Les liquides ne se mélangent pas immédiatement, mais les surfaces de contact qui existent aux parois, permettent à l'action chimique de s'effectuer lentement, et toutes les portions de la pile acquièrent des états électriques différents. Vers le liquide acide se porte l'électricité positive; vers la solution alcaline le fluide négatif; le liquide de la case médiane conserve son état naturel. Si on établit la communication entre les deux cases extrêmes au moyen de lames de platine qui ne subissent aucune action chimique, on trouve dans l'arc métallique conducteur toutes les preuves d'une circulation des fluides électriques. C'est en partant de cette expérience fort simple, où le métal joue seulement le rôle de corps conducteurs, que M. Becquerel a cherché à réaliser une pile sans métaux, en remplaçant l'arc métallique interpolaire par une colonne liquide. Pour arriver à ce résultat, ce physicien place deux vases de verre cylindriques l'un près de l'autre; dans le premier il verse de l'acide nitrique, dans le deuxième une solution de potasse. Il établit ensuite une communication entre chacun des vases au moyen d'un tube courbé contenant une mèche de coton parfaitement imprégnée d'une solution de nitrate de potasse; jusqu'ici c'est la disposition précédente à peine modifiée, les conditions physiques sont les mêmes: nul doute, les lames de platine plongées dans chacun des vases, et communiquant avec un galvanomètre, donneront une déviation. Mais, au lieu de fermer le circuit avec cet arc métallique, M. Becquerel le ferme au moyen d'une solution de nitrate de potasse retenue dans un tube de verre semblable au précédent par du kaolin. Pour

chercher à déterminer au moyen de cette pile à éléments liquides une déviation dans le galvanomètre, ce physicien s'est servi d'un procédé ingénieux. Ne pouvant employer un fil métallique, il a enroulé sur le cadre du galvanomètre une ficelle imprégnée d'une solution concentrée de chlorure de calcium, et enveloppée dans toute sa longueur de taffetas verni; les deux extrémités de ce conducteur humide communiquaient avec les liquides extrêmes de la pile.

Avec cette disposition d'appareil, M. Becquerel n'a pas obtenu de déviation au galvanomètre. Cependant, en complétant le circuit au moyen du nerf de la patte galvanoscopique, des contractions ont été aperçues. Mais nous pensons que les résultats de cette expérience ne sont pas encore concluants, puisqu'il n'y a pas eu déviation de l'aiguille aimantée, et, il faut bien le dire, si elle eût réussi, la question des courants musculaires se serait représentée dans l'explication de cette pile, puisque la symétrie presque parfaite de toutes les portions de l'appareil ne permet pas de saisir les conditions nécessaires à la marche des fluides isolés.

En présence de tous ces faits, il semble permis de conclure que la détermination précise de la cause des courants musculaires laisse beaucoup à désirer, et que des expériences difficiles restent encore à faire pour approfondir cette délicate question.

20. *Y a-t-il production d'électricité pendant la contraction musculaire?*

Phénomène de la contraction induite. Les belles recherches de MM. Becquerel et Breschet sur la température du corps humain, leurs expériences faites au moyen d'un appareil thermo-électrique d'une grande délicatesse ont mis hors de doute un fait dont tous les physiologistes ont apprécié l'importance; la température des muscles subit une élévation facilement appréciable pendant leur contraction.

On comprend l'intérêt qui s'attache à savoir si pendant ce même acte physiologique il n'y a pas en même temps production d'électricité. Une expérience très importante de M. Matteucci, expérience qui fait l'objet de ce chapitre, semble devoir, au premier abord, résoudre la question affirmativement; mais, dans toutes les recherches physiques appliquées aux êtres organisés, la complication des conditions est si grande, qu'il est souvent impossible de dégager l'inconnue du problème, et le doute est encore permis après de longues et consciencieuses recherches.

Voici le phénomène important découvert par M. Matteucci: On prépare une grenouille à la manière de Galvani, puis une patte galvanoscopique dont le filament nerveux doit être aussi long que possible. Ce nerf est mis en contact avec les muscles cruraux de la grenouille. Si maintenant on fait passer le

courant d'une pile à travers les nerfs lombaires de la grenouille préparée, elle entre en contraction comme à l'ordinaire; mais au moment où cet effet se produit, la patte galvanoscopique elle-même se contracte avec une grande énergie. Le même phénomène peut être observé si le nerf de la patte galvanoscopique est mis en contact avec les muscles de la cuisse d'un lapin, et si, au moyen d'un courant électrique passant dans les nerfs qui s'y rendent, on détermine une contraction de ces derniers.

Il est un moyen fort simple de démontrer que le courant électrique employé pour déterminer la contraction de la grenouille de Galvani, ne joue aucun rôle dans celle de la patte galvanoscopique. Il consiste à produire la première en remplaçant l'action du courant sur le nerf par celle d'un agent stimulant chimique ou mécanique porté sur la moelle épinière, ou sur les nerfs lombaires; le phénomène se manifeste encore avec toute sa netteté.

Un grand nombre d'expériences montrent que si le nerf de la patte galvanoscopique est mis en rapport avec le cerveau, ou tout autre organe de la grenouille, aucune contraction induite n'apparaît. Celle-ci n'est excitée que par un muscle en contraction. Si on prépare plusieurs pattes galvanoscopiques, qu'on les place de façon que les nerfs des unes touchent les muscles des précédentes; au moment de la contraction induisante, on voit souvent trois grenouilles galvanoscopiques se contracter en même temps, mais la contraction induite du quatrième ordre n'est jamais obtenue.

Nous l'avons dit précédemment, ce fait curieux fut attribué dès l'origine à une production d'électricité pendant la contraction musculaire. Telle fut l'opinion de M. Becquerel après quelques expériences faites en commun avec M. Matteucci. On admit qu'au moment de la contraction musculaire, il y a séparation des deux électricités, passage des fluides de noms contraires dans le nerf appliqué sur le muscle, par conséquent contraction dans la grenouille galvanoscopique. Or, suivant M. Matteucci, cette manière d'interpréter le phénomène de la contraction dite *par induction*, ne peut pas être conservée en présence des expériences très nombreuses qu'il a jugé nécessaire d'entreprendre pour résoudre un problème bien difficile, comme on va le voir.

Pour abréger les termes, on donne le nom de contraction *induite* à celle de la patte galvanoscopique, et celui de contraction *induisante* à celle de la grenouille préparée. Les moyens les plus commodes de déterminer la contraction musculaire induisante consistant à faire passer un courant dans les nerfs lombaires, pour éviter toute communication électrique étrangère au phénomène, M. Matteucci prend soin de placer les grenouilles à la surface d'un vase plat contenant une couche mince de térébenthine assez dense.

Plusieurs observations peuvent être faites en adoptant cette disposition. On reconnaît d'abord qu'aucun corps liquide interposé entre le filament ner-

veux et la surface des muscles cruraux n'a la propriété d'empêcher la production de la contraction induite. Les principaux liquides qui ont été essayés sont : l'eau légèrement acidulée ou salée, le sérum, l'huile d'olive, l'alcool plus ou moins hydraté, le vernis à l'alcool et aux résines, l'essence de térébenthine.

Mais il n'en est plus de même si on interpose entre les nerfs et les muscles, des lames excessivement minces de diverses matières solides. Il suffit, pour arrêter toute contraction dans la patte galvanoscopique, d'une feuille d'or, d'une lame de mica, d'une lame de gypse, d'une couche de papier glacé ; une feuille de papier à filtrer très fin et humide permet au phénomène de s'accomplir.

Pour bien apprécier si la contraction induite est due réellement à une production d'électricité dans les muscles, M. Matteucci a cherché dans une longue série d'expériences, si, lors de ce phénomène, l'aiguille du galvanomètre est influencée. La méthode qu'il a employée consiste à former une pile en faisant usage, soit du courant propre, soit du courant musculaire ; lorsqu'une déviation fixe est obtenue au galvanomètre, on cherche à apprécier une augmentation dans l'arc décrit, au moment où on détermine, par un irritant chimique, une contraction musculaire dans le système.

M. Matteucci tire, comme conclusion de ses recherches, que, pendant la contraction, si l'expérience se fait sans interruption ou changement quelconque dans le circuit, l'aiguille du galvanomètre n'éprouve aucune variation. Il fait remarquer cependant que quelquefois on voit l'aiguille se rapprocher du zéro, dans d'autres circonstances l'arc peut augmenter de deux ou trois degrés. Que conclure de ces différents résultats ? Évidemment, que les effets obtenus sont compliqués de tant de conditions indépendantes du phénomène principal, qu'il nous paraît bien difficile d'arriver par cette voie à la solution de la question.

Si les faits que nous venons d'exposer ne paraissent pas infirmer complètement l'opinion qui attribue la contraction induite à une production d'électricité au moment de la contraction induisante, il faut avouer que les résultats obtenus par l'interposition de lamelles solides ou de différents liquides paraissent bien difficiles à expliquer dans cette hypothèse.

Il n'y a pas de difficulté sérieuse à interpréter l'effet produit par l'interposition des solides, de la feuille d'or, par exemple, car il est possible que le courant développé ne soit pas assez intense pour amener la décomposition du liquide aux deux faces du métal, condition cependant nécessaire à sa transmission jusqu'au nerf de la grenouille galvanoscopique. Mais comment des liquides assez peu conducteurs pour ne pas permettre la transmission du courant d'une pile musculaire ont-ils permis à l'électricité développée pendant la

contraction induisante d'arriver jusqu'au nerf ? Il faut convenir que si aucune des circonstances propres à induire en erreur dans ces expériences délicates, (tel serait un contact entre le nerf et les muscles au moment de la contraction), n'est venu compliquer les résultats, le phénomène de la contraction induite ne pourrait plus être attribué à une production d'électricité pendant la contraction musculaire.

C'est en dernière analyse à cette négation absolue de développement électrique que M. Matteucci est arrivé. Si nos convictions sur ce point eussent été arrêtées, nous n'aurions pas dû traiter ici cette question. Les derniers travaux du savant professeur de Pise prouvent, en effet, qu'il considère le phénomène de la contraction induite comme dérivant d'une manière immédiate d'une induction de cette force inconnue qui circule dans les nerfs et produit la contraction musculaire. Nous le répétons, en présence de faits contradictoires, d'expériences dont les résultats varient souvent de sens, le doute est encore permis sur des problèmes dont la solution offre tant de difficultés.

21° *De quelques appareils organiques dans lesquels on a cru reconnaître la production de l'électricité.* — Après avoir fait connaître une série de faits précis et incontestables, il nous reste à traiter du développement de l'électricité dans certains organes de l'homme ou des animaux, et du rôle que l'on a attribué aux fluides libres dans l'accomplissement de certaines fonctions importantes. Nous avons hésité à exposer cette portion de notre sujet, car nous trouverons bien peu de vérités à enregistrer et beaucoup d'erreurs à signaler; mais nous pensons que des opinions consciencieuses ne peuvent être passées complètement sous silence; les expériences faites pour les réfuter présentent d'ailleurs souvent de l'intérêt.

22° *Y a-t-il production d'électricité dans le système nerveux ?* — Le développement d'électricité libre dans les appareils nerveux centraux, la circulation des fluides séparés dans les cordons nerveux, est une opinion séduisante qui, depuis Galvani, a trouvé dans la science de nombreux partisans. On connaît l'opinion de Reil et de Rolando; on sait que ces deux médecins trouvaient dans la structure du cervelet, dans les rapports qui existent entre la substance blanche et la matière grise nerveuse, les éléments constitutifs d'une pile électrique; là était pour eux l'origine du fluide en mouvement dans les nerfs.

La plupart des auteurs qui ont admis la réalité d'un courant électrique dans les nerfs, paraissent avoir déduit leur opinion des effets produits sur certains organes, par le passage d'un courant dans les nerfs qui s'y rendent : l'étude approfondie de l'influence de l'électricité sur le système nerveux, faite avec un grand soin dans ces dernières années, rend facile aujourd'hui la réfutation de ces analogies trompeuses.

Pour ne pas m'écarter de la partie physique de mon sujet, je vais m'occuper d'apprécier la valeur de quelques faits admis par plusieurs auteurs, au sujet de l'action magnétisante qu'exercent les nerfs sur des aiguilles d'acier implantées dans leur épaisseur.

Suivant Beraudi, des aiguilles d'acier plongées dans le nerf crural d'un lapin, et laissées dans cette position pendant un quart d'heure environ, avaient acquis la propriété d'attirer des parcelles de limaille de fer. Cet auteur conclut de cette observation que les nerfs sont parcourus par le fluide électrique.

M. Prévost, de Genève, cite une expérience analogue. Des aiguilles d'acier plongées dans les muscles cruraux d'une grenouille seraient devenues magnétiques, mais seulement pendant le temps de la contraction.

MM. Lambert et Jobert mentionnent des expériences plus singulières encore : ce sont des directions imprimées à un fil métallique par l'action, tantôt du nerf sciatique, tantôt du cerveau ou de la moelle épinière mis à découvert chez des animaux vivants.

Pour terminer, citons une observation du docteur David; ce médecin prétend qu'ayant plongé, chez un lapin, les deux fils d'un galvanomètre dans le nerf sciatique isolé des muscles au moyen d'une lame de verre, il a pu observer, pendant que cet animal se livrait à des mouvements énergiques, une déviation notable de l'aiguille.

Que doit-on penser de ces différentes manifestations électriques reconnues par ces observateurs, tantôt dans le système nerveux central, tantôt dans sa portion périphérique? Les interprétations et les expériences contradictoires abondent dans la science.

L'expérience du docteur Prévost est évidemment inexacte. Chacun sait, en effet, que l'acier est doué d'une puissance coercitive, en vertu de laquelle il conserve la polarité magnétique qu'une action quelconque lui a imprimée. L'aiguille d'acier plongée dans les muscles de la grenouille n'était aimantée, dit-il, que pendant la contraction, c'est donner à penser qu'elle ne le fut jamais.

Contre l'assertion du docteur Beraudi s'élèvent en foule les expériences d'un grand nombre de physiciens et de physiologistes; M. Longet, en répétant cette observation avec tous les soins recommandés par l'auteur, n'a jamais trouvé la moindre polarité à l'aiguille implantée dans le nerf. Ce savant physiologiste a prouvé également que la prétendue attraction de l'expérience de MM. Lambert et Jobert est due seulement aux courants d'air chaud et humide qui s'élèvent dans le voisinage de la partie mise à découvert. Un fil métallique a paru se diriger de la même manière lorsqu'il était suffisamment rapproché des muscles, du doigt, et même de matières inertes imprégnées d'eau échauffée.

L'influence de l'électricité nerveuse sur l'aiguille du galvanomètre n'est pas plus exacte que les précédentes. Les expériences de M. Person, celles plus récentes de MM. Matteucci et Longet, ne laissent aucun doute sur ce point. Dans leurs dernières observations faites à Alfort sur le nerf sciatique d'un cheval, ces deux savants ont vainement cherché, au moyen d'un galvanomètre présentant une excessive sensibilité, des traces d'un courant électrique dans le système nerveux.

Il serait inutile de discuter plus longtemps la question que nous nous sommes proposée en commençant cet article. Il nous paraît parfaitement démontré que jusqu'à ce moment aucune observation dirigée avec les précautions convenables n'a permis de constater l'existence d'un courant dans aucune portion du système nerveux d'un animal vivant.

23° *L'électricité joue-t-elle un rôle dans le mécanisme des sécrétions?*

Quelques tentatives ont été faites pour expliquer, au moyen des courants électriques, le mécanisme des sécrétions. La réaction, tantôt acide, tantôt alcaline de leurs produits, suivant les organes qui les isolent, avait fixé l'attention d'un physicien célèbre, Wollaston. Cet observateur ayant remarqué que sous l'influence d'un courant faible la soude peut être séparée du sel marin, avança, sans tenter aucune expérience, qu'il est possible que des courants existants dans les organes sécréteurs soient l'origine de la réaction des substances qu'ils éliminent. M. le docteur Donné a cherché à reconnaître des traces de ces courants, mais il est arrivé à prouver que dans toutes les expériences qu'il a tentées en plaçant les deux lames de platine d'un galvanomètre en contact avec deux surfaces offrant des réactions différentes, la peau et la muqueuse buccale, par exemple, les courants obtenus devaient être attribués à des actions particulières aux liquides acides et alcalins dans les circonstances de l'expérience. M. Donné a également reconnu qu'il faut admettre que le mécanisme des sécrétions paraît tout à fait indépendant de courants définis circulant dans les organes nécessaires à la fonction.

24° Les partisans des théories électro-vitales ont scruté attentivement tous les actes de la vie animale, examiné tous les liquides normaux ou pathologiques pour fournir quelques faits à l'appui de leurs hypothèses. Il faut le dire, dans la plupart des cas, les procédés qu'ils employèrent pour arriver à leurs démonstrations furent si compliqués, la cause réelle des phénomènes qu'ils observaient si confuse à leurs yeux, qu'ils purent croire de bonne foi aux résultats de leurs expériences. Une étude attentive de leurs travaux, les recherches de plusieurs physiciens habiles ne laissent aucune valeur aux opinions qu'ils basèrent sur les phénomènes qu'ils ont signalés. Ces réflexions naissent en foule à la lecture des longues recherches de Bellingeri sur l'état électrique du sang, de l'urine, de la bile. Jamais, jusqu'ici, malgré ses asser-

tions, malgré celles de Pfaff, de Vassalli Eandi, de Rossi, la moindre trace d'électricité libre n'a pu être reconnue dans le sang, ou dans tout autre liquide de l'économie.

Que pourrions-nous dire de l'opinion de M. Dutrochet, qui admet que les globules sanguins constituent un couple dans lequel le noyau joue le rôle d'élément négatif, la matière colorante albuminoïde le rôle d'élément positif. Ce nombre presque infini de couples voltaïques répandus dans le système sanguin, a, suivant lui, une grande importance pour l'accomplissement des phénomènes vitaux. On comprend facilement quelle valeur doit avoir cette théorie, quand on songe que chez un grand nombre d'animaux, et chez l'homme en particulier, les globules hématiques sont dépourvus de noyau.

Les doctrines de Pfaff, de Ahrens, sur l'électricité du corps humain, les hypothèses de Wilbrand sur la polarité électrique, méritent aussi peu d'être réfutées aujourd'hui, et, en lisant les longs mémoires où les idées de ces auteurs se trouvent développées, on ne peut s'empêcher de regretter que tant d'imagination ait été employée à soutenir de pareils erreurs.

Ainsi donc il n'existe aucun fait propre à prouver que le sang, les liquides normaux ou pathologiques soient jamais chargés d'électricité libre. Tous les expérimentateurs qui ont répété par des moyens précis les recherches que nous avons mentionnées sont toujours arrivés à la négation.

25°. *Des phénomènes de phosphorescence chez les animaux.* — Les phénomènes lumineux que l'on observe chez certains animaux sont trop intéressants pour que nous négligions de les mentionner ici. Il est important d'ailleurs de discuter s'ils ont réellement une origine électrique.

Les nombres des animaux phosphorescents, les classes, les familles, les genres, les espèces auxquels ils appartiennent sont loin d'être parfaitement déterminés. Le seul fait que l'on puisse affirmer à cet égard, c'est que la phosphorescence n'a jamais été observée jusqu'ici chez les animaux supérieurs. C'est parmi les mollusques, les crustacés, les insectes, les annélides, les radiaires, les polypiers et les êtres microscopiques désignés sous le nom d'infusoires, que les exemples les plus frappants de cette singulière propriété ont été le plus souvent signalés.

Les insectes sont les animaux chez lesquels le phénomène qui nous occupe a été le mieux étudié. On possède quelques données qui ne permettent pas de douter qu'il se manifeste chez les *Elater nocticulus*, *phosphoreus* et *ignitus*, le *Pausus sphærocerus*, le *Scarabeus phosphoreus*, plusieurs espèces de *Lampyris*, et la *Scolopendra electrica* mentionnée par Treviranus. On reconnaît que chez les taupins phosphorescents les organes lumineux sont constitués par deux plaques ovales, situées sur les côtés de l'écusson; ils sont couverts de lames minces et transparentes. On trouve dans les *Mémoires de l'Académie*

des sciences le fait singulier d'un de ces insectes observé à Paris par Fougereux en 1766. C'était l'*Elater major phosphoreus*, originaire de Cayenne.

Dans les *Lampyris noctiluca* et *splendidula*, chez lesquels les causes de la production de lumière ont été reconnues avec le plus de précision, la lumière émane des trois derniers anneaux de l'abdomen ; c'est sur deux points blancs appartenant au dernier qu'elle a le plus d'éclat. On prétend que les œufs du *Lampyris splendidula* et sa larve elle-même sont doués de la même propriété que l'insecte parfait. Dans le *Lampyris Italica*, on observe une scintillation en quelque sorte rythmique. Carus a attribué les périodes de la scintillation à des mouvements dépendants de la circulation ou de la respiration. Cette opinion paraît peu probable ; car chez le *Lampyris noctiluca*, qui n'offre aucune scintillation, les mouvements observés par Carus se rencontrent également.

Les observations sur le *Lampyris Italica* sont assez nombreuses ; les plus remarquables ont été faites par Spallanzani, Macaire, et surtout, dans ces dernières années, par M. Matteucci. Ces recherches prouvent que, dans tous les milieux où la vie de l'animal peut continuer, la phosphorescence se produit ; elle persiste même quelquefois après sa mort, mais elle a peu de durée.

On remarque que dans un tube où des lampyres sont réunis en grand nombre, un thermomètre sensible indique une élévation appréciable de la température.

Si on plonge les lampyres dans l'eau et qu'on porte la température de celle-ci jusqu'à $+30^{\circ}$, on voit la lumière augmenter graduellement ; mais à cette température, toute intermittence du phénomène cesse d'exister. Lorsque l'on continue d'élever la température de l'eau, la lumière devient rougeâtre ; enfin, à $+40^{\circ}$ elle cesse complètement.

Quand on produit le phénomène inverse, c'est-à-dire que l'on abaisse la température de l'eau dans laquelle ils sont immergés, la phosphorescence va en diminuant ; à $+5^{\circ}$ environ on la voit disparaître.

Le milieu dans lequel l'insecte est placé a une influence incontestable sur la production de la lumière. Dans le vide et dans l'air très raréfié, l'animal meurt et la phosphorescence est annulée. Dans l'oxygène pur, l'animal présente une grande activité et le phénomène un éclat inaccoutumé ; au contraire, dans des mélanges gazeux impropres à la respiration, la lumière s'éteint en même temps que la vie ; mais cette action délétère est plus ou moins rapide, suivant la nature du mélange.

Les segments de ces insectes, soumis aux expériences que nous venons de faire connaître, donnent aussi de la lumière, si le mélange gazeux est propre à entretenir la respiration ; mais cette dernière cesse de se manifester dans les gaz irrespirables.

Un fait très important à signaler, c'est que l'air où les segments ont été placés pendant quelque temps donne à l'analyse une proportion très notable d'acide carbonique; résultat produit également par le séjour de l'animal entier.

De toutes ces expériences, il résulte que la phosphorescence du lampyre est liée de la manière la plus intime aux phénomènes de la respiration. La production de lumière est due à la combinaison lente d'une matière spéciale sécrétée dans les anneaux de l'abdomen. Cette substance, composée de carbone, d'hydrogène, d'oxygène et d'azote, apparaît sous la forme de granulations colorées; elle est protégée contre l'action des milieux extérieurs par une enveloppe membraneuse transparente; l'oxygène de l'air lui arrive par les innombrables trachées qui s'y ramifient.

Il est probable que chez tous les insectes dans lesquels la phosphorescence a été étudiée, elle est due à des phénomènes de combustion du même ordre; c'est au moins ce que l'analogie permet de supposer.

Nous chercherons, en terminant ce chapitre, à déterminer si le phénomène lumineux produit pendant cette action chimique lente ne peut pas, avec quelque probabilité, être attribué à une cause électrique, ce qui justifiera les développements dans lesquels nous avons cru devoir entrer.

26°. Nous avons déjà dit que les mers renferment des myriades d'animaux chez lesquels la phosphorescence se manifeste avec une grande intensité. Leur présence en quantité presque innombrable dans certains parages donne lieu à un phénomène des plus brillants; la plus faible agitation des flots en fait jaillir des lueurs bleuâtres et souvent des scintillations.

La phosphorescence de la mer ne paraît pas cependant toujours due à la présence d'animaux semblables à ceux dont nous allons nous occuper. Souvent, dans les mers tropicales, l'eau paraît, dans l'obscurité, d'un blanc laiteux tirant sur le bleu. Cet état lumineux particulier est dû à la présence d'une matière visqueuse qui se sépare des méduses, soit pendant leur vie, soit après leur mort.

Meyer a observé que l'eau dans laquelle on écrase des biphores ou des béroés devient immédiatement phosphorescente.

C'est une observation de ce genre qui a été faite par MM. Becquerel et Breschet dans les eaux de la Brenta, à peu de distance de Venise. Le corps le plus léger que l'on jette dans l'eau détermine la production de lumière, non seulement dans le point frappé, mais encore dans toutes les ondes d'ébranlement du liquide.

Les animaux rendus phosphorescents par une sorte de mucus qui les recouvre, sont, suivant Meyer, des infusoires, des rotifères, des biphores, des méduses, des astéries, des sèches, des sertulaires, des pennatules, des planaires, des crustacés, des annélides.

Il existe d'autres animaux marins chez lesquels la phosphorescence paraît due à un appareil particulier. Tels sont le *Pyrosoma atlanticum* étudié par Meyer, parmi les mollusques; l'*Oniscus fulgens*, parmi les crustacés.

M. Ehrenberg a fait connaître, dans un grand mémoire sur la phosphorescence de la mer, un grand nombre d'animaux nouveaux, chez lesquels il a observé la production de lumière. Dans des recherches faites à Alexandrie, il a reconnu qu'une algue, le *Spongodium vermiculare*, que plusieurs observateurs considéraient comme phosphorescente, doit cette propriété à de petits animaux qui s'y fixent. Dans l'eau de la Baltique il a pu faire des remarques nombreuses d'un grand intérêt. Il a reconnu chez le *Polynoe fulgurans*, espèce d'annélide commune dans ces parages, que les appareils lumineux sont constitués par deux corps analogues aux ovaires. Parmi les infusoires, chez lesquels la phosphorescence est constatée de manière à ne laisser aucun doute, on peut citer les espèces suivantes : *Prorocentrum micans*, *Peridinium Michaëlis*, *perid. micans*, *perid. fusus*, *perid. fusca*, *perid. acuminatum*, *synchoeta Baltica*, et une espèce de *Stertor* d'après Bacher.

Les observations de M. Ehrenberg portent aussi sur un grand nombre de méduses trouvées dans la Baltique. Dans l'*Oceania microscopica* qui n'a qu'un tiers de millimètre de longueur, la lumière est assez intense; dans le *Cydicpe pileus*, elle émane de points correspondants aux ovaires. M. Ehrenberg a reconnu que chez l'*Oceania scintillans* et l'*Oceania hemispherica*, les étincelles apparaissent toujours à la base renflée des grandes cirrhes qui se trouvent implantées sur le bord de l'animal. L'observation du *Nereis cirrigera* est fort intéressante. Cet annélide, placé sous l'objectif du microscope, présente deux cirrhes charnues implantées sur chaque pied; dans les premiers moments de l'observation, il n'est pas rare de voir des étincelles isolées jaillir de chaque cirrhe; bientôt la cirrhe entière devient phosphorescente; après quelque temps l'animal devient complètement lumineux et, suivant l'expression de M. Ehrenberg, semblable à un fil de soufre enflammé. Chez les annélides, la phosphorescence du lombric, au moment de l'accouplement, avait déjà été notée par Flaugergues, Audouin, Forestier. La lumière paraît due à une matière qui s'échappe du clitellum; cette substance, enlevée à l'animal par le contact des corps qui l'environnent, continue à briller quelque temps. La phosphorescence de la mer dans les régions tropicales, les animalcules qui la produisent ont été signalés, il y a déjà quelques années, par MM. Quoy et Gaymard.

Enfin, récemment, un zoologiste habile, M. de Quatrefages a fait sur la phosphorescence des annélides et des ophiures en particulier quelques expériences très dignes d'intérêt. Au moyen du microscope, il a pu reconnaître que la phosphorescence de ces êtres se développe dans la fibre musculaire;

elle présente des intermittences marquées, et offre un éclat très intense quand on vient à faire agir sur les muscles un irritant mécanique. Si on renouvelle plusieurs fois l'excitation, la lumière finit par s'éteindre complètement, mais après un repos suffisamment prolongé elle apparaît de nouveau.

Nous nous bornerons à signaler, en passant, la phosphorescence de quelques matières animales en voie de putréfaction. Les débris des poissons, des mollusques, et même, suivant quelques observateurs, les cadavres de quelques animaux supérieurs en présentent des exemples.

Nous mentionnerons aussi, mais dubitativement, quelques lueurs phosphorescentes que l'on prétend avoir observées chez l'homme dans différents états pathologiques.

27° Que conclure de l'ensemble de tous les faits que nous venons de rapporter? A quelle cause faut-il attribuer la production de lumière chez les différents êtres qui ont été observés jusqu'ici? Nous l'avons déjà dit en parlant de la phosphorescence des insectes, et les expériences de M. Matteucci ne laissent aucun doute sur ce point; la production de lumière se lie de la façon la plus évidente à une action chimique bien définie, à l'action de l'oxygène sur une matière spéciale susceptible de se combiner avec cet élément; il y a donc ici un véritable phénomène de combustion, mais de combustion lente, telle qu'elle s'opère en général dans les êtres organisés. Bien que l'expérience n'ait pas encore prononcé sur les phénomènes qui se produisent dans la longue série des êtres que nous avons énumérés, il nous semble que l'analogie la plus licite permet de croire qu'il en est de même à leur égard, et qu'une matière spéciale sécrétée par chacun d'eux doit entrer en combinaison avec l'oxygène des milieux dans lesquels leur vie s'accomplit normalement. Les expériences très précises d'un grand nombre de physiciens distingués prouvent, en effet, combien est puissante la modification imprimée à l'air qui avoisine les mers par les myriades d'animalcules qui les habitent.

Les observations de M. de Quatrefages, celles de M. Ehrenberg, loin d'infirmer notre manière de voir, nous semblent fournir des arguments en sa faveur. Les scintillations remarquables que l'on observe chez un grand nombre d'animaux phosphorescents se lient presque toujours à des mouvements plus ou moins rapides, par conséquent à des contractions musculaires. Mais, nous l'avons déjà dit pour les animaux supérieurs, toute contraction est l'origine d'un développement de chaleur dans le muscle où elle s'opère, et toute augmentation de chaleur est due à une combustion plus active dans le tissu où elle s'effectue.

En admettant cette explication, on comprend facilement comment, dans le sillage des navires et sur les flancs de ceux-ci, l'eau qui renferme les animaux phosphorescents paraît plus lumineuse, les mouvements imprimés à

ces derniers, le contact de nouvelles couches d'eau avec l'air, doivent nécessairement activer les phénomènes de combustion.

Mais comment ces phénomènes de combustion, s'opérant avec une faible élévation de température, peuvent-ils devenir une source lumineuse? Ici commence la partie physique de la question que nous nous sommes proposée.

Dans un grand et beau travail sur la phosphorescence en général, M. Becquerel a donné une théorie très satisfaisante de ce phénomène. La discussion des nombreuses observations qu'il a faites, lui a permis de poser des principes auxquels tous les cas particuliers peuvent être rattachés facilement. Nous allons indiquer brièvement les propositions fondamentales de la théorie de M. Becquerel. Le frottement, la percussion, la chaleur, l'action chimique, le mouvement de l'électricité, en déterminant l'ébranlement ou la séparation des molécules des corps, produisent dans ces derniers une décomposition du fluide électrique neutre. Mais les fluides des noms contraires séparés tendent à reformer du fluide neutre, que la cause qui les a isolés continue ou cesse d'agir, et cette recombinaison s'accomplit, suivant les cas, en produisant une élévation de température, ou des phénomènes lumineux qui permettent de comprendre ce qui se passe dans la phosphorescence.

La production d'étincelles lumineuses, ou de lueurs phosphoriques ne peut se manifester dans la recombinaison du fluide de noms contraires, que lorsque ce phénomène s'opère avec lenteur et sous une tension assez considérable. On est conduit à penser, d'après ces conditions, que la phosphorescence ne peut apparaître que dans les corps mauvais conducteurs des fluides électriques.

Nous pensons qu'il est possible de se rendre compte, en faisant usage de ces principes, des phénomènes lumineux chez les animaux, en les rattachant d'une manière indirecte, toutefois, à la production de l'électricité chez ces êtres. Nous trouverons une cause suffisante de séparation des fluides de noms contraires dans l'action chimique qui se passe au sein de la matière phosphorescente, la combustion dont nous avons déjà parlé antérieurement. Mais il faudra admettre, sans preuve expérimentale, que la conductibilité de cette substance est assez faible pour que les fluides isolés ne puissent se neutraliser de nouveau qu'avec une certaine lenteur, et sous une tension assez grande pour qu'il y ait production de lumière.

Les scintillations, les intermittences de la lueur phosphorescente se rattacheront toujours à une activité plus ou moins grande de la combustion; or on sait que dans des circonstances physiologiques parfaitement déterminées, et que nous avons fait connaître, les combinaisons de l'oxygène avec les substances organisées des tissus s'opèrent avec une énergie variable.

28° *De la production de l'électricité dans les végétaux.* — Les considéra-

tions qui ont été présentées au sujet de la production de l'électricité dans les êtres appartenant au règne animal, permettent de supposer que des phénomènes analogues doivent se passer dans les plantes. Il est inutile de revenir encore sur la nécessité d'admettre une séparation des fluides de noms contraires dans les actions chimiques, et sur la probabilité d'une recombinaison sur place dans la majorité des cas.

Les liquides qui gorgent les tissus végétaux, qui circulent dans les espaces intercellulaires ou dans certains vaisseaux particuliers, offrent à l'analyse chimique une composition et des réactions différentes. La sève ascendante se distingue facilement de la sève élaborée. On ne peut nier que toutes ces conditions de liquides à composition variable, de ces réactions qui doivent s'effectuer au moyen des communications établies aux parois des tissus, permettent de supposer que dans les organes des plantes comme dans ceux des animaux, il y a décomposition du fluide électrique neutre. Mais dans ces circonstances aussi, nous ne voyons pas nettement la condition du mouvement des fluides électriques, les parties nécessaires à l'établissement d'un courant. Si donc on a trouvé une circulation d'électricité en jetant un arc métallique entre deux points différents d'un même végétal, on doit croire qu'on a fait naître des conditions qui n'existaient pas dans l'être organisé intact, avant qu'il fût soumis à l'expérience.

Ces réflexions paraissent applicables aux expériences intéressantes de M. le docteur Donné, dont nous allons offrir ici les principaux résultats.

Si on plonge deux aiguilles de platine terminant les fils d'un galvanomètre dans un fruit, l'une du côté de la queue, l'autre du côté de l'œil, on observe une déviation de plusieurs degrés sur le limbe de l'instrument.

Le sens des déviations n'est pas le même, suivant l'espèce de fruit sur laquelle on fait l'expérience.

Si on place les aiguilles dans un même plan perpendiculaire à l'axe du fruit, et à égale distance de cet axe, le galvanomètre ne donne aucun signe de courant. M. Donné fait remarquer que le courant qui se produit dans ces circonstances est probablement dû à la différence de composition que présentent les sucres végétaux dans les deux parties où les fils de platine ont été introduits. Il appuie cette opinion d'une expérience fort significative. On coupe en deux moitiés un fruit par une section perpendiculaire à l'axe, et, dans deux vases différents, on exprime les sucres renfermés dans chacune de ces parties. En établissant la communication entre les deux liquides au moyen d'une bande de papier non collé, et plongeant les deux aiguilles du galvanomètre dans chacune des capsules, on obtient une déviation de même sens que si l'expérience eût été faite sur le fruit intact. Le jus de la moitié appartenant au pédoncule prend l'électricité positive, lorsque l'expérience est faite sur une

prune, comme s'il était réellement plus acide que l'autre. Mais quand on répète la même expérience en exprimant le suc des deux moitiés obtenu par une section faite suivant l'axe, toute manifestation électrique cesse d'apparaître.

On ne peut conclure de ces observations qu'il y a réellement un courant de direction définie dans les tissus végétaux qui ont servi à faire l'expérience, et nous en avons déjà exposé les raisons précédemment. Mais ne peut-on pas admettre entre les parties d'un végétal offrant une hétérogénéité très grande, une circulation partielle des fluides électriques séparés? C'est là une question difficile, mais qu'une expérience, faite par Bacomio au temps de Galvani et de Volta, semble résoudre affirmativement.

Ce médecin construisit une pile singulière formée de disques de betterave et de disques de bois de noyer; ces derniers avaient été privés de leur matière résineuse par une immersion prolongée dans un réactif convenable. Lorsqu'on a obtenu par la superposition de ces matières végétales hétérogènes une sorte de pile à colonne, on établit la communication entre ses deux extrémités au moyen de deux feuilles de cochlearia. Il est possible de démontrer le passage d'un courant faible en fermant le circuit au moyen d'une patte galvanoscopique, ou d'une grenouille préparée à la manière de Galvani.

Cette observation curieuse nous paraît présenter un cas analogue à celui des piles musculaires, et si elle force à conclure à la séparation des deux fluides dans certaines conditions de la vie végétale, elle n'explique en rien le mécanisme de leur circulation, et ne démontre même pas complètement leur existence en dehors des circonstances particulières de l'expérience.

Nous citerons encore une expérience de M. Dutrochet sur une prétendue polarité des organes foliacés; cet observateur, ayant fait passer un courant dans l'intérieur d'une feuille épaisse présentant deux espèces de matière colorante, l'une verte, l'autre rouge, vit, dit-il, la substance rouge s'accumuler au pôle positif, la verte au pôle négatif; la première était donc acide, la seconde alcaline.

De cette observation M. Dutrochet conclut que la matière colorante répandue en abondance dans les feuilles des plantes est composée de deux éléments, l'un électro-positif, l'autre électro-négatif. Toute partie foliacée, suivant le même auteur, un pétale, par exemple, est analogue au couple d'une pile, et offre une face supérieure désoxydante, une face inférieure oxydante au contraire. Nous croyons inutile de démontrer tout ce qu'a d'hypothétique une opinion aussi peu fondée que celle qui vient d'être rapportée.

29° On sait que M. Pouillët a fait un grand nombre d'expériences sur l'électricité développée pendant plusieurs actes de la végétation; ce n'était plus un courant qu'il s'agissait de mettre en évidence, mais de l'électricité de tension s'accumulant dans la plante soumise à l'observation.

Voici la disposition expérimentale adoptée par M. Pouillet : dans un certain nombre de capsules vernies au moyen d'un corps isolant et reposant sur un support également isolant, on place de la terre végétale humide et les graines sur lesquelles on veut faire l'observation. Les capsules communiquaient entre elles ainsi qu'avec le plateau supérieur d'un électromètre condensateur, dont l'inférieur était en relation avec le sol. Les deux premiers jours qui suivirent la mise en expérience, aucune manifestation électrique ne put être aperçue. Mais lorsque la gemmule fut sortie de terre, l'électromètre se chargea, et on reconnut dans les lames d'or de l'électricité positive.

On doit conclure de là que les gaz dégagés pendant la respiration des jeunes plantes s'étaient chargés d'électricité positive, tandis que le fluide négatif s'était répandu dans les végétaux et les capsules où ils étaient contenus. Ce qu'il y a de singulier dans les résultats indiqués par M. Pouillet, c'est que les phénomènes électriques furent exactement les mêmes pendant la nuit que dans le jour; on sait cependant que les actes respiratoires sont absolument inverses dans ces deux conditions différentes. Ces observations ont été répétées plusieurs fois pour la germination des graines du blé, du cresson alénois, de la giroflée de Mahon, de la luzerne. On a observé qu'après trois jours de végétation, une seconde de communication avec l'électromètre suffisait pour déterminer l'accumulation du fluide électrique dans les lames d'or. On comprend facilement que, pour que l'électricité des capsules ne se perdît pas, il était nécessaire d'enlever autant que possible l'humidité de l'air contenu dans la pièce où se faisait l'expérience.

Les conclusions des recherches que nous venons de rapporter sont beaucoup plus difficiles à tirer qu'on le croirait au premier abord. Il est aisé de comprendre qu'il ne peut y avoir dégagement d'électricité libre dans les premiers temps de la germination, car le gaz acide carbonique provenant des premiers phénomènes de combustion qui se passent au sein du végétal, doit rester engagé dans la terre des capsules; les électricités mises en liberté doivent se neutraliser dans de telles circonstances. Mais il semble tout à fait impossible de se rendre compte de l'identité des résultats électriques perçus pendant la nuit et pendant le jour, puisque les phénomènes chimiques qui s'accomplissent dans le végétal sont inverses dans ces deux circonstances. Lorsque l'on réfléchit de plus à la complication des faits qui se passent pendant l'expérience, à l'évaporation qui se produit dans les organes de la plante, aux actions chimiques qui se passent nécessairement dans le terrain où elle croît, on est amené à conclure que ces expériences, quelque habilement qu'elles aient été dirigées, laissent encore indécise la question, importante pour la physique du globe, de savoir s'il y a production d'électricité, de tension, c'est-à-dire séparation permanente des deux fluides électriques pendant

l'accomplissement des phénomènes de la nutrition et de la respiration chez les plantes.

30° Pour terminer ce qui a rapport à la production de l'électricité dans les végétaux, il nous reste à exposer les phénomènes de phosphorescence qui ont été signalés chez quelques uns d'entre eux.

On sait que la fille de Linnée observa la première les lueurs phosphorescentes qui s'échappent des fleurs de la capucine. Ce fait curieux a été constaté depuis sur un grand nombre de fleurs, dont les corolles présentent une coloration jaune ou orangée, et dont les teintes ont un grand éclat; telles sont les fleurs du grand soleil, du souci, celle de l'œillet et de la rose-d'Inde. Ces faits, d'après le témoignage des auteurs qui les rapportent, n'ont été observés que pendant les soirées qui viennent après des jours où l'air est chaud et chargé d'électricité. L'état de sécheresse de l'atmosphère paraît aussi favorable au développement de la phosphorescence et à la vivacité de la lumière émise.

Les observations auxquelles nous faisons allusion sont, du reste, encore peu nombreuses dans la science, et plusieurs auteurs paraissent les révoquer en doute. Nous citerons cependant encore le fait singulier d'une lueur phosphorescente observée par un voyageur sur une espèce de pandanus qui croît en Afrique. Au moment de la débiscence de la spathe, il y aurait eu, suivant le témoignage de cet observateur, développement d'une lumière assez vive en même temps qu'un bruit se serait fait entendre.

Plusieurs exemples de phosphorescence ont été signalés chez les végétaux appartenant à la classe des acotylédones. Linnée cite un *bissus phosphorescens*, et un grand nombre d'auteurs ont observé la lumière qu'il émet. La propriété lumineuse a été reconnue aussi chez les *rhizomorpha* des mines, et chez l'*agaricus olearius*. Les *rhizomorpha* ont l'apparence de racines noirâtres serpentant à travers le tissu des bois morts, et dans les lieux frais et obscurs. La lumière paraît avoir le plus d'éclat dans les ramifications jeunes et vigoureuses qui présentent une couleur blanchâtre et une texture floconneuse. M. Delile a fait plusieurs recherches intéressantes sur l'agaric de l'olivier: il a reconnu que la phosphorescence de son hymenium, coloré en jaune d'or, n'est pas le résultat d'une altération putride de la substance. Cet agaric, dans les premiers temps de sa croissance, est phosphorescent pendant quelque temps, même lorsqu'il a été séparé de l'arbre sur lequel il croît habituellement. La production de lumière commence peu de temps avant la nuit, et cesse après le lever du soleil. Un fait assez remarquable, indiqué par M. Delile, c'est que pendant le jour l'agaric de l'olivier n'est jamais lumineux quelle que soit l'obscurité dans laquelle on le plonge. M. Babington a cité plus récemment l'exemple d'une mousse phosphorescente que l'on trouve dans certaines cavernes de l'Allemagne: c'est le *Schistostega crenata*.

Les observations les plus vulgaires de phosphorescence dans les végétaux ont été faites sur les bois présentant un état spécial de décomposition. Un grand nombre de recherches prouvent que cette production de lumière est due à une véritable combustion lente qui s'opère dans les tissus ligneux désorganisés. A l'appui de cette opinion, nous citerons une remarque de Boyle qui, en 1668, avait déjà constaté que la lueur de ces bois disparaît dans le vide de la machine pneumatique, et se reproduit à mesure que l'on donne de nouveau accès à l'air. Suivant M. Dessaignes, la plupart des bois peuvent présenter la phosphorescence, lorsqu'ils sont imprégnés d'eau et exposés à l'air à une température de 8 à 12°. On remarque qu'après l'altération subie pendant la production de lumière, le tissu ligneux, sans avoir perdu sa forme, ne présente plus aucune flexibilité, que son poids est considérablement diminué et sa force de cohésion presque nulle. Si on plonge du bois phosphorescent sur du mercure dans une cloche contenant de l'oxygène ou de l'air, on trouve qu'au bout d'un temps plus ou moins long l'oxygène a disparu, et est remplacé par un volume correspondant d'acide carbonique. D'après l'ensemble de ces faits, il est impossible de ne pas reconnaître que la phosphorescence des matières ligneuses en voie de décomposition, se lie de la façon la plus intime aux phénomènes de combustion qui s'opèrent dans le sein de leurs tissus.

31° S'il est permis de hasarder une opinion sur un fait aussi incomplètement étudié que la phosphorescence des végétaux, nous ferons observer que, jusqu'à ce moment, la production de lumière n'a été observée que dans les organes des plantes et dans des végétaux entiers où les phénomènes normaux de la nutrition et de la respiration donnent pour résultat ultime une proportion variable d'acide carbonique. Il faut donc reconnaître ici, comme dans les animaux phosphorescents, que l'action primordiale qui devient l'origine de la production de lumière est une véritable combustion. C'est à cette action chimique qu'il faudrait attribuer la séparation momentanée des deux électricités contraires; il serait aussi nécessaire d'admettre que la matière organisée, au sein de laquelle la décomposition du fluide neutre s'est opérée, conduit assez mal l'électricité pour que la recombinaison ne puisse s'effectuer que lentement et sous une tension considérable. Telle serait, dans notre opinion, avec le petit nombre de faits que l'on possède sur ce sujet complexe, la seule manière de comprendre la production de lueurs phosphoriques dans les différents cas qui ont été précédemment énumérés.

FIN.