

Passant à la théorie, Galvani admit l'existence d'un fluide vital, qu'après lui on a nommé aussi fluide galvanique ; mais immédiatement Volta s'inscrivit en faux contre cette nouvelle doctrine et tenta d'établir la théorie du contact. Pour Volta, l'électricité prend naissance au seul contact de deux métaux par la vertu d'une *force électromotrice*.

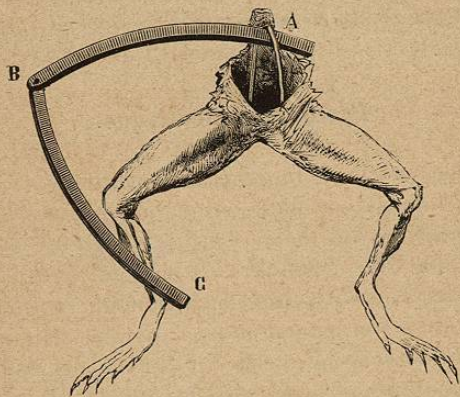


Fig. 1. — Expérience de Galvani.

En réalité, Galvani et Volta avaient raison tous les deux : les fonctions vitales sont accompagnées d'un dégagement d'électricité et le contact de deux métaux hétérogènes joue un certain rôle actif, peu précis il est vrai, dans la genèse électrique.

Cette électrogénie par le simple contact, la seule reconnue par Volta, avait été niée, bien souvent, depuis l'éclosion de la doctrine électro-chimique de Fabroni. Des expériences récentes, entre autres celles

de sir William Thomson<sup>1</sup> et celles de M. Lippmann<sup>2</sup>, ont cependant démontré péremptoirement sa réalité. Ces deux éminents physiciens sont même arrivés à obtenir des courants d'une durée qui peut être indéfinie, par l'électricité de contact.

Dans l'immense majorité des cas, la *théorie chimique* de Fabroni doit être préférée : ce sont les réactions chimiques qui dégagent l'électricité avec la plus grande abondance toutes les fois que l'on n'a pas recours à l'électrodynamisme ou à l'électromagnétisme.

L'instrument destiné à recueillir avec commodité l'électricité développée par ces réactions est dû à Volta et porte le nom devenu impropre de *pile* donné par ce physicien à son premier appareil disposé en colonne.

Le nombre des piles est aujourd'hui indéfini. Mais la répartition de l'électricité dans toute réaction chimique est gouvernée par la loi de Becquerel :

*S'il y a combinaison, le comburant est électrisé positivement, et le combustible négativement ; s'il y a décombinaison, le phénomène est inverse.*

On désigne par comburants, l'oxygène et les acides — ou les corps se comportant chimiquement comme tels — et par combustibles les bases.

Quant à la quantité d'électricité fournie dans

<sup>1</sup> J.-E.-H. Gordon. *Traité expérimental d'électricité et de magnétisme*, t. II, p. 138.

<sup>2</sup> Lippmann. *Relations entre les phénomènes électriques et capillaires*, in *Ann. de phys. et de chim.*, 5<sup>e</sup> série, vol. V, p. 512.

Voir aussi Boudet de Paris. *Electricité médicale*, p. 110.

l'unité de temps ou débit, elle est variable suivant certaines circonstances.

Elle dépend : 1° de la nature de la réaction ; cette influence porte le nom de *force électromotrice*, et elle entre comme coefficient constant dans l'équation du débit ;

2° De la *résistance*, ou *longueur réduite*, des circuits intérieur et extérieur. La résistance d'un circuit homogène est proportionnelle à sa longueur réelle, et en raison inverse de sa section droite et du coefficient spécifique de conductibilité électrique ; la résistance d'un circuit hétérogène est égale à la somme des résistances de ses éléments.

Soit  $R$  la résistance d'un circuit homogène,  $l$  sa longueur,  $s$  sa section et  $c$  son coefficient de conductibilité électrique. On a l'équation :

$$R = K \frac{l}{cs}$$

$K$  étant la résistance de l'unité de longueur et de l'unité de section du circuit.

Ohm et Pouillet ont montré, le premier par le calcul, le second par expérience, que :

*L'intensité du courant d'une pile déterminée est proportionnelle au quotient de la force électromotrice par la résistance totale du circuit.*

Soit donc  $e$  la *force électromotrice* de la pile,  $r$  sa résistance intérieure,  $R$  la résistance extérieure ; l'intensité  $i$  du courant sera donnée par le calcul :

$$i = \frac{e}{R + r}$$

Dans cette équation  $i$  et  $R + r$  sont susceptibles d'être évalués avec commodité et précision ;  $R + r$ , ou résistance totale, par les formules ci-dessus, et l'intensité  $i$  du courant par ses effets mécaniques, ou chimiques.

La force électromotrice sera déterminée par le produit :

$$e = i (R + r).$$

Associons maintenant un nombre  $n$  de piles ou éléments égaux entre eux :

*Association en série.* — Groupons tous ces éléments de façon que le négatif de l'un quelconque soit directement relié au positif d'un seul des autres. En passant de l'un d'entre eux au suivant il y a une différence de potentiel égale au potentiel d'un seul élément : la force électromotrice de la série est donc  $ne$  ; de plus, la résistance intérieure totale est aussi proportionnelle au nombre des éléments, et la résistance extérieure ne varie, pratiquement, que d'une façon négligeable.

L'intensité  $I$  du courant sera donc égale à :

$$I = \frac{nc}{R + nr}$$

*Association en surface.* — Si l'on réunit entre eux tous les pôles positifs des  $n$  éléments et entre eux tous les  $n$  pôles négatifs, tout se passe évidemment comme si l'on n'avait qu'un seul grand élément dont la surface de réaction serait  $n$  fois plus grande, et conséquemment la résistance intérieure  $n$  fois plus petite, que dans un petit élément, la force électro-

motrice et la résistance extérieure restant les mêmes.

La formule d'intensité est donc :

$$I = \frac{e}{R + \frac{r}{n}}$$

Ou ce qui revient au même :

$$I = \frac{ne}{nR + r}$$

En étudiant les deux formules d'association on voit que pour obtenir des éléments le courant d'intensité maxima, il faudra les grouper en série ou en surface selon que la résistance extérieure  $R$  à vaincre sera faible ou forte.

Avec les  $n$  éléments on peut aussi former  $p$  associations en surface (ou batteries) de  $q$  éléments montés d'abord en série.

On a dans ce cas :

$$I = \frac{ne}{pR + qr}$$

$\left\{ \begin{array}{l} n, \text{ nombre total des éléments.} \\ p, \text{ nombre des éléments en batterie.} \\ q, \text{ nombre des éléments en série.} \end{array} \right.$

et on démontre facilement que *pour obtenir d'une pile d'un nombre donné d'éléments un effet maximum, il faut associer ces éléments ou couples de manière que la différence des résistances intérieure et extérieure soit minima, nulle si possible.*

Il arrive assez souvent que sur le circuit extérieur on branche un circuit secondaire; il est dit *circuit de dé-*

*riation* et le courant qu'il parcourt *courant dérivé*.

Les courants dérivés sont soumis aux deux lois suivantes :

1° *L'intensité du courant dérivé est directement proportionnelle à l'intensité du courant primitif et en raison inverse de la résistance totale du circuit de dérivation.*

2° *La somme des intensités des courants dérivés égale l'intensité du courant primitif.*

Toutes les formules ci-dessus s'appliquent également aux piles thermo-électriques : seulement l'intensité du courant augmente, toutes choses égales d'ailleurs, avec la différence des températures des soudures, mais moins vite qu'elles.

Les réactions chimiques ne sont pas les seules sources d'électricité comme nous allons bientôt le voir. OErsted découvrit (fig. 2) en 1819 *qu'une aiguille*

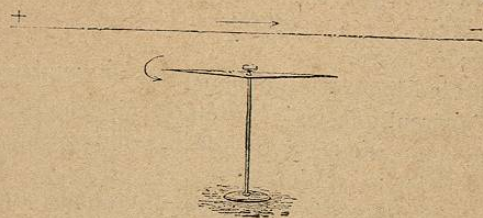


Fig. 2. — Expérience d'OErsted.

*aimantée mobile placée dans le voisinage d'un courant électrique s'écarte du méridien magnétique et s'approche d'autant plus de la perpendiculaire au courant que celui-ci est plus intense et plus rapproché; et peu après Ampère formula une règle,*

dite règle d'Ampère, donnant le sens de la déviation de l'aiguille :

L'observateur étant supposé placé dans le circuit face à l'aiguille et de telle façon que le courant entre par ses pieds et sorte par sa tête, le pôle austral est toujours dévié vers sa gauche.

Ce sont sur ces propriétés fondamentales de l'électromagnétisme que Schweigger a fondé le galvanomètre ou rhéomètre, instrument destiné à indiquer le passage d'un courant dans un conducteur, par la déviation d'une aiguille aimantée : le sens de cette déviation fait connaître celui du courant, et l'amplitude en mesure l'intensité

Les galvanomètres se graduent par expérience; s'ils sont destinés à mesurer des courants dont la résistance est faible, leur sensibilité est proportionnelle à la section du fil et indépendante du nombre de tours de ce fil; si la résistance est au contraire très grande, la sensibilité est proportionnelle au nombre de tours.

Après la découverte fondamentale d'Oersted, Ampère s'aperçut que les courants agissaient et réagissaient les uns sur les autres et il établit la série des lois suivantes :

1° Deux courants parallèles de même sens se repoussent, et de sens contraires s'attirent.

2° Les actions entre deux éléments de courants parallèles sont proportionnelles aux intensités de ces courants et en raison inverse du carré de leur distance.

3° Deux courants rectilignes angulaires se repoussent lorsqu'ils s'approchent ou s'éloignent tous

les deux du sommet de l'angle; ils s'attirent si l'un d'eux circule vers le sommet quand l'autre s'en éloigne.

4° Dans un même courant chacun de ses éléments repousse le suivant et en est repoussé.

5° Un courant sinueux se comporte exactement de la même façon qu'un courant rectiligne dont la projection sur la direction du courant influencé est égale.

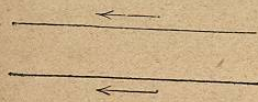


Fig. 3. — Courants parallèles de même sens.

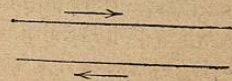


Fig. 4. — Courants parallèles de sens contraires.

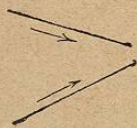


Fig. 5. — Courants angulaires convergents.



Fig. 6. — Courants angulaires divergents.

Si des deux courants en présence l'un est mobile et l'autre fixe, le courant mobile prendra un mouvement qui, suivant les agencements du système, sera parallèle au courant dans l'un ou l'autre sens ou se transformera en rotation continue.

Par la seule application de la loi universelle d'égalité entre l'action et la réaction, on peut prévoir que si un courant électrique fixe fait dévier du méridien

magnétique une aiguille aimantée mobile, réciproquement si le barreau aimanté est fixe et le courant mobile, celui-ci vient se mettre en croix avec le barreau de telle façon que le pôle boréal de celui-ci reste à la droite du courant.

Les expériences d'Ampère peuvent toutes être répétées en faisant agir et réagir les uns sur les autres les courants et les aimants.

Cette parfaite équivalence entre les phénomènes électriques proprement dits et les phénomènes électromagnétiques conduisit Ampère à assimiler le magnétisme à l'électricité.

Il composa les *solénoïdes* (fig. 7, 8 et 9) ou sys-

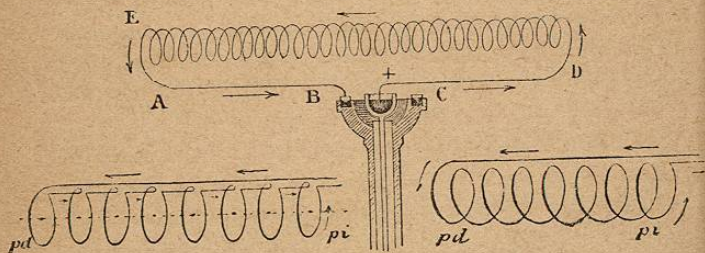


Fig. 7, 8 et 9. — Solénoïdes d'Ampère.

tèmes de courants circulaires égaux et parallèles formés d'un fil d'archal replié sur lui-même comme un ressort en hélice, et il fit voir que ces appareils se comportent exactement comme des barreaux aimantés.

Pour lui, des courants circulaires électriques existeraient autour des molécules des substances magnétiques. Quand ces substances ne sont pas aimantées,

les courants sont dirigés en tous sens et se détruisent ; mais l'aimantation a précisément pour effet de les faire circuler dans des sens parallèles et de les fixer sur des axes rectilignes et parallèles. L'aiguille ou le barreau aimanté ne serait donc qu'une réunion ou faisceau de solénoïdes. Les *courants d'Ampère* sont dirigés dans un aimant dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre au pôle sud ou boréal, et en sens contraire au pôle nord ou austral.

L'aimantation serait d'ailleurs provoquée par des courants électriques circulant autour de la Terre de l'ouest à l'est et dus à des variations thermiques.

La Terre agit donc elle aussi comme un aimant et tout courant vertical mobile autour d'un axe parallèle vient se fixer après quelques oscillations dans un plan perpendiculaire au méridien magnétique : à l'est de son axe de rotation lorsqu'il est descendant, et à l'ouest quand il est ascendant.

En un mot, tout se passe comme s'il existait à l'intérieur de la Terre un puissant aimant à peu près parallèle à la ligne des pôles géographiques.

Arago a montré qu'un courant électrique peut aussi, tout comme le Globe terrestre, aimanter certaines substances dites magnétiques, au premier rang desquelles est le fer. Si c'est du fer doux, l'aimantation n'est que temporaire et d'autant plus courte que le fer est plus pur. Pour le fer complètement pur, l'aimantation ne dure que seulement pendant le passage du courant ; on a ainsi un *électro-aimant*.

En général, les électro-aimants sont disposés en

fer à cheval et on enroule sur leurs deux branches un grand nombre de spires de fil de cuivre recouvert de soie (fig. 10). L'enroulement se fait d'ailleurs

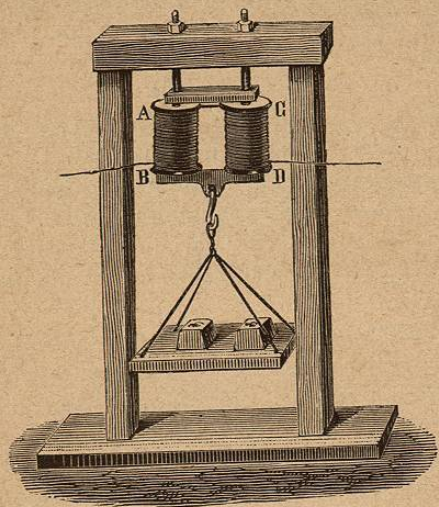


Fig. 10. — Electro-aimant.

en sens inverse sur les deux branches, de manière que celles-ci représentent chacune un pôle différent<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Nous répétons ici la formule commune à tous les traités de physique ; mais, telle qu'elle est présentée, elle provoque presque généralement une interprétation erronée. On est, par elle, porté à regarder l'emboînage du fil en sens inverse, sur les deux branches de l'électro-aimant, comme nécessaire, et une telle vue serait inexacte, d'autant que, dans l'industrie, les deux bobines sont identiques et semblablement placées.

La condition vraiment nécessaire à l'obtention de la double polarité est celle-ci, que le courant doit circuler en sens inverses

Lenz et Jacobi ont trouvé qu'approximativement :  
*La puissance d'un électro-aimant est proportionnelle : 1° à l'intensité du courant magnétisant ; 2° au nombre de spires de l'hélice ; 3° à la racine carrée du diamètre du barreau.*

Mais on démontre, comme pour les piles, que *pour obtenir le maximum d'effet, la résistance de la bobine doit égaler la somme des résistances à vaincre.* Si donc celles-ci sont très grandes, on entourera la bobine d'un fil long et fin ; si elles sont faibles, le fil devra être gros et court.

Quand le courant d'aimantation est très intense, comme dans les grandes machines dynamo-électriques, la puissance de l'électro-aimant croît beaucoup plus vite que la racine carrée du diamètre du barreau.

*dans les deux bobines, dans l'une a dextrorsum, dans l'autre a sinistrorsum.* Or, cette condition essentielle est susceptible d'être réalisée de deux façons doubles, soit distinctement quatre façons. Tout dépend du mode de liaison électrique établi entre les bobines.

1° et 2° Le courant est ascendant ou descendant dans les deux branches : celles-ci doivent être embobinées en sens inverses.

3° et 4° Le courant est ascendant dans une branche et descendant dans l'autre : ces deux branches doivent être embobinées dans le même sens.

Comme nous venons de le dire, c'est ce dernier mode qui est usuellement employé. Le courant arrive à l'une des bobines, traverse la totalité des spires et passe dans le circuit total de la seconde bobine, soit par l'intermédiaire du fer doux de l'aimant et l'on dit que *le courant est à la masse*, soit par la liaison directe des extrémités *semblables* des deux fils ; il retourne ensuite au négatif de l'électromoteur : de cette façon le courant est bien ascendant dans une branche et descendant dans l'autre, bien que celles-ci soient identiques et sortent la plupart du temps du même rouet.

L'aimantation des électro-aimants persiste quelquefois après le passage du courant : cela tient soit à l'impureté du fer, soit à l'aimantation de l'armature qui réagit au contact sur les pôles de l'électro-aimant. Ce *magnétisme rémanent* se corrige dans le premier cas en substituant au fer employé un fer parfaitement doux, et dans le second en empêchant tout contact direct de l'armature avec l'aimant.

Si les hydro-électromoteurs étaient, il y a une trentaine d'années, les plus puissantes sources d'électricité connues, elles le cèdent aujourd'hui sous ce rapport, comme nous l'avons déjà dit, aux phénomènes de l'électrodynamisme et aux phénomènes de l'électromagnétisme.

Les courants d'induction ou *courants induits*, découverts par Faraday en 1832, se développent dans des conducteurs métalliques fermés par leur seul déplacement dans le voisinage d'un courant électrique, d'un aimant ou même sous la seule influence du magnétisme terrestre. Ces agents divers qui provoquent des courants induits sont dits *courants inducteurs*.

Le circuit total des courants induits est dit *l'induit*, et celui des courants inducteurs se nomme *inducteur*.

Tous les phénomènes d'influence que nous avons étudiés plus haut sont considérés aujourd'hui comme de simples phénomènes d'induction. Ceux-ci, en effet, tout comme les premiers, sont presque instantanés et ne se produisent qu'au moment où le courant inducteur commence ou finit, croît ou décroît, s'approche ou s'éloigne.

Quant au sens du courant induit par rapport au courant inducteur considéré comme direct, il se détermine par l'une des règles suivantes :

1° *Quand un courant inducteur qui commence, croît ou se rapproche, le courant induit est inverse;*

2° *Quand un courant inducteur finit, décroît ou s'éloigne, le courant induit est direct;*

3° *Quand un courant est continu, constant et fixe, il ne se produit pas de courant dans un circuit conducteur fermé et voisin.*

Lenz a trouvé la loi qui lie les courants inducteurs et induits quand leur distance varie.

Loi de Lenz : *Quand un courant ou un aimant se déplace par rapport à un circuit conducteur fermé et voisin, il naît dans celui-ci un courant induit de sens tel qu'en réagissant suivant les lois de l'électrodynamisme sur l'inducteur, il lui ferait prendre un mouvement inverse de celui auquel est due l'induction.*

Dans cette loi, l'aimant qui provoque l'induction peut même être remplacé par le magnétisme terrestre.

Deux circuits ne sont d'ailleurs pas nécessaires pour donner lieu aux phénomènes d'induction.

*Lorsqu'on vient à ouvrir un même circuit formé d'un long fil fin d'archal enroulé un grand nombre de fois sur lui-même, comme dans une bobine, il se produit une vive étincelle.* Faraday a admis que chacune des spires provoque sur les spires qui l'entourent une action telle qu'un nouveau courant direct circule dans toute la longueur du conducteur. C'est ce courant qu'il a nommé *l'extra-courant d'ouver-*

ture. Si le fil est gros et court, cet extra-courant est presque nul.

Quand on ferme le circuit, il se produit bien encore, en effet, un extra-courant dit *extra-courant de fermeture*; mais celui-ci étant, d'après les règles indiquées plus haut, de sens inverse au sens du courant principal, il ne possède qu'une très faible intensité. Le premier est encore appelé *extra-courant inverse* et le second *extra-courant direct*.

Lorsque l'induit est ouvert, il ne peut se produire un courant dans sa longueur, mais l'expérience montre que l'électricité se condense à chacune de ses extrémités avec des *tensions proportionnelles à l'intensité du courant inducteur et au produit des longueurs de l'inducteur et de l'induit*.

En résumé, voici les lois auxquelles l'induction est soumise; elles ont été formulées par Matteucci :

1° *L'intensité d'un courant induit est en raison inverse de sa durée;*

2° *La quantité d'électricité donnée par les courants induits, soit direct, soit inverse, est la même; mais l'intensité du premier est bien plus grande que celle du second;*

3° *L'intensité d'un courant induit est proportionnelle à celle du courant inducteur et au produit des longueurs de l'inducteur et de l'induit;*

4° *Les quantités d'électricité produites dans un même élément de temps entre des éléments de l'inducteur et de l'induit sont inversement proportionnelles aux distances de ces éléments.*

Ce sont sur les lois de l'induction que sont fondées la plupart des grandes machines électriques;

dans toutes on trouve qu'un circuit conducteur fermé se déplace dans un champ magnétique ou mieux électromagnétique et les courants induits directs et indirects sont recueillis soit alternativement — et l'on dit que la machine est à *courants alternatifs* — soit d'une façon discontinue, mais de telle manière que les deux conduites collectrices ne reçoivent chacune que les courants de même espèce. Ce dernier genre de machine est dit à *courants redressés* ou *continus*. Ce redressement des courants s'obtient à l'aide d'appareils spéciaux nommés *commutateurs*, et la dénomination de continus qu'on leur attribue — dénomination évidemment inexacte au fond — leur vient de ce que deux courants induits successifs se suivent à des intervalles de temps ( $\frac{1}{200}$  de seconde, au minimum) absolument négligeables.