

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

### § 7. Production d'électricité dans les végétaux.

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

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

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

Becquerel estime que des courants fermés circulent constam-



ment dans l'intérieur de chaque plante, qu'ils sont dirigés de l'écorce à la moelle, et de là jusqu'aux dernières branches ; et il attribue la production de ces courants à la présence de deux liquides différents réagissant chimiquement l'un sur l'autre par l'intermédiaire de tissus très-peu perméables. Il remarque que ces deux liquides qui sont la sève ascendante et la sève parenchymeuse sont dans les conditions voulues pour dégager des courants sans l'intermédiaire de lames métalliques, savoir : de former des contacts par des transitions insensibles. M. Wartmann admet aussi l'existence dans l'intérieur des plantes de courants fermés dont les courants perçus ne sont que des dérivations. Il est aussi d'accord avec M. Becquerel sur ce que les feuilles de l'écorce sont négatives par rapport au sol. Ce dernier physicien, en implantant les aiguilles de platine fixées aux extrémités du galvanomètre dans différentes parties des tubercules de pomme de terre, a trouvé des courants qui lui ont démontré l'hétérogénéité des sucres qui se trouvent dans les tissus depuis l'épiderme jusqu'au centre ; hétérogénéité qui paraît être en rapport avec la constitution organique du tubercule. L'action de l'eau sur ces divers sucres détermine également des courants dans lesquels l'eau prend l'électricité positive, de sorte que M. Becquerel arrive à conclure de ses nombreuses observations, que les effets électriques dont il s'agit sont tellement complexes qu'il faut bien se garder d'en tirer des conséquences sur le rôle que doit jouer l'électricité dans les fonctions organiques, et par conséquent dans les phénomènes de la vie végétale.

Les doutes de M. Becquerel se sont trouvés confirmés par les recherches très-complètes que M. Buff a faites récemment sur ce sujet. Afin de changer le moins possible les conditions naturelles où une plante se trouve placée, M. Buff a employé l'eau comme intermédiaire pour établir la communication entre divers points de la plante et le galvanomètre. La disposition expérimentale était la suivante : Deux vases de verre contenaient une couche de mercure d'environ 2 centimètres d'épaisseur, dans laquelle plongeaient les extrémités de deux fils de platine enfermés dans des tubes de verre. Sur le mercure

on versait de l'eau ; on faisait communiquer les fils de platine avec un galvanomètre, et, en fermant le circuit par une bande de papier humide, on s'assurait de l'absence de toute force électromotrice due à l'hétérogénéité du mercure ; il n'existait presque jamais de force électromotrice de ce genre, ou s'il en existait une, on la faisait promptement disparaître par l'agitation du mercure ; on évitait ainsi les difficultés qui se seraient présentées si les fils de platine eussent été en contact direct avec l'eau. Ensuite on supprimait la bande de papier et l'on faisait plonger dans l'eau les deux parties de la plante dont on voulait examiner l'état électrique.

M. Buff a d'abord comparé l'état électrique des feuilles avec celui des racines. La plante ayant été enlevée de terre et ses racines bien nettoyées dans un courant d'eau, de manière à enlever toute la terre adhérente sans altérer en aucune manière l'état de la surface, on fit plonger les racines dans l'un des vases, et les feuilles dans l'autre. On obtint ainsi un courant dirigé constamment des racines vers les feuilles à travers la plante, mais dont l'intensité variait d'une plante à une autre. Pour être bien sûr de l'absence de toute action électromotrice étrangère, on renversait la plante sur elle-même, et la direction du courant était immédiatement changée. Lorsqu'on a opéré sur des plantes très-sèches ou très-résineuses et, par suite, très-peu conductrices, on a disposé plusieurs individus parallèlement les uns aux autres dans les mêmes expériences. On a examiné de cette façon les plantes dont voici la liste :

Pommier <sup>1</sup>	Beta oleracea	Fraisier
Prunier <sup>1</sup>	Daucus carota	Nicotiana tabacum
Sapin <sup>1</sup>	Oxalis stricta	Diverses graminées
Rosier <sup>1</sup>	Reseda	Cactus opuntia
Euphorbes diverses	Viola tricolor	Erica urceolaris
Senecio vulgaris	Viola canina	Acropera laddigesii <sup>2</sup>

On a ensuite examiné des branches séparées du végétal, en plongeant les feuilles dans un des vases pleins d'eau, et l'ex-

<sup>1</sup> Les expériences ont été faites avec de très-jeunes arbrisseaux.

<sup>2</sup> Plante de la famille des orchidées.



trémité coupée dans l'autre. On a toujours obtenu un courant dirigé à travers la plante de la section artificielle mise à nu vers les feuilles. On a expérimenté de la sorte sur les plantes précédentes et sur un certain nombre d'autres dont voici la liste :

Chêne	Thé
Charme	Spiræa ulmaria
Saule	Vigne
Populus alba	Pinus silvestris
Paulownia imperialis	Pinus lanceolata
Erable	Sedum tectorum
Nerium oleander	Sedum hybridum

Tropæolum majus  
Diverses fougères  
Raifort  
Chêne  
Pavot  
Genévrier  
Groseillier

Les courants ainsi obtenus ont souvent persisté pendant plusieurs heures sans jamais changer de direction.

Si l'on enlevait l'écorce en un point quelconque de la plante, et si l'on faisait plonger dans un des vases la partie ainsi mise à nu, les feuilles plongeant dans l'autre vase, on obtenait toujours un courant dirigé, dans l'intérieur de la plante, de la partie mise à nu vers les feuilles. Entre deux feuilles intactes il ne s'établissait aucun courant ; mais, si l'une des feuilles était déchirée, il se produisait un courant dirigé de la feuille déchirée vers la feuille demeurée intacte.

On pouvait même obtenir un courant avec une feuille unique, en y faisant une déchirure et établissant un circuit entre la déchirure et la portion intacte de la feuille. Ces expériences prouvent clairement que les courants dont il s'agit n'existent pas dans la plante vivante, puisqu'on peut leur donner telle direction qu'on voudra par rapport aux organes de la végétation, en choisissant convenablement le point où l'on met à nu l'intérieur du végétal.

L'écorce jeune et fraîche, les boutons et les fleurs se compor-

tent exactement comme les feuilles. Il en est de même d'un certain nombre de fruits : tels sont les raisins, les pommes, les prunes, les baies de l'épine-vinette, celles du troène, les capsules du raifort, les gousses de vesces, etc.

Il n'est pas nécessaire d'enlever toute l'écorce pour observer les effets qui viennent d'être décrits ; il suffit d'arracher l'épiderme. L'intérieur de l'écorce se comporte donc, par rapport aux feuilles, comme l'intérieur du bois.

Enfin, même dans les champignons, on peut observer des phénomènes semblables ; l'intérieur du champignon est négatif par rapport à la surface intacte. L'expérience a été faite sur les champignons suivants :

Agaricus campestris  
Agaricus nodus  
Agaricus muscarius  
Lycoperdon gemmatum

On peut donc regarder comme établi que *les racines et toutes les parties internes des plantes qui sont remplies des suc de la végétation sont négatives par rapport à la surface plus ou moins humide des feuilles, des fleurs, des fruits et des jeunes rameaux.*

La raison de ce phénomène est facile à concevoir. L'intérieur de la plante contient des suc de diverse nature qui ne peuvent passer à travers l'épiderme, tandis que l'humidité extérieure imbibe toujours un peu cette membrane. On a donc en contact une membrane imbibée d'eau et des organes végétaux chargés de liquides de diverse nature ; si l'on établit entre cette membrane et ces organes un circuit fermé, il doit évidemment se produire un courant. Mais il paraît aussi évident que ce courant n'a qu'un rapport très-indirect et très-éloigné avec les phénomènes de la végétation.

Il nous paraît donc démontré que jusqu'ici nous n'avons aucune preuve de l'existence, dans les végétaux vivants, d'un état électrique analogue à celui que nous avons trouvé dans les muscles et dans les nerfs des animaux, et que toutes les traces d'électricité qu'on a aperçues peuvent être attribuées



uniquement à des réactions chimiques ordinaires et dans quelques cas, comme nous le verrons, à l'électricité atmosphérique. Les phénomènes de la force osmotique étudiés dernièrement par Graham ne sont point contraires à cette conclusion, puisque c'est à une action chimique qu'il attribue la production de l'électricité qui accompagne suivant lui l'endosmose.

Liste des principaux travaux relatifs aux sujets traités dans ce chapitre :

- Galvani*. — Électricité animale; résumé de ses travaux par Gavarret. — *Ann. de ch. et de phys. (Nouvelle série)*. T. xxv, p. 58.
- Volta*. — Électricité animale. — *Ann. de ch.* T. xxiii, p. 276 et 301. — Organe électrique du gymnote. T. xl, p. 255.
- Humboldt*. — Électricité animale. — *Ann. de ch.* T. xxii, p. 51. — Gymnotes électriques. — *Ann. de ch. et de phys.* T. xi, p. 408.
- Humboldt et Gay-Lussac*. — Torpille. — *Ann. de ch.* T. lvi, p. 15.
- Nobili*. — Courant de la grenouille. — *Bibl. univ.* (1828). T. xxxvii, p. 10.
- Matteucci*. — Électricité animale. — *Arch. de l'électricité*. — T. ii, p. 419 et 626; t. iii, p. 5 et 153. — *Ann. de ch. et de phys.* T. lvi, p. 439, et t. lxxviii, p. 93. — *Ann. de ch. et de phys. (Nouvelle série)*. T. vi, p. 30; t. viii, p. 309; t. xv, p. 64; t. xviii, p. 109; t. xxiii, p. 230. — *Trans. phil. de la Société royale de Londres* (1847-1850). — Poissons électriques. — *Bibl. univ.* T. xi (1837), p. 392; t. xii, p. 163, et t. xvii (1838), p. 37. — *Arch. de l'électricité*. t. i, p. 571, et t. v, p. 491. — *Ann. de ch. et de phys. (Nouvelle série)*. T. xxi, p. 160. — Respiration musculaire. — *Compte rendu de l'Académie des sciences*. t. xlii, p. 648; et *Arch. des sc. phys.* T. xxxii. — *Traité des phénomènes électrophysiologiques des animaux*, Paris, 1844.
- Dubois-Reymond*. — Électricité animale. — *Ann. de ch. et de phys. (Nouvelle série)*. T. xxx, p. 119 et 178; t. xxxix, p. 114. — *Arch. des sc. phys.* T. xv, p. 134. — *Ann. der physik.*, 1843 à 1853. — *Untersuchungen über thierische electricitat*. T. i et ii, Berlin, 1848.
- Davy*. — Torpille. — *Ann. de ch. et de phys.* T. xli, p. 438.
- Santi-Linari*. — Torpille. — *Bibl. univ.* T. viii (1837), p. 395, et t. xviii (1838), p. 155.
- Faraday*. — Gymnote. — *Bibl. univ.* T. xxiv (1839), p. 387.
- Schænebein*. — Gymnote. — *Arch. de l'électricité*. T. i, p. 445.
- Miranda et Paci*. — Gymnote. — *Arch. de l'électricité*. T. v, p. 496.
- Pacini*. — Organes des poissons électriques. — *Arch. des sc. phys. (Bibl. univ.)*. T. xxiv, p. 313.
- E. Wartmann*. — Électricité végétale. — *Arch. des sc. phys.* T. xv, p. 301.
- Becquerel*. — Électricité végétale. — *Ann. de ch. et de phys. (Nouvelle série)*. T. xxxi, p. 46.
- Buff*. — Électricité végétale. — *Ann. de ch. et de phys. (Nouvelle série)*. T. xli, p. 198.

## CHAPITRE II.

### ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

#### § 1. Existence de l'électricité atmosphérique et moyens de la constater.

Les anciens, quoique fort ignorants en fait de sciences physiques, avaient cependant étudié avec quelque soin les phénomènes atmosphériques. Les Étrusques, qui s'en étaient occupés d'une manière toute particulière, y avaient cherché les moyens de prédire l'avenir, de détourner les présages funestes et d'apaiser les dieux. Ils avaient surtout observé tout ce qui avait rapport aux coups de foudre, dont ils reconnaissaient trois sortes, suivant la gravité de leurs effets; ils distinguaient même onze espèces de foudre, d'après la théorie qu'ils avaient déduite de leurs observations; les Romains n'en admettaient que deux, celles de jour attribuées à Jupiter, celles de nuit attribuées à *Summanus*. Selon les Étrusques, il y avait des foudres qui sortaient de la terre (*infera, terrena*) et d'autres qui venaient du ciel (*a sideribus venentia*); celles-ci frappaient toujours obliquement, tandis que les premières s'élevaient perpendiculairement. La partie la plus mystérieuse de la science des aruspices étrusques consistait assurément dans les cérémonies par lesquelles ils prétendaient attirer la foudre; c'était le culte de *Jupiter Elicius*. Les Étrusques l'avaient apporté à Rome; Numa en avait appris d'eux le secret, et il avait consigné le détail de ces rites dans ses commentaires; son successeur Tullius Hostilius ayant voulu répéter ces redoutables cérémonies, mais n'ayant pas pris les précautions nécessaires, fut tué par la foudre.