

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.
- Schænbain*. — 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.



La croyance à la *science fulgurale* dura un grand nombre de siècles, et Constantin le Grand devenu chrétien y avait encore foi, puisque plusieurs années après sa conversion au christianisme il fit une loi pour autoriser les Romains à consulter les aruspices lorsqu'un édifice avait été frappé de la foudre. Plus tard encore et dans le temps du siège de Rome par Alaric, des Étrusques se présentèrent au préfet de cette ville, et l'assurèrent qu'ils avaient été témoins de la défense d'une ville par le moyen de certaines cérémonies qui avaient attiré des tonnerres et des tourbillons de feu, et l'avaient ainsi délivrée de ses ennemis. Ils offraient de défendre Rome de cette manière, et l'évêque qu'on consulta autorisa un essai qui n'eut, du reste, aucun résultat.

Quelques auteurs ont pensé que les récits et les superstitions des Étrusques cachaient de véritables connaissances physiques; ils ont cru en retrouver des traces chez quelques autres peuples de l'antiquité, et ont cité l'opinion de Michaelis qui a soutenu que les pointes dorées qui se trouvaient, selon l'historien Joseph, sur le faite du temple de Jérusalem, faisaient l'office de paratonnerres et mettaient cet édifice à l'abri de la foudre. Ils alléguaient aussi un passage de Ctésias qui parle de deux épées dont le fer avait la vertu de dissiper les nuages, la grêle et les tourbillons. Mais ces indications, jointes à tout ce qu'on connaît des théories *fulgurales* des Étrusques, ne sauraient constater l'existence d'une véritable science. On peut seulement en conclure que certains phénomènes électriques avaient été remarqués dans l'antiquité. Ainsi on avait observé ces petites flammes qui apparaissent au sommet des mâts de vaisseau, et que les marins appellent aujourd'hui le *feu Saint-Elme*. On avait vu les lueurs qui brillent quelquefois à la pointe des lances et des épées, et les Romains les avaient déjà remarquées huit ans après l'expulsion des rois, pendant la guerre contre les Sabins. Mais tous ces phénomènes ne furent jamais rapportés à leur cause réelle, car il est évident que les Étrusques n'avaient aucune véritable connaissance de l'électricité; ils furent seulement un objet de superstition exploité par les prêtres de Jupiter Elicius.

Il faut arriver au milieu du dix-huitième siècle, jusqu'à Franklin, pour avoir la preuve que les phénomènes de l'éclair, du tonnerre et de la foudre sont dus à l'électricité. Cependant, déjà avant l'illustre Américain, on avait bien soupçonné l'identité qui existe entre ces phénomènes électriques. Après avoir produit pour la première fois l'étincelle électrique, le docteur Wall la compara immédiatement aux éclats de la foudre. L'analogie était frappante, et les physiciens cherchaient à l'établir par des rapprochements plus ou moins ingénieux. Mais tout se passait en raisonnements qui ne pouvaient rien conclure, parce qu'en physique c'est l'expérience seule qui doit prononcer. Franklin eut donc la pensée hardie d'aller chercher l'électricité au sein même des nuages; comme il ne s'agissait que de porter un corps dans la région du tonnerre, il eut l'idée de se servir du cerf-volant, et, après quelques tentatives infructueuses, il parvint à tirer de l'extrémité de la corde qui retenait le cerf-volant lancé au milieu des nuages, une vive étincelle qui fut suivie de plusieurs autres. L'expérience de Franklin eut lieu en 1752; elle était faite en même temps en Europe avec succès par plusieurs physiciens, et entre autres par Dalibard à Marly et par M. de Romas. Ce dernier ayant eu, en juin 1753, l'heureuse idée de mettre un fil de métal dans toute la longueur de la ficelle qui retenait le cerf-volant, avait obtenu des effets énergiques; il avait pu tirer des étincelles de neuf ou dix pieds de longueur et d'un pouce de grosseur, qui étaient accompagnées d'un bruit étourdissant. Malgré toutes les précautions qu'il avait prises pour isoler ses appareils au moyen de rouleaux de verre, M. de Romas fut une fois renversé par la violence du choc, mais sa chute n'eut aucune suite fâcheuse, tandis que Richmann à Pétersbourg fut foudroyé par l'électricité des nuages, qu'il avait amenée dans son cabinet au moyen d'un conducteur. Il fut donc constaté d'une manière évidente que la foudre n'est qu'une décharge électrique. Nous verrons plus loin les conditions et les formes qui sont propres à ce mode de manifestation de l'électricité, ainsi que les moyens de se préserver de ses atteintes; nous devons auparavant étudier de plus près



et en dehors des phénomènes accidentels auxquels il donne naissance, l'état électrique de l'atmosphère.

Lemonnier est le premier qui, au moyen de tiges métalliques isolées, ait constaté que, même à l'état serein, l'air est chargé d'électricité. Beccaria a confirmé ces résultats en les étendant et cherchant à déterminer les circonstances diverses qui influent sur l'électricité de l'atmosphère, quand il n'y a pas d'orage. Mais les deux physiciens qui se sont occupés de ce sujet avec le plus de soin à la fin du dernier siècle sont sans contredit de Saussure et Volta. Au lieu d'appareils fixes tels que des pointes isolées placées à de grandes hauteurs et mises en communication par des fils métalliques avec l'observateur, ces deux physiciens employaient des électroscopes portatifs munis à leur sommet d'une tige de fer susceptible d'être allongée, et qu'on élevait dans l'air plus ou moins haut en tenant l'instrument dans la main.

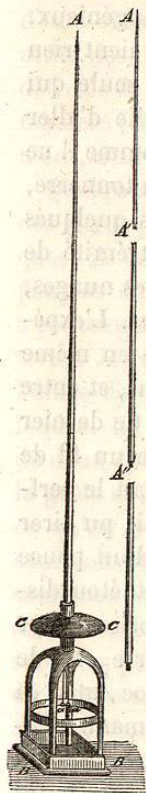


Fig. 353.

L'électromètre de de Saussure, dont on se sert encore avec avantage à cause de sa facilité de transport, est formé de deux fils fins de métal (fig. 353) terminés chacun par une petite balle de sureau *aa* et adaptés à une tige métallique fixée à la partie supérieure d'une cloche de verre *BB*. Les deux petits pendules sont ainsi placés dans l'intérieur de la cloche. La tige est elle-même surmontée d'un conducteur *A* terminé en pointe, composé de trois parties pouvant s'ajuster les unes dans les autres et chacune d'une longueur de 2 décimètres; ce conducteur est destiné à recueillir de l'électricité au-dessus de la tête de l'observateur. Pour préserver l'électromètre de la pluie ou de la neige, on visse à la partie supérieure de la cloche un petit chapeau en laiton *CC* de forme conique et d'un décimètre de diamètre. Une échelle divisée est appliquée sur l'une des faces de la cage de verre, afin d'apprécier les angles de divergence des deux pendules.

De Saussure a gradué comme il suit son appareil : ayant pris deux électromètres aussi égaux et semblables que possible, il électrisa l'un d'eux de manière que les deux boules de sureau s'écartassent par exemple de 6 millimètres; avec le crochet de l'autre électromètre qui n'était point électrisé il toucha le crochet du premier; à l'instant l'électricité se partagea entre les deux, et la divergence fut, dans l'un comme dans l'autre, de 4 millimètres. Ayant enlevé l'électricité à l'un des électromètres, il le mit en contact de nouveau avec l'autre, et l'écartement fut de  $2^{\text{mm}} \cdot 8$ . Les trois divergences de 6, de 4 et de  $2^{\text{mm}} \cdot 8$  correspondaient donc à des intensités comme  $1, \frac{1}{2}$  et  $\frac{1}{4}$ . De Saussure parvint ainsi à former une table qui change à la vérité d'un appareil à l'autre, mais que tout observateur doit établir avant de commencer une série régulière d'observations.

Volta a substitué aux fils métalliques munis de deux petites boules de sureau deux brins de paille longs d'environ 5 centimètres, suspendus à deux petits anneaux très-mobiles adaptés à la tige de l'électromètre, et qui, dans l'état de repos, sont contigus. Ces petites pailles, quand elles sont sèches, sont beaucoup plus légères que les fils métalliques et offrent plus de surface. Lorsque l'appareil est sensible, sa marche est régulière jusqu'à  $26^\circ$  d'écartement. Volta conseille de placer à l'extrémité de la pointe de la tige qui surmonte son électromètre un corps enflammé destiné à soutirer l'électricité à de plus grandes distances; il a obtenu des effets souvent doubles de ceux qu'accusait l'appareil sans la présence du corps enflammé.

Cependant de tous les électroscopes, le plus sensible est celui à feuilles d'or que nous avons décrit dans le premier volume de ce traité; il peut très-bien s'adapter aux observations d'électricité atmosphérique, comme l'a fait M. Ronalds à Kew en le perfectionnant en quelques points et en particulier dans l'isolement de ses différentes parties.

Comme nous l'avons dit plus haut, il y a deux manières très-différentes de faire ces observations : l'une consiste à avoir des tiges très-élevées, isolées, destinées à soutirer l'électricité de l'air et à l'amener par des fils conducteurs à des appareils électrométriques; l'autre repose sur l'emploi d'instruments



portatifs qu'on place dans différentes régions de l'air. Dans le premier mode, on peut avoir un véritable courant d'électricité si l'on fait aboutir l'extrémité du fil qui communique avec la pointe isolée à l'un des bouts d'un galvanomètre dont l'autre bout communique avec le sol; on obtient une déviation de l'aiguille dont l'amplitude dépend de la quantité d'électricité et de la facilité avec laquelle elle s'écoule. M. Colladon, qui le premier a réussi à percevoir de cette manière l'électricité atmosphérique, avait eu soin de bien isoler les tours du fil du galvanomètre, comme au reste il l'avait fait dans la construction du galvanomètre destiné à l'électricité des machines<sup>1</sup>. Mais cet appareil n'est pas très-sensible, vu qu'il exige, pour que l'aiguille aimantée dévie de quelques degrés, une quantité considérable d'électricité et une assez grande conductibilité de l'air et du sol afin que l'écoulement soit continu, ce qui n'a pas toujours lieu.

Le second mode d'observation, qui consiste à avoir des instruments portatifs, repose au fond sur le principe que la charge de l'instrument provient de l'influence exercée à distance sur lui par l'électricité que possède au moment de l'expérience l'air au milieu duquel il est placé. Sous ce rapport, il n'y a aucun avantage à terminer le conducteur dont l'électroscope est surmonté par une pointe; une boule est préférable, car elle permet à l'instrument de mieux conserver l'électricité qu'il a acquise. La seule différence, c'est que lorsque l'instrument est terminé par une pointe, l'électricité de nom contraire à celle dont la partie agissante de l'atmosphère est chargée, s'échappe par cette pointe; tandis qu'avec la boule c'est l'électricité de même nom, qui s'écoule par la main ou par le conducteur qu'il faut mettre en communication avec l'électromètre pendant qu'il est en expérience. Dans ce dernier cas, l'appareil accuse une électricité de nom contraire à celle qui l'a chargé. C'est sur ce dernier principe que Peltier a construit un des meilleurs électromètres atmosphériques qui existent, et dont l'emploi a été très-utile dans l'étude de cette électricité.

<sup>1</sup> Tome I, page 327.

Voici la description de cet appareil (fig. 354) :

Une tige de cuivre AB, terminée à sa partie supérieure par une boule creuse de même métal C de 1 décimètre de diamètre, et à sa partie inférieure par une boule beaucoup plus petite B, est fixée, par l'intermédiaire de cette dernière, à une tige de cuivre qui descend dans une cage de verre dont elle est isolée au moyen d'un tampon de gomme laque. Cette tige se bifurque en formant une espèce d'anneau DD au centre duquel se trouve une pointe *m*, destinée à recevoir une aiguille très-mobile *ab*. L'aiguille *ab* est maintenue constamment dans le méridien magnétique à l'aide d'une aiguille aimantée beaucoup plus petite *cd*, faisant système avec elle et attachée au-dessus de la chape. Indépendamment de cette aiguille, une autre aiguille EF, également en cuivre mais plus forte, est fixée solidement à la tige qui descend dans un tube de verre rempli de gomme laque et encastré dans une tablette de bois; toute la partie métallique se trouve ainsi isolée, de sorte que la perte d'électricité doit être très-faible. L'instrument est posé sur une tablette à trois pieds ou vis, à l'aide desquels on la met horizontale. La boule B, en tournant autour du tube AB, fait monter ou descendre la partie G de la tige centrale; quand on veut se servir de l'appareil, on élève cette partie G, le système des deux aiguilles *cd* et *ab* peut alors se mouvoir librement sur la pointe de la tige *m*. Quand l'instrument doit être placé au repos, on abaisse G, et le mouvement des aiguilles se trouve entravé.

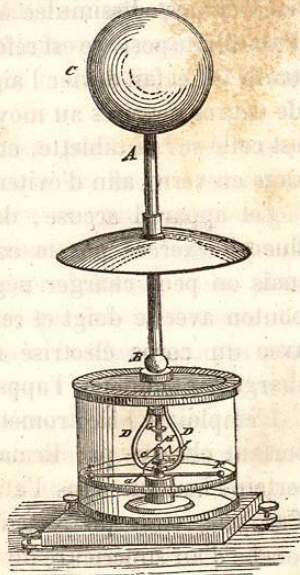


Fig. 354.

Lorsqu'on veut opérer, on oriente l'instrument de telle sorte que l'aiguille fixe EF soit mise dans le méridien magnétique; l'aiguille mobile *ab*, qui se meut avec l'aiguille aimantée, vient



se placer parallèlement à la première. La boule C se trouve-t-elle au-dessous d'un corps électrisé positivement ou négativement, il y a action par influence : dans le premier cas, l'électricité négative provenant de la décomposition de l'électricité naturelle est dissimulée à la partie supérieure de la boule, et l'électricité positive est refoulée dans la partie inférieure de l'instrument, et fait dévier l'aiguille mobile *ab* d'un certain nombre de degrés mesurés au moyen de deux cercles divisés, dont l'un est collé sur la tablette, et l'autre sur le disque supérieur de la cage en verre, afin d'éviter les erreurs de la parallaxe.

Cet appareil accuse, dans cette hypothèse, l'action d'influence exercée par le corps électrisé chargé positivement; mais on peut charger négativement l'aiguille en touchant le bouton avec le doigt et retirant le corps électrisé. En opérant avec un corps électrisé négativement placé à distance, on charge par influence l'appareil d'électricité positive.

L'emploi de l'électromètre de Peltier repose sur un fait important observé par Ermann : ce physicien avait placé à une certaine hauteur dans l'atmosphère un électroscope à feuilles d'or, sans avoir pu recueillir d'électricité. Il porta dans une couche d'air supérieure un fil de métal placé horizontalement à l'extrémité d'une tige isolante, et l'abassa ensuite rapidement jusqu'à ce qu'il touchât l'électroscope; l'appareil accusa aussitôt l'électricité positive dans la région où se trouvait le conducteur. L'effet était inverse quand ce dernier se trouvait dans une couche inférieure et qu'on le relevait avec rapidité. Ce fait s'explique facilement : l'atmosphère est chargée d'électricité positive, qui augmente d'intensité à mesure qu'on s'élève, comme on le verra plus loin; la terre, au contraire, se comporte comme si elle était chargée d'électricité négative. Si donc on suppose qu'un corps en équilibre électrique avec un espace donné s'élève ou s'abaisse, c'est-à-dire s'approche d'un espace chargé d'une plus grande quantité d'électricité positive, ou s'en éloigne, il devra présenter un excès de tension négative ou positive, provenant d'une action par une influence; en revenant rapidement dans la première position, le corps reprendra l'état naturel. C'est un effet de ce genre qui avait fait penser à

quelques physiciens, notamment à M. Palagi, qu'il y a un dégagement d'électricité par le seul fait qu'on approche ou qu'on éloigne l'un de l'autre deux corps conducteurs; l'analyse de ces effets curieux a démontré qu'ils proviennent d'une action inductrice exercée par l'électricité dont l'air est naturellement chargé. MM. Gay-Lussac et Biot, dans leur voyage aérostatique, avaient déjà observé un effet analogue à celui qui a été décrit par Ermann.

Peltier, en se fondant sur cette action par influence, a proposé d'opérer comme il suit : on monte sur une terrasse disposée à cet effet, en plaçant l'instrument sur une tablette supérieure élevée de 1<sup>m</sup>,50; on l'équilibre en touchant la tige dans la partie la plus inférieure; on redescend, et on place l'instrument sur la tablette inférieure qui lui est destinée. En équilibrant l'instrument, il faut élever le bras le moins possible; car si on l'élevait assez haut pour toucher au globe, la main, devenant négative par influence, repousserait l'électricité négative de la boule; elle neutraliserait la portion positive qu'elle y attirerait, et l'instrument serait chargé négativement au moment où l'on éloignerait la main. Il faut donc toucher la tige le plus bas possible, et même avec un corps fin, comme un fil métallique, pour éviter l'influence de la masse de la main sur le reste de la tige. Étant équilibré pendant son élévation, l'instrument, en l'abaissant, donne des signes d'électricité négative, tandis qu'en l'élevant il en donne de positive. En opérant, il faut avoir égard à cette inversion pour ne pas être induit en erreur sur le véritable signe de l'électricité atmosphérique. On notera donc une tension positive lorsque l'électromètre donnera un signe négatif en descendant; et une négative si l'instrument descendu marque un signe positif.

Il ne suffit pas de connaître les angles d'écart de l'aiguille, il faut encore déterminer les forces qui leur sont proportionnelles. Peltier faisait cette détermination par la balance de torsion; M. Quetelet se sert de la méthode plus simple et suffisamment exacte de de Saussure, qui a été déjà exposée et qui exige l'emploi de deux instruments parfaitement semblables.