

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES  
PUBLIÉES PAR M. L'ABBÉ MOIGNO

---

PROGRAMME  
D'UN COURS EN SEPT LEÇONS  
sur les  
**PHÉNOMÈNES**  
ET LES  
**THÉORIES ÉLECTRIQUES**

PAR

**M. JOHN TYNDALL**

Professeur de la Société royale à Londres

TRADUIT DE L'ANGLAIS PAR M. L'ABBÉ RAILLARD

REVU PAR M. L'ABBÉ MOIGNO

---

PARIS

AU BUREAU DU JOURNAL *LES MONDES*

32, RUE DU DRAGON!

ET CHEZ M. GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

55, quai des Grands-Augustins 3

---

1871



**PROGRAMME**

**D'UN COURS EN SEPT LEÇONS**

sur les

# **PHENOMÈNES**

**ET LES**

**THEORIES ÉLECTRIQUES**

---

PARIS. — IMPRIMERIE WALDER, RUE BONAPARTE, 44.

---

**ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES**  
PUBLIÉES PAR M. L'ABBÉ MOIGNO

---

**PROGRAMME**

D'UN COURS EN SEPT LEÇONS

sur les

# PHÉNOMÈNES

ET LES

**THÉORIES ÉLECTRIQUES**

PAR

**M. JOHN TYNDALL**

Professeur de la Société royale à Londres

TRADUIT DE L'ANGLAIS PAR M. L'ABBÉ RAILLARD

REVU PAR M. L'ABBÉ MOIGNO



**PARIS**

AU BUREAU DU JOURNAL *LES MONDES*

32, RUE DU DRAGON

ET CHEZ M. GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

55, quai des Grands-Augustins

**1871**



# PROGRAMME

D'UN COURS EN SEPT LEÇONS

SUR LES

## PHÉNOMÈNES ET LES THÉORIES ÉLECTRIQUES

PAR M. LE PROFESSEUR TYNDALL

—

### PREMIÈRE LEÇON.

1. Si deux morceaux du même métal (zinc pur ou platine pur, par exemple) sont plongés dans de l'eau rendue acide par un peu d'acide sulfurique, l'eau acidulée n'attaque ni l'un, ni l'autre.

Le zinc ordinaire du commerce, étant rendu impur par le mélange d'autres métaux, est attaqué par l'acide. Mais on peut le rendre capable de résister à l'action de l'acide en recouvrant sa surface de mercure. Le zinc, séparé de ses impuretés et présenté au liquide, est dissous par le mercure. Cette opération s'appelle *amalgamation*.

2. Si deux morceaux de deux métaux différents (par exemple, zinc pur et platine pur) sont plongés dans de

l'eau acidulée, il ne se produit pas d'action sensible *tant que les métaux ne se touchent pas* ; mais au moment où ils se touchent, et tant qu'ils continuent d'être en contact, le zinc est attaqué par l'eau acidulée et se dissout, et des bulles de gaz se dégagent à la surface de platine.

3. Lorsqu'on recueille ce gaz, on reconnaît qu'il a la densité de l'hydrogène ; il brûle aussi dans l'air comme l'hydrogène. L'eau est, en effet, décomposée lorsque les métaux sont en contact ; son oxygène s'unit au zinc pour former de l'oxyde de zinc, et son hydrogène se dégage de la surface du platine.

4. Si les deux métaux ne sont plongés qu'en partie dans l'eau acidulée, il n'importe pas que le contact ait lieu à *l'intérieur* ou *au dehors* du liquide. Dans les deux cas, l'effet est la décomposition de l'eau, la dissolution du zinc et la mise en liberté du gaz hydrogène.

5. Lorsque les deux métaux partiellement immergés communiquent entre eux en dehors du liquide par un long fil (de cuivre, par exemple), l'effet est le même que lorsqu'ils se touchent directement. Dans les deux cas on dit qu'il s'est formé un *circuit* composé des deux métaux et du liquide. Dans le dernier cas mentionné, le fil de cuivre complète le circuit.

Pour ces expériences, on se sert d'une lame de platine et d'une lame de zinc amalgamé. Le liquide est mis dans un vase de verre à parois parallèles, à travers le-



quel on fait passer un faisceau de lumière, et au moyen d'une lentille on projette sur un écran une image agrandie du vase et de ses deux lames. On voit alors parfaitement l'action chimique qui se produit lorsque les métaux sont mis en contact, ou lorsqu'on complète le circuit avec un fil, et la suspension de cette action lorsque le contact est interrompu.

6. On dit aussi que le fil est le véhicule d'un *courant électrique* qui s'écoule par le circuit. On l'appelle encore courant voltaïque, parce que l'action décrite ici a été découverte par le célèbre savant italien, Volta. Mais ces expressions n'ont encore pour nous aucune signification. Notre seul objet dans cette leçon est d'examiner le fil qui complète le circuit et de déterminer en quoi il diffère d'un fil ordinaire.

7. Pour nous mettre en état de le faire d'une manière complète, nous nous servons d'un arrangement ou d'une combinaison d'acides et de lames de zinc et de platine, connue sous le nom de pile voltaïque. Nous analyserons ensuite cette pile, et nous déterminerons ce qui s'y produit. Pour le moment, comme il vient d'être dit, nous nous bornerons à l'examen du fil qui complète le circuit en dehors de la pile.

8. Lorsqu'on rompt le circuit et qu'on plonge le fil dans de la limaille de fer, ce fil ne fait voir aucune force d'attraction sur la limaille. Lorsqu'on établit le circuit, si on replonge le fil dans la limaille, celle-ci se ra-

masse autour du fil et s'y tient attachée. Si on retire le fil de la limaille, elle forme une enveloppe autour de lui. Mais au moment où le circuit est interrompu, la limaille tombe.

9. Si on détache le fil des lames de platine et de zinc, et qu'on le tende parallèlement au-dessous d'un barreau aimanté suspendu, on ne remarque aucune action; mais si, pendant que le fil est tendu au-dessous de l'aimant, il fait partie du circuit voltaïque, l'aimant est dévié du méridien magnétique. Ceci est la découverte d'OErsted.

10. Si le fil est assez gros, il n'éprouve pas de changement sensible à l'œil lorsqu'on le fait communiquer avec le zinc et le platine. Mais si on substitue au gros fil de cuivre un fil mince de platine, celui-ci s'échauffe d'une manière sensible, et il peut devenir incandescent. Le fil doit donc être le véhicule d'une force capable de produire à la fois des phénomènes magnétiques et des phénomènes thermiques.

11. Si un fil non recouvert, formant une portion d'un circuit voltaïque, est enroulé autour d'un barreau de fer, la force dont le fil est le véhicule est en grande partie transmise au fer, qui devient une partie du circuit.

12. Mais si on recouvre le fil de coton, ou mieux encore, de soie, on empêche la transmission au fer de cette force dont le fil est le véhicule. On peut alors en-

rouler le fil autour du barreau, et la force est obligée de passer successivement par tous les tours du fil. Ici le fer n'est pas du tout dans le circuit.

13. Mais quoiqu'il ne soit pas dans le circuit, il est fortement excité par le fer qui l'entourne. Chaque tour du fil développe dans le barreau une certaine quantité de *magnétisme*; et en rendant les tours suffisamment nombreux on peut produire ainsi un aimant d'une puissance énorme. C'est la découverte d'Arago.

14. Un pareil aimant est appelé électro-aimant, pour le distinguer des aimants ordinaires permanents en acier. Lorsque le circuit est rompu, la force de l'électro-aimant cesse. Il tombe alors de l'état fortement excité à l'état de fer ordinaire.

15. Pour produire les effets électro-magnétiques, on a coutume d'enrouler le fil recouvert sur une bobine creuse, et quelquefois on superpose plusieurs couches de fil autour de la bobine. Dans cet état la bobine est appelée *hélice électro-magnétique*. On place dans l'intérieur de l'hélice le fer que l'on veut magnétiser, il en forme le *noyau*. L'électro-aimant peut-être droit, ou en fer à cheval, ou recevoir toute autre forme.

16. Le barreau de fer doux placé contre les extrémités ou pôles d'un aimant en fer à cheval est appelé *armature*.

17. Il n'est pas nécessaire que les tours de l'hélice soient appliqués tout contre le barreau intérieur : ainsi

un anneau d'un mètre de diamètre, autour duquel est enroulé un fil recouvert, aimante un barreau de fer que l'on place à son centre. Le corps aimanté est ici à près d'un demi-mètre de l'hélice qui l'aimante. Comment la force est-elle transmise de celle-ci à celui-là? Est-ce une action à distance, ou bien a-t-elle besoin d'un milieu pour être transmise? Je n'en sais rien. La question préoccupe aujourd'hui vivement les savants.

18. Si un fil recouvert faisant partie d'un circuit est enroulé autour d'un barreau de fer, près d'une de ses extrémités, l'aimantation se propage le long du barreau du côté de l'extrémité éloignée. A mesure qu'on augmente le nombre des tours de l'hélice, la force attractive de l'extrémité éloignée augmente. Si l'on déroule l'hélice, l'aimantation diminue graduellement. L'effet produit ressemble plus ou moins à la conduction de la chaleur; l'augmentation des tours de l'hélice correspond à l'élévation de la température, et sa diminution au refroidissement de l'extrémité du barreau.

19. Lorsqu'on a introduit partiellement l'extrémité d'un cylindre en fer dans une hélice électro-magnétique, si l'on complète le circuit, une force de succion s'exerce sur le cylindre, tendant à l'entraîner dans l'intérieur de l'hélice. Page a mis cette force à profit pour construire une machine électro-magnétique.

On emploie pour cette expérience des cylindres creux en fer, dont l'extrémité seulement est introduite dans

l'hélice. Lorsque le circuit est fermé, le cylindre est aussitôt fortement attiré.

20. D'autres ont utilisé pour des machines l'attraction exercée par des électro-aimants sur des barreaux de fer. Le célèbre constructeur d'instruments électro-magnétiques, Froment, a produit un mouvement rotatoire de cette manière. Une série d'électro-aimants sont disposés de telle sorte que leurs pôles sont en face les uns des autres sur la circonférence d'un cercle ; et une série de barreaux de fer sont liés entre eux de manière à s'approcher successivement des pôles, et à tourner ensemble. Lorsque le circuit est fermé, ces barreaux sont attirés, et le mouvement est ainsi communiqué au système. Les barreaux, en arrivant aux pôles qui les attirent, cessent aussitôt d'être attirés, et leur aimantation est suspendue momentanément pour permettre à chaque barreau de continuer son mouvement avec la vitesse acquise, jusqu'au couple suivant de pôles qui l'attire. Lorsqu'il s'en est approché, son magnétisme est de nouveau suspendu pour un moment. Ainsi, les barreaux *ne sont jamais ramenés en arrière* ; et on obtient un mouvement continu de rotation.

21. Ce mouvement de rotation peut recevoir des applications diverses ; il peut servir, par exemple, à faire jouer une pompe à eau, à scier du bois, ou à enfoncer des pieux.

Pour le démontrer, on emploie une des machines

électro-magnétiques de Froment, et on l'applique à faire jouer une pompe ou à enfoncer des pieux.

22 Le son est un des effets physiques qui accompagnent l'aimantation subite et la désaimantation subite. En plaçant l'oreille tout contre le fer doux d'un électro-aimant, on entend un tintement à l'instant où le circuit est établi autour de lui. On entend aussi un bruit sec au moment où le circuit est rompu. C'est Page qui a fait cette découverte. En employant un interrupteur (placé dans une chambre éloignée, pour empêcher le bruit), on peut magnétiser et démagnétiser l'hélice par une succession rapide ; le son produit peut alors être entendu par plusieurs centaines de personnes à la fois.

23. Lorsqu'on aimante un barreau de fer, on ne change pas son volume, mais on altère sa forme ; il s'allonge dans le sens de l'aimantation. C'est une découverte de Joule.

24. Joule s'est servi d'un système de leviers pour augmenter l'effet, et du microscope pour observer l'allongement produit de cette manière. Voici le procédé que nous employons : Le barreau de fer est aimanté par une hélice électro-magnétique qui l'enveloppe. Son allongement est rendu cinquante fois plus sensible par le moyen d'un levier ; et le mouvement du levier fait tourner l'axe d'un miroir. On fait réfléchir sur le miroir un long faisceau de lumière qui forme un index sans poids : On peut faire produire au faisceau réfléchi un cercle lumineux sur un écran blanc, et lorsque l'on

aimante le barreau, ce cercle éprouve un déplacement dû à l'allongement du barreau. Ce déplacement peut aller jusqu'à un pied ou plus.

Quelle est la cause de cet allongement? La discussion de cette question exige quelques connaissances préliminaires.

25. Si l'on place sur un aimant une feuille de papier, ou un carreau de verre, de la limaille de fer, répandue sur le papier ou le verre, s'arrange en lignes que Faraday a appelées lignes de force. Les grains de limaille se placent le long de ces lignes suivant leur plus grande dimension, et ils s'attachent les uns aux autres bout à bout. Un petit barreau de fer, ou une petite aiguille aimantée, se placent aussi le long de ces lignes de force.

La formation et les modifications des courbes magnétiques, ou lignes de force, sont rendues visibles dans cette conférence au moyen de petits aimants maintenus entre des lames de verre et fortement éclairés. Des images agrandies des courbes sont projetées sur un écran éloigné d'environ 40 pieds. Le déplacement des courbes qui se produit quand on frappe le verre est parfaitement visible.

26. On peut considérer un barreau de fer comme formé de particules unies entre elles par la force de cohésion, mais encore assez séparées. Lorsqu'on rompt le fer, on voit des facettes cristallines sur la surface de la fracture. Le barreau de fer est, en effet, composé de petits cristaux de forme irrégulière. Quand on ai-

mante le barreau, ces petits cristaux tendent à placer leurs plus grandes dimensions parallèlement à la direction de l'aimantation, c'est-à-dire dans la direction du barreau lui-même. Dans ce travail ils parviennent à se séparer légèrement, et ils produisent ainsi un petit allongement temporaire du barreau. C'est l'explication donnée par de La Rive; elle est, je crois, aussi vraie qu'ingénieuse.

27. On peut suspendre de l'oxyde magnétique de fer en poudre dans de l'eau contenue dans un vase cylindrique terminé par des lames planes en verre. On entoure le vase d'une hélice de fil recouvert de soie. On regarde une bougie à travers le liquide trouble, et lorsqu'on fait en sorte que l'hélice fasse partie d'un circuit voltaïque, on voit briller la bougie au moment où le circuit est fermé. Lorsqu'on rompt le circuit, le liquide redevient trouble. Ceci provient d'un arrangement des particules de l'oxyde en suspension, semblable à celui des grains de limaille de fer. Elles disposent leur plus grande dimension parallèlement au faisceau de lumière, et ainsi elles interceptent moins la lumière. Elles s'attachent aussi bout à bout, et forment des lignes semblables à celles de la limaille de fer. On doit cette belle expérience à Grove.

En projetant une image agrandie de l'extrémité du vase cylindrique sur un écran, et en faisant traverser le vase par un faisceau de lumière électrique, chaque fois que le circuit est établi, on voit se former sur l'écran un disque lumineux de 2 à 3 pieds de diamètre.



## DEUXIÈME LEÇON.

—

Avant d'aller plus loin, il est nécessaire d'avoir des idées claires et bien définies sur la nature de la force magnétique.

28. La force magnétique d'un aimant ou d'une aiguille aimantée, quoique réellement distribuée dans toute sa masse, paraît être concentrée en deux points près des extrémités. Ces points sont appelés les *pôles* de l'aimant ou de l'aiguille.

29. La force magnétique de la terre est sans doute aussi distribuée dans toute la masse de la terre; mais une concentration pareille à celle que nous venons d'indiquer a aussi doté la terre de deux *pôles* magnétiques.

30. Voici comment la terre agit sur une aiguille aimantée : le pôle nord terrestre repousse une des extrémités de l'aiguille et attire l'autre; le pôle magnétique sud attire aussi une extrémité de l'aiguille et repousse l'autre. Mais l'extrémité attirée par le pôle nord ter-

restre est repoussée par le pôle sud, et l'extrémité attirée par le pôle sud est repoussée par le pôle nord.

31. Ainsi l'aiguille présente à chaque pôle magnétique terrestre deux extrémités qui ont des propriétés différentes. On peut supposer que deux espèces contraires de magnétisme sont concentrées aux deux extrémités. Cette double force magnétique est ce qu'on appelle *polarité magnétique*.

32. Les deux espèces différentes de magnétisme peuvent être regardées comme se repoussant entre elles. Le nord repousse le nord et le sud repousse le sud. Mais les espèces différentes de magnétisme s'attirent mutuellement; le sud attire le nord et le nord attire le sud.

33. Lorsqu'une aiguille aimantée est suspendue et que la ligne de ses pôles est *oblique* au méridien magnétique, l'action de la terre sur l'aiguille se résout en ce qu'on appelle en mécanique un « couple, » qui tend à faire tourner l'aiguille jusqu'à ce qu'elle soit dans le méridien magnétique.

34. Lorsque l'aiguille est dans le méridien, les deux forces qui constituent le couple sont égales et contraires. La tendance à produire la rotation cesse alors; l'aiguille est dans sa position d'équilibre.

35. Lorsque les forces sont égales et opposées, elles doivent se neutraliser; l'aiguille ne peut donc pas avoir un *mouvement de translation*. Ainsi, lorsqu'on fait flotter l'aiguille sur l'eau ou sur le mercure, elle ne se

meut ni vers l'un ni vers l'autre des pôles magnétiques terrestres.

36. Un pôle d'un barreau aimanté repousse une extrémité et attire l'autre extrémité d'une aiguille aimantée. A l'autre pôle de l'aimant l'attraction se change en répulsion et la répulsion en attraction. Au milieu de l'aimant est l'*équateur magnétique*, où les extrémités de l'aiguille ne sont ni attirées ni repoussées.

37. Une hélice électro-magnétique, même sans barreau intérieur de fer, se comporte exactement comme un aimant. Elle attire le fer. En outre, ses deux extrémités sont des pôles contraires, et entre eux est un équateur magnétique. Mais lorsqu'un barreau de fer est placé dans l'intérieur de l'hélice, le magnétisme du système combiné est beaucoup plus intense que celui de l'hélice seule.

38. La puissance d'un aimant se mesure par la seule force avec laquelle il dévie une aiguille aimantée de son méridien ; la puissance d'une hélice seule et celle d'une hélice avec un barreau intérieur, se déterminent de la même manière.

39. Pour obtenir la puissance magnétique du barreau intérieur seul, on détermine d'abord celle de l'hélice seule, ensuite celle de l'hélice et du barreau intérieur combinés ; en retranchant la première de celle-ci, on obtient la puissance magnétique du barreau intérieur.

40. Si le barreau intérieur est gros et formé de bon

fer, sa puissance magnétique est exactement proportionnelle à celle de l'hélice. Une hélice d'une puissance double produira un électro-aimant d'une force double; une hélice d'une puissance triple produira un électro-aimant d'une force triple, et ainsi de suite. En faisant ainsi varier la puissance de l'hélice on fait varier au même degré la force du barreau intérieur.

41. Ici se présente un point important. Lorsqu'on fait agir un barreau intérieur d'une puissance double sur un morceau de bon fer, qui est presque, mais pas tout à fait au contact du barreau, l'attraction du fer n'est pas doublée, mais quadruplée. Si le barreau intérieur a une puissance triple, l'attraction n'est pas seulement triplée, mais rendue neuf fois plus grande. Si la force magnétique du barreau est quadruplée, l'attraction du fer est rendue seize fois plus grande. Dans le fait, l'attraction est proportionnelle, non à la simple force, mais à la force multipliée par elle-même, ou au *carré de la force* de l'électro-aimant.

Nous devons nous faire une idée très-claire de la cause de cette action, et pour cela, nous allons comparer un moment l'action magnétique de l'acier trempé à celle du fer doux.

42. Le fer doux s'aimante facilement, mais il perd son magnétisme lorsque la force magnétisante s'éloigne. L'acier s'aimante difficilement, mais il conserve son magnétisme même après qu'on a retiré l'aimant qui le lui a communiqué.

43. Cette résistance de la part de l'acier à recevoir l'état magnétique, et cette persistance à conserver cet état lorsqu'il lui a été communiqué, sont appelées *force coercitive*. L'expression n'est pas heureuse, mais c'est la seule employée.

44. Si l'on suppose qu'un morceau d'acier possède une force coercitive assez élevée pour qu'il résiste à une aimantation nouvelle, son attraction par un électro-aimant sera directement proportionnelle à la simple force de l'électro-aimant, non au carré de cette force.

45. Pourquoi donc le fer suit-il la loi du carré de la force? C'est parce que l'état magnétique du fer n'est pas constant, mais qu'il s'élève avec la force de l'aimant. Lorsque le magnétisme de l'électro-aimant est doublé, le magnétisme du fer est aussi doublé. Lorsque le magnétisme de l'électro-aimant est triplé, celui du fer est triplé. L'attraction résultante se trouve en multipliant le magnétisme du fer par celui de l'électro-aimant, et ce produit est l'expression de la loi qui vient d'être mentionnée.

46. Pour rendre ceci plus clair, figurons-nous que le magnétisme de l'électro-aimant soit produit par des particules de magnétisme, introduites dans l'électro-aimant en nombre graduellement croissant. Partons d'un électro-aimant qui n'a qu'une particule magnétique, et faisons-le agir sur un morceau d'acier trempé qui n'a aussi qu'une particule magnétique : l'attraction

résultante sera l'unité ou 1. Introduisons maintenant deux particules dans l'électro-aimant : l'acier, en vertu de sa force coercitive, ne sera pas changé, mais sa particule étant maintenant attirée par deux particules au lieu d'une seule, l'attraction résultante sera 2. Si trois particules de magnétisme sont introduites dans l'électro-aimant, ces trois particules agissant ensemble sur la seule particule de l'acier produiront une attraction triple, et ainsi de suite.

47. Maintenant, recommençons avec un électro-aimant n'ayant, comme ci-dessus, qu'une seule particule de magnétisme, et avec un morceau de fer n'ayant aussi qu'une seule particule qui lui est communiquée par l'électro-aimant : l'attraction sera ici encore l'unité. Si on introduit deux particules dans l'électro-aimant, elles engendreront immédiatement deux particules dans le fer. Mais deux particules, attirées par le double de la force d'abord exercée, rendront l'attraction quadruple de ce qu'elle était au commencement.

Il faut se rappeler que chaque particule est attirée comme si les autres particules n'existaient pas.

48. De même si trois particules sont introduites dans l'électro-aimant, trois particules seront aussi engendrées dans le fer. Chacune de ces particules magnétiques du fer est attirée par les trois particules de l'électro-aimant ; c'est-à-dire chaque particule du fer est attirée par une force triple de la force primitive. Mais il y a

trois particules ainsi attirées ; donc l'attraction est neuf fois ce qu'elle était au commencement.

49. Comparons un moment cette action avec celle de la gravité. Deux matières s'attirent avec une force que nous prendrons pour unité. Si l'une des masses est doublée, l'attraction est doublée ; si les deux masses sont doublées, l'attraction est quadruplée. Si une masse est triplée, l'attraction est triplée ; si les deux masses sont triplées, l'attraction est rendue neuf fois plus grande. Lors donc que les deux masses sont doublées et triplées, nous avons la loi des carrés. Or, c'est cette duplication et cette triplication, *dans les deux cas*, de ce qui produit l'attraction magnétique, qui lui fait suivre la même loi.

50. Pourquoi vous ai-je présenté ces considérations ? Simplement pour vous faire clairement comprendre que si « la loi des carrés » développée ici se montre dans l'action d'un aimant sur une matière, nous pouvons en conclure infailliblement que l'état de cette matière n'est pas un *état constant*, mais qu'il augmente ou diminue avec l'état de l'aimant. On dit d'une matière pareille qu'elle est magnétisée par influence ou par induction : elle est attirée ou repoussée (car nous allons venir immédiatement à la répulsion d'une matière par un aimant) en vertu de certain état qui lui est communiqué temporairement par l'influence de l'aimant.

51. Qu'est-ce donc qui produit l'attraction magné-

tique? L'esprit humain a fait depuis longtemps bien des efforts pour le découvrir. Thalès (600 ans avant J.-C.) pensait que l'aimant avait une âme. Cornélius Gemma, en 1535, supposait que des lignes invisibles s'étendaient de l'aimant au corps attiré, idée qui nous rappelle les lignes de force de Faraday. Cortes di Lodi pensait que le fer était la nourriture naturelle de l'aimant. Descartes embrassait les phénomènes magnétiques dans sa célèbre théorie des tourbillons; et, de nos jours, Clerk-Maxwell a travaillé dans cette direction. Epinus supposait l'existence d'un fluide magnétique. Coulomb admettait l'existence de deux fluides qui se repoussent quand ils sont de même espèce et qui s'attirent quand ils sont d'espèce différente. Ampère pensait qu'un aimant était un assemblage de petits courants électriques qui circulaient autour des atomes des corps aimantés. Ces conceptions sont quelquefois extrêmement utiles comme moyens de connexion et de classification, lors même que nous ne les croyons pas vraies. William Thomson fait dériver les phénomènes magnétiques d'une « matière magnétique imaginaire, » donnant ainsi à l'esprit une conception à laquelle il le dispense de croire. L'origine véritable du magnétisme est encore à découvrir.

52. Brugmans, en 1778, a observé le premier que le bismuth était repoussé par un aimant. En 1827, Le Baillif a décrit la répulsion de l'antimoine. Saigey, Seebeck et Becquerel ont aussi observé certaines actions de cette espèce.



53. En 1845, Faraday a généralisé ces observations en démontrant que les corps se divisent en deux grandes classes, les uns étant attirés, les autres repoussés par les pôles d'un aimant.

54. Faraday a donné le nom de diamagnétisme à la force qui produit cette répulsion.

Quelle est la nature de cette force ? Est-elle inhérente et constante ? ou bien est-elle induite ?

55. La répulsion des corps diamagnétiques suit exactement la loi des carrés développée ci-dessus. Une force double produit une répulsion quadruple ; une force triple produit une répulsion neuf fois plus grande, et ainsi de suite.

56. Nous pouvons conclure de là avec certitude que l'état des corps diamagnétiques, en vertu duquel ils sont repoussés par un aimant, est un état induit par l'aimant, qu'il augmente et diminue suivant que la force de l'aimant augmente et diminue.

57. La force du diamagnétisme est immensément plus faible que celle du magnétisme ordinaire. De toutes les substances diamagnétiques, par exemple, le bismuth est le plus fortement repoussé ; mais sa répulsion est incomparablement moindre que l'attraction du fer. Suivant Weber, le magnétisme d'un mince barreau de fer est environ deux millions et demi de fois aussi grand que le diamagnétisme d'une masse égale de bismuth.

58. Les corps diamagnétiques sous l'influence ma-

gnétique présentent une polarité inverse de celle des corps magnétiques. Dans tous les cas, soit qu'on opère avec des hélices ou des aimants, ou avec des hélices et des aimants combinés, les actions des corps magnétiques et diamagnétiques sont antithétiques, ou inverses les unes des autres.

59. Une statue de fer debout sur la surface de la terre est convertie en un aimant par le magnétisme de la terre; une statue de marbre, ou un homme debout, sont convertis par la même force en dia-aimants; car le marbre est diamagnétique, de même que tous les tissus et toutes les matières solides et fluides du corps humain. Les pôles de l'homme sont ceux de la statue de fer renversés.

60. Les corps organiques et la plupart des cristaux sont magnétisés à divers degrés d'intensité dans des sens différents. Ils ont des *axes* d'induction magnétique.

61. Ainsi, dans le cas du spath d'Islande (carbonate de chaux), la répulsion suivant l'axe est un maximum. Dans le cas du carbonate de fer, cristal de même forme et de même structure que le carbonate de chaux, l'*attraction* suivant l'axe est un maximum.

62. La position que prend un cristal suspendu entre les pôles d'un aimant dépend de son axe magnétique.

---

## TROISIÈME LEÇON.

—

63. Par le frottement d'une étoffe de laine, l'ambre acquiert la propriété d'attirer les corps légers. Cette substance était appelée *electron* par les Grecs, d'où le nom d'électricité appliqué au pouvoir d'attraction que l'ambre présente. Cette attraction est restée un fait isolé pendant plus de 2 000 ans.

64. En 1600, le docteur Gilbert, de Colchester, médecin de la reine Élisabeth, démontra que la propriété de l'attraction était partagée par plusieurs autres substances. Du verre sec, par exemple, frotté avec de la soie, et de la cire à cacheter sèche, frottée avec de la flanelle, présentent le pouvoir d'attirer les corps : dans cet état, on dit qu'ils sont *électrisés*.

65. Un corps électrisé attire toute sorte de corps non électrisés, et il est attiré par eux ; mais il peut y avoir aussi *répulsion*. Ainsi, du verre frotté *repousse* du verre

2.

frotté, et de la cire à cacheter frottée repousse de la cire à cacheter frottée; tandis que du verre frotté attire de la cire à cacheter frottée, et de la cire à cacheter frottée attire du verre frotté.

66. De là la notion de *deux espèces* d'électricité, l'une propre aux corps vitreux, et appelée à cause de cela électricité vitrée; l'autre propre aux corps résineux, et appelée en conséquence électricité résineuse.

67. Ces expressions sont impropres, parce qu'en employant des corps frottants convenables, on peut obtenir avec du verre l'électricité de la cire à cacheter, et avec de la cire à cacheter l'électricité du verre. On se sert maintenant de l'expression électricité *positive* pour indiquer l'électricité développée sur le verre par le frottement de la soie, et de l'expression électricité *negative* pour désigner l'électricité développée sur la cire à cacheter par le frottement de la flanelle.

68. Les corps chargés de la même électricité se repoussent, et les corps chargés d'électricités contraires s'attirent. Telle est la loi fondamentale de l'action électrique.

69. Le corps frottant et le corps frotté sont toujours chargés d'électricités contraires. Ils s'attirent toujours. Le travail qui surmonte cette attraction apparaît sous la forme de chaleur dans l'étincelle électrique.

70. Pour trouver l'espèce d'électricité dont un corps

est chargé, il faut reconnaître, par un essai, quelle est l'électricité qui *repousse* ce corps ; on peut être certain que cette électricité est celle du corps. L'*attraction* ne fournit pas une épreuve certaine, parce que les corps non électrisés sont attirés.

71. Certaines substances possèdent, à un très-haut degré, la faculté de transmettre la force ou l'état électrique ; d'autres possèdent, à un degré élevé, la faculté de l'intercepter. Les premiers corps sont appelés *conducteurs*, les seconds *isolants*.

72. Les corps isolants ont été d'abord appelés *électriques*, parce qu'ils pouvaient être électrisés par le frottement *lorsqu'on les tenait à la main* ; les conducteurs étaient appelés *non électriques*, parce qu'ils ne pouvaient pas être électrisés de cette manière. La division était impropre ; parce que si un corps est isolé, il peut être facilement électrisé. Pour le maintenir électrisé, il faut interposer un isolant entre lui et la terre.

73. Qu'est-ce que l'électricité ? Pourquoi adhère-t-elle si fortement à certaines substances, et s'écoule-t-elle si facilement par d'autres ou à travers d'autres ? L'esprit humain s'est beaucoup occupé à chercher la cause de l'action électrique, et il continue encore ses recherches. D'abord on a pensé que le magnétisme et l'électricité, de même que la lumière et de la chaleur, étaient les effets de la « matière impondérable, » unie à la matière ordinaire. Pour ce qui regarde la lumière

et la chaleur, cette idée a subi une modification profonde, et il semble que l'on connaît bien la cause mécanique de l'une et de l'autre. Mais on n'est pas encore arrivé à une connaissance aussi nette de la cause de l'électricité, quoiqu'on puisse fortement présumer que les idées qu'on s'en est faites seront aussi bientôt profondément modifiées.

74. En attendant, nous pouvons nous servir provisoirement de la conception qui nous est donnée par la *théorie des fluides électriques*; elle nous permettra de faire la classification des faits.

75. Suivant cette théorie, les attractions et les répulsions électriques sont produites par deux fluides invisibles, dont chacun repousse son semblable, et attire le fluide contraire. On suppose que ces fluides sont unis entre eux, pour former un fluide composé neutre dans les corps non électrisés.

76. L'acte de l'électrisation par le frottement consiste dans la séparation violente des deux fluides, dont l'un est répandu sur le corps frottant, et l'autre sur le corps frotté; mais on peut encore les séparer d'une autre manière, comme nous allons le démontrer.

77. Si on approche un corps électrisé d'un conducteur isolé, non électrisé, mais de manière qu'il ne soit pas en contact avec lui, le corps électrisé décomposera le fluide composé du conducteur, en attirant l'un des composants et en repoussant l'autre. Lorsqu'on éloie-

gne le corps électrisé, les fluides séparés se réunissent et se neutralisent.

78. Cette séparation violente des deux fluides d'un conducteur neutre par le seul fait qu'on met près de lui un corps électrisé est appelée *induction électrique*. On dit encore que les corps dans cet état sont électrisés par *influence*. Des corps neutres sont attirés, parce qu'ils sont d'abord électrisés par induction.

79. Lorsqu'un conducteur isolé est sous l'influence d'un corps électrisé, son électricité repoussée est libre, mais son électricité attirée est retenue captive par le corps électrisé inducteur. Si l'on fait communiquer un instant le conducteur avec la terre, son électricité libre s'échappe ; et alors, le corps inducteur électrisé étant retiré, l'électricité captive devient libre, et se trouve répandue sur la surface du conducteur.

80. Ainsi, en approchant simplement le corps électrisé, et sans établir de contact entre lui et le conducteur à l'état neutre, on peut charger ce dernier *avec de l'électricité contraire*.

81. Deux feuilles d'étain (conductrices) étant séparées par une lame de verre (isolante), si l'on charge d'électricité l'une des feuilles, elle agira par influence à travers le verre, et décomposera l'électricité neutre de la feuille opposée, attirant l'une des électricités composantes et repoussant l'autre.

82. Si la seconde feuille est mise en communication

avec la terre, l'électricité repoussée s'évanouira, et l'on aura deux couches d'électricité qui s'attirent l'une l'autre, séparées par le verre.

83. Si l'on fait communiquer par un conducteur l'une des feuilles d'étain avec l'autre, les deux électricités contraires se combinent ; on dit alors que la feuille d'étain est déchargée. Cette décharge prend ordinairement la forme d'une étincelle.

84. Si la surface d'un gâteau de résine, ou d'une feuille de caoutchouc vulcanisé est électrisée, le fluide neutre d'un plateau de métal placé sur elle sera décomposé, son fluide positif sera attiré et son fluide négatif repoussé. Si l'on touche le plateau de métal, son électricité libre (repoussée) s'écoule dans la terre ; et maintenant, si on enlève le plateau avec un manche isolant, il se montrera chargé d'électricité positive. Tel est le principe de l'*électrophore*.

85. Une machine électrique est formée de deux parties : le corps isolant, qui est électrisé par le frottement, et le premier conducteur.

86. La première machine électrique était formée d'une boule de soufre que l'on frottait avec la main. Elle a été inventée par Otto de Guericke, bourgmestre de Magdebourg, en 1671. On se servit ensuite d'une sphère de verre, puis d'un cylindre de verre, et enfin d'un plateau rond de verre, qui était frotté avec de la soie sèche.



87. Voici comment se charge le premier conducteur : Lorsqu'on fait tourner le plateau de verre avec une manivelle, il passe entre les frotteurs en soie, et il s'électrise positivement. Le verre électrisé agit par induction sur le premier conducteur, en attirant l'électricité négative et en repoussant l'électricité positive. Le conducteur est muni de pointes, par où l'électricité négative s'écoule sur le verre électrisé. Ainsi le premier conducteur se charge, non point parce qu'on lui communique directement de l'électricité positive, mais parce qu'on lui enlève son électricité négative, l'électricité positive restant après l'électricité négative enlevée.

88. La disposition indiquée au n° 81 est virtuellement une bouteille de Leyde. Si la lame de verre avait la forme d'une jarre, une des feuilles revêtirait son intérieur et l'autre son extérieur. Lorsque la bouteille communique avec une machine électrique, son revêtement intérieur électrisé agit par induction à travers le verre sur le revêtement extérieur, attire l'électricité contraire et repousse l'électricité semblable.

89. Dans l'expérience qui a conduit à la découverte de la bouteille de Leyde, *la main de l'expérimentateur* servait de revêtement extérieur.

90. En quittant le revêtement extérieur pour se perdre dans la terre, l'électricité repoussée laisse captive l'électricité exposée seule à l'attraction de celle de l'intérieur de la bouteille, et permet à cette bouteille de prendre une forte charge.

91. Lorsqu'on fait communiquer par un conducteur les revêtements extérieur et intérieur, *un courant électrique* passe de l'un à l'autre.

92. Le courant part au même instant des revêtements intérieur et extérieur ; il arrive en dernier lieu au point *milieu* du conducteur. Ceci indique qu'il y a *deux* courants, qui partent au même moment du revêtement intérieur et du revêtement extérieur.

93. On est convenu d'appeler *le sens du courant* la direction suivant laquelle s'écoule l'électricité positive.

94. Lorsqu'un courant électrique rencontre de la résistance sur son passage, il se développe de la chaleur. Cette chaleur est quelquefois assez intense pour réduire les métaux à l'état de vapeur.

95. Lorsqu'un corps est fortement électrisé, il décharge son électricité sur un corps non électrisé à travers un intervalle d'air, sous la forme d'une étincelle électrique. Deux corps chargés d'électricités contraires se déchargent l'un sur l'autre de la même manière.

96. Lorsque deux nuages chargés d'électricités contraires se déchargent l'un sur l'autre, la trace de l'éclair indique la marche d'un courant électrique, et le bruit du tonnerre est le bruit d'une étincelle électrique.

97. Si un nuage électrisé s'approche de la terre, il peut décharger son électricité sur la terre de la même manière.

98. Si le corps par lequel passe l'électricité atmo-

sphérique est un bon conducteur et de dimensions suffisantes, il n'éprouve aucun dommage ; mais la résistance opposée par les arbres, les animaux et les maisons au passage de l'électricité, cause ordinairement leur destruction.

99. Le système nerveux demande un certain intervalle de temps pour ressentir la souffrance. Mais le temps que dure une décharge électrique n'est qu'une petite fraction de cet intervalle ; voilà pourquoi le système nerveux, comme appareil de la sensibilité, est détruit avant qu'il ait pu la sentir. Si cela est vrai (et on a de très fortes raisons de le croire), la mort par la foudre doit être sans douleur.

100. Lorsqu'un nuage électrisé passe sur un conducteur terminé en pointe, l'électricité contraire de la terre se décharge par la pointe du conducteur sur le nuage. Le nuage est ainsi neutralisé, et, en général, sans produire de tonnerre.

101. La durée d'une étincelle électrique n'est que d'une fraction extrêmement petite de seconde. Aussi, lorsque des corps en mouvement sont subitement éclairés par l'étincelle d'une bouteille de Leyde, ils paraissent être en repos pendant un court intervalle dans la position qu'ils occupaient lorsque la lumière les a frappés. Un boulet lancé par le canon, et frappé par la lumière d'un éclair, paraît être immobile pendant un huitième de seconde, car telle est à peu près l'inter-

valle pendant lequel l'impression de la lumière persiste sur la rétine.

102. L'étincelle électrique qui n'est pas retardée disperse la poudre à canon, mais ne l'enflamme pas. Pour produire l'ignition de la poudre, il est nécessaire de retarder la décharge en la faisant passer par une ficelle humide.

103. Si on double la quantité d'électricité communiquée à un conducteur, on dit que la densité de l'électricité est doublée; si on triple la quantité, la densité est triplée, et ainsi de suite.

104. Sur une *sphère*, la densité de l'électricité est la même à tous les points de sa surface; sur une plaque, la densité est la plus grande aux bords; et sur un conducteur allongé, la densité est la plus grande aux extrémités.

105. Lorsque le conducteur est terminé en pointe, la densité électrique à la pointe est si grande que l'électricité se décharge dans l'air.

106. L'air est ainsi chargé d'une électricité qui se repousse elle-même, et il est aussi repoussé par la pointe, en produisant ce qu'on appelle le « vent électrique. »

107. Si on fait sortir un vent électrique des pointes opposées d'un corps léger, la réaction des deux vents peut faire flotter le corps en équilibre stable dans l'air.

108. Les extrémités extérieures d'un morceau de zinc

et d'un morceau de platine plongés en partie dans de l'eau acidulée, sont dans des états électriques contraires. L'extrémité libre du platine présente l'électricité positive, et l'extrémité zinc l'extrémité négative.

109. Lorsque les deux pièces sont réunies par un fil, l'électricité positive s'écoule par le fil vers la négative, et la négative vers la positive; mais comme il a été dit au n° 93, on est convenu d'appeler le *sens du courant* celui suivant lequel s'écoule l'électricité positive.

110. La force dont ce courant est animé (la force électromotrice) est énormément moindre que la force dont est animé un courant d'électricité produite par le frottement. Il suit de là que ce dernier est capable de vaincre des résistances tout à fait insurmontables pour le premier.

111. Mais en formant une chaîne d'éléments, on rapproche de plus en plus la nature du courant voltaïque de celle d'un courant d'électricité produite par le frottement. Néanmoins, il faut une pile de plus de mille éléments pour que le courant voltaïque puisse franchir un intervalle d'air de  $\frac{1}{1000}$  de pouce. Une machine électrique de force moyenne, munie d'un conducteur convenable, peut faire franchir à son courant un intervalle dix mille fois aussi grand.

112. L'étincelle électrique traverse l'air par l'effet des particules du conducteur d'où elle part, et qui sont entraînées par la décharge.

113. Mais, mesuré par d'autres moyens, le courant d'électricité par frottement est incomparablement plus faible que le courant voltaïque; ainsi, ce n'est que par des dispositions particulières pour en multiplier les effets que le courant d'une grande machine électrique peut devenir capable de faire dévier une aiguille aimantée.

114. Faraday plongea deux fils, l'un de zinc et l'autre de platine, de  $\frac{1}{8}$  de pouce de diamètre chacun, dans un vase contenant de l'eau acidulée. La profondeur de l'immersion n'a été que de  $\frac{5}{8}$  de pouce et la durée de l'immersion de  $\frac{5}{20}$  de seconde; cependant il a trouvé que l'électricité développée par ce petit appareil, dans un temps aussi court, avait produit sur une aiguille aimantée un effet plus grand que vingt-huit tours de la grande machine de l'Institution royale.

115. Un pouce cube d'air (16 centimètres cubes) comprimé avec une force suffisante, peut briser une enveloppe très-rigide; tandis qu'un yard cube d'air (764 litres), s'il n'est pas comprimé, ne peut exercer qu'une faible pression sur la surface qui l'entoure. Maintenant, l'électricité de la machine est dans une condition analogue à l'air comprimé; sa densité, ou comme on l'appelle quelquefois, son intensité de tension, est grande. D'un autre côté, l'électricité de la pile voltaïque ressemble à de l'air comprimé; elle surpasse prodigieusement, en *quantité*, celle de la machine, mais elle lui est prodigieusement inférieure en intensité.

416. La déviation d'une aiguille aimantée, et d'autres actions du courant voltaïque, dépendent seulement de la quantité; de là l'immense supériorité du courant voltaïque pour produire cette déviation.

417. Faraday a trouvé que la quantité d'électricité dégagée par la décomposition d'un seul grain d'eau (65 milligrammes) dans un élément voltaïque (voyez n° 5) était égale à la quantité dégagée dans 800 000 décharges de la grande batterie électrique de l'Institution royale; cette quantité, concentrée dans une seule décharge, serait égale à un grand éclair d'un nuage orageux. Il a encore estimé que la quantité d'électricité dégagée par l'action chimique d'un seul grain d'eau sur 4 grains de zinc était égale à celle d'un vaste éclair.

418. Weber et Kohlrausch ont trouvé que la quantité d'électricité associée à 1 milligramme d'hydrogène dans l'eau, si elle était répandue sur un nuage à 1 000 mètres au-dessus de la terre, exercerait sur une égale quantité d'électricité contraire à la surface de la terre, une force attractive de 2 268 000 kilogrammes.

---





## QUATRIÈME LEÇON.

### *Notes historiques relatives à la conduction et à la bouteille de Leyde.*

119. En 1727, Stephen Grey, pensionnaire de Charter House, découvrit la conduction électrique. En faisant communiquer l'extrémité d'un fil de 700 pieds de longueur avec un tube de verre et en le suspendant à des ganses de soie, il reconnut que lorsqu'on frottait le tube, l'extrémité éloignée du tube était électrisée et attirait les corps légers. Il trouva encore qu'un crochet de fil de fer ne convenait pas pour suspendre le fil, parce que l'électricité s'échappait par cette suspension ; de là vint la division des corps en conducteurs et en isolants. Les observations de Grey ont été enregistrées le jour avant sa mort par le secrétaire de la Société royale.

120. En octobre 1745, von Kleist, évêque de Cam-

min, en Poméranie, chargea d'électricité une bouteille conterant tantôt du mercure, tantôt de l'alcool. Par le bouchon du col de la bouteille passait un clou en fer qui était mis en contact avec le conducteur d'une machine électrique. En touchant le clou, von Kleist reçut un choc violent.

121. En janvier 1746, Cunceus, de Leyde, reçut aussi un choc, et son expérience fut répétée par Allamand et Musschenbroek. Un fil passait du conducteur de la machine dans une bouteille pleine d'eau. Musschenbroek tenait la bouteille de la main droite, on tourna la machine, et alors avec la main gauche il tira une étincelle du conducteur. Le choc qu'il reçut fut si terrible, suivant Musschenbroek, qu'il déclara qu'il n'en recevrait pas un second pour la couronne de France. Musschenbroek observa que la personne qui tenait la bouteille à la main recevait seule le choc. Kleist n'avait pas reconnu cette condition.

122. En Allemagne, la bouteille est quelquefois appelée bouteille de Kleist, mais plus communément bouteille de Leyde ; à cause que la condition indiquée ci-dessus avait échappé à Kleist. La théorie de la bouteille et des autres appareils semblables a été donnée par Franklin en septembre 1747. (Voyez les notes 81, 88, 89, 90.)

123. En 1747, le docteur Watson, évêque de Llandaff, transmit la décharge d'une bouteille de Leyde par

un fil de 2 800 pieds et par la même distance de terre. Ensuite, dans la même année, il fit passer la décharge par un fil de 10 600 pieds, soutenu par des isolants en bois desséché. L'expérience fut faite à Schoter's Hill.

124. En 1748, des expériences semblables furent faites par Franklin à travers le Shuylkil, et par De Luc à travers le lac de Genève.

*Notes historiques relatives à la télégraphie électrique.*

125. Le premier projet d'un télégraphe électrique a été fait par un correspondant anonyme du *Scot's Magazine* en 1753. On a fait ensuite différents essais pour appliquer dans ce but l'électricité par frottement. Le plus remarquable de tous est la disposition extrêmement ingénieuse de sir Francis Ronalds, publiée en 1823.

126. La pile voltaïque a été décrite par Volta dans une lettre à sir Joseph Banks, datée de Côme en 1800.

127. Immédiatement après, Nicholson et Carlisle ont découvert la décomposition de l'eau par le courant voltaïque.

128. En 1808, Sömmering proposa un système de télégraphie basé sur la découverte de Nicholson et de Carlisle. Un système semblable a été proposé vers le même temps par le professeur Coxe, de Pensylvanie.

129. En 1820, OErsted découvrit la déviation d'une aiguille aimantée par un courant électrique (1).

130. L'idée est venue au célèbre mathématicien français La Place d'employer la déviation de l'aiguille pour la télégraphie ; le problème a été élaboré partiellement par Ampère, et son application encore plus avancée par Ritchie, professeur de philosophie naturelle à l'Institution royale.

131. En 1832, le baron Schilling construisit des modèles d'un appareil électrique qui fut mis sous les yeux des empereurs Alexandre et Nicolas.

132. En 1833, Gauss et Weber établirent un télégraphe électrique entre le cabinet de physique et les observatoires astronomique et météorologique de Gœttingue, embrassant une distance de près de 40 000 pieds. Gauss et Weber employèrent l'électricité de Faraday au lieu de celle de Volta.

133. Steinheil fut prié par Gauss de continuer des

(1) Dans son petit livre extrêmement utile sur la télégraphie, publié dans *Rudimentary Series* de Weale, M. Robert Sabine cite le remarquable passage suivant d'un ouvrage sur le magnétisme, publié à Paris en 1804, par le professeur Izarn : « D'après les observations de Romagnesi, physicien de Trente, l'aiguille déjà aimantée, et que l'on soumet ainsi au courant galvanique, éprouve une déclinaison ; et d'après celles de J. Majon, savant chimiste de Gênes, les aiguilles non aimantées acquièrent par ce moyen, une sorte de polarité magnétique. » L'ouvrage qui contient ce passage, a été envoyé à M. Sabine par M. Latimer Clark.

recherches sur ce sujet. Il fit au télégraphe plusieurs modifications extrêmement importantes. En 1837, il établit un système de fils d'environ 40 000 pieds de longueur, reliant entre eux plusieurs points dans la ville de Munich et dans le voisinage. La découverte la plus considérable de Steinheil, et certainement une des plus importantes pratiquement qui aient été faites jusqu'ici en télégraphie, c'est qu'on peut se passer du « fil de retour » entre deux stations, et que la terre peut en tenir lieu.

134. En 1834, Wheatstone, au moyen d'un miroir tournant, fit ses expériences célèbres sur la vitesse de l'électricité. L'année suivante, il exposa un des télégraphes du baron Schilling dans ses lectures à King's College.

135. En 1836, M. William Fothergill Cooke, dans les leçons du professeur Muncke, à Heidelberg, vit expérimenter un instrument semblable. Frappé de son évidente importance pratique, il inventa un système de télégraphie, et grâce à son association avec Wheatstone, datée de juin 1837, il réussit à introduire le système télégraphique en Angleterre.

136. De 1832 à 1836, Morse chercha à faire l'application de la décomposition chimique par le courant électrique à la télégraphie; il abandonna ce procédé pour son système électro-magnétique inventé en 1836. Ce dernier procédé consiste à imprimer, par le moyen

de l'attraction d'un électro-aimant, des points et des signes sur une bande de papier que fait mouvoir un mécanisme convenable sur la circonférence d'une roue.

137. En 1850, le premier câble sous-marin a été posé par M. Brett, entre Douvres et Calais. Il ne fonctionna qu'un jour. En 1851 fut posé un autre câble qui eut un heureux succès.

138. Le 5 août 1858 fut terminée l'immersion du premier câble atlantique, et des dépêches furent transmises entre l'Angleterre et l'Amérique. Le câble cessa de fonctionner le 4 septembre, un mois après son immersion.

139. En 1865, le second câble atlantique a été posé et perdu. En 1866, un câble a été posé avec succès, et la même année le câble de 1865 a été retrouvé. Des dépêches sont maintenant transmises entre l'Angleterre et l'Amérique à raison de quatorze mots par minute.

*Phénomènes observés dans les câbles télégraphiques.*

140. Davy a prouvé (*Elements of Chemical philosophy*, 1812, p. 154) qu'une batterie de bouteilles de Leyde pouvait être chargée avec l'électricité voltaïque.

141. Le docteur Werner Siemens est le premier qui ait employé (en 1847) la gutta-percha pour isoler les fils télégraphiques souterrains. Le 18 janvier 1850,

dans un mémoire communiqué à la Société physique de Berlin, il affirma qu'un fil souterrain recouvert de gutta-percha et environné de l'humidité de la terre, se comportait comme une immense bouteille de Leyde. Il trouva aussi que les fils télégraphiques ordinaires se chargeaient, mais à un degré beaucoup plus faible que les fils souterrains.

142. En 1838, Faraday prédit le retard de la décharge électrique par sa propre action inductrice (*Experimental Researches*, 1333, « Faraday, inventeur, » traduit de l'anglais par M. l'abbé Moigno, p. 62.)

143. En 1854, Faraday fit des expériences sur des câbles dans les ateliers de gutta-percha de la Compagnie des télégraphes électriques. Un fil de cent milles de longueur et recouvert de gutta-percha a été plongé dans l'eau, et un second fil semblable de même longueur a été placé dans un bassin sec. Nous appellerons le premier le fil de l'eau, et le second le fil de l'air.

144. En faisant communiquer un des pôles d'une pile avec la terre et l'autre pôle avec une des extrémités isolées du fil de l'eau, si l'on rompt la communication et qu'on touche le fil, on reçoit un choc violent; la décharge du fil est capable d'enflammer une fusée de Statham. Lorsqu'après avoir été mis en contact avec la pile, le fil en est séparé et mis en communication avec un galvanomètre, il exerce sur l'instrument une forte influence.

145. Au moment du contact, le galvanomètre accuse un écoulement d'électricité qui entre dans le fil; un écoulement sortant du fil se manifeste lorsque le fil entre la pile et le galvanomètre est mis en communication avec la terre. Aucun de ces effets ne s'observe avec une longueur de 100 milles de fil de l'air.

146. Faraday, comme Werner Siemens, a très-bien expliqué cet effet en comparant le câble à une énorme bouteille de Leyde, dans laquelle le fil est le revêtement intérieur, l'eau le revêtement extérieur, et la gutta-percha le corps isolant qui les sépare. En effet, la surface du fil dans ces expériences était de 8 300 pieds carrés, et la surface de l'eau formant l'armature extérieure était de 33 000 pieds carrés. Les effets étaient produits par la charge et la décharge de cet appareil.

147. Dans une ligne souterraine d'un télégraphe de 1 500 milles de longueur ont été placés trois galvanomètres; l'un, *a*, au commencement du fil; un second, *b*, au milieu; et un troisième, *c*, à l'extrémité, et ce dernier était aussi en communication avec la terre.

148. Lorsqu'on faisait communiquer la pile avec le galvanomètre *a*, cet instrument était mis immédiatement en mouvement; pour le galvanomètre *b*, c'était après un intervalle sensible; et il fallait encore un plus long intervalle pour le galvanomètre *c*. En réalité, le courant électrique employait deux secondes pour atteindre le dernier instrument.



149. Si, lorsque les aiguilles des trois instruments étaient déviées, on rompait subitement la communication de la pile avec  $a$ , cet instrument tombait immédiatement à zéro,  $b$  y passait un peu plus tard, et  $c$  encore plus tard.

150. Par un contact de très-courte durée du pôle de la pile avec  $a$ , cet instrument était dévié et pouvait revenir à l'état neutre avant que l'influence électrique eût atteint  $b$ ; à son tour  $b$  pouvait être dévié et revenir à l'état neutre avant que l'influence électrique fût arrivée en  $c$ .

151. Dans ce cas une onde de force a été envoyée dans le fil et l'a parcouru graduellement, en se montrant dans les différentes parties du fil à des intervalles successifs.

152. Il était même possible, en adaptant des touches à la pile, de faire coexister plusieurs ondes successives dans le fil.

153. Lorsqu'après avoir établi et interrompu le contact en  $a$ , l'on faisait communiquer le galvanomètre avec la terre, une partie de l'électricité revenait et faisait dévier  $a$  en sens contraire; ici des courants marchaient dans des sens opposés en dehors des extrémités du fil.

154. Les effets d'induction ont permis à Werner Siemens et à Faraday d'expliquer la grande différence entre les vitesses assignées par différents expérimentateurs au courant électrique.

155. Il faut du temps à l'électricité pour parcourir un conducteur ; ce temps est proportionnel *à la longueur* du conducteur.

156. Mais dans le cas d'un câble sous-marin, une autre cause de retard est mise en jeu, savoir, le chargement du câble ; ici le retard est proportionnel *au carré de la longueur* du câble.

### *Câbles artificiels.*

157. C'est pour éclairer des questions comme celles-ci et pour déterminer les dimensions qu'il faut donner aux câbles atlantiques, que M. Cromwell Varley a inventé ses câbles artificiels.

158. Dans un de ces câbles on obtient une résistance égale à celle d'un vrai câble de 14 000 milles de longueur, en introduisant sur le passage du courant des liquides faiblement conducteurs au lieu de fils métalliques. L'action inductrice s'obtient au moyen de condensateurs en feuilles d'étain. Dans d'autres câbles artificiels on emploie des cordes de fil pour obtenir la résistance nécessaire.

159. La disposition décrite au n° 81 est un condensateur. Mais ceux que M. Varley a construits ont des surfaces considérablement plus grandes, et les feuilles condensatrices y sont séparées les unes des autres, non

par des lames de verre, mais par des feuilles minces d'étain et de paraffine. La très-grande étendue et le rapprochement des surfaces inductrices concourent à en augmenter prodigieusement les effets.

160. Lorsque les condensateurs eux-mêmes sont chargés par une pile, ils présentent, quand'on les décharge, des phénomènes semblables à ceux d'une bouteille de Leyde. Le choc, l'étincelle et les autres effets de l'électricité de frottement s'obtiennent facilement.

161. Lorsque, par exemple, on charge avec une pile de 1 000 éléments une série de 50 condensateurs réunis en « cascade », c'est-à-dire dans lesquels le revêtement extérieur de chacun d'eux communique avec le revêtement intérieur du suivant, cette série donne de puissantes étincelles et brûle des fils.

162. Si on courbe le fil et qu'on l'introduise dans un verre d'eau, le verre est brisé par la décharge.

163. On a introduit dans un câble artificiel de 14 000 milles une série de onze tubes contenant le liquide résistant. Des fils plongent dans ces tubes. Une extrémité de la pile, destinée à faire la charge, communique avec la terre, et l'autre peut être mise, à volonté, en communication avec le câble artificiel. Dix galvanomètres sont placés entre les tubes résistants, le long du câble artificiel.

164. Lorsqu'on n'emploie pas de condensateurs, et qu'on établit la communication du câble avec la pile,

les aiguilles de tous les condensateurs sont déviées simultanément.

165. Lorsqu'on a introduit un condensateur entre chaque couple de tubes résistants (dix condensateurs en tout), le courant doit charger chaque condensateur jusqu'à un certain degré de force avant d'exercer une influence sensible sur le galvanomètre qui est au delà d'un condensateur. Aussi, lorsque les condensateurs communiquent entre eux, l'action sur les galvanomètres est successive, et non simultanée.

166. M. Varley a supposé les 14 000 milles de câble artificiel partagés en sections représentant les stations de Londres, de Gibraltar, de Malte, de Suez, d'Aden, de Bombay, de Calcutta, de Rangoon, de Singapor, de Java et d'Australie. En supposant qu'un câble réel ait été posé, et des galvanomètres placés à ces stations, les déviations qui se produiraient lorsqu'on établirait le contact avec la pile, devraient être successives; elles sont représentées par les déviations des galvanomètres associés au câble artificiel.

167. En faisant varier la résistance et la somme des surfaces inductrices condensantes, on peut facilement produire une image de tout autre câble.

168. A l'aiguille de chacun des dix galvanomètres est fixé un miroir qui projette un brillant rayon de lumière sur un écran. Lorsque le câble n'est pas en activité, les images lumineuses sont rangées sur la même

ligne verticale; lorsque le contact avec la pile est établi, les déviations successives des galvanomètres sont indiquées par les mouvements successifs des images.

*Esquisse de la théorie de Ohm et vérification de Kohlrausch.*

169. J'ai déjà parlé (note 110) de la force qui pousse en avant le courant électrique (la force électromotrice). Le degré de cette force peut se déduire de l'action du courant sur une aiguille aimantée librement suspendue, lorsqu'on lui oppose différentes résistances.

170. Si l'on coupe le fil qui conduit le courant, celui-ci cesse de s'écouler; l'électricité cesse d'être *dynamique*; mais on a de l'électricité *statique* aux deux extrémités du fil séparé.

171. On peut déterminer la quantité de cette électricité avec des instruments convenables; elle augmente avec le nombre des éléments de la pile.

172. En outre elle est proportionnelle à la force du courant que l'on obtient lorsque les fils sont remis en communication avec la pile.

173. La charge d'électricité statique devient ainsi une mesure de l'action dynamique; l'électricité en repos se rattache à l'électricité en mouvement.

174. Dans les expériences sur les propriétés électroscopiques du courant voltaïque, il est nécessaire que la pile soit bien isolée.

175. Si le point milieu d'un fil qui joint les deux pôles d'une pile est mis en contact avec la terre, la tension de ce point est nulle. La tension augmente graduellement dans le circuit, à droite et à gauche, en allant aux deux pôles de la pile; mais d'un côté du point on a exclusivement de l'électricité positive, et de l'autre côté on a exclusivement de l'électricité négative.

176. A des distances égales des côtés opposés du point zéro, la tension est la même.

177. Si tout autre point que le point milieu communique avec la terre, il devient le point zéro, à la droite et à la gauche duquel on a, comme précédemment, les deux électricités contraires.

178. Si l'extrémité négative de la pile communique avec la terre, le fil entier manifeste de l'électricité positive; si l'extrémité positive de la pile communique avec la terre, le fil entier présente de l'électricité négative.

179. Les fils offrent une certaine résistance au passage du courant. La pile elle-même est aussi dans le circuit; et le courant doit aussi en vaincre la résistance. Mais la résistance de la pile peut être exprimée par une certaine longueur du fil extérieur; lorsqu'on l'a ainsi exprimée, la somme des deux longueurs est appelée la *longueur réduite* du circuit.

180. Etant données la longueur réduite du circuit et la force électro-motrice, on peut déterminer, par un calcul simple, la tension de l'électricité de chaque point du circuit.

181. Le circuit par où passe le courant peut être représenté par une ligne horizontale (nommée abscisse); la tension électrique à chaque point du circuit peut être représentée par une ligne verticale (appelée ordonnée). Si on trace des ordonnées de manière qu'elles représentent les tensions électriques à un grand nombre de points du circuit, la ligne joignant les extrémités de toutes les perpendiculaires représentera la distribution de la tension électrique dans le circuit : la *rapidité de la pente* de cette ligne représente encore ce que Ohm a appelé la *baisse électrique*.

182. Plus exactement, la baisse électrique est la diminution dans la longueur de l'ordonnée pour l'unité de longueur de l'abscisse.

183. La charge totale du fil est exprimée par l'aire du triangle formé par l'ordonnée, l'abscisse et la ligne de baisse.

184. Les lois du circuit voltaïque, énoncées par Ohm, ont été vérifiées partout. L'état électroscopique du circuit a été examiné par Kohlrausch, et trouvé en accord parfait avec la théorie de Ohm.

185. Ohm a admis que le passage du fluide électrique d'une section à une autre du fil de communication était

dû seulement à la différence de tension électrique entre les deux sections. Il a supposé en outre que la quantité d'électricité transmise était proportionnelle à cette différence de tension ; et de ces suppositions fondamentales il a déduit les lois du circuit voltaïque.

186. Ces lois peuvent-être exprimées brièvement comme il suit :

(a). La force du courant est directement proportionnelle à la force électromotrice.

(b). La force du courant est inversement proportionnelle à la résistance.

(c). Si le fil qui unit les deux pôles d'une pile est de la même matière et de la même grosseur partout, la baisse électrique est la même sur toute la longueur du fil.

(d). Si le fil est de la même matière, mais de grosseurs différentes, la baisse est plus rapide dans le fil mince que dans le fil gros ; la baisse est inversement proportionnelle à la section transversale du fil.

(e). Si les pôles communiquent par deux fils de même grosseur, mais de pouvoirs résistants différents, la baisse électrique est la plus rapide dans le fil le plus résistant ; la « baisse » est directement proportionnelle aux résistances spécifiques des fils.

187. En vérifiant ces lois, Kohlrausch s'est servi d'un condensateur pour augmenter les charges faibles qu'il



obtenait de son élément voltaïque ; et il regardait cet instrument comme essentiel. Par une disposition extrêmement ingénieuse, Sir William Thomson a rendu le condensateur inutile, et il a ainsi considérablement simplifié les moyens de démonstration.

---

## CINQUIÈME LEÇON.

---

*Electro-chimie. — Actions chimiques dans l'élément voltaïque. — Origine du courant.*

188. Les philosophes supposent que la matière est formée de parties appelées atomes, pratiquement indivisibles.

189. Les atomes élémentaires peuvent s'unir pour former des atomes composés, appelés molécules.

190. Ainsi l'eau est formée par la combinaison des atomes d'oxygène et d'hydrogène; le sel commun est formé par l'union des atomes de chlore et de sodium; la potasse est formée par l'union des atomes de potassium et d'oxygène; l'acide sulfurique aussi, dont nous nous servons pour aciduler notre eau, est formé par

l'union des atomes du soufre avec des atomes d'oxygène.

191. Lorsqu'on plonge, comme dans notre première expérience, une lame de zinc avec une lame de platine dans de l'eau acidulée, le zinc, comme nous le savons, exerce une très-forte attraction sur l'oxygène de l'eau. Lorsque les deux lames sont unies, cette attraction triomphe; l'oxygène s'unit au zinc et un courant voltaïque est établi.

192. L'oxyde de zinc qui se forme ici se combine avec l'acide sulfurique et forme du sulfate de zinc.

193. L'oxyde étant ainsi enlevé de la surface de la lame de zinc, elle est toujours bien décapée, et peut attirer d'autres atomes d'oxygène du liquide environnant. De cette manière, le zinc se dissout graduellement, et le courant électrique persiste tant que cette action continue. En réalité, c'est la dissolution constante du zinc qui rend le courant permanent.

194. L'hydrogène de l'eau, comme nous l'avons vu, se dégage à l'état de gaz libre à la surface du platine qui ne se dissout pas comme le zinc.

195. Nous ne pouvons pas encore dire précisément de quelle manière le courant électrique est entretenu par la dissolution du zinc, mais je dois vous faire connaître les faits et les théories qui suivent.

196. Lorsque deux métaux différents sont mis en

contact, avec un liquide qui les sépare, l'un d'eux se charge d'électricité positive, et l'autre d'électricité négative. Nous avons ici la célèbre « force de contact » que Volta et ses partisans ont regardée comme la force excitatrice du courant voltaïque.

197. Mais la production de la chaleur et l'accomplissement d'un travail mécanique, par le seul contact des métaux, ne seraient autre chose que le mouvement perpétuel. Ce serait une dérogation à la loi qui exige, pour la production d'une force quelconque, une consommation équivalente de quelque autre force.

198. Mais c'est un fait reconnu que, lorsque deux métaux différents se touchent, l'électricité positive se porte de préférence sur l'un des métaux et l'électricité négative sur l'autre; les choses se passent comme si les électricités étaient attirées différemment par les deux métaux.

199. Mais cette différence dans les attractions ne fait que produire une disposition nouvelle momentanée des deux électricités qui passent, quand le contact est établi, à une nouvelle condition d'équilibre. Tant que le contact subsiste, cet équilibre n'est pas troublé; il n'y a pas de courant continu.

200. On peut regarder les atomes différents qui entrent dans les molécules d'un composé comme étant chargés de la même manière. Par exemple, lorsque les atomes d'hydrogène et d'oxygène s'unissent pour for-

mer une molécule d'eau, on peut les considérer comme étant chargés de la même manière que les métaux qui se touchent. C'est ce qui aurait lieu si les atomes, comme les métaux, exerçaient des attractions différentes sur les deux électricités.

201. Lorsque des lames de zinc et de platine sont plongées dans un liquide, comme l'eau, l'atome chargé positivement se tourne vers un métal, et l'atome chargé négativement se porte vers l'autre métal.

202. Mais, à moins que les métaux ne se touchent, l'équilibre électrique s'établit aussitôt, et un état constant de tension électrique se forme aux extrémités libres des deux métaux.

203. On peut faire écouler dans un condensateur l'électricité des extrémités et l'y emmagasiner ; on peut ensuite décharger ce condensateur par un fil recouvert de soie ou de coton qui passe autour d'une aiguille aimantée et qui, alors, la fait dévier.

204. Ainsi, dans l'expérience de Davy avec sa grande pile voltaïque, au moyen de laquelle il chargea sa batterie de bouteilles de Leyde, celle-ci, après avoir été chargée, pouvait être déchargée à travers un galvanomètre qui produisait ainsi une déviation de l'aiguille aimantée.

205. Mais les métaux une fois déchargés devraient se recharger aussitôt d'électricité, et servir de nou-

veau à charger une batterie de bouteilles de Leyde, qui produirait une déviation de l'aiguille aimantée.

206. Pendant cette opération, le circuit ne devrait jamais être complet, mais il devrait y avoir une succession d'actions magnétiques semblables à celles qu'on observe avec un circuit fermé.

207. En réalité, dans le circuit fermé la solution de zinc enlève sans cesse, en le dissolvant, l'oxyde dont se recouvre la surface du métal, et permet au zinc de prendre une charge nouvelle; il se fait un effort incessant, qui n'est jamais pleinement satisfait, pour établir l'équilibre électrique, et le renouvellement incessant de cet effort maintient le courant électrique.

#### *Actions chimiques à distance : Electrolyse.*

208. Il se produit donc ainsi une action chimique dans l'élément où le courant voltaïque prend naissance. On a, d'une part, la décomposition de l'eau, et d'autre part la combinaison du zinc avec l'oxygène et l'acide sulfurique.

209. Mais un courant voltaïque peut aussi produire une action chimique à une certaine distance du lieu où il est développé. Cette découverte, comme on l'a dit à la note 127, a été faite en 1800 par Nicholson et Carlisle.

210. On ne peut pas décomposer l'eau avec un seul élément voltaïque ; mais lorsque deux éléments ou un plus grand nombre sont réunis pour former une pile, le courant de cette pile traversant de l'eau acidulée sépare les atomes combinés d'oxygène et d'hydrogène.

211. L'oxygène devient libre à l'endroit où le courant entre dans le liquide ; l'hydrogène est mis en liberté à l'endroit où le courant sort du liquide. Si on renverse le sens du courant, l'oxygène et l'hydrogène changent aussitôt de place.

212. Il faut bien se fixer dans l'esprit que le sens du courant, comme on l'a déjà défini, est la direction suivant laquelle se meut l'électricité positive. Connaissant donc le lieu où l'oxygène et l'hydrogène se dégagent, on peut en conclure avec certitude le sens du courant à travers le liquide.

213. Pour chaque volume dégagé dans la décomposition de l'eau par un courant voltaïque, deux volumes d'hydrogène sont mis en liberté.

214. La décomposition électro-chimique est appelée *électrolyse* ; et le composé liquide décomposé par le courant électrique est appelé *électrolyte*.

215. Le courant électrique a formé un puissant moyen d'analyse dans les expériences célèbres de sir Humphry Davy en 1807.

216. En opérant avec le courant sur de la potasse

4.

ordinaire, Davy trouva que la base de cette substance était un métal d'une très-grande légèreté, et très-avide d'oxygène. Placé dans l'eau, il flottait à la surface et se combinait avec l'oxygène du liquide. La chaleur, développée par la combinaison, enflammait l'hydrogène mis en liberté. Un globule du métal, placé sur la glace, brûlait avec une flamme brillante, et le trou creusé par la chaleur était rempli d'une solution de potasse.

217. La soude, traitée de la même manière, donnait aussi un métal semblable à celui de la potasse. Ainsi, par l'emploi du courant voltaïque, Davy décomposa les terres alcalines, et étendit considérablement nos connaissances en chimie.

218. Pour obtenir ces effets, il est nécessaire de porter la potasse et la soude à l'état de fusion par la chaleur. A l'état solide, elles ne conduisent pas l'électricité. En effet, les molécules, lorsqu'elles sont rigides, ne peuvent pas se tourner de la manière indiquée en la note 204. Pour conduire le courant, il est nécessaire qu'elles se tournent pour être décomposées.

219. Lorsqu'un courant traverse une solution de sel commun, il décompose à la fois l'eau et le sel. Le chlore du sel apparaît avec l'oxygène de l'eau à l'endroit où le courant entre dans le liquide. Le sodium du sel se montre avec l'hydrogène de l'eau à l'endroit où le courant sort du liquide.

220. Le chlore possède à un très-haut degré la pro-



priété de blanchir; et si la solution de sel est colorée avec de l'indigo ou du tournesol, la présence du chlore est accusée par la destruction de la couleur.

221. Lorsqu'un courant traverse une solution d'iodure de potassium, l'iode est mis en liberté à l'endroit où le courant entre dans la solution, et le potassium à l'endroit où le courant sort de la solution. On peut faire l'expérience avec du papier buvard imbibé d'une solution d'iode.

222. Dans une électrolyse, on a coutume de plonger deux plaques de platine, ou de quelque autre substance convenable, dans le liquide qu'on veut décomposer, et de faire passer le courant d'une plaque à l'autre. La plaque par laquelle le courant entre dans le liquide s'appelle l'électrode positive, et la plaque par laquelle le courant sort du liquide, s'appelle l'électrode négative. Sans le liquide, ces électrodes ne se chargeraient pas d'électricité positive et d'électricité négative, comme nous l'avons déjà appris.

223. Mais, comme les électricités qui s'attirent ont des propriétés contraires, la substance mise en liberté à l'électrode positive, s'appelle l'élément électro-négatif du liquide, et la substance qui se dégage à l'électrode négative, s'appelle l'élément électro-positif du même liquide.

224. Ainsi, dans les exemples donnés ci-dessus, l'oxygène, le chlore et l'iode sont les éléments électro-

négatifs; l'hydrogène, le sodium et le potassium sont les éléments électro-positifs.

225. Mais les termes électro-positif et électro-négatif sont relatifs, car une substance peut être électro-positive dans une combinaison, et électro-négative dans une autre.

226. Si on fait passer un courant électrique à travers une solution de sulfate de soude, il sépare l'acide sulfurique de la soude; la présence de l'acide se reconnaît parce qu'il rougit les couleurs végétales.

227. Lorsque le nitrate d'argent ou l'acétate de plomb sont décomposés par un courant voltaïque, des cristaux d'argent, ou de plomb, se déposent sur l'électrode négative.

228. Les actions chimiques du courant électrique, dont nous donnons ici quelques exemples, constituent ce qu'on appelle l'électro-chimie.

229. L'argenture et la dorure électrique, ainsi que l'électrotypie, sont des applications importantes de l'électro-chimie. Ici, un composé chimique contenant de l'or, de l'argent ou du cuivre, est décomposé par un courant voltaïque, et le métal se dépose sur la surface qu'on veut en recouvrir.

230. Si la surface sur laquelle le métal se dépose porte un dessin gravé, les traits de la gravure sont exactement remplis du métal qu'on peut détacher lorsque le

dépôt est assez épais, et l'on obtient ainsi une copie parfaite du dessin.

### *Mesure du courant électrique.*

231. *La boussole des tangentes*, inventée par Weber, est formée d'un anneau vertical en cuivre ou en laiton, au centre duquel est suspendue une petite aiguille aimantée. L'anneau étant placé dans le méridien magnétique, l'aiguille est déviée lorsqu'un courant circule dans l'anneau. On reconnaît que la force du courant est proportionnelle à la tangente de l'angle de déviation; de là le nom de l'instrument.

232. Le *voltamètre* est un instrument inventé par Faraday pour mesurer la force d'un courant électrique. Il est formé d'un tube gradué qui reçoit et mesure la quantité de gaz développé par le courant dans un temps donné.

233. Les forces d'une série de courants, mesurées par le voltamètre, sont exactement proportionnelles aux mêmes forces mesurées par la boussole des tangentes. Si on place une boussole des tangentes et un voltamètre dans la même série de courants, les tangentes des angles observés dans un cas sont exactement proportionnelles aux quantités de gaz dégagées dans l'autre.

*Polarisation électrique. — Pile secondaire de Ritter.*

234. Lorsqu'un courant électrique traverse de l'eau acidulée, une couche mince d'oxygène recouvre l'électrode positive, et une couche mince d'hydrogène recouvre l'électrode négative. L'un des deux corps étant électro-positif et l'autre électro-négatif, ils agissent sur le liquide comme deux métaux différents; l'hydrogène joue le rôle du zinc, et l'oxygène joue le rôle du platine.

235. Si on interrompt le circuit de la pile principale et qu'on fasse communiquer entre elles les plaques recouvertes de leurs couches respectives, on obtient un courant électrique.

236. Le courant se dirige de la couche d'hydrogène à la couche d'oxygène dans le liquide, et de la couche d'oxygène à la couche d'hydrogène par le fil de communication.

237. Deux électrodes ainsi recouvertes de couches gazeuses condensées sont dites *polarisées*; et les courants qu'on en obtient sont appelés *courants de polarisation*.

238. Maintenant le courant de la pile se dirigeant toujours de l'oxygène à l'hydrogène (v. note 211), il est clair que le courant de polarisation se dirige toujours

dans un sens contraire au courant de la pile qui polarise les électrodes.

239. Lorsqu'un vase à décomposition avec plaques de platine est introduit dans un circuit voltaïque, on trouve que le courant de la pile, quoique fort à l'origine, s'affaiblit graduellement.

240. Aussi, dans les vases de la pile même, ce courant de polarisation peut devenir très-préjudiciable. Lorsque deux métaux, comme le zinc et le platine, et un liquide, comme l'eau acidulée, sont employés dans une pile, la plaque de platine se recouvre d'une couche d'hydrogène.

241. Cet hydrogène étant électro-positif, ressemble à une plaque de zinc, de sorte que, lorsqu'il existe, c'est comme si on avait du zinc opposé à du zinc dans la pile.

242. Si les deux plaques étaient réellement du zinc, il n'y aurait pas de courant; et avec la couche d'hydrogène qui s'approche du zinc, on aurait seulement un faible courant. Pour obtenir l'effet complet du zinc et du platine, il faut inventer quelque moyen pour enlever au platine sa couche d'hydrogène.

243. C'est ce qu'on obtient dans la pile de Grove par l'emploi de *deux liquides*. L'un est de l'acide nitrique concentré, qui contient la plaque de platine; l'autre est de l'acide sulfurique étendu, qui contient la plaque de zinc. L'acide nitrique est dans un vase de

terre poreuse, qui se sature de liquide et qui se laisse traverser par le courant.

244. Lorsque le courant passe, l'hydrogène qui se dégage à l'électrode de platine dans l'élément de Grove, est oxydé aussitôt par l'acide nitrique, et il est empêché de former une couche sur la surface du platine.

245. Si, au lieu d'employer un seul vase à décomposition et un seul couple d'électrodes de platine, on emploie une série de vases semblables, et qu'on les fasse traverser tous par le même courant, on change chaque couple de ces plaques en couple voltaïque actif; et, si le nombre de ces couples est considérable, on peut obtenir des effets d'une grande intensité.

246. Si, au lieu d'employer des vases à décomposition, on emploie une série de plaques de même métal, par exemple, une série de demi-couronnes, séparées par des morceaux de papier buvard ou d'étoffe imbibés d'eau acidulée, en faisant passer un courant voltaïque par cette pile de plaques, il se dégage sur l'une des faces de chaque plaque une couche d'oxygène, et sur l'autre face une couche d'hydrogène. Ces couches jouent le rôle des deux métaux différents de la pile de Volta.

247. La force électro-motrice d'une pareille pile peut être beaucoup plus grande que celle de la pile qui la charge. Elle peut produire une bien plus brillante étincelle, et faire surmonter à son courant des résistances qui seraient tout à fait insurmontables au courant de la pile principale.

248. Cette forme de pile a été découverte par Ritter; on l'appelle quelquefois *la pile secondaire*, pour la distinguer de la pile qui la charge.

*Loi électrolytique de Faraday.*

249. Lorsqu'un même courant traverse une série de vases contenant divers composés liquides, la même quantité de liquide n'est pas décomposée dans tous les cas.

250. Supposons qu'on fasse passer le courant par une série de vases contenant de l'eau, de l'oxyde de plomb, du chlorure de plomb, de l'iodure de plomb et du chlorure d'argent; alors, en les prenant dans l'ordre ci-dessus, les poids des liquides décomposés sont représentés par les nombres 9, 111.5, 139, 230.5, 143.5.

251. Maintenant, comment ces poids des substances respectives se partagent-ils entre les deux électrodes? En supposant que les nombres représentent des milligrammes, on aura le partage suivant entre les électrodes :

	A l'électrode positive.		A l'électrode négative.
	Milligr.		Milligr.
Eau . . . . .	8	d'oxygène.	1 d'hydrogène.
Oxyde de plomb.	8	»	103,5 de plomb.
Chlore de plomb.	35,5	de chlore.	103,5 »
Iodure de plomb.	127,0	d'iode. . .	103,5 »
Chlorure d'argent.	35,5	de chlore.	108 d'argent.

352. Or, ces nombres expriment les proportions dans lesquelles les substances respectives entrent en combinaison ; la loi des combinaisons relativement à la quantité est exactement intervertie par le courant électrique. Les substances se combinent en proportions équivalentes ; elles sont décomposées précisément dans les mêmes proportions. Telle est la loi célèbre de l'électrolyse découverte par Faraday.

253. Dans aucun cas, on n'observe de décomposition dans le corps de l'électrolyte ; dans aucun cas, il n'y a de gaz mis en liberté. Les substances devenues libres apparaissent aux électrodes, et seulement aux électrodes.

254. En prenant l'eau pour exemple, on peut représenter le phénomène de cette manière : lorsque les électrodes, chargées de l'électricité de la pile, sont plongées dans le liquide, l'atome d'oxygène de l'eau se tourne vers l'électrode positive, et l'atome d'hydrogène se tourne vers l'électrode négative.

255. Si la force électro-motrice est assez grande, l'oxygène est arraché à son hydrogène ; l'hydrogène libre porte aussitôt son attraction sur l'atome d'oxygène voisin et s'unit avec lui, délogeant en même temps l'hydrogène avec lequel cet atome était combiné auparavant. Un autre atome d'hydrogène est ainsi mis en liberté, et celui-ci décompose à son tour la molécule d'eau adjacente. Ainsi, sur la chaîne de molécules se succèdent



des séries de décompositions suivies aussitôt de recompositions, jusqu'à l'électrode négative. Ici, l'hydrogène, n'ayant plus d'oxygène avec lequel il puisse se combiner, est mis en liberté à l'état de gaz. Telle est la théorie de Grothius qui, en tout cas, représente bien les faits.

---

## SIXIÈME ET SEPTIÈME LEÇONS.

—

### *Anneaux irisés de Nobili.*

256. On juge de la dureté de l'acier, lorsqu'on le trempe, à la couleur qui est produite par une couche mince d'oxyde qui recouvre l'acier. L'oxyde qui se forme à la surface du plomb fondu présente aussi de vives couleurs.

257. Ce sont les couleurs des lames minces étudiées par Newton et expliquées par Thomas Young.

258. Nobili a produit par des décompositions électrochimiques des couleurs de cette nature d'une manière très-belle. Si l'on met, par exemple, une plaque d'acier poli dans une solution étendue d'acétate de plomb, et si on fait communiquer la plaque avec le pôle positif d'une pile voltaïque, en plongeant dans la solution l'extrémité d'un fil communiquant avec le pôle négatif,

le peroxyde de plomb est mis en liberté sur la surface de l'acier immédiatement au-dessous du fil ; et une couche mince diminuant graduellement d'épaisseur s'étend autour de ce point. On a autour du point une série de cercles concentriques qui présentent les vives couleurs de l'arc-en-ciel.

259. Ces couleurs, comme celles de toutes les lames minces, dépendent de l'épaisseur de la couche, qui diminue à mesure que la distance traversée par le courant augmente.

(Du Bois-Raymond a prouvé que, lorsque le point qui communique avec le pôle négatif de la pile est très-près de la plaque d'acier, l'épaisseur de la couche correspondante aux différents cercles est inversement proportionnelle aux cubes des rayons des cercles.)

#### *Distribution de la chaleur dans le circuit.*

260. Lorsque les deux extrémités d'une pile voltaïque communiquent par un gros fil bon conducteur, le fil ne s'échauffe pas sensiblement ; dans ce cas, la chaleur due à l'oxydation du zinc reste renfermée dans la pile même.

261. Mais si les deux extrémités de la pile communiquent par un fil qui offre une résistance au courant, le fil s'échauffe, et s'il est convenablement choisi, il peut être porté à la chaleur blanche.

262. En considérant la pile comme le foyer où le zinc est brûlé, on doit être conduit à conclure que la chaleur due à la combustion du zinc est développée dans le foyer même, et que la quantité de cette chaleur dépend seulement de la quantité de zinc consommé.

263. Mais cela n'est pas. Supposons que la pile, avec ses deux extrémités mises en communication par un gros fil, soit renfermée dans un vase plein d'eau, à laquelle est transmise la chaleur développée par l'oxydation d'une once de zinc; la quantité de chaleur développée est mesurée par la température de l'eau.

264. Supposons que la pile, avec ses deux extrémités communiquant par le fil qui oppose de la résistance au courant, soit placée dans le même vase, et qu'on détermine de nouveau la chaleur engendrée dans la pile par l'oxydation d'une once de zinc; cette chaleur sera moindre que celle observée dans l'expérience précédente.

265. Si maintenant on renferme dans un vase séparé le fil qui établit la communication, et si on détermine ainsi la chaleur développée dans le fil, en ajoutant cette quantité de chaleur à celle qui est développée dans la pile, on obtient une somme de chaleur exactement égale à celle dégagée dans la pile seule, lorsqu'on emploie un fil bon conducteur.

266. En réalité, la quantité de chaleur développée par l'oxydation d'une once de zinc est parfaitement con-

stante ; mais elle peut être répartie en proportions diverses entre la pile et le circuit extérieur.

*Rapport de la chaleur au courant et à la résistance.*

267. D'où vient la chaleur développée dans un fil qui fait communiquer les deux extrémités d'une pile voltaïque ?

268. Elle vient d'abord de la force du courant, mais elle n'est pas simplement proportionnelle à cette force.

269. Supposons que les forces d'une série de courants, déterminées par la boussole des tangentes ou par le voltamètre, soient représentées par les nombres 1, 2, 3, 4 ; les quantités de chaleur développées dans le même fil par ces courants seront exprimées par les nombres 1, 4, 9, 16.

270. La chaleur développée est donc proportionnelle au carré de la force du courant.

271. La force du courant étant rendue constante, la chaleur engendrée est proportionnelle à la résistance électrique du fil dans lequel passe le courant. Ces principes importants ont été établis par M. Joule.

272. Ainsi, si de deux courants égaux, l'un passe par un fil d'argent et l'autre par un fil de platine de même longueur et de même grosseur, la chaleur engendrée dans le platine sera dix fois plus grande que la chaleur

engendrée dans l'argent, parce que la résistance du premier est dix fois plus grande que celle du second. Mais pour faire passer dans ce cas le courant par le platine, il faudrait une pile plus forte que celle qui serait nécessaire pour l'argent.

273. Aussi lorsqu'on fait passer *le même courant* par un fil formé de longueurs alternantes d'argent et de platine de la même grosseur, les parties formées de platine peuvent être portées à la chaleur blanche, tandis que celles d'argent n'arrivent pas à la plus faible incandescence.

*Electricité produite par le magnétisme ou magnéto-électricité. Courants induits.*

274. Dans un conducteur qui est près d'un circuit voltaïque, mais qui ne le touche pas, un courant se développe lorsque le circuit est *établi*. Lorsque le circuit est *interrompu* un courant prend encore naissance dans le conducteur.

275. Ainsi, supposons qu'on ait donné au circuit la forme d'un anneau, et qu'un second anneau, qui ne soit pas dans le circuit, fût placé près du premier; lorsqu'on établit et qu'on rompt le circuit, un courant se développe dans le second anneau.

276. Les deux courants du second anneau sont appelés courants *secondaires*. Ils ne durent qu'un moment.

Ils impriment en passant un choc à l'aiguille aimantée autour de laquelle ils passent, et leur existence est démontrée par le mouvement qu'ils lui communiquent. Mais ils s'évanouissent immédiatement, parce qu'ils sont éteints par la résistance de l'anneau et transformés en chaleur.

277. Ces deux courants momentanés se dirigent en sens contraire dans l'anneau. Le courant secondaire qui se développe lorsqu'on ferme le circuit marche en sens contraire du courant primaire qui lui donne naissance; celui qui se développe au moment où on rompt le circuit se dirige dans le même sens que le courant primaire.

278. Les courants secondaires sont appelés *courants induits*. Ils ont été découverts par Faraday en 1830, et il les a décrits dans ses *Philosophical papers* en 1831.

279. Si, au lieu d'employer un seul anneau, on se sert d'une hélice électro-magnétique, chaque tour de l'hélice fournit son contingent au courant, et la somme totale de l'effet est bien plus grande que lorsqu'on n'emploie qu'un anneau ou un seul tour d'hélice.

Dans les expériences suivantes, on s'est servi de deux spirales plates, formées chacune de fil de cuivre recouvert de soie.

280. L'une des spirales est mise à plat sur une table, et ses deux extrémités communiquent à un galvanomètre;

l'autre spirale communique à une pile avec laquelle la communication peut être établie ou interrompue à volonté. Nous appellerons celle-ci spirale *inductrice* ou primaire, et celle qui communique au galvanomètre spirale *secondaire* ou *induite*.

281. Si l'on place une spirale sur l'autre et que l'on fasse passer un courant dans la spirale primaire, l'aiguille du galvanomètre est déviée aussitôt par le courant induit dans la spirale secondaire ; mais la force qui agit sur l'aiguille cesse après un instant, et l'aiguille revient à sa première position.

282. Lorsqu'on interrompt le courant, l'aiguille reçoit encore un choc, et elle est déviée en sens contraire. Elle accuse ainsi l'existence d'un second courant momentané dans la spirale secondaire. Les directions de ces deux courants, comparées à celle du courant primaire, ont déjà été indiquées, note 277.

283. Si l'on tient la spirale secondaire éloignée de la spirale primaire pendant que le courant passe par celle-ci ; et si alors *on approche* la spirale secondaire de la spirale primaire, un courant s'établit dans la spirale secondaire ; ce courant cesse à l'instant où cesse le mouvement de cette dernière vers la spirale primaire.

284. Lorsqu'on éloigne la spirale secondaire de la spirale primaire, un courant prend aussi naissance ; ce courant cesse pareillement à l'instant où l'on cesse d'éloigner la spirale secondaire.



285. Le courant développé par le rapprochement se meut dans un sens contraire à celui du courant primaire ; le courant développé par l'éloignement se dirige dans le même sens que le courant primaire.

286. Deux courants qui se dirigent dans le même sens s'attirent ; s'ils vont en sens contraire ils se repoussent.

287. Aussi pour approcher la spirale secondaire de la spirale primaire, il faut vaincre une *répulsion* ; et pour l'en éloigner on a à vaincre une *attraction*. Pour produire ces courants induits, *il faut donc dépenser une force mécanique*.

288. La force ainsi dépensée apparaît sous la forme de chaleur dans le fil secondaire après la cessation du courant induit. C'est l'équivalent mécanique de cette chaleur.

289. En approchant et en éloignant le pôle d'un aimant de la spirale secondaire, on fait aussi naître dans cette spirale des courants induits. Mais, comme dans les cas précédents, ce n'est que pendant la durée du rapprochement et de l'éloignement que ces courants apparaissent.

290. Ainsi, on peut produire des courants électriques par le seul mouvement d'un aimant, et sans aucune pile ou machine électrique.

291. Tout changement dans l'état magnétique de l'es-

pace près d'une hélice ou dans l'intérieur de l'hélice produit dans celle-ci un courant induit. Si le changement est une augmentation du magnétisme, le courant est dans un sens ; si ce changement est une diminution du magnétisme, le courant est dans un sens contraire.

292. Lorsqu'une longue hélice secondaire environne une hélice primaire avec un noyau de fer, en interrompant et en fermant dans une succession rapide le circuit de l'hélice primaire, on peut obtenir une série de puissantes décharges. On emploie ordinairement un appareil automatique pour fermer et ouvrir le circuit.

293. Ces bobines d'induction ont été construites avec une grande habileté par Ruhmkorff, et c'est pour cela qu'on les appelle quelquefois bobines de Ruhmkorff. M. Apps a construit dernièrement une bobine d'induction d'une force étonnante.

294. La force d'une bobine dépend principalement de la perfection avec laquelle le fil de l'hélice est isolé. Les courants induits dans une bobine de Ruhmkorff peuvent avoir une force électro-motrice égale à mille fois celle des courants primaires qui leur donnent naissance. Ils peuvent, par exemple, donner des étincelles mille fois plus longues que ne pourraient les donner les courants primaires.

*Rapport des courants induits aux lignes de force magnétique. Magnétisme rotatoire.*

295. Les phénomènes et les principes précédents ont été tous découverts par Faraday. Il a encore établi les relations les plus importantes entre les courants induits et les lignes de force qui environnent un aimant. Voyez note 25.

296. Il a prouvé que, lorsqu'on fait mouvoir un conducteur *dans le sens* des lignes de force, aucun courant induit ne se manifeste ; mais que, lorsqu'on le fait mouvoir *transversalement* aux lignes de force, des courants induits se produisent.

297. Il a prouvé, par exemple, que lorsqu'on fait tourner un disque de métal tangentiellement aux lignes de force, aucun courant n'apparaît ; mais que si le disque, en tournant, *coupe* les lignes de force, il s'y développe des courants qui vont du centre à la circonférence et de la circonférence au centre. Des circuits fermés s'établissent ainsi dans le disque.

298. Tel est le « magnétisme de rotation, » découvert par Arago en 1820, et qui a été complètement expliqué par Faraday.

299. Faraday a prouvé que les lignes de force du magnétisme terrestre suffisent pour produire des courants

induits lorsqu'elles sont coupées par le disque tournant. On peut, en effet, obtenir du magnétisme de la terre tous les effets d'induction magnéto-électrique.

300. Lorsqu'un conducteur tourne autour d'un axe parallèle aux lignes de force, il éprouve simplement la résistance due au frottement de l'air ; mais si l'axe de rotation est transversal aux lignes de force, la rotation est ralentie par l'action réciproque de l'aimant et des courants induits.

301. Le ralentissement peut devenir assez fort pour que la rotation s'arrête sur le champ. Si, par exemple, on suspend un cube ou une sphère de cuivre à un fil tordu qu'on laisse tourner, en se détordant, entre les pôles d'un électro-aimant qui n'est pas chargé, il n'éprouve que le ralentissement dû au frottement de l'air ; mais sa rotation s'arrête aussitôt que l'électro-aimant est chargé. Faraday a encore fait connaître que lorsqu'on fait passer et repasser rapidement une lame de cuivre entre les pôles magnétiques, il semble qu'on coupe du fromage, quoi qu'il n'y ait rien de visible. C'est comme si l'espace pur était une sorte de solide.

302. Si, par un moyen mécanique, on imprime un mouvement de rotation ou de va-et-vient à un conducteur entre les pôles chargés, le conducteur s'échauffe. M. Joule l'a démontré le premier ; mais une démonstration très-frappante en a été donnée par Foucault, qui a échauffé de cette manière son célèbre gyroscope. La chaleur est promptement rendue assez intense pour

fondre du métal fusible. Entre les pôles qui ne sont pas chargés, aucun effet de cette nature ne se produit.

303. La répulsion, produite par les courants induits entre les hélices et les masses de fer en mouvement dans une machine électro-magnétique, serait un obstacle à l'application de l'électricité comme force motrice. Cependant, quoique de pareilles machines atteignent rapidement la limite de leur action, la conversion de la force moléculaire en effet mécanique peut être rendue bien plus parfaite que dans la machine à vapeur.

#### *L'extra-courant.*

304. Si on joint les extrémités de l'hélice secondaire d'une machine de Ruhmkorff, le circuit secondaire étant alors fermé, l'étincelle qu'on obtient en ouvrant le circuit primaire est petite. Lorsqu'on sépare les extrémités de l'hélice secondaire, l'étincelle de l'hélice primaire est aussitôt augmentée.

305. La diminution de l'étincelle est due à la réaction du circuit secondaire fermé sur le circuit primaire. Lorsqu'on ouvre le circuit secondaire, cette réaction cesse.

306. Le circuit primaire peut, à son tour, lorsqu'il est fermé, réagir sur le circuit secondaire. Il est fermé toutes les fois que le contact est établi par l'interrupteur

automatique. Il en résulte un grand affaiblissement dans le courant secondaire. Lorsque le circuit primaire est interrompu, la réaction n'existe pas; il n'y a pas d'affaiblissement, toute la puissance du courant secondaire est développée. C'est pour cela que, dans l'appareil de Ruhmkorff, on obtient des décharges *dans un* seul sens, au lieu de décharges alternatives dans des sens contraires.

307. La réaction dont il s'agit ici se rattache à ce qu'on appelle l'*extra-courant*.

308. Lorsqu'on fait passer un courant dans une seule hélice primaire, le courant primaire développe, dans le fil qui le conduit, un courant secondaire se dirigeant dans un sens opposé à celui du courant primaire. Le courant primaire fait naître sur son passage un courant antagoniste qui, toutefois, disparaît immédiatement.

309. Lorsqu'on interrompt le circuit primaire, il se développe dans l'hélice un courant secondaire momentané qui se dirige dans le même sens que le courant primaire qu'on a interrompu.

310. Chacun des deux courants développés *dans le circuit primaire même*, au commencement et à la cessation du courant primaire, a été appelé par Faraday *extra-courant*.

311. L'étincelle qu'on obtient en ouvrant le circuit primaire est augmentée en éclat et en force par l'*extra-courant*.

312. Si on associe un second circuit au circuit primaire, si, par exemple, on enroule sur la même bobine deux fils recouverts de soie en faisant de l'un d'eux un circuit primaire, on a l'étincelle brillante due à l'extra-courant, *tant que les extrémités de l'autre fil ne sont pas réunies.*

313. Mais, au moment où on les réunit, l'extra-courant dans le circuit primaire disparaît; il y a une diminution momentanée dans l'éclat de l'étincelle.

314. C'est un exemple de la réaction dont il est parlé dans la note 304. Lorsqu'on ferme le circuit secondaire, l'extra-courant se forme dans ce circuit au lieu de se former dans le circuit primaire. L'extra-courant devient ici, en effet, un courant induit ordinaire; ce n'est que lorsqu'il reste dans le circuit primaire qu'on lui applique son nom distinctif.

### *Influence du temps sur l'intensité de la décharge.*

#### CONDENSATEUR.

315. L'intensité du courant secondaire, sa « distance explosive, » par exemple, dépend de la rapidité avec laquelle le courant primaire est interrompu.

316. J'ai déjà parlé du passage de particules entre les deux extrémités d'un circuit. Ces particules font durer le courant un instant après que les extrémités ont été

séparées. Il en résulte une diminution graduelle dans le courant primaire.

317. Mais, pour produire le maximum d'intensité dans le courant secondaire, il faut interrompre *tout d'un coup* le courant primaire.

318. C'est ce que l'on produit efficacement lorsqu'on interrompt le courant primaire entre les pôles d'un puissant aimant. On peut ainsi faire franchir à l'étincelle secondaire des distances considérables en comparaison de celles qu'il lui serait possible de franchir lorsque la rupture du contact se fait loin des pôles magnétiques.

319. L'aimant arrête immédiatement le courant des particules qui accompagnent l'étincelle. Ainsi, au lieu de se prolonger pendant un intervalle de temps sensible, toute la force du courant primaire se concentre en un seul instant.

320. Cette concentration est accusée par l'intensité du bruit de l'étincelle primaire. Cette augmentation du bruit a été observée pour la première fois par Page; elle a été expliquée par Rijke, qui a aussi exalté de la manière indiquée ici la décharge de l'hélice secondaire.

321. L'effet fâcheux de l'étincelle produite par la rupture du contact dans la machine de Ruhmkorff est bien diminué par l'emploi d'un condensateur communiquant à l'hélice primaire. Il a été introduit par M. Fizeau.



*Décharge électrique à travers les vapeurs et les gaz raréfiés.*

322. L'électricité du conducteur d'une machine électrique traverse l'air sous la forme d'une brillante étincelle qui produit un bruit très-distinct.

323. Lorsque la décharge traverse de l'air raréfié, la distance explosive est augmentée, et, si on raréfie suffisamment l'air, la décharge peut se faire *sans bruit*. Elle remplit alors le tube qu'elle traverse d'une lumière rosée.

324. Cette lumière rose a la même origine que celle de l'aurore boréale; elle est due à l'azote de l'air.

325. Tout gaz raréfié a sa couleur caractéristique propre lorsqu'il est traversé par la décharge électrique. Lorsqu'on l'examine au prisme, cette couleur se résout en raies distinctes, et la nature du gaz peut se conclure de l'analyse de son spectre.

326. La décharge de la bobine d'induction à travers les milieux raréfiés produit des effets lumineux pareils à ceux que produit la machine électrique.

327. Les tubes qui contiennent les gaz, ou vapeurs raréfiées, sont appelés ordinairement *tubes de vide*. Ces tubes sont traversés par des fils de platine autour desquels le verre a été fondu, et entre lesquels passe la décharge.

328. Ces tubes ont été fabriqués avec une grande perfection par Geissler, de Bonn, et sont nommés quelquefois tubes de Geissler.

329. Dans certains cas, la décharge lumineuse est formée de couches lumineuses distinctes, séparées les unes des autres par des intervalles obscurs et perpendiculaires à la direction de la décharge. Ces couches ont été observées d'abord par Grove; elles ont été observées en même temps et développées avec élégance par Ruhmkorff.

330. On croyait que les couches lumineuses provenaient de l'action intermittente de l'interrupteur de la bobine d'induction; mais Gassiot les a produites à la fois avec la machine électrique et avec sa pile de 3,500 éléments, où l'on n'employait pas d'interrupteur.

331. Chaque décharge de la bobine d'induction à travers un milieu convenablement choisi se résout en une série de pulsations qui se manifestent en décharges stratifiées. Dans des circonstances semblables, la décharge de la pile voltaïque se résout aussi en une série de pulsations qui se révèlent par leurs stratifications.

#### *Action des aimants sur la décharge lumineuse.*

332. La décharge lumineuse est certainement, et dans tous les cas, un courant électrique, et elle éprouve l'influence d'un aimant comme un fil qui conduit un courant.

333. Mais la flexibilité du courant lumineux dans les gaz raréfiés permet à l'aimant d'agir sur lui d'une manière particulièrement intéressante et instructive.

334. Si on place, par exemple, un tube traversé par la décharge lumineuse entre les pôles d'un électro-aimant, en chargeant l'électro-aimant on peut faire dévier ou complètement éteindre le courant lumineux.

335. Dans ce dernier cas, en interrompant le courant qui charge l'électro-aimant, ou en éloignant le tube du champ magnétique, on peut rétablir la décharge lumineuse.

336. Dans certains cas, lorsque la décharge lumineuse n'est formée que d'une faible lumière, l'arrivée de la force magnétique fait naître une série de couches vivement éclairées à l'extrémité positive du tube vide; lorsqu'on interrompt le magnétisme, ces couches se retirent successivement comme si elles étaient absorbées par le pôle positif. M. Gassiot a fait un grand nombre d'expériences semblables d'une très-grande beauté.

337. On a dit dans la note 306 que les décharges de la bobine d'induction se faisaient toujours dans le même sens; voilà pourquoi dans chaque tube vide il y a un pôle positif et un pôle négatif.

338. Lorsque la lumière qui environne l'extrémité négative est soumise à l'action d'un aimant, elle se dispose exactement suivant les lignes de force magnétique; la lumière à l'extrémité positive ne présente pas une action semblable. Cette découverte est due à Plücker.

*Machines magnéto-électriques. — Machine de Saxton.  
— Armature de Siemens.*

339. La découverte de la magnéto-électricité, que l'on doit à Faraday, a été publiée en 1831. En 1832 une machine a été construite par Saxton pour développer en plus grande abondance les courants magnéto-électriques.

340. Dans cette machine on faisait tourner devant les pôles d'un aimant puissant des bobines de fil de cuivre dans l'intérieur desquelles étaient des barreaux de fer.

341. Lorsqu'on approchait une bobine vers l'un des pôles de l'aimant, un courant puissant, dont la direction dépendait de la nature du pôle, était induit dans la bobine. Lorsqu'on éloignait la bobine du pôle magnétique, un courant était induit dans un sens contraire. Cette production de courants en sens contraires par le rapprochement et par l'éloignement a déjà été indiquée dans les notes 283, 284.

342. Au moyen d'un instrument appelé *commutateur*, qui renverse l'un des courants induits au moment convenable, on peut faire marcher dans le même sens les courants contraires.

343. Les barreaux de fer doux, avec leurs bobines, constituent ce qu'on appelle une *armature*. Dans l'arma-

ture de Saxton les fils des bobines étaient enroulés dans un sens *transversal* aux barreaux de fer.

344. Mais en enroulant ses fils *longitudinalement*, ou parallèlement à l'axe du barreau, et en plaçant l'armature ainsi formée entre les pôles d'une série d'aimants en fer à cheval, Siemens a obtenu des courants magnéto-électriques bien plus puissants que ceux de Saxton.

#### *Machine de Wilde.*

Les choses étaient en cet état lorsque, en 1866, M. Wilde donna un développement important à nos connaissances en magnéto-électricité.

345. Il fit passer le courant obtenu au moyen de l'armature de Siemens autour d'un électro-aimant, et il reconnut que le magnétisme ainsi développé était beaucoup plus considérable que celui de la série entière des aimants en acier employés pour produire le courant magnéto-électrique.

346. Ainsi, dans un cas, il trouva que tandis que la série d'aimants permanents pris collectivement était capable de supporter un poids de 40 livres seulement, l'électro-aimant qu'ils chargeaient supportait un poids de 1088 livres.

347. Mais pour produire ces effets, il faut faire tourner avec une grande rapidité l'armature de la machine magnéto-électrique.

348. Mais Wilde est allé plus loin. Formant son électro-aimant avec une grande plaque de fer, et plaçant entre ses longs pôles une armature d'une longueur correspondante, semblable par la forme et la construction à celle de la machine magnéto-électrique, il obtint de cette seconde armature des courants d'une force prodigieusement plus grande que ceux qu'on pouvait obtenir de la première.

349. Ces courants à leur tour peuvent être conduits dans un second électro-aimant, formé d'une plus grande plaque de fer. Muni d'une armature tournante, ce second électro-aimant produisit des effets inconnus auparavant. Des baguettes de fer, d'un quart de pouce de diamètre, ont été fondues par les courants, et on a reconnu que, lorsqu'on faisait décharger ces courants entre deux pointes de charbon, ils étaient capables de produire une lumière d'un éclat insupportable à l'œil.

#### *Machine de Siemens et de Wheatstone.*

350. MM. William Siemens et sir Charles Wheatstone ont accompli ensuite un nouveau progrès considérable en magnéto-électricité.

351. Exprimée en termes généraux, cette découverte consiste à élever, par sa propre action, au plus haut degré d'intensité une quantité infinitésimale de magnétisme.

352. Concevons un noyau électro-magnétique avec un résidu extrêmement petit de magnétisme, qui ne manque jamais lorsque le fer a été une fois aimanté. Supposons qu'une bobine, avec son noyau de fer doux, tourne devant les pôles d'un pareil aimant. Des courants induits extrêmement faibles circuleront dans la bobine secondaire. Au lieu de laisser perdre ces courants induits, supposons qu'on les fasse passer autour de l'électro-aimant qui les a produits ; son aimantation en sera augmentée. Il est alors en état de produire des courants encore plus forts : ces courants, étant eux-mêmes conduits autour de l'électro-aimant, élèveront son magnétisme à un degré encore plus haut, d'où résultera une production plus abondante de courants induits. Ainsi, par une série d'actions réciproques entre l'électro-aimant et l'hélice secondaire qui exaltent tour à tour leur magnétisme, l'électro-aimant est amené de l'état de neutralité presque parfaite à celui d'une aimantation très-intense.

353. Lorsque l'électro-aimant a été amené à cet état, on peut faire tourner devant ou entre ses pôles des bobines autres que celles qui ont servi à l'aimanter ; on peut se servir des courants de ces bobines pour produire des aimantations, des décompositions chimiques ou de la lumière électrique.

354. La première machine magnéto-électrique, qui a servi à produire une lumière assez intense pour les

phares, a été construite par M. Holmes (1). On emploie dans cette machine des aimants permanents en acier et des hélices tournantes. M. Holmes a construit dernièrement une machine très-puissante sur le principe de Siemens et Wheatstone.

*Courants induits de la batterie de bouteilles de Leyde.*

355. Si on fait décharger une bouteille de Leyde ou une batterie électrique par une spirale primaire, celle-ci développe un courant dans une spirale secondaire. Avec une forte charge ce courant secondaire peut rendre incandescent un pied de fil mince de platine.

(1) M. Tyndall nous permettra de faire remarquer que la machine Nollet a précédé de beaucoup celle de M. Holmes, qui n'en était qu'une copie informe, et qu'à l'Exposition universelle de Londres de 1862, la machine française de la compagnie l'Alliance a laissé bien loin derrière elle la machine anglaise. La compagnie l'Alliance a fait, en outre, une découverte importante : c'est qu'on pouvait employer les courants renversés sans rien perdre de la lumière produite, et que, par conséquent, les commutateurs qui faisaient le désespoir de M. Holmes étaient inutiles. Jusqu'ici, la machine de l'Alliance est la seule qui fasse un service régulier dans les phares en France, en Egypte, en Russie, etc. Nous ne savons encore rien de la nouvelle machine de M. Holmes, construite sur les données de MM. Wheatstone, Siemens, Wild, mais elle sera certainement inférieure aux derniers modèles de la compagnie l'Alliance, dont l'avantage capital est une vitesse de rotation qui ne dépasse pas 400 tours; toutes les autres exigent 1 500 ou 2 000 tours. — F. MOIGNO.



356. Si on fait passer le courant de la pile secondaire dans une troisième spirale qui est en face d'une quatrième, lorsque la batterie est déchargée dans la spirale primaire, la spirale secondaire joue le rôle d'une spirale primaire sur la troisième spirale et développe dans la quatrième spirale un *courant tertiaire*.

357. Avec une autre couple de spirales, ce courant tertiaire peut donner naissance à un courant du *quatrième ordre*; celui-ci, avec une autre couple de spirales, peut à son tour produire un courant du *cinquième ordre*. Tous ces courants peuvent donner des commotions, enflammer de la poudre ou faire brûler des fils.

---

## TABLE DES MATIÈRES.

PREMIÈRE LEÇON.....	1
DEUXIÈME LEÇON.....	11
TROISIÈME LEÇON.....	21
QUATRIÈME LEÇON.....	35
Notes historiques relatives à la télégraphie électrique.....	37
Phénomènes observés dans les câbles électriques.....	40
Câbles artificiels.....	44
Esquisse de la théorie de Ohme et vérification de Kohlrausch.....	47
CINQUIÈME LEÇON. — Électro-chimie. — Actions chimiques dans l'élément voltaïque. — Origine du courant.....	52
Actions chimiques à distance. — Électrolyse.....	56
Mesure du courant électrique.....	61
Polarisation électrique. — Pile secondaire de Ritter.....	62
Loi électrolytique de Faraday.....	65
SIXIÈME ET SEPTIÈME LEÇONS. — Anneaux irisés de Nobili.....	68
Distribution de la chaleur dans le circuit.....	69
Rapport de la chaleur au courant et à la résistance.....	71
Électricité produite par le magnétisme ou magnéto-électri- cité. — Courants induits.....	72
Rapport des courants induits aux lignes de force magnétique. — Magnétisme rotatoire.....	77
L'extra-courant.....	79
Influence du temps sur l'électricité de la décharge. — Conden- sateur.....	81
Décharge électrique à travers les vapeurs et les gaz raréfiés..	83
Action des aimants sur la décharge lumineuse.....	84
Machines magnéto-électriques. — Machine de Saxton. — Ar- mature de Siemens.....	86
Machine de Wilde.....	87
Machine de Siemens et de Wheatstone.....	88
Courants induits de la batterie de bouteilles de Leyde.....	90

Paris. — Typ. Walder, rue Bonaparte



LES MONDES

REVUE HEBDOMADAIRE DES SCIENCES

ET DE LEURS APPLICATIONS AUX ARTS ET A L'INDUSTRIE,

PARIS..... 25 fr.  
DÉPARTEMENTS..... 30 fr.

ÉTRANGER..... 30 fr.  
PAYS D'OUTRE-MER..... 45 fr.

- BILAN DE LA SCIENCE ANGLAISE AU MOIS D'AOUT 1868.  
Réunion de Norwich. In-18. 2 fr
- MELANGES DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE PURES ET APPLIQUÉES.  
In-18, 3 fr
- SUR LA RADIATION, par M. John Tyndall, traduit de l'anglais. Broché  
In-18 Jésus. 1 fr
- SUR LA FORCE DE COMBINAISON DES ATOMES, par M. A.-W. Hofmann  
traduit de l'anglais, avec un aperçu de philosophie chimique. In-18. 4 fr
- ANALYSE SPECTRALE DES CORPS CÉLESTES, par M. William Huggins  
traduite de l'anglais. In-18. 4 fr
- LA CALORESCENCE — INFLUENCE DES COULEURS ET DE  
CONDITION MÉCANIQUE SUR LA CHALEUR RAYONNANTE,  
M. John Tyndall, traduit de l'anglais. In-18. 4 fr
- LA FORCE ET LA MATIÈRE. — LA FORCE. — DEUX CONFÉREN  
de M. Tyndall, traduites de l'anglais, avec appendice sur la nature et  
constitution intime de la matière. In-18. 4 fr
- SEPT LEÇONS DE PHYSIQUE GÉNÉRALE, par Augustin Cauchy, avec  
appendice sur les rapports de la science avec la foi. In-18. 1 fr
- LES ÉCLAIRAGES MODERNES. Conférences de M. l'abbé Moigno. — Éc  
rage aux huiles et essences de pétrole. — Éclairage au magnésium. — Éc  
rage au gaz oxhydrogène. — Éclairage à la lumière électrique. — Régula  
de la pression du gaz. — In-18 Jésus. 1 fr
- PHYSIQUE MOLECULAIRE. Ses conquêtes, ses phénomènes et ses appl  
tions. In-18. 2 fr
- SIX LEÇONS SUR LE CHAUD ET LE FROID, faites à un jeune auditoire  
dant les vacances de Noël, par M. J. Tyndall, traduites de l'anglais. In-18. 1 fr
- FARADAY INVENTEUR, par M. John Tyndall, traduit de l'anglais  
M. l'abbé Moigno. In-18 Jésus. 1 fr
- LES ALIMENTS, quatre Conférences faites à la Société des Arts de Lond  
par M. le docteur Letheby, traduites de l'anglais. In-18 Jésus. 1 fr
- SACCHARIMÉTRIE OPTIQUE, CHIMIQUE ET MELASSIMÉTRIQUE,  
in-18, Prix : 3 fr
- CONSTITUTION DE LA MATIÈRE et ses mouvements, nature et cause d  
pesanteur, par le P. Leray, de la congrégation des Eudistes, avec une pré  
par M. l'abbé Moigno. Un vol. in-18 Jésus, orné de figures, 4 fr
- ESQUISSE HISTORIQUE DE LA THÉORIE DYNAMIQUE DE LA G  
LEUR. par M. Peter Guthrie Tait, professeur à l'Université d'Édimb  
Traduite de l'anglais par M. l'abbé Moigno. Un vol. in-18 Jésus, 3 fr
- THÉORIE DU VÉLOCIPÈDE. SUR LES LOIS DE L'ÉCOULEMEN  
LA VAPEUR, par M. Macquorn Rankine, professeur à l'Universi  
Glasgow. Traduction par M. J.-B. Viollet, revue par M. l'abbé Mo  
B in-18 Jésus, 1 fr
- LES MÉTAMORPHOSES CHIMIQUES DU CARBONE. Leçons faites à un  
auditoire dans Royal-Institution, par M. William Odling. In-18 Jésus. 1 fr
- LES PHÉNOMÈNES ET LES THÉORIES ÉLECTRIQUES, programme  
cours en sept leçons, par M. le professeur Tyndall. In-18 Jésus, 1 fr
- SCIENCE ANGLAISE. Son bilan en 1869. Réunion à Exeter de l'Associ  
britannique pour l'avancement des sciences. 1 fr