

12625

LOIS ET ORIGINES

DE

L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

FAC. N. FILOSOFIA - BIBLIOTÉCA

# LOIS ET ORIGINES

DE

# L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE,

PAR

LUIGI PALMIERI,

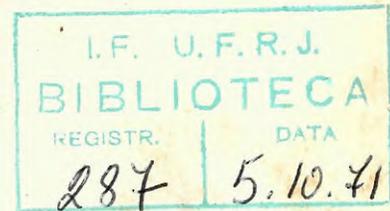
DIRECTEUR DE L'OBSERVATOIRE DU VÉSUVÉ.



TRADUIT DE L'ITALIEN

PAR

PAUL MARCILLAC ET A. BRUNET.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DES COMPTES RENDUS DES SÉANCES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES,

Quai des Augustins, 55.

1885

(Tous droits réservés.)

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,  
Quai des Grands-Augustins, 55.

OAN  
551.594  
P149

MM

## AVANT-PROPOS DE L'ÉDITION FRANÇAISE.

---

Volta, Galvani, Pacinotti, et bien d'autres encore, ont placé l'Italie au premier rang au point de vue de la science électrique, et, cependant, on croirait qu'en France tous les regards du monde savant se sont détournés de cette sœur de race latine, pour se reporter exclusivement sur ce qui se fait dans les pays saxons. Il se produit ce fait, au moins étrange, que les Ouvrages italiens sont traduits et lus en Allemagne, alors qu'ils restent chez nous lettre morte, comme si les liens étroits qui unissent la langue de Volta à celle d'Ampère avaient cessé d'exister : « Ce n'est point cependant que le désir d'être appréciés en France, l'imagination, l'esprit de recherches, manquent chez nous », nous disait un jour un des principaux électriciens de Florence, « mais on nous tient à l'écart, et pourtant, si nous sommes pauvres d'argent, nous sommes riches d'idées ».

Cette indifférence est poussée à un tel degré, que l'un de nos plus illustres savants a demandé un jour que M. Palmieri voulût bien se livrer à un certain ordre de recherches, alors que depuis longtemps l'observateur italien les avait faites et

publiées, ainsi qu'il le rappelle au cours du présent Opuscule. Ce dernier fait nous a frappé : nous avons alors tenté, autant que nos faibles forces nous le permettent, de faire connaître en France les travaux d'un des plus célèbres météorologistes italiens. Pussions-nous avoir réussi dans ce premier essai.

P. M.

## TABLE DES MATIÈRES.

AVANT-PROPOS DE L'ÉDITION FRANÇAISE.....	v
Table des matières.....	vii
L'Électricité atmosphérique.....	1
Électromètre bifilaire.....	12
Appareil à conducteur mobile.....	18
Appareil portatif.....	25
Méthode pour faire les observations.....	28
De l'Électricité par un ciel clair.....	30
De l'Électricité par un ciel nuageux.....	34
De l'Électricité en temps de pluie.....	35
Pluies d'orage.....	37
Manifestations électriques pendant les éruptions du Vésuve.....	43
Origines de l'Électricité atmosphérique.....	45
Expériences.....	46

# LOIS ET ORIGINES

DE

## L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

---

### L'Électricité atmosphérique.

J'ai résumé, dans ce Mémoire, les résultats que m'ont fournis trente-quatre années de recherches, faites pour la plupart à l'observatoire du Vésuve, avec des appareils et des méthodes qui m'appartenaient en propre.

Je ne décrirai pas les méthodes ou les instruments employés par d'autres observateurs; car, jusqu'à présent, je crois les miens plus capables de fournir des mesures précises et exactes qui, rapportées soit à une unité conventionnelle, soit à une unité absolue, puissent donner des résultats comparables.

Je démontrerai d'abord que l'électricité atmosphérique agit par influence sur les conducteurs bien exposés <sup>(1)</sup> et ne leur est pas communiquée par le contact de l'air environnant.

On peut en avoir une première preuve en employant des conducteurs fixes ou des conducteurs de Franklin, isolés au sommet d'un toit, reliés à un électroscope ou à un électromètre quelconque et terminés en pointe à leur partie supérieure. Il suffirait de réfléchir à l'efficacité de ces pointes pour comprendre l'action inductive qui se produit absolument de la même façon que dans les machines électriques, dont les

---

(1) Par *bien exposé*, il faut entendre un lieu d'observation ou un appartement qui n'est pas dominé par des arbres ou par des édifices.

(P. M.)

conducteurs se chargent par l'effet de l'influence du disque frotté. C'est pour cette raison qu'un conducteur fixe, terminé en pointe, emploie un temps relativement long pour atteindre son maximum de charge, lorsque les observations sont faites par un ciel serein et s'il ne tombe pas de pluie à une certaine distance.

Volta avait trouvé qu'il faut au moins cinq minutes pour que les pendules de l'électroscope arrivent à leur maximum d'écartement. J'ai eu plusieurs fois l'occasion de constater l'exactitude de ce fait.

Une preuve qui, à elle seule, suffirait consiste dans l'expérience suivante : Si l'on élève rapidement un conducteur bien exposé à une hauteur qui, par des temps favorables, peut n'être que de quelques décimètres et si l'on met ce conducteur en communication avec un électroscope, on verra se manifester très vite, par des temps ordinaires, de l'électricité positive. Si l'on fait écouler celle-ci dans le sol et que l'on abaisse le conducteur qui se trouve élevé, on verra se manifester (toujours en temps ordinaires) de l'électricité négative.

On aurait tort de supposer que les électricités, dont on constate la présence, sont dues au frottement de l'air contre le conducteur, que l'on élève ou que l'on abaisse (1). En effet, ceci n'expliquerait pas la présence des électricités de nom contraire, constatées lors de l'élévation ou de l'abaissement du conducteur; les mêmes effets devraient, en outre, se produire également, soit au milieu d'une salle aussi vaste que l'on voudra, soit dans une enceinte entourée de murs élevés.

(1) Becquerel démontra, comme on le sait, qu'en lançant une flèche entraînant un fil de laiton, dans le sens vertical, on obtenait de l'électricité, tandis que si on la lançait horizontalement, on n'en trouvait pas de traces. Le frottement se produisait cependant dans les deux cas.

On voit donc que les phénomènes se produisent comme s'il existait une électricité agissant par induction sur le conducteur, soit au-dessus, soit au-dessous de lui, positive dans un cas, négative dans l'autre, ou même toutes deux agissant à la fois.

Il reste maintenant à savoir si cette électricité inductrice appartient à l'atmosphère (positive) ou au sol (négative) ou aux deux.

Beaucoup de savants ont affirmé que la surface de la terre, ou tout au moins les corps qui s'y trouvent en relief, sont électrisés négativement; mais personne, que je sache, n'avait réussi, avant moi, à rendre visible l'électricité des corps bien exposés à la surface de la terre.

Si l'on rapproche rapidement, suivant une direction parfaitement horizontale, deux conducteurs bien exposés à l'air libre et dont l'un est relié à un électroscope, on verra toujours se manifester de l'électricité négative, dans les conditions atmosphériques ordinaires. Si, ayant déchargé un des conducteurs de cette électricité, évidemment induite, on l'éloigne de l'autre, on verra se manifester immédiatement de l'électricité positive, phénomène qu'on n'observera pas dans une enceinte fermée, mais seulement en un lieu dégagé de tous objets environnants.

Les indications électroscopiques ou électrométriques ainsi obtenues varient d'intensité d'un jour à l'autre et peuvent fournir des traces tantôt très énergiques, tantôt très faibles.

Mais cette électricité qui se manifeste si facilement dans les corps bien exposés à la surface de la terre lui est-elle propre ou n'est-elle due qu'à l'induction de l'électricité de l'atmosphère?

Pour trancher cette question il faut remarquer que :

1° Les valeurs des tensions électriques, obtenues par le rapprochement ou l'éloignement, sont proportionnelles à celles qu'on obtient au moyen de conducteurs fixes terminés en

pointe, qui tous sont susceptibles d'indiquer la présence de l'électricité dans l'air.

2° La loi du rapprochement, dont nous avons parlé, se trouve complètement inversée dans les temps où les conducteurs fixes donnent des signes d'électricité négative. Il est singulier de voir qu'avec des temps orageux ou pluvieux, à quelques kilomètres de distance, on obtient, en rapprochant les conducteurs, de l'électricité négative en un point, de l'électricité positive en un autre point, ou que, en d'autres termes, le sol est électrisé négativement en un lieu et positivement dans un autre. Si ces électricités sont induites, le phénomène peut se comprendre; mais, si elles sont propres à notre planète, il est difficile de concevoir que deux régions du globe aussi rapprochées puissent conserver des états électriques de signe contraire.

Il est inutile de dire qu'au point où l'on constate, par la méthode du rapprochement, de l'électricité négative, les conducteurs fixes indiquent de l'électricité positive dans l'atmosphère, et que, là où le rapprochement fournit de l'électricité positive, l'électricité négative domine.

Il semble donc que l'électricité des corps terrestres, qui est toujours le contraire de celle de l'atmosphère, doit être considérée comme induite, et non comme leur appartenant en propre.

Si les pointes placées à la partie supérieure des conducteurs accusent nettement la présence de l'électricité dans l'air qui se trouve au-dessus, il en résulte qu'en munissant de pointes la partie inférieure d'un conducteur isolé, on devrait obtenir des traces d'électricité contraire. J'ai souvent tenté l'expérience, j'ai toujours obtenu la même électricité, de quelque manière que les pointes fussent placées. Ceci prouve d'une façon irrécusable que l'électricité est induite et non inductrice.

Je crois superflu d'ajouter que, si l'on veut étudier ces phé-

nomènes de rapprochement et d'éloignement, il faudra non seulement que l'on fasse mouvoir les corps dans un sens parfaitement horizontal, mais encore que l'horizon soit entièrement libre jusqu'à une notable distance.

J'ai pris un conducteur d'un mètre de long, terminé à une de ses extrémités par une baguette de verre verni à la gomme-laque et, à l'autre, par une boule de laiton. Lorsque, monté sur la petite tour de l'observatoire du Vésuve, je faisais tourner horizontalement ce conducteur en le tenant par son manche isolant, je remarquais que, quand je regardais du côté de la mer, j'obtenais de l'électricité positive, et que si, après l'avoir touché, je tournais le conducteur vers le Vésuve ou le mont Somma, j'obtenais de l'électricité négative. Je montai au sommet du Vésuve, où l'horizon se trouvait parfaitement libre dans toutes les directions : en faisant tourner horizontalement le conducteur relié à un électroscope de Bohnenberger, je ne constatai aucune trace d'électricité. Lorsqu'on répète cette expérience sur une terrasse bien découverte n'ayant de murs que d'un seul côté, la tige décrite plus haut, tournant horizontalement, donne des signes d'électricité négative quand elle est dirigée vers le mur, et des traces d'électricité positive lorsque, après l'avoir mise un instant en communication avec le sol, on la tourne vers l'horizon libre.

Puisqu'un conducteur donne toujours (par des temps ordinaires) de l'électricité positive quand on l'élève rapidement et, une fois déchargé, de l'électricité négative quand on l'abaisse, il me paraît évident que ce sont là des effets d'électricité par influence.

Si l'on expose, en effet, un conducteur isolé, à l'air libre, il doit se charger de deux électricités contraires, l'une semblable à l'électricité inductrice, qui tend à se dissiper, l'autre contraire, qui, restant *dissimulée* (qu'on me passe cette ex-

pression surannée), donne au conducteur l'apparence de l'état naturel.

Mais, si l'électricité inductrice subissait de prompts et notables diminutions, le conducteur dont nous parlons donnerait des signes d'électricité contraire; si, au contraire, elle croissait rapidement, ce conducteur donnerait, par suite de cette augmentation d'influence, de l'électricité semblable: c'est ainsi qu'un conducteur fixe, bien isolé et bien exposé, pourra donner des signes d'électricité négative, alors que celle de nom contraire domine. C'est là une des origines de ces brusques changements de signe de l'électricité atmosphérique pendant les pluies d'orage et les grandes éruptions du Vésuve. C'est ce qui explique aussi ce fait particulier, que j'ai observé plusieurs fois, qu'à certains moments le conducteur fixe indique de l'électricité négative et le conducteur mobile de l'électricité positive.

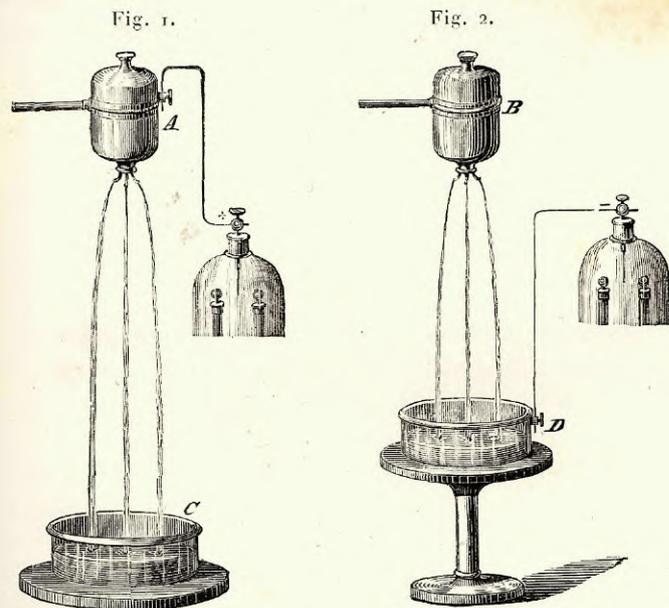
Si, au lieu d'employer un conducteur que l'on élève ou abaisse, on fait usage d'une veine liquide ascendante ou descendante, on pourra obtenir les mêmes résultats.

Dans mon Mémoire de 1850, se trouvent sommairement relatées les premières expériences que j'ai faites sur le rapprochement et l'éloignement des corps et sur les phénomènes de la veine liquide ascendante ou descendante, toutes choses que M. Thomson employa plus tard pour créer une méthode d'observations de météorologie électrique que j'avais également indiquée à cette époque, mais que je délaissai pour des raisons que je crois encore justes.

Quoi qu'il en soit, je vais rappeler brièvement ces expériences en les accompagnant des figures publiées à ce moment-là.

Dans l'expérience de la veine liquide descendante, je plaçai un vase de laiton A (*fig. 1*), isolé, à une certaine hauteur au-dessus du niveau de la terrasse de l'observatoire du Vésuve.

L'eau sortait du fond de ce vase par quelques petits becs et tombait dans un bassin métallique non isolé, C. Un électroscope mis en communication avec le vase donnait en temps ordinaire des signes plus ou moins forts d'électricité positive. Si l'on mettait le vase B (*fig. 2*) en communication avec le



sol et si l'on faisait tomber l'eau dans la coupe métallique D, isolée, celle-ci indiquait, mais plus faiblement, de l'électricité négative.

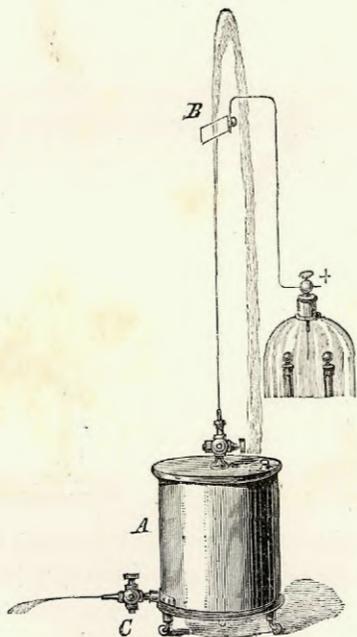
J'ai eu l'occasion de répéter ces expériences par des temps où l'électricité négative dominait dans l'atmosphère et j'ai vu le vase A donner, dans le premier cas, des signes d'électricité négative et la coupe D accuser, dans le second cas, de l'électricité positive.

Au lieu de faire couler de l'eau, j'ai fait tomber parfois

des paillettes de plomb, des poussières métalliques et même des sables ou des cendres du Vésuve, et toujours avec les mêmes résultats.

J'ai voulu expérimenter aussi les phénomènes de la veine liquide ascendante : j'employai alors une fontaine de compression, isolée. Je vis que le jet dans lequel baignait une lame métallique B (fig. 3), ainsi que la fontaine elle-même,

Fig. 3.



mis alternativement en rapport avec l'électroscope, donnaient des traces sensibles d'électricité, positive dans les temps ordinaires, négative par les temps où les conducteurs fixes montraient que celle-ci dominait dans l'atmosphère. En plongeant la lame au point où la veine liquide est plus ou moins

divisée, c'est-à-dire dans la portion descendante de la parabole qu'elle décrit, on obtenait souvent des indices d'électricité négative lorsque, dans l'air environnant, l'électricité positive dominait.

Plus tard, j'ai fait ajouter à la fontaine de compression un petit robinet latéral C, afin de pouvoir étudier également les effets de la veine liquide horizontale. Quand le jet se trouvait dirigé vers l'espace libre, la fontaine accusait de l'électricité positive qui diminuait si le jet était dirigé sur un mur voisin.

Voici pour quelles raisons je ne me suis pas servi de la veine liquide descendante pour avoir les valeurs de l'électricité dominant dans l'atmosphère : 1° il faut, avant tout, que la vitesse d'écoulement soit constante ; 2° il est difficile d'obtenir un bon isolement du vase, avec l'humidité, la pluie ou la neige. Les isolateurs de M. Mascart, à acide sulfurique, à part leur incommodité, ne peuvent eux-mêmes fonctionner que pendant un certain temps, difficile à déterminer et au delà duquel il devient nécessaire de changer l'acide ; 3° avec le vent, le jet liquide s'agite, ce qui trouble l'expérience ; 4° enfin par les froids vifs l'eau se congèle et les observations ne peuvent continuer, à moins que l'on ne veuille employer de l'alcool, ce qui ne serait pas économique.

Ce qu'il importe de remarquer, c'est que, comme on ne peut obtenir un isolement complet d'une façon permanente, on se trouve dans la nécessité de rechercher une méthode qui permette de mener à bien les expériences, en les corrigeant de toutes les erreurs de pertes, faute de quoi les mesures n'auraient aucune valeur. Il n'est pas exact de dire que le filet liquide, fonctionnant d'une manière continue, répare les pertes subies ; car celles-ci sont parfois si considérables, qu'elles ne peuvent être compensées par les quantités gagnées. Ainsi, par exemple, une machine électrique, dont le disque tourne

avec une vitesse constante, donnera des indications très variables, d'une heure à l'autre, d'un jour au suivant.

Avec la méthode du conducteur mobile, à laquelle je me suis arrêté de préférence, on a la mesure de l'intensité de l'influence au moment précis de l'observation. Avec des appareils à indications continues, il n'en serait pas ainsi; si, en effet, tandis que l'instrument fournit une déviation d'un certain nombre de degrés, l'électricité inductrice vient à diminuer, l'appareil continuera à indiquer une même charge jusqu'au moment où, par suite des déperditions, il ne l'atteindra plus.

Je m'en tiendrai à ces remarques, bien que cependant il soit possible d'en faire beaucoup d'autres.

La principale raison, pour laquelle on crut utile de s'en tenir à l'usage du filet liquide descendant, fut sans doute la facilité d'obtenir des indications continues susceptibles d'être enregistrées photographiquement, sans tenir compte de ce fait, que ces courbes, non corrigées des erreurs dues à des pertes inévitables, ne peuvent avoir une valeur vraiment scientifique. C'est peut-être pour cela que M. Mascart n'a pas vu les deux maxima diurnes qui, dans les journées régulières, ne font jamais défaut.

L'autre raison pour laquelle, dans la Conférence internationale tenue à Paris, on a jugé que les observations devraient être faites exclusivement avec des appareils enregistreurs à indications continues, c'est que le *potentiel* électrique de l'atmosphère est très variable et subit souvent de brusques et importantes variations d'un instant à l'autre et que, par suite, des observations faites de temps en temps, même à de courts intervalles, ne conduiraient à aucune conclusion importante. Je ferai observer d'abord que ces changements brusques et notables ne se produisent jamais par un ciel serein et au cours d'une journée régulière, à moins qu'il n'y ait chute de pluie

ou tempête dans un certain rayon. Il faut, pour le savoir, faire des observations méthodiques; car l'observateur qui constate ces changements pourra, s'il se trouve dans un site favorable, découvrir, en examinant le ciel, d'où proviennent ces variations et arriver à reconnaître leur origine. Je voudrais qu'on fit attention à ceci, qu'un thermomètre très sensible subit, même dans les journées les plus régulières, des perturbations appréciables, par suite des bouffées de brise, etc. Je n'ai pas la prétention de combattre ici, en m'appuyant sur l'autorité que me donnent mes trente-quatre ans d'essais incessants (faits avec des appareils susceptibles de comparaison et dans des sites exceptionnellement favorables), les opinions émises au sein du Congrès par des hommes éminents, mais cependant non exercés au lent et patient travail de l'observation de jour et de nuit; je suis seulement d'avis que, sans rejeter les indications obtenues par des enregistrements continus, on doit, pour le moment du moins, recourir à la présence d'un observateur, si l'on veut avoir des résultats susceptibles de comparaison et dépouillés des erreurs dues aux pertes. L'observateur pourra, en effet, en examinant le ciel, interpréter les données recueillies et rendre les corrections possibles. C'est ainsi seulement que j'ai pu déterminer les lois qui régissent l'électricité météorique.

Il est inutile de parler des conducteurs fixes terminés en pointe. On sait, en effet, que ces derniers gardent un mutisme profond lorsque précisément par suite de l'humidité du milieu ambiant les pertes sont considérables, pour ne citer qu'un des inconvénients nombreux qu'ils présentent et que plusieurs fois j'ai mis en évidence.

Volta avait déjà démontré que si, au sommet de ces conducteurs, on place, en quelque sorte comme un appât, un corps enflammé, une allumette ou une flamme, on obtient un notable accroissement de l'activité électrique sur ces mêmes

conducteurs. Mais, si l'on peut employer ce moyen pour démontrer la présence de l'électricité atmosphérique, on ne peut l'utiliser quand on tient à obtenir des mesures précises, puisque le vent qui souffle modifie la combustion et que la pluie l'arrête absolument. Je n'ai pas été peu surpris, après avoir reproduit, il y a longtemps, ces vieilles expériences italiennes, de voir proposer récemment de placer des lampions allumés à la pointe de conducteurs fixes.

Je suis resté convaincu, après tous ces essais préliminaires, qu'il fallait suivre les idées d'Ermann, mises en pratique par Peltier, avec son électromètre atmosphérique. J'ai fait pendant un an des expériences avec un électromètre de Peltier et avec un conducteur fixe terminé par une pointe ou par une flamme : bien qu'ayant trouvé le premier plus rarement muet, j'ai acquis la certitude que les observations étaient non seulement assez difficiles à réussir, mais encore entachées d'erreurs graves dues à des pertes que l'on ne pouvait évaluer. En outre, si l'on veut faire des essais en temps de pluie, l'instrument se mouille et nécessite, pour être remis en état, beaucoup de patience et de temps.

J'ai donc reconnu la nécessité d'avoir un électromètre vraiment digne de ce nom et une méthode plus sûre pour obtenir des mesures rapides et précises de l'intensité de l'influence de l'électricité atmosphérique ou, si l'on veut, de son potentiel à une hauteur donnée.

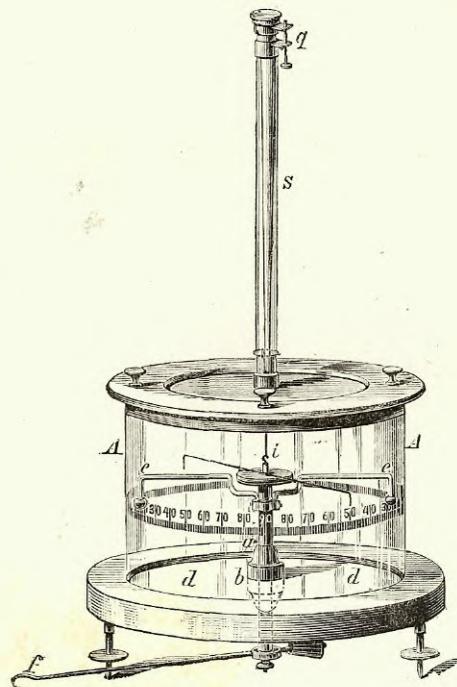
Je donne d'abord la description de l'électromètre; plus tard, j'indiquerai la méthode du conducteur mobile pour faire les observations.

#### Électromètre bifilaire.

AA (*fig. 4*) est une cloche cylindrique en cristal, sur le pourtour de laquelle se trouve un limbe gradué : la base dd

de cette cloche, également en verre verni à la gomme-laque, se trouve encastrée dans un cercle de bois ou de métal, qui porte trois vis calantes. Ce disque de verre dd est percé, en son milieu, d'un trou de 0<sup>m</sup>,015 de diamètre, dans lequel est fixé, avec du verre soluble, un tube court ou anneau de cris-

Fig. 4.

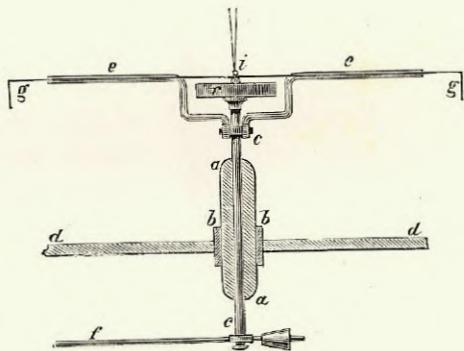


tal bb (*voir la fig. 5* dans laquelle les mêmes lettres indiquent les mêmes parties de l'instrument, agrandies pour être rendues plus claires). A l'intérieur du tube bb est ajusté un manchon aa, fait avec un mastic isolant formé de deux tiers de poix grecque et d'un tiers de plâtre calciné, appelé chez nous *scagliola*.

Ce mastic a une vertu isolante remarquable et ne se ramollit jamais, même pendant les plus fortes chaleurs de l'été.

Le manchon *aa* est traversé par une tige de cuivre *cc*, portant à sa partie inférieure une autre tige horizontale *f* et, à sa partie supérieure, un godet ou cavité cylindrique *r*, en cuivre doré, et deux petits bras horizontaux *ee*. Cette coupe cylindrique a de 0<sup>m</sup>,015 à 0<sup>m</sup>,020 de diamètre et 0<sup>m</sup>,004 en-

Fig. 5.



viron de profondeur. A l'intérieur de ce godet est suspendu un disque très léger d'aluminium, ayant un diamètre inférieur de 0<sup>m</sup>,002 à peu près à celui du godet même.

Ce disque d'aluminium porte, à son centre, un petit axe ou petit pivot de laiton *i*, au travers duquel passe un fil très fin d'aluminium *gg*. La base supérieure de la cloche *AA* (*fig. 4*) est aussi percée à son centre et supporte un tube de verre *S*, portant lui-même, à son extrémité *q*, un mécanisme que nous ne décrirons pas d'une façon spéciale, attendu que sa forme peut varier, mais dont nous nous bornerons à indiquer l'emploi. Un fil de cocon, partant d'une petite vis placée dans la partie supérieure du tube, passe dans le petit crochet de l'axe *i* du disque d'aluminium et remonte en *q*, pour s'en-

rouler sur une autre petite vis distincte de la première. De cette façon le disque d'aluminium reste suspendu à l'intérieur du godet. Les deux brins du fil de cocon, séparés seulement à leur partie inférieure par l'épaisseur du crochet, peuvent être éloignés ou rapprochés à leur partie supérieure, les vis étant mobiles.

A l'une des extrémités du tube *S*, se trouve une sorte de micromètre de torsion qui sert à amener l'index sur le zéro de la graduation, distant de quelques degrés de l'extrémité des petits bras qui ne doivent pas se trouver en contact avec l'aiguille indicatrice. Sur le cercle de bois ou de métal qui supporte la cloche de verre, j'ai placé quelquefois une seconde graduation. Dans quelques électromètres, j'ai fait courir au devant de celle-ci une lunette munie de fils micrométriques, permettant d'obtenir une plus grande amplitude dans la lecture des degrés et d'éviter les erreurs de parallaxe.

Le professeur Cantoni, qui, le premier, substitua au limbe intérieur la graduation sur les parois de la cloche, ajouta en *i* un petit miroir, dans lequel on pouvait observer, à l'aide d'une lunette, l'image d'une règle graduée, suivant la disposition appliquée aux galvanomètres, aux magnétomètres, etc. Lorsque, après l'avoir mis de niveau, on place l'instrument de façon que le disque d'aluminium se trouve au centre du godet, l'appareil est prêt pour les observations.

Donnons une charge momentanée à la tige *f*, nous verrons l'index dévier avec une régularité remarquable et, après avoir parcouru un certain arc, que nous appellerons *arc impulsif*, revenir en arrière et s'arrêter à la limite d'un arc, que nous appellerons *arc définitif*, en décrivant à peine une ou deux oscillations très petites, parfois même aucune.

Quand l'instrument est bien construit, il s'écoule un temps assez long avant que l'index perde un seul degré de sa déviation, malgré l'humidité de l'air ambiant.

Quant aux charges momentanées auxquelles l'appareil est spécialement destiné, les arcs impulsifs leur sont proportionnels. Et, puisque les arcs définitifs restent en rapport constant avec les arcs impulsifs, on peut dire qu'ils sont aussi proportionnels aux forces.

Cette proportionnalité reste exacte jusqu'à 70° environ. Je ne décrirai pas l'expérience que j'ai faite pour la constater. Le professeur Guido Grassi, en se servant d'un électromètre à réflexion, construit suivant les modifications du professeur Cantoni, confirma, à l'aide d'une méthode ingénieuse mais différente de la mienne, la loi de la proportionnalité qu'il trouva exacte, sauf pour les cinq premiers degrés, ce que j'attribue au poids du petit miroir; et je suis même étonné qu'il n'ait pas apporté de modification plus sensible à la loi que j'avais trouvée. On doit considérer comme très important que l'index n'exécute pas plusieurs vibrations avant de s'arrêter, afin que l'on puisse mesurer promptement l'arc définitif sans que les pertes aient le temps de se produire : aussi le disque d'aluminium doit-il être très mince.

Étant donnée la proportionnalité entre les arcs impulsifs et les charges que reçoit l'instrument, le professeur Battaglini a trouvé la relation entre les arcs impulsifs et les arcs définitifs, et j'ai constaté moi-même une concordance presque parfaite entre les faits observés et la formule donnée par ce savant mathématicien.

Il résulte de cette formule, que l'arc définitif doit être sensiblement la moitié de l'arc impulsif. Il serait bon d'établir, par des temps favorables, ce rapport pour chaque instrument. Il devient possible ainsi de savoir si, pendant la charge, il y a eu perte et, dans l'affirmative, de l'évaluer. En effet, si l'arc définitif que l'on obtient est tel qu'on devait l'obtenir, les pertes auront été nulles, ce qui arrive dans la plupart des cas; mais, si cet arc définitif est plus petit, on saura ce qui

s'est perdu pendant le retour de l'index et, par suite, ce qu'a dû donner en moins l'arc impulsif décrit presque dans un même laps de temps.

Le principal mérite de cet électromètre consiste dans sa simplicité et son remarquable isolement, grâce auquel les pertes sont très faibles, faciles à évaluer, ou même nulles. A la partie supérieure *g* du tube *s* (*fig. 4*) se trouve un petit mécanisme très simple, à l'aide duquel on peut élever ou abaisser le disque d'aluminium. Quand on doit transporter l'appareil, ce disque d'aluminium est abaissé jusqu'à toucher le fond du godet et l'index repose alors dans deux fentes pratiquées sur le bord même du godet. On fait descendre un petit anneau de laiton qui va se poser sur le disque mobile et le maintient ainsi parfaitement fixe.

J'insiste sur la nécessité de ne pas s'écarter de la méthode indiquée pour obtenir un isolement parfait, car j'ai atteint ce but sans recourir à l'acide sulfurique ou à d'autres substances desséchantes. Je recommande, par suite, aux constructeurs de ne pas employer l'ébonite ou des mastics autres que ceux que j'ai expérimentés, et de laisser la tige *f* libre et non pas réunie à la base de l'appareil par un isolateur quelconque, car les grandes pertes proviennent toujours des isolateurs solides en raison de la petite couche d'humidité dont ces derniers se couvrent. J'attribue, du reste, la supériorité de mon mastic à ce fait que, si quelque molécule d'eau survient et se combine avec la *scagliola*, elle ne peut parvenir à rendre humide la surface de l'isolateur.

L'instrument que nous venons de décrire est d'une sensibilité extrême qui surpasse celle des meilleurs électroscopes.

On peut l'employer sans difficulté au lieu de se servir de la balance de torsion ou de l'électromètre de Thomson, sur lequel j'aurais beaucoup à dire.

Nous parlerons de la manière d'employer cet instrument

pour les observations de météorologie électrique, en décrivant l'appareil dont je me sers depuis de longues années et qui me paraît remplir toutes les conditions désirables.

### Appareil à conducteur mobile.

H (*fig. 7*) représente le plafond d'une petite chambre bien exposée, c'est-à-dire qui n'est dominée ni par des arbres ni par des constructions voisines. Dans ce plafond est percée une ouverture munie d'un rebord *uu*, de 0<sup>m</sup>,1 de diamètre, ou même un peu plus grand; *mn* est une petite tablette adossée au mur, distante de 1<sup>m</sup> environ du plafond de la petite chambre: *pp* est un plancher sur lequel l'observateur se place.

Sur la tablette, se trouvent l'électromètre bifilaire AA, un électroscope de Bohnenberger et, au besoin même, un galvanomètre à fil long et fin.

Un tube de laiton *aa* de 0<sup>m</sup>,01 de diamètre, à peu près, et d'une longueur de 2<sup>m</sup> environ, passe par le trou *uu* et se termine par un disque léger de laiton *b*, de 0<sup>m</sup>,27 de diamètre, au-dessous duquel se trouve une sorte d'entonnoir destiné à fermer le trou *u*, lorsque le conducteur mobile est abaissé. Ce conducteur porte, à sa partie inférieure, un isolateur de verre soigneusement verni à la gomme-laque dont l'extrémité est reliée à une poulie mobile, suivie d'une tige triangulaire en bois *h*, qui traverse un guide également en bois *f* et sert à maintenir, pendant la durée de sa course, le conducteur mobile dans une direction parfaitement verticale. Pour éviter les oscillations de la tige métallique dans sa partie supérieure, autant que pour avoir un point de communication avec l'électromètre, on place à la base inférieure du trou conique de la toiture, un triangle *s*, représenté à part dans la *fig. 6* et désigné dans cette dernière figure par la lettre X. Ce triangle est muni de trois ressorts en laiton qui pressent légèrement

le conducteur qui passe entre eux. Des sommets du triangle partent trois lacets de soie *m, m, m*, qui s'enroulent sur trois petites vis ou chevilles de bois et permettent de régler la position du tube mobile, c'est-à-dire de le maintenir au centre du trou. Lorsque ces lacets sont en soie pure, ils isolent très bien, même quand ils sont imparfaitement secs, les charges ordinaires d'électricité atmosphérique.

J'ai reconnu par expérience que, trempés dans la gomme-laque ou encore dans de l'huile d'olive, ces lacets finissent par se comporter d'une façon moins satisfaisante que lorsqu'ils sont nus. Il est bon, dans les cas d'humidité exceptionnelle, de les dessécher ou mieux encore d'en tenir prêts trois autres destinés à remplacer les premiers devenus trop humides. Ceci arrive du reste très rarement, et nous allons voir comment on reconnaît que cette opération est devenue nécessaire.

Une corde de chanvre, fixée par une de ses extrémités, passe d'abord sous la poulie inférieure précédemment mentionnée, et ensuite dans une autre poulie de renvoi, de telle sorte que, lorsqu'on tire le bout libre de la corde, on oblige le conducteur à s'élever à l'air libre. Un fil de cuivre *ll*, fixé à l'un des côtés du triangle, touche au petit anneau extérieur de l'électromètre.

Ceci posé, si l'on veut faire une expérience, on tire rapidement à la main le bout libre de la corde *iii*. On voit l'index de l'électromètre décrire un arc impulsif plus ou moins grand et s'arrêter ensuite à l'arc définitif correspondant. Si l'on décharge le conducteur après l'avoir d'abord élevé et qu'on l'abaisse ensuite rapidement, l'index accusera un nouvel arc impulsif et, par suite, un nouvel arc définitif.

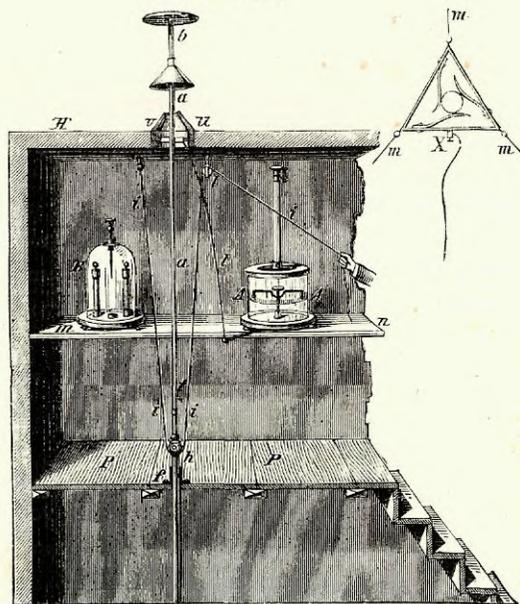
Faisons communiquer le fil avec un électroscope de Bohnenberger, répétons l'opération indiquée: nous verrons que l'électricité observée sur le conducteur que l'on élève est de signe contraire à celle que l'on trouve en l'abaissant.

Par des temps ordinaires on obtiendra de l'électricité positive en élevant le conducteur, et négative quand on l'abaissera.

Dans les cas, cités plus loin, où l'électricité négative domine, cette loi se trouve entièrement inversée.

Après avoir élevé le conducteur et obtenu, en même temps, l'arc impulsif, il faudrait le maintenir élevé jusqu'à ce que l'index ait indiqué l'arc définitif. Cette manœuvre est peu

Fig. 7.



aisée quand le vent est violent : en outre, par les temps de pluie ou de neige, la tige subirait des pertes à cause desquelles on obtiendrait un arc définitif bien inférieur à l'arc réel et parfois même nul.

Pour obvier à cet inconvénient, on place à la partie inférieure  $t$  du conducteur une espèce de fourchette en cuivre

qui, à la fin de la course, fait échapper le fil  $ll$  de l'anneau de l'électromètre, le préservant ainsi des pertes qu'il pourrait subir et permettant, en même temps, d'abaisser rapidement le conducteur quand il a terminé sa course ascendante.

J'ai limité cette course à  $1^m,50$ . Le regretté P. Secchi, qui m'a donné l'idée du guide en bois  $hh$ , aurait préféré une course de  $1^m$ .

Avant d'aller plus loin, il est nécessaire d'indiquer comment on peut reconnaître si, pendant la course ascendante du conducteur, il y a eu des pertes, et, dans l'affirmative, si ces déperditions proviennent seulement du conducteur ou bien de l'électromètre et même des deux appareils à la fois.

On prend une bonne pile sèche, du genre de celle que je suis parvenu à rendre constante; on donne une charge instantanée à l'électromètre : on observe si le rapport entre l'arc impulsif et l'arc définitif subsiste; on voit alors quelle est la valeur de la perte, si toutefois il y en a eu une. On élève alors le conducteur laissé en communication avec l'électromètre, et, du rapport obtenu entre l'arc impulsif et l'arc définitif, on déduit la perte du conducteur. Dans tous les cas, on pourra toujours obtenir des observations corrigées des erreurs dues aux pertes.

Même par des temps humides, si l'on essuie bien l'isolateur et les lacets de soie du conducteur mobile, les pertes seront insignifiantes et l'on se trouvera rarement obligé de chauffer légèrement l'électromètre lui-même.

Par des temps de grande humidité, il sera utile, avant toute observation, de s'assurer que le conducteur ne subit pas de pertes excessives, en le touchant avec la pile sèche, dont nous avons parlé, pendant qu'il communique avec l'électromètre. Si les pertes paraissent trop considérables, il sera bon d'essuyer les lacets de soie et de frotter l'isolateur avec une étoffe bien sèche et chauffée.

Si, au lieu d'un plateau, on place au sommet du conducteur des pointes ou des corps enflammés, en maintenant la tige élevée, on pourra observer les phénomènes étudiés jadis par Volta et par Beccaria.

On sait qu'une flamme ou des lampions allumés, placés à l'extrémité d'une tige métallique isolée au sommet d'un toit, accroissent sensiblement les indications obtenues sur l'électricité atmosphérique; mais ce serait une erreur que de vouloir obtenir, par ce procédé, des mesures dignes d'attention. Il est impossible, en effet, de maintenir la combustion toujours constante lorsque le vent souffle, qu'il pleut ou qu'il neige, etc., et je suis étonné de voir qu'on a le courage de proposer de tels moyens, que je n'ai expérimentés, autrefois à l'observatoire, que pour revoir le vieux patrimoine scientifique de nos ancêtres.

Si, dans les cas de pluie ou de tempête, on veut noter les changements de signe de l'électricité ou d'autres particularités, dont nous parlerons plus tard, on pourra ne tenir le conducteur élevé que d'une partie de sa course, en le faisant communiquer avec l'électroscope de Bohnenberger.

Si l'on veut rendre comparables des observations, faites en des lieux différents, il est clair qu'on devra, avant tout, donner au conducteur mobile une course d'égale longueur en tous les points, le disque supérieur étant de même diamètre. Il faudra déterminer aussi une unité, absolue ou non, à laquelle on rapportera toutes les mesures prises. Dans ce but, j'ai composé une pile de 30 lames de cuivre carrées et d'autant de lames de zinc, chacune de 0<sup>m</sup>,05 de côté : j'ai obtenu ainsi une pile que j'ai appelée *étalon*, ayant à peu près la forme de la pile à couronne de tasses de Volta. Comme liquide, j'ai pris de l'eau distillée : parfois aussi j'ai employé de l'eau de pluie sans constater de différence bien marquée.

Les 30 vases vernis à la gomme-laque étaient soutenus par

autant d'isolateurs. Les couples ne touchaient ni les parois ni les fonds des vases et étaient soutenus par des traverses isolantes.

Un des pôles de cette pile ayant été mis à la terre et l'autre en communication avec l'électromètre, j'ai observé, pendant plusieurs semaines, une déviation qui se maintenait constante, au moins entre des limites de température variant entre 10° et 25°, l'appareil étant tenu dans une salle où la différence entre le thermomètre sec et le thermomètre mouillé restait supérieure à 3°. La trentième partie de la tension observée fut l'unité que je choisis pour terme de comparaison entre les électromètres. On pourrait, si on le voulait, prendre une autre unité et même l'emprunter au système des unités absolues C.G.S.

Bien que les instruments construits à cet effet sous ma direction, et qui dépassent la centaine, concordent à peu près exactement ou puissent être rendus identiques par un simple rapprochement ou éloignement des extrémités supérieures du fil de cocon, cependant, si l'on connaît pour chaque appareil la déviation qu'il a donnée, à la pile sèche, il est aisé de traduire ses degrés par un nombre correspondant d'unités.

Pour rendre facile et rapide l'opération de dessiccation des lacets de soie dans les cas peu nombreux où cela devient nécessaire, j'ai fait construire un petit fourneau à alcool qui accompagne l'appareil.

Je crois bon d'avertir que, jusqu'à présent, les constructeurs des diverses villes d'Italie, ne tenant pas suffisamment compte de l'importance de l'isolement exceptionnel que j'ai obtenu après de longues recherches, ont fait des électromètres très élégants, mais qui laissent beaucoup à désirer sous le rapport de l'isolement.

La majeure partie des appareils qui fonctionnent dans beaucoup d'observatoires météorologiques italiens et même étran-

gers, a été construite dans l'atelier de mécanique de l'Université. Celui qui figura à l'exposition d'électricité de Paris, en 1881, et pour lequel le mécanicien Bandieri remporta un prix, avait été exécuté entièrement par son habile ouvrier, Jean Caputo.

Je dois dire que cet électromètre a atteint, peu à peu, avec les années écoulées depuis l'invention de ce genre d'appareils, une perfection qu'on ne retrouve pas dans les constructions plus anciennes; mais il serait facile, avec une dépense minime, de mettre les premiers modèles au niveau des plus perfectionnés.

Par ce qui précède, on comprend que les observations faites avec divers électromètres deviennent parfaitement comparables. Mais, au sein de la Commission internationale, on jugea qu'il fallait comparer non seulement les électromètres, mais même les observations faites à des observatoires différents, la valeur du potentiel électrique de l'air pouvant varier par suite de la situation du lieu où les expériences ont été faites. On proposa, pour atteindre ce but, de recourir à une mèche allumée, élevée de 3<sup>m</sup> à 4<sup>m</sup> au-dessus du sol, l'observateur étant placé dans une excavation creusée à cet effet. En raison du respect que j'ai pour des hommes de si haute renommée, je m'abstiens de toute critique; mais je désirerais que ces Messieurs se persuadassent que la tension électrique, ou le potentiel si l'on veut, dépend absolument des conditions locales, ou tout au moins que celles-ci peuvent y apporter des modifications profondes.

C'est ainsi que l'altitude, les vents dominants, les conditions hygrométriques locales et cent autres causes font sentir leurs effets, au point que les valeurs du potentiel électrique de l'air sont très différentes, au même moment, dans les observatoires du mont Vésuve, de l'Université de Naples et de Capodimonte. Il n'est même pas rare d'observer, dans l'une

de ces stations, une forte tension positive, négative dans l'autre et nulle dans la troisième. On doit, en tout cas, veiller à ce que l'appareil d'observation, que l'on veut soustraire à l'influence des corps voisins, soit dominant et non dominé; car, sans cela, les indications fournies proviendraient d'un fait purement local. Il en est de même pour la température qui se trouve, elle aussi, intimement liée aux conditions locales. On peut en dire autant des conditions hygrométriques de l'air et, d'une manière plus générale, de la quantité de pluie qui tombe, de la direction des vents qui soufflent, etc.

Avec des observations simultanées, faites à l'aide du télégraphe, j'ai comparé les tensions électriques de l'observatoire de l'Université, situé à 57<sup>m</sup> au-dessus du niveau de la mer, avec celles de la station du mont Vésuve, placée à 637<sup>m</sup>. J'ai trouvé que, dans les journées régulières et par un temps serein, l'électricité est généralement moins forte à la station du Vésuve, entourée d'un plus vaste horizon, qu'à l'observatoire de l'Université. Quelquefois, surtout lorsque les vents du nord dominant, la tension du premier observatoire dépasse celle de l'Université. Les heures des maxima et des minima ne sont pas les mêmes dans les deux stations. Le maximum du matin, au Vésuve, est un peu en retard et le maximum du soir est en avance de près d'une demi-heure.

Quand le ciel est complètement pur et que les maxima de l'observatoire du Vésuve sont beaucoup plus sensibles que ceux de l'Université, on peut prévoir avec certitude l'apparition prochaine des nuages et généralement même de la pluie.

#### Appareil portatif.

Si l'on veut faire des observations simultanées en différents points plus ou moins élevés de la même ville, j'estime qu'il faut avoir un appareil portatif qui, comparé d'abord avec

L'appareil fixe de la station, puisse accuser les variations qui se produiront aux divers points. Cet appareil est représenté dans la *fig. 8*. Dans celle-ci, comme dans les précédentes, on a conservé les mêmes lettres pour désigner les pièces semblables à celles de l'appareil fixe. Un disque de bois, percé à son centre, sert de guide à la tige triangulaire *hh*, longue de 1<sup>m</sup>,50. Cette tige porte à sa partie inférieure la poulie *o*, et à sa partie supérieure un isolateur *u* et un conducteur *aa* de 1<sup>m</sup> de long, de sorte que, si le conducteur *aa* est un peu plus court, sa course est toujours de 1<sup>m</sup>,50.

L'électromètre est placé à 1<sup>m</sup>,50 du sol, et le fil qui, partant du conducteur *aa*, va se mettre en contact avec l'électromètre, doit descendre droit dans le petit anneau de l'instrument pour rester en communication avec celui-ci pendant la durée de la course, et s'en séparer à la fin de celle-ci.

Pour éviter le transport d'un électroscope de Bohnenberger, on peut porter une petite pile sèche pour savoir si l'électricité mesurée par l'électromètre est négative ou positive. Je parlerai plus loin des résultats comparatifs obtenus à l'aide de cet appareil.

Je prie les personnes qui ont entendu faire grand bruit autour de l'électromètre de Thomson, modifié de bien des manières par lui et par d'autres, de vouloir bien comparer l'électromètre et la méthode dont je me sers. Ils pourront ainsi se faire une opinion arrêtée à ce sujet.

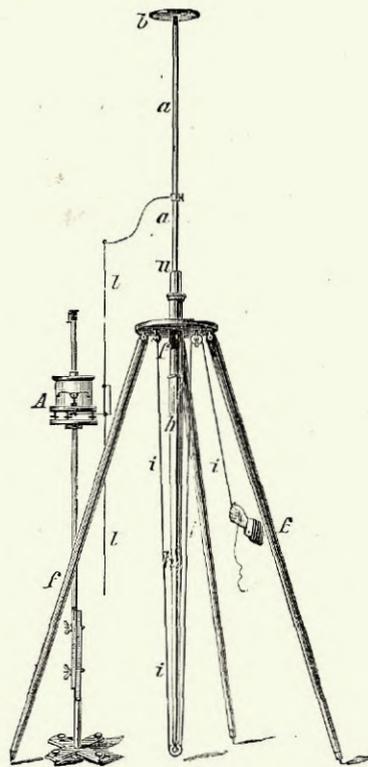
Le motif pour lequel beaucoup d'observateurs ont cru devoir préférer l'électromètre de Thomson, modifié par Branly ou Mascart, en se servant de la veine liquide descendante, fut de posséder un appareil enregistreur; mais les courbes obtenues par ce moyen, manquant des corrections que les pertes rendent nécessaires, n'ont aucune valeur scientifique.

Ce fut la raison capitale pour laquelle, en 1850, après avoir

indiqué, comme une solution possible, l'emploi du filet liquide descendant, je crus ne pas devoir l'adopter.

Je crois de plus que, pour le moment, l'observateur ne doit pas être absent. Il faut qu'il puisse comparer les données fournies par les observations avec l'aspect du ciel, pour pé-

Fig. 8.



nétter les lois et les conditions dans lesquelles peuvent s'opérer les manifestations électriques de l'atmosphère.

Je dois à ces comparaisons la découverte des lois suivant

lesquelles l'électricité atmosphérique se manifeste par un ciel serein, un ciel nuageux, la chute de la pluie, de la grêle, de la neige et celle des cendres du Vésuve et de la fumée épaisse des grandes éruptions de ce volcan. On en verra plus loin le résumé.

Pour obtenir des indications continues sans employer une veine liquide, j'ai fait construire une roue avec 8 rayons conducteurs, tous isolés sur l'axe et terminés par des lames circulaires d'environ 0<sup>m</sup>,1 de diamètre. On place cette roue dans un lieu élevé, de façon que l'axe soit horizontal, et on la fait tourner : deux ressorts de laiton touchent les rayons au moment où ils arrivent à la verticale supérieure et à la verticale inférieure. Ces ressorts représentent les deux pôles de l'appareil, le premier positif, le second négatif, de sorte que, en mettant un de ces rhéophores en communication avec l'électromètre et l'autre avec le sol, on peut obtenir l'une et l'autre électricité. La difficulté d'obtenir un isolement parfait par tous les temps fait que je n'insiste pas sur cet appareil, que j'ai appelé *machine électrique atmosphérique*.

#### Méthode pour faire les observations.

Élevant rapidement, comme il a été dit plus haut, le conducteur mis en rapport avec l'électromètre, on lira l'arc impulsif : abaissant le conducteur qui se sera séparé de l'électromètre, comme nous l'avons expliqué précédemment, on lira l'arc définitif ; si celui-ci est tel qu'il doit être, alors l'arc impulsif exprimera la mesure de l'électricité induite ou, si l'on veut, du potentiel électrique.

Si l'arc définitif reste plus petit qu'il ne devrait être, alors à l'arc impulsif observé on ajoutera la perte connue et l'on aura une observation corrigée. En prenant soin d'avoir un bon isolement, il sera rarement nécessaire de recourir à la

correction. Malgré cela, il y a cependant des moments où il règne une humidité extraordinaire pénétrant dans la chambre, et dans ces cas, lorsqu'on élève le conducteur, l'index reste immobile ou, après une faible déviation, revient rapidement au zéro. Dans ces circonstances, on dessèche les lacets de soie, on réchauffe l'isolateur de verre en le frottant avec une étoffe chaude et sèche ; on regarde si, de son côté, l'électromètre ne subit pas de fortes pertes, pour le chauffer au besoin. Ces précautions prises, on peut procéder aux observations. Ces cas sont d'ailleurs fort rares, surtout lorsque la pièce est bien sèche.

Avec les divers appareils, dont on s'est servi jusqu'à présent, il n'est pas possible, par certains temps, d'éviter les pertes : tout ce que l'on pouvait souhaiter, c'était de pouvoir les mesurer.

Soient  $x$  la mesure rectifiée,  $a$  celle que donne l'observation et  $y$  la perte. On aura

$$x = a + y.$$

Si l'on connaît  $y$ , on peut regarder  $x$  comme connu.

Nous avons dit qu'on élève le conducteur avec rapidité : deux secondes sont le temps que réclame ordinairement cette opération ; mais la pratique montrera entre quelles limites il faut faire varier cette vitesse pour obtenir le même arc impulsif. Chacun comprend que, quand il s'agit d'électricité induite, la rapidité des mouvements est nécessaire : il suffit de rappeler que, lorsque l'humidité est excessive, il faut élever le conducteur plus vite.

Après avoir mesuré le potentiel, pour savoir si l'électricité dominante est positive ou négative, on réunit, pour un moment, le conducteur à un électromètre de Bohnenberger, on l'élève de quelques centimètres, et l'on voit dans quel sens la feuille d'or dévie.



Les observations de météorologie électrique se font maintenant avec une telle rapidité que, devenues dès aujourd'hui comparables, elles peuvent très bien être enregistrées dans les bulletins de météorologie. Lorsque nous parlerons plus loin des pluies d'orages, etc., nous indiquerons quelles sont les autres observations que l'on peut faire. En attendant, énonçons les résultats principaux que nous avons obtenus jusqu'à présent.

#### De l'Électricité par un ciel clair.

Par un ciel serein, l'électricité est toujours positive, pourvu que dans un certain rayon, qui, d'après mes observations, peut atteindre 70<sup>km</sup>, il ne tombe ni pluie, ni grêle, ni neige. Une longue série d'essais a, dès à présent, prouvé que, si par un ciel clair on note la présence de l'électricité négative, on peut être certain qu'il pleut, qu'il grêle ou qu'il neige à une certaine distance. L'électricité positive, obtenue par un ciel pur, a généralement une intensité plus grande que celle que l'on obtient par un temps nuageux, en supposant toujours qu'il ne pleuve ni au point où l'on se trouve, ni à quelque distance de là. Plusieurs observateurs ont remarqué, surtout pendant les journées calmes et sereines, une période pendant laquelle il se produisait généralement deux maxima et deux minima; le premier maximum se produisant avant le milieu du jour, vers 9<sup>h</sup> du matin, à peu près, et le second, le soir, quelque temps après le coucher du Soleil. Ce dernier maximum est généralement plus fort et se prolonge souvent fort avant dans la nuit; mais à l'aube on n'observe ordinairement que des minima.

L'heure de l'autre minimum, qui a lieu après le milieu du jour, est plus variable. Cette période diurne est facilement troublée par un vent qui souffle, par un nuage qui apparaît

à l'horizon, par un brouillard venant de la mer ou par toute autre cause qu'il n'est pas toujours très facile de déterminer. Ce qui est certain, c'est que, après avoir pris beaucoup de courbes de cette période diurne, en choisissant les journées les plus régulières, j'ai pu constater que toutes ces courbes ont une certaine ressemblance, mais sont anguleuses, par ce fait que, d'un quart d'heure à l'autre, on observe de fortes augmentations ou diminutions d'électricité.

Les maxima et les minima de deux journées consécutives, et en apparence semblables, ont des valeurs très différentes, et l'on peut affirmer, d'une manière générale, que, quand on observe de très forts maxima, le ciel est rarement serein dans les journées suivantes. On peut en dire autant si ces maxima s'écartent trop des heures habituelles avec une intensité exceptionnelle.

Si, de pur le ciel devient brumeux, les indications électriques deviennent plus fortes, et si, aux heures du maximum du soir, l'humidité augmente et si une rosée abondante se forme, on peut être sûr d'obtenir des maxima plus forts et plus durables. On a généralement cru que l'électricité augmentait avec l'altitude. Les anciennes méthodes ne pouvaient guère conduire à des conclusions précises. Pour vérifier l'exactitude de ces hypothèses, plaçons à des hauteurs différentes l'appareil décrit plus haut: faisons faire au conducteur des courses égales dans des temps égaux et comparons les mesures obtenues.

Les premières observations de ce genre furent faites avec l'appareil fixe de l'observatoire de l'Université et avec l'appareil mobile précédemment indiqué. Je transportai moi-même ce dernier, au mois de juillet, par des journées calmes et sereines, sur le clocher de Sainte-Claire, peu éloigné de l'Université, mais plus élevé de 15<sup>m</sup> que la coupole de celle-ci, puis sur l'observatoire astronomique de Capodimonte, plus

élevé de 100<sup>m</sup> que l'Université, ensuite sur les terrasses du fort Saint-Elme, et enfin sur le môle de Saint-Vincent, qui s'avance dans la mer à une hauteur de 4<sup>m</sup> à 5<sup>m</sup> au-dessus du niveau de l'eau.

Le professeur Eugène Semmola faisait les essais, à des heures convenues, à l'Université, tandis que, de mon côté, je les faisais aux endroits indiqués. Ces expériences, toujours simultanées, furent répétées pendant une série de jours consécutifs et à des heures constamment différentes.

Presque toujours on trouva aux points les plus élevés une valeur un peu plus forte; mais, sur le môle de Saint-Vincent, vers les 7<sup>h</sup> du matin, j'obtins des déviations plus fortes que celles qu'on observait à l'Université, alors qu'une sorte de rosée ou neige légère régnait à la surface de la mer. Ceci prouve que, parfois, dans une station moins élevée, on constate la présence d'une électricité plus forte que celle de la station la plus élevée.

Après avoir obtenu, en 1872, la concession d'un fil télégraphique entre l'Université et l'observatoire du Vésuve, j'ai pu établir entre les deux stations une série d'observations simultanées.

Ces observations synchroniques, faites quatre fois par jour et parfois plus souvent, ont démontré que, en général, les valeurs de l'électricité à l'intérieur de Naples sont supérieures à celles de l'observatoire du Vésuve, à de rares exceptions près.

Les expériences faites, à présent d'une façon suivie, à l'observatoire de Capodimonte, par l'actif professeur Faustin Brioschi, donnent des résultats analogues, et les résultats obtenus entre le petit Saint-Bernard et l'observatoire de Moncalieri, ne font que confirmer ces observations. Il est à remarquer également que les heures des maxima et des minima varient avec les altitudes. De là vient que le maximum du

matin se produit à l'observatoire du Vésuve plus tard qu'à l'Université, contrairement au maximum du soir, qui précède habituellement celui de l'Université. On voit, d'après ce qui vient d'être dit, quel cas il faut faire des résultats fournis par les cerfs-volants, les ballons, les flèches et les fusées lancés verticalement et horizontalement.

Il convient de faire observer que, si la course du conducteur est plus longue, la déviation obtenue sera plus forte, mais seulement jusqu'à une certaine limite. Au delà de celle-ci, comme la course ne pourra être fournie en un laps de temps de trois ou quatre secondes, l'effet se trouverait diminué.

Certaines personnes croient que, en s'élevant, le conducteur accuse, dans l'électromètre, le potentiel de la couche d'air qu'il atteint; mais un conducteur qui a son point de départ situé à 1<sup>m</sup>,50 plus bas que celui de la première tige ne donne pas des indications différant sensiblement de celles que fournit le conducteur dont le point de départ se trouve situé à 1<sup>m</sup>,50 plus haut que celui du précédent conducteur.

Les choses se passent donc comme si, au-dessus de l'observateur, il se trouvait une électricité inductrice plus ou moins élevée. Nous ne connaissons pas et nous ne pouvons évaluer son intensité absolue: nous mesurons seulement l'intensité de l'induction pour un déplacement donné du conducteur. Cette électricité inductrice fera sentir son action sur les conducteurs placés au-dessous d'elle, proportionnellement à son intensité et à sa hauteur. Aussi, si l'on pouvait atteindre à des hauteurs telles que l'on se trouve à la limite même de ces couches électriques, on devrait nécessairement obtenir, en élevant le conducteur, des signes d'électricité négative et, en l'abaissant, des traces d'électricité positive.

L'astronome français, M. Flammarion, qui s'est élevé souvent en ballon, dans les airs, a toujours rencontré une couche d'humidité maximum à des hauteurs plus ou moins considé-

rables. Cette couche, dans laquelle la vapeur qui s'élève du sol est presque saturée, en raison du froid qu'elle rencontre, constitue, suivant moi, le siège de l'électricité inductrice. Si celle-ci est plus forte ou plus éloignée, ou plus faible mais plus rapprochée du sol, elle pourra donner des déviations égales, à l'électromètre.

Ainsi nous ne mesurons pas l'intensité de l'électricité existant dans l'air d'un point donné, mais l'intensité de l'influence produite, qui dépend de l'intensité de l'électricité inductrice et de la distance qui existe entre celle-ci et nos appareils.

Lors donc que l'on dit qu'on mesure le potentiel de l'air à l'altitude où se trouve le collecteur, on exprime, à mon avis, une idée fautive; car ce que l'on mesure, c'est l'intensité de l'influence ou, si l'on veut, le potentiel, en ce point, d'une électricité inductrice de valeur inconnue.

Je devrais parler des périodes annuelles: je me contenterai de dire que, en général, par les fortes chaleurs de l'été, les tensions sont moins fortes. A l'automne et au printemps, elles sont habituellement plus fortes; en hiver, en raison du petit nombre de beaux jours, on n'obtient que des valeurs extrêmement variables.

#### De l'électricité par un ciel nuageux.

Par un ciel nuageux, comme par un ciel serein, l'électricité est toujours positive, si, dans un certain rayon, il ne tombe ni pluie, ni grêle, ni neige; mais elle se montre ordinairement moins forte, plus variable et sans période diurne bien définie.

Il m'est arrivé, pendant des journées entières et même pendant des semaines, de me trouver enveloppé par les nuages qui souvent entourent et *coiffent* le mont Vésuve jusqu'à plu-

sieurs centaines de mètres au-dessous de l'observatoire; j'ai toujours obtenu de l'électricité positive (parfois assez intense, sans cependant être excessive), qui m'a toujours paru être un peu plus forte quand les nuages mouillaient les toits de l'observatoire au point de faire couler les gouttières.

Les nuages n'accusent pas d'électricité propre, lorsqu'ils ne se trouvent pas en voie de se résoudre en pluie, en neige ou en grêle.

Les observations faites à ce sujet, à l'observatoire du Vésuve, que les nuages enveloppent, ne laissent subsister aucun doute. C'est une erreur invétérée de croire que les nuages se comportent comme des conducteurs, se chargeant capricieusement tantôt d'électricité positive, tantôt d'électricité négative. Tant que ceux qui veulent s'occuper de météorologie électrique ne sortiront pas de leur cabinet pour consulter la nature, à l'aide d'observations directes, et qu'ils s'en rapporteront exclusivement aux courbes fournies par les appareils enregistreurs, ces erreurs se perpétueront.

#### De l'électricité en temps de pluie.

Pendant que la pluie tombe (soit au lieu des observations, soit à une certaine distance), l'électricité atmosphérique augmente d'une façon extraordinaire, alors même qu'il n'y a pas d'éclats de foudre, et cet accroissement d'intensité commence avec la pluie, dure autant qu'elle et finit avec elle.

Dans ces circonstances, surtout lorsque la pluie tombe à une certaine distance, il arrive que l'on observe de l'électricité négative, qui devient positive au bout d'un certain temps et quelquefois change de nouveau de signe.

En 1854, après une longue suite d'observations, je formulai la loi suivant laquelle ces manifestations se produisaient.

Tout d'abord, je rencontrai au sein de notre Académie des

Sciences une certaine incrédulité. Mais, comme cette loi s'est trouvée confirmée plus tard, par Quetelet et par d'autres, on peut la considérer comme appartenant au domaine de la Science. J'ai pu du reste, de 1854 jusqu'à ce jour, en vérifier l'exactitude.

Cette loi peut s'énoncer ainsi :

*Là où tombe la pluie, on trouve de fortes traces d'une quantité d'électricité positive, qui est entourée d'une zone plus ou moins étendue d'électricité négative à laquelle succède une nouvelle zone positive, qui va en diminuant à une certaine distance.*

On n'aurait pas pu découvrir cette loi importante si l'on ne s'était pas trouvé entouré d'un vaste horizon et si l'on n'avait pas comparé les indications fournies par les appareils avec l'état et l'aspect du ciel. Elle n'aurait jamais été mise en évidence par les appareils enregistreurs.

Celui qui voudra vérifier l'exactitude de cette loi devra se placer dans un site favorable, entouré d'un horizon entièrement libre, et choisir de préférence, pour faire des expériences, la période des pluies d'été, qui ont généralement une étendue moins considérable, en ce sens qu'elles parcourent des zones d'une assez grande longueur, mais d'une largeur restreinte. Ces pluies *solitaires* s'approchent, poussées par le vent, du lieu des observations, y passent et s'en éloignent : aussi ne durent-elles parfois qu'une demi-heure sur un même point.

Il n'est pas rare d'observer de l'électricité négative pendant qu'il pleut au lieu où l'on se trouve ; mais c'est la preuve qu'à une certaine distance il tombe une autre pluie beaucoup plus forte, qui développe, au point où l'on fait les observations, une électricité négative beaucoup plus forte que l'électricité positive due à la pluie locale.

J'ai eu l'occasion de noter, pendant qu'il tombait une pluie

abondante sur l'observatoire du Vésuve, la présence d'une grande quantité d'électricité négative ; mais, la pluie cessant, cette électricité devenait plus forte encore : elle n'était donc pas due à la pluie locale.

Ainsi, lorsque, à une grande distance du point observé, il pleut, il grêle ou il neige abondamment, on peut avoir des indices d'électricité négative, alors même que le ciel est pur et qu'on n'aperçoit pas les nuages qui produisent cette pluie lointaine, ceux-ci se trouvant placés au-dessous de l'horizon. J'ai vérifié moi-même ces faits à diverses reprises, en me procurant des indications sur le temps qu'il faisait dans les régions avoisinantes et j'ai observé de l'électricité négative par un ciel clair.

#### Pluies d'orage.

Entre une pluie ordinaire et une pluie d'orage, il n'y a aucune différence au point de vue de la loi énoncée : seulement, à des averses plus fortes correspondent des manifestations électriques plus énergiques qui se traduisent souvent par des coups de tonnerre. Les zones dont il a été question plus haut sont plus étendues et donnent des traces plus fortes d'électricité, et l'observateur qui se trouvera dans une de ces zones pourra facilement tirer des étincelles, plus ou moins grosses, d'un conducteur qu'il tiendra légèrement élevé.

L'électricité *étincelante*, observée par Franklin, par Dali-bard, par Richmann et d'autres savants, implique toujours la chute d'une pluie à grandes ondées, à une certaine distance du lieu des observations. Les grandes tensions électriques, qui font sauter violemment l'index de l'électromètre au delà de 90°, et que nous indiquerons par  $\infty$ , supposent toujours, au moins, de fortes pluies à quelque distance.

On peut donc être certain que les tensions électriques extraordinaires sont produites par une brusque résolution des

nuages en eau. Par suite, on devra considérer le nuage qui se résout en pluie comme une source continue d'électricité, qui, lorsqu'elle ne peut se dissiper par l'humidité de l'air ambiant, se décharge sous forme de foudre, soit entre les nuages eux-mêmes, soit entre les nuages et le sol placé au-dessous.

Ces puissantes tensions naissent au commencement de la pluie, durent et finissent comme elle.

On comprend, de cette façon, le phénomène laissé sans explication par les météorologistes et qui consiste dans ce fait que, pendant un même orage, une série indéfinie d'éclairs peut jaillir du même nuage, par cette raison que de l'électricité tend à se développer pendant la résolution du nuage en eau. Nous ne devons donc pas considérer les nuages orageux comme des conducteurs planant dans l'air, s'électrisant comme par enchantement tantôt positivement, tantôt négativement, se heurtant entre eux et se déchargeant tour à tour. Entre les nuages orageux et les autres il n'y a pas de différence d'espèce; mais la résolution des premiers en eau étant plus abondante et plus rapide, il y a un développement plus considérable d'électricité : celle-ci, lorsqu'elle ne peut se dissiper en silence, se décharge en bruyants éclats de foudre.

Du printemps au commencement de l'automne les pluies sont, dans nos contrées, généralement de moindre durée et plus violentes. Elles se renferment dans des zones plus étroites entourées d'un ciel pur et d'un air relativement sec; de là la fréquence des éclairs.

Ces pluies d'orage surviennent lorsque les courants polaires froids qui tendent à condenser les vapeurs de l'atmosphère sont dominants. Les paysans de la Campanie savent que, tandis que pendant l'hiver ils ont habituellement de la pluie avec les vents du midi qui apportent sur le continent froid l'air chaud et humide de la mer, après saint Marc il ne pleut plus que lorsque les vents du nord dominant.

Cette observation fait disparaître un autre paradoxe, qui consiste en ceci : que la fréquence des orages accompagnés d'un grand développement d'électricité se produit précisément aux points où l'électricité est plus rare, alors que, comme nous le verrons plus loin, l'électricité atmosphérique s'accroît avec l'humidité relative et, par suite, avec la formation des brouillards et des nuages, et devient maximum quand ils se résolvent en pluie. Il faut noter, en outre, que, au moment où l'humidité relative augmente, on observe un accroissement d'électricité dans l'atmosphère; mais l'électricité se dissipe promptement, et l'humidité peut conserver sa valeur par rapport au milieu ambiant. Le même fait se produit lors de la formation des nuages, qui, une fois formés, n'accusent pas une électricité plus forte que celle de l'air environnant, en attendant le moment de se résoudre en eau pour produire de nouvelles manifestations électriques. Aussi, lorsqu'on observe en dehors des heures habituelles de forts maxima d'électricité atmosphérique, on peut prévoir une apparition prochaine des nuages.

Si, quand un orage éclate à distance, nous tenons le conducteur mobile quelque peu élevé et en communication avec un électromètre, nous verrons l'index dévier d'arcs plus ou moins grands, retourner ensuite vers le zéro, reprendre rapidement sa course et ainsi de suite plusieurs fois.

Dans ces circonstances, il vaut mieux maintenir le conducteur un peu élevé et le mettre en communication avec l'électroscope de Bohnenberger. On verra alors la feuille d'or donner constamment des signes d'électricité positive ou négative, selon la zone dans laquelle on se trouve, et l'on constatera non seulement des phases d'intensité variable, mais encore de fréquents changements de signes. Les plus importants de ces changements correspondent à l'apparition de l'éclair et peuvent être aisément étudiés dans les orages de nuit, pen-

dant lesquels on voit coïncider exactement avec l'éclair le mouvement de la feuille d'or.

On voit cette feuille d'or, qui s'avancéait lentement vers l'un des pôles d'une pile sèche, s'en rapprocher brusquement quand l'éclair brille ou s'en éloigner de même et accuser un changement d'électricité : ce qui démontre qu'au passage de l'éclair il y a eu accroissement rapide de l'électricité inductrice ou une diminution par suite de laquelle le conducteur peut donner des signes de l'électricité opposée qu'il tenait *dissimulée*, suivant l'expression précédemment employée.

Lorsqu'on remarque ces phénomènes pendant le jour, on peut être certain qu'il y a au loin un orage, et les mouvements rapides de la feuille d'or permettent de compter les coups de foudre dont on n'aperçoit pas la lueur et dont on n'entend pas le bruit. Les orages de nuit donnent, comme nous l'avons dit, la démonstration expérimentale de la coïncidence de ces mouvements de la feuille d'or avec l'apparition de l'éclair. Les changements de signes, non plus instantanés mais suffisamment durables, correspondent au passage d'une zone à l'autre. En effet, l'orage se déplace avec le vent : après avoir donné des signes d'une forte électricité positive, il entrera, en s'approchant du lieu des observations, dans une zone négative, après avoir franchi la zone neutre, passage habituellement de très courte durée. En continuant à s'approcher, il arrivera à la zone positive de la pluie qui tombe au point où se trouve l'observateur. S'il continue sa marche, on observera tour à tour de l'électricité négative, puis positive. Cette loi s'applique aux pluies ordinaires et aux pluies d'orage, avec ou sans grêle, en sorte que, à l'exception des mouvements brusques de la feuille d'or dont on a parlé, on ne trouverait aucune différence entre une averse sans tonnerre et une pluie d'orage : toutefois, l'intensité des manifestations électriques et l'étendue des zones variant avec la quantité d'eau tombée, on peut éta-

blir une différence entre une pluie ordinaire et un orage. Les coups de foudre se produisent dans les zones dont nous avons parlé et supposent qu'il y a nécessairement une rapide résolution de nuages en eau, l'air ambiant restant relativement sec ; par de grandes pluies, j'ai obtenu des effets électriques assez puissants pour me fournir des étincelles sur le conducteur ; cependant, il n'y avait pas eu de coup de foudre. Dans ces circonstances, il arrive que, en élevant le conducteur de quelques centimètres, on peut voir l'index de l'électromètre sauter au delà de  $90^\circ$  ou la feuille d'or battre contre un des pôles de la pile sèche.

Si l'observateur se trouve, non pas au-dessous de la pluie, mais dans une des zones déjà citées, il pourra voir se produire avec une intensité exceptionnelle les phénomènes de rapprochement ou d'éloignement en se plaçant dans un lieu dégagé de tous objets environnants. Il lui sera facile alors de voir qu'en passant d'une zone à l'autre, s'il avait d'abord, par rapprochement, de l'électricité négative (tandis qu'il se trouvait dans la zone positive), il obtiendra ensuite de l'électricité positive, s'il est passé dans la zone négative. Je me rappelle avoir plusieurs fois placé un électromètre sur la terrasse de la tour météorologique de l'observatoire du Vésuve, alors qu'une forte pluie tombait à une certaine distance, et avoir vu, quand j'approchais vivement la main du conducteur extérieur, l'aiguille de l'appareil subir de fortes déviations, comme si ma main eût été un bâton de verre ou de cire frotté avec une étoffe. En mettant un instant le conducteur en communication avec le sol et en éloignant ensuite la main, j'obtenais une nouvelle déviation, mais de sens contraire.

Après des milliers d'observations, je puis donner comme certains les faits suivants :

1<sup>o</sup> Les fortes manifestations électriques, qui ne peuvent être mesurées avec l'électromètre bifilaire ordinaire, ne se produi-

sent pas sans chute de pluie, de grêle ou de neige dans un rayon qui, d'après mes observations, ne dépasse guère 70<sup>km</sup>.

2° La décharge lumineuse que l'on peut tirer de conducteurs isolés et bien exposés suppose nécessairement une abondante chute de pluie, de neige ou de grêle, dans les limites indiquées ci-dessus.

On peut être certain que, lorsque Franklin obtint une étincelle en employant son cerf-volant et que d'autres observateurs constatèrent les mêmes phénomènes en se servant de tiges métalliques isolées à l'air libre, il pleuvait abondamment à une certaine distance. Lorsque Richmann tomba, mortellement frappé par une étincelle échappée du pied d'une longue et forte tige qu'il tenait isolée et bien exposée, il y avait à une certaine distance une résolution rapide de nuages en eau.

3° Le nuage qui se résout rapidement en pluie, grêle ou neige doit être considéré comme une source abondante d'électricité, induisant les zones environnantes et qui, lorsqu'elle ne peut se dissiper tranquillement, grâce à l'humidité de l'air ou par l'intermédiaire des nuages, est forcée de se décharger en éclairs.

4° La décharge de la foudre comporte nécessairement avec elle la lumière de l'éclair et le bruit du tonnerre : aussi est-il impossible d'avoir de la foudre sans pluie ou des éclairs sans tonnerre. Les éclairs du soir, dits *éclairs de chaleur*, ne sont autre chose que la manifestation d'orages lointains, comme j'ai eu souvent l'occasion de m'en assurer, après avoir demandé par le télégraphe des nouvelles du temps. Le plus grand intervalle qu'il m'ait été donné de constater entre l'apparition de l'éclair et l'audition du tonnerre a été de 59<sup>s</sup> : par conséquent, le bruit du tonnerre ne dépasse pas 21<sup>km</sup>, tandis que la lumière peut être aperçue à des distances beaucoup plus considérables.

5° Puisque l'étendue des zones dépend de l'intensité de l'électricité développée par la résolution des nuages en eau, on comprend comment l'observateur peut se trouver, en un instant, transporté d'une zone dans une autre, par suite d'un simple coup de foudre.

#### Manifestations électriques pendant les éruptions du Vésuve.

L'apparition de la foudre au milieu du panache de vapeurs qui sort du cratère dans les grandes éruptions du Vésuve, décrites pour la première fois par Pline le Jeune, s'est reproduite dans les grands embrasements postérieurs. J'ai eu personnellement l'occasion de voir ce phénomène de très près, surtout pendant l'éruption de 1861 et pendant l'éruption encore plus terrible de 1872.

Il y a eu des éruptions aussi remarquables, telles que celle de 1850 et d'autres encore, pendant lesquelles on n'a pas observé les éclats de foudre dont nous parlons. D'après mes observations personnelles, la condition nécessaire pour que l'électricité des fumées volcaniques se résolve en éclairs, c'est qu'à ces vapeurs se trouvent mêlés beaucoup de cendres et de sables. Voilà pourquoi, lors du grand bouleversement de 1850, pendant lequel il n'y eut pas de chute de cendres, les éclairs firent défaut, malgré l'activité extrême du cratère. En compulsant ma collection des figures des grandes éruptions du Vésuve, j'ai remarqué qu'on a signalé la présence des éclairs toutes les fois qu'il est tombé une forte pluie de cendres, des volutes de fumée qui se tordent au sommet du volcan. Les observations, faites avec des appareils spéciaux, ont pu démontrer que la vapeur d'eau qui se condense en globes de fumée est toujours riche en électricité positive.

Pendant de grandes éruptions, j'ai pu faire mes études de l'observatoire : quand la fumée était moins épaisse, j'ai tou-

jours eu soin de transporter mes appareils sur la cime même du volcan, tout près du cratère, et, lors des éruptions excen- triques, auprès des cônes d'éruption, sur les flancs de la montagne.

Dans le mémorable embrasement de 1872, tandis que la fumée du Vésuve s'inclinait du côté de l'observatoire, j'ai pu observer un accroissement d'électricité semblable à celui d'un orage ; seulement, les variations étaient plus fréquentes. En tenant le conducteur quelque peu élevé, en communication avec l'électroscope de Bohnenberger, je pouvais constater aisément, non seulement des variations rapides d'intensité, mais encore de fréquents changements de signes qui, convenablement interprétés, viennent à l'appui de ce qu'on a dit plus haut, c'est-à-dire qu'à une forte diminution de l'électricité inductrice doit correspondre, sur les conducteurs fixes, une apparition d'électricité contraire. Et de fait, si, alors qu'un conducteur fixe peu élevé donnait des signes d'électricité négative, on l'élève du reste de sa course, on recueille des traces d'électricité positive.

Les variations d'intensité qu'on observe ne doivent nullement surprendre, motivées qu'elles sont par les changements subits et les exhalations successives du cratère en activité, qui laisse échapper, à de brefs intervalles et avec une intensité très variable, de grandes volutes de fumée.

En raison de sa chute, la cendre tend à prendre l'électricité négative en se rapprochant du sol et à accroître l'électricité positive des volutes de fumée dont elle s'éloigne, d'où il suit que l'intensité électrique de la fumée se trouve accrue par la pluie de cendre.

J'ai constaté, en effet, qu'en plaçant de la cendre dans un vase métallique isolé, assez élevé, et en la faisant tomber sur le sol, on obtenait sur le vase de l'électricité positive ; et que si l'on mettait le vase en communication avec la terre, la

cendre, en tombant dans une coupe métallique isolée, donnait à ce vase de l'électricité négative.

Toutes les fois que de la cendre, emportée par le vent, est tombée sur l'observatoire, tandis que la fumée se trouvait entraînée dans un sens opposé, j'ai obtenu des signes manifestes d'électricité négative. Ainsi que moi, Cagnazzi et le duc de la Torre trouvèrent (vers le commencement de ce siècle, si mes souvenirs sont exacts) des traces d'électricité négative sur les cendres qu'ils avaient recueillies sur des lames isolantes.

Et je crois utile de faire remarquer à cette occasion que si, par un coup de vent, sur un sol aride, une grande quantité de cendres est soulevée dans l'air, elle accusera en retombant lentement l'existence d'une quantité d'électricité négative dans l'atmosphère. Il est bon de tenir compte de ce fait, signalé pour la première fois, autant qu'il m'en souvient, par un observateur allemand, si l'on veut éviter des conclusions fausses.

On comprend, après tout ceci, comment la chute de cendres concourra à la production des éclats de foudre en tombant de la colonne de fumée qui s'échappe du cratère du Vésuve.

L'illustre astronome français, Faye, qui, dans une Communication faite à l'Académie de France, m'invitait à étudier ce genre de phénomènes, ne savait pas, je crois, qu'ils avaient depuis longtemps fixé mon attention et qu'à diverses reprises j'en avais publié le résumé.

#### Origines de l'électricité atmosphérique.

Je ne veux pas examiner les diverses hypothèses faites sur les origines de l'électricité atmosphérique. Je me borne à citer les observations et les expériences à l'aide desquelles je crois avoir résolu le problème.

*Observations.* — 1° L'électricité atmosphérique croît au moment où l'humidité atmosphérique devient plus forte.

2° Elle augmente et devient lumineuse avec la chute de la pluie, de la grêle ou de la neige sur le lieu des observations, et mieux encore à une certaine distance.

3° Lors de l'apparition soudaine des nuages ou du brouillard à l'horizon, on obtient toujours des indications électriques plus accentuées, mais qui ne peuvent être comparées à celles que l'on recueille pendant les fortes pluies.

Tous ces phénomènes et d'autres du même genre concourent à expliquer la période diurne et ses perturbations, et montrent nettement que l'origine de l'électricité se trouve dans la condensation de la vapeur d'eau, soit que cette vapeur augmente rapidement l'humidité relative, soit qu'elle se transforme en brouillard, en nuages, en neige ou en pluie.

### Expériences.

En même temps que j'énonçais les résultats fournis par les observations, je souhaitais de confirmer par des expériences de laboratoire la valeur des données obtenues par déduction. En conséquence, je pris une grande coupe de platine appartenant à notre cabinet de Chimie : je la couvris de cire dans sa partie convexe et l'employai pour former le fond d'un vase cylindrique constitué par une portion d'un cylindre de verre. Ce fond (c'est-à-dire la coupe de platine) était concave et découvert à sa partie extérieure, convexe et enduit de cire dans sa partie intérieure. J'isolai ce vase en le suspendant par trois lacets de soie, dans une chambre bien large. La distance qui le séparait du pavé était d'environ un mètre, et même un peu supérieure. Je plaçai verticalement au-dessous de lui une large coupe métallique remplie d'eau que je portai à l'ébullition au moyen d'un réchaud à char-

bon. Il s'en élevait une colonne de vapeur qui se rendait dans la partie concave de la coupe de platine formant le fond du vase précédemment décrit. Je mis successivement à l'intérieur de ce dernier de l'eau froide, de la neige, et même du sel et de la neige.

Lorsque j'ai relié la coupe de platine au plateau inférieur de l'électroscope condensateur à pile sèche, j'ai constamment remarqué des traces d'électricité positive quand la vapeur se rendait rapidement et se distillait dans la partie concave refroidie de la coupe de platine.

On conçoit que l'électricité ainsi produite tendait à se perdre par la colonne de vapeur d'eau qui s'élevait de la coupe inférieure; aussi n'eût-il pas été facile de l'observer sans le condensateur. Je me souvins alors qu'Alexandre Volta, s'appuyant sur quelques-unes de ses expériences, avait soutenu que dans l'évaporation de l'eau il y a développement d'électricité et que la vapeur prend l'électricité positive, l'eau restant électrisée négativement; mais qu'à la suite d'expériences postérieures, cette loi avait été mise en doute. Je crus nécessaire de revoir les expériences déjà faites, et je m'aperçus qu'il fallait surmonter de sérieuses difficultés pour arriver à une conclusion certaine. L'évaporation lente produit peu de résultats et ne permet pas d'obtenir des traces d'électricité appréciables avec nos appareils. L'ébullition donne certainement plus de vapeur, mais celle-ci, en se répandant, rend inappréciable l'électricité, et je dirais presque qu'elle l'absorbe. De plus, les bulles qui se déplacent au sein du liquide neutralisent par contact les parties qui se trouvent électrisées différemment (c'est-à-dire de signe contraire) et ne permettent pas d'obtenir des résultats sérieux. Ajoutons à ceci que la flamme de l'alcool, placée sous la coupe de platine, l'électrise et crée ainsi une nouvelle cause de trouble. Il ne restait plus qu'un moyen, c'était de faire rougir au feu la coupe de

platine et d'y faire tomber quelques gouttes d'eau distillée. Tout d'abord, celle-ci prend l'état sphéroïdal et, ne touchant pas le fond de la coupe, ne peut fournir aucune indication. Mais, quand la coupe est suffisamment refroidie, la gouttelette entre brusquement en ébullition et l'on peut avoir en ce moment quelque trace d'électricité : seulement, il survient ce doute, que c'est peut-être le frottement de la vapeur contre les parois de la coupe qui engendre des phénomènes analogues à ceux que produit une machine hydro-électrique.

En raison de toutes ces difficultés, je crois qu'il vaut mieux concentrer sur la surface de l'eau contenue dans une coupe de platine un faisceau de rayons solaires, à l'aide d'une lentille de 0<sup>m</sup>,30 environ de diamètre. On obtient alors une ébullition particulière, car les bulles de vapeur partent toutes rapidement de la surface du liquide. On arrive à constater, à l'aide de l'électroscope condensateur, des traces faibles, mais constantes, d'électricité négative dans la coupe de platine qui contenait l'eau.

Tout cela m'amène à penser que la conception de l'illustre Italien était juste, et que l'évaporation de l'eau sur notre planète peut être considérée comme une origine éloignée ou médiate de l'électricité atmosphérique. Mais l'origine immédiate, directe, de son développement, c'est la condensation des vapeurs.

FIN.

FAC. N. FILOSOFIA - BIBLIOTÉCA