

Ganot, A.. Traité de physique expérimentale et appliquée et de météorologie. 1868.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :

*La réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source.

*La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

Cliquer [ici](#) pour accéder aux tarifs et à la licence

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

*des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

*des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter reutilisation@bnf.fr.

LIVRE X

ÉLECTRICITÉ A L'ÉTAT DYNAMIQUE.

CHAPITRE PREMIER.

PILE VOLTAÏQUE; SES MODIFICATIONS.

690. **Expérience et théorie de Galvani.** — C'est à Galvani, professeur d'anatomie à Bologne, qu'est due l'expérience fondamentale qui a fait découvrir l'électricité dynamique (632), ou le *galvanisme*, cette branche nouvelle de la physique, si remarquable par les nombreuses applications qu'elle a reçues depuis un demi-siècle.

Galvani étudiait depuis plusieurs années l'influence de l'électricité sur l'irritabilité nerveuse des animaux, et particulièrement de la grenouille, lorsqu'en 1786 il eut occasion d'observer que les nerfs lombaires d'une grenouille morte s'étant trouvés en communication, par un circuit métallique, avec les muscles cruraux, ceux-ci se contractèrent vivement.

Pour répéter l'expérience de Galvani, on écorche une grenouille encore vivante, et on la coupe au-dessous des membres antérieurs (fig. 584); puis, après avoir mis à nu les nerfs lombaires, situés des deux côtés de la colonne vertébrale sous la forme de filets blancs, on prend un conducteur métallique formé de deux arcs, zinc et cuivre, et, introduisant l'un d'eux entre les nerfs et la colonne vertébrale, on fait toucher l'autre aux muscles de l'une des cuisses ou des jambes. A chaque contact, les muscles se replient et s'agitent, et cette moitié de grenouille semble reprendre vie pour sauter.

Galvani, qui déjà avait reconnu, dès 1780, que l'électricité des machines électriques produisait des commotions analogues sur les grenouilles mortes, attribua le phénomène que nous venons de décrire à l'existence d'une électricité inhérente à l'animal; il admit que cette électricité, qu'il désigna sous le nom de *fluide vital*, passait des nerfs aux muscles par l'arc métallique, et était alors la cause de la contraction.

Sous le nom d'*électricité animale*, ou de *fluide galvanique*, un grand nombre de savants, et les physiologistes surtout, adop-

tèrent la théorie de Galvani. Celle-ci rencontra cependant des contradicteurs, dont le plus ardent fut Volta, professeur de physique

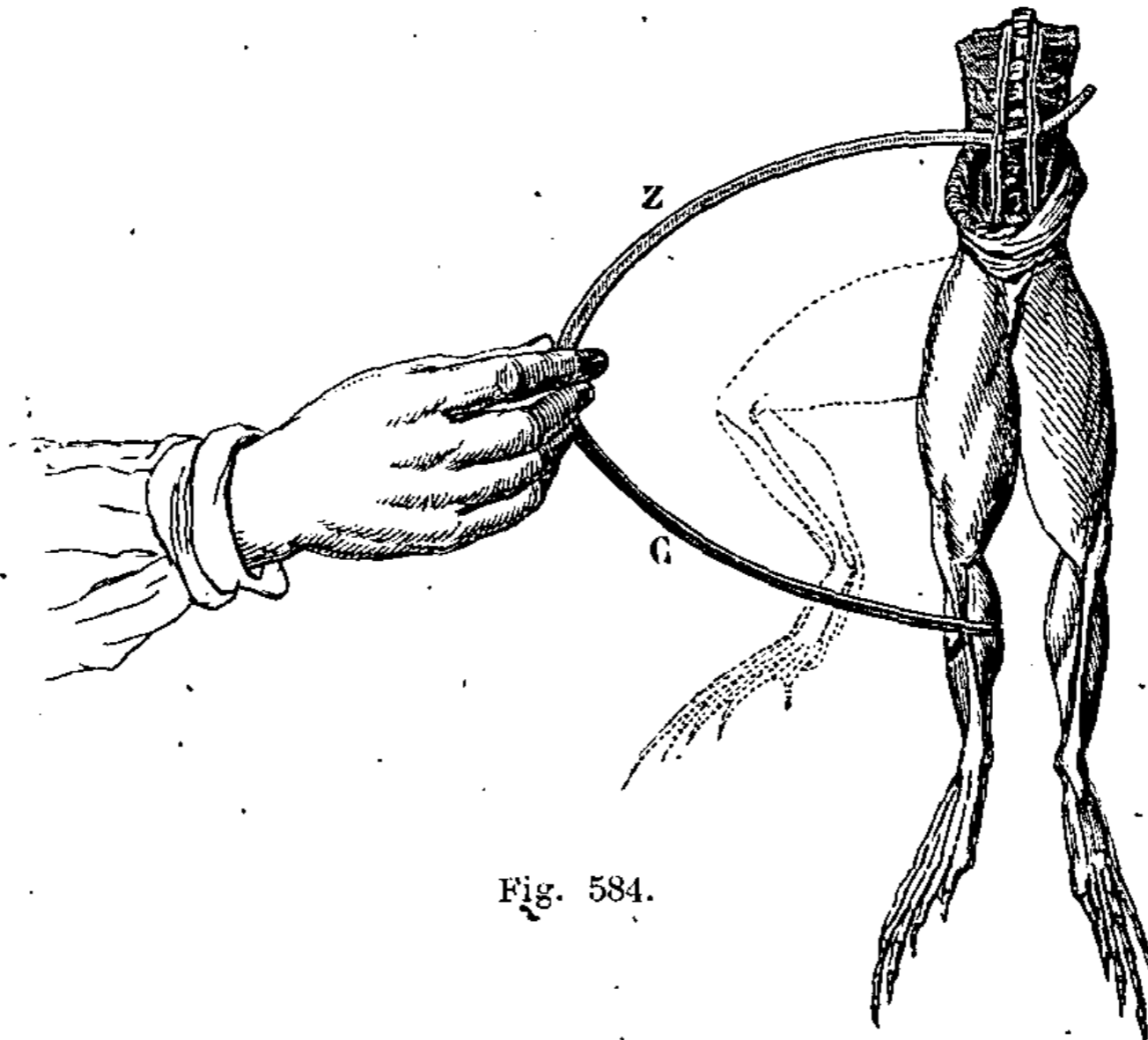


Fig. 584.

à Pavie, déjà connu par l'invention de l'électrophore, de l'électromètre condensateur et de l'eudiomètre.

691. **Expérience de Volta.** — L'attention de Galvani s'était portée exclusivement sur les nerfs et les muscles de la grenouille; celle de Volta se porta sur les métaux qui servent à établir la communication. Se fondant sur l'observation, qui n'avait point échappé à Galvani, que la contraction musculaire est beaucoup plus énergique lorsque l'arc est composé de deux métaux que lorsqu'il l'est d'un seul, Volta attribua aux métaux le rôle actif dans le phénomène de la contraction. Il admit que c'était par l'effet même de leur contact qu'il y avait dégagement d'électricité, et que les parties animales ne jouaient là que le rôle de conducteur, et, en même temps, d'électroscope très-sensible.

A l'aide de l'électromètre condensateur qu'il venait d'inventer, Volta parut en effet démontrer, par de nombreuses expériences, le développement de l'électricité au contact des métaux. Nous citerons la suivante, facile à répéter. Ayant soudé ensemble, par leurs bouts, deux lames étroites, l'une de cuivre, l'autre de zinc, on pose le doigt mouillé sur le plateau supérieur de l'électromètre condensateur (fig. 572, p. 661), puis tenant la lame de zinc de l'autre main, on touche le plateau inférieur avec la lame de cuivre;

rompant ensuite les communications et enlevant le plateau supérieur (fig. 573), les feuilles d'or divergent, et l'on constate qu'elles sont électrisées négativement, ce qui conduit à admettre que, soudés ensemble, le cuivre s'est chargé d'électricité négative et le zinc d'électricité positive. Du reste, dans cette expérience, l'électricité ne peut être attribuée au frottement ou à la pression, car si, retournant les lames cz , on touche le plateau du condensateur, qui est de cuivre, avec la lame de zinc z , en tenant à la main la lame de cuivre c qui lui est soudée, on n'obtient aucune trace d'électricité.

Une lutte mémorable s'engagea alors entre Volta et Galvani. Ce dernier, soutenant avec une profonde conviction sa théorie de l'électricité animale, fit voir que la présence de deux métaux n'était pas indispensable à la production du phénomène, et qu'on obtient des contractions en posant sur un bain de mercure très-pur une grenouille morte et fraîchement préparée. Enfin, il fit voir qu'en rapprochant les nerfs lombaires de la grenouille des muscles cruraux, il se produit, au moment du contact, une vive contraction. Or, dans cette dernière expérience, les métaux ne jouaient plus aucun rôle, et la théorie de Galvani paraissait victorieuse; mais Volta la combattit alors en donnant plus d'extension à sa théorie du contact, et en posant ce principe général, que *deux substances hétérogènes quelconques, mises en contact, se constituent toujours, l'une à l'état positif, l'autre à l'état négatif.*

Cependant Galvani fit une dernière expérience dans laquelle il était impossible d'admettre un effet de contact, puisqu'il ne faisait toucher que des substances homogènes. Il plaça sur un disque de verre une cuisse de grenouille munie de son nerf lombaire, et à côté une seconde cuisse disposée de la même manière, ayant posé le nerf de la seconde sur celui de la première, en sorte qu'au point de contact il n'y eût que de la substance nerveuse, il fit toucher les deux-cuisses, et obtint une forte contraction. Galvani était donc parvenu à démontrer l'existence de l'électricité animale, mise en évidence de nos jours par M. Matteucci, sous le nom de *courant propre* de la grenouille.

692. **Théorie de Volta.** — Volta, physicien avant tout, et ne considérant que les conditions physiques du problème, rejeta la théorie de l'électricité animale, et admit exclusivement la théorie du contact, qui peut se formuler par les deux principes suivants :

1° Le contact de deux corps hétérogènes donne toujours naissance à une force que Volta a désignée sous le nom de *force électromotrice*, et qui a pour caractère non-seulement de décomposer

une partie de leur électricité naturelle, mais encore de s'opposer à la recombinaison des électricités contraires accumulées sur les deux corps en contact.

2° Lorsque deux substances hétérogènes sont en contact, la différence algébrique de leur état électrique est constante pour les mêmes corps, dans quelques conditions qu'on les place, et égale à la force électromotrice. C'est-à-dire que si l'on enlève aux deux corps, ou si on leur communique une quantité quelconque d'électricité, la différence de leur état électrique relatif n'est pas modifiée : dans le premier cas, la force électromotrice reproduit immédiatement une quantité d'électricité égale à celle qui a été soustraite; dans le second, l'excès d'électricité communiqué se distribue également sur les deux corps, d'où il résulte que la différence des deux états électriques reste la même. Par exemple, deux disques, zinc et cuivre, étant mis en contact et isolés tous les deux, si l'on représente par $+4$ l'électricité positive du zinc, et par -4 l'électricité négative du cuivre, et qu'on communique à ce système une quantité d'électricité positive 20, on aura sur le zinc $20 + 4$, ou 24, et sur le cuivre $20 - 4$, ou 16. Or, la différence, qui était 2 entre les états électriques $+4$ et -4 , est encore 2 entre les états électriques 24 et 16.

La force électromotrice admise par Volta ne dégageant pas la même quantité d'électricité au contact de toutes les substances, ce physicien divisa les corps en *bons électromoteurs* et en *faibles électromoteurs*. Dans la première classe sont les métaux et le charbon bien calciné; dans la seconde, les liquides et, en général, les corps non métalliques. Les métaux eux-mêmes ne sont pas également bons électromoteurs; le zinc et le cuivre soudés ensemble sont deux des meilleurs électromoteurs. Enfin, l'espèce d'électricité développée change avec la nature des substances en contact. Le zinc, le fer, l'étain, le plomb, le bismuth et l'antimoine s'électrisent positivement dans leur contact avec le cuivre; dans le même cas, l'or, l'argent et le platine s'électrisent négativement.

C'est en se basant sur la théorie du contact que Volta fut conduit à inventer le merveilleux appareil qui a immortalisé son nom. Cette théorie cependant ne tarda pas, elle aussi, comme celle de Galvani, à rencontrer de nombreux contradicteurs, et c'est uniquement aux actions chimiques, ainsi qu'on le verra ci-après (702), qu'on attribue aujourd'hui le dégagement d'électricité que Volta attribuait au contact.

693. **Pile de Volta.** — On donne le nom général de *pile* à tous les appareils qui servent à développer de l'électricité dynamique. Le premier appareil de ce genre, inventé par Volta en 1800, se

compose d'une suite de disques empilés les uns sur les autres dans l'ordre suivant: un disque de cuivre, un disque de zinc, une rondelle de drap mouillée d'eau acidulée; puis encore un disque de cuivre, un disque de zinc, une rondelle de drap, et ainsi de suite, toujours dans le même ordre, comme le montre la figure 585. De là la dénomination de *pile*, qui est restée, quoique cet appareil ait reçu des dispositions tout à fait différentes. On soude ordinairement ensemble, deux par deux, les disques de zinc et de cuivre, de manière à former des *couples* séparés par des rondelles humides, et maintenus verticalement par trois tubes de verre pleins, comme le montre le dessin. La forme de cet appareil lui a fait donner le nom de *pile à colonne*.

La distribution de l'électricité n'est pas la même dans cette pile, selon qu'elle est en communication avec le sol par l'une de ses extrémités, ou selon qu'elle est isolée; ce qui s'obtient en la posant sur un plateau de verre ou de résine, ou même sur du bois, qui ne conduit pas, d'une manière sensible, l'électricité de la pile.

Dans le premier cas, l'expérience montre que l'extrémité en communication avec le sol est à l'état neutre, et que le reste de la pile ne contient qu'une espèce d'électricité, qui est positive, si c'est par un disque de cuivre que se termine l'extrémité de la pile communiquant au sol, et négative, si c'est par un disque de zinc. Quant à la tension, elle devrait croître, dans la théorie de Volta (692, 2°), proportionnellement au nombre des couples; mais l'expérience montre qu'elle croît moins vite.

La distribution de l'électricité n'est plus la même dans la pile isolée. On constate alors, au moyen du plan d'épreuve et de la balance de Coulomb, que la partie médiane est à l'état neutre, que chaque moitié est tout entière chargée, l'une d'électricité positive, l'autre d'électricité négative, et que la tension croît de part et d'autre, du milieu jusqu'aux extrémités. On verra ci-après (695 et 702) à quels caractères on distingue quelle est l'extrémité positive ou négative de la pile.

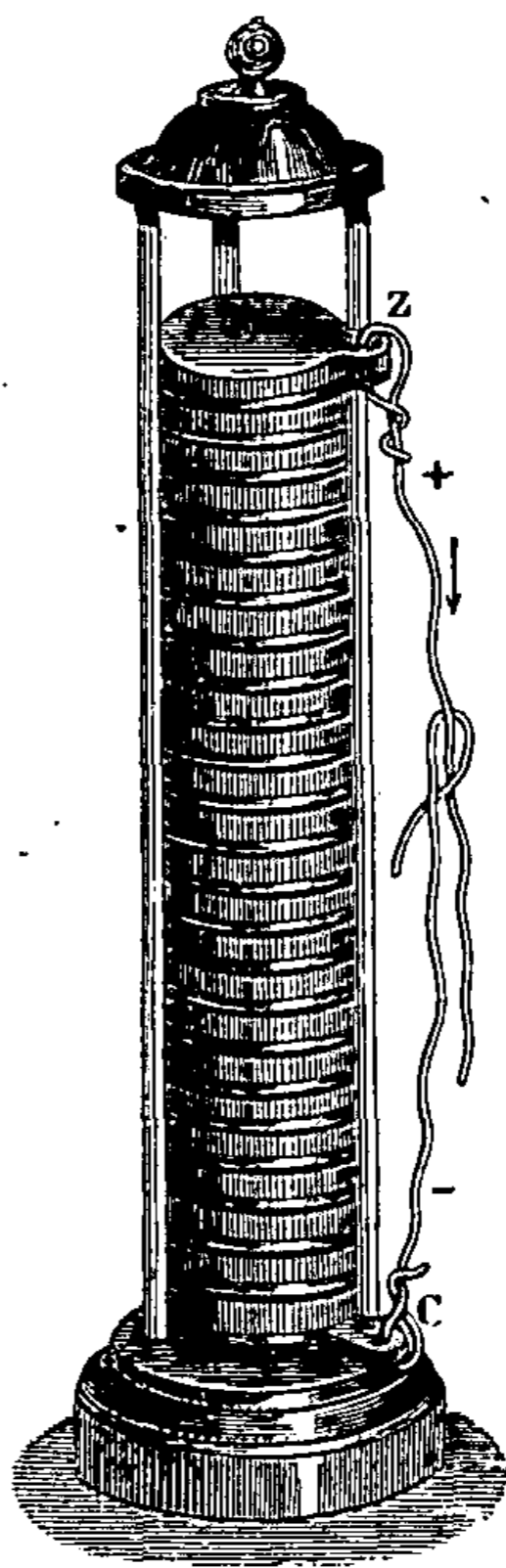


Fig. 585

694. **Tension de la pile.** — La *tension* d'une pile est la tendance de l'électricité accumulée aux extrémités à se dégager et à vaincre les résistances qui s'opposent à son déplacement. On ne doit pas confondre la tension d'une pile avec la *quantité* d'électricité qu'elle peut dégager. La tension dépend surtout du nombre des couples, tandis que la quantité d'électricité, toutes choses égales d'ailleurs, dépend de leur surface. Plus cette surface est grande, plus, à tension égale, la quantité d'électricité qui circule dans la pile est considérable. Cette quantité croît aussi avec la conductibilité du liquide interposé entre les couples. La tension, au contraire, est indépendante de la nature de ce liquide.

A moins d'un nombre de couples considérable, la tension, aux extrémités de la pile, est toujours beaucoup plus faible que dans les machines électriques. En effet, non-seulement chaque extrémité, considérée seule, ne donne pas d'étincelle, mais elle n'attire pas les corps légers, et ce n'est qu'à l'aide de l'électromètre condensateur à feuilles d'or qu'on parvient à rendre la tension sensible. Pour cela, on fait communiquer l'un des plateaux de l'électromètre avec l'une des extrémités de la pile, et l'autre avec l'autre extrémité ou avec le sol. L'appareil se charge alors instantanément, et rompant les communications, on voit les feuilles d'or diverger. On peut de même charger une bouteille de Leyde lorsqu'on fait communiquer l'armature intérieure avec l'une des extrémités de la pile et l'armature extérieure avec l'autre; mais cette charge est beaucoup plus faible que celle fournie par la machine électrique.

695. **Pôles, électrodes, courant.** — Dans une pile, on nomme *pôle positif*, l'extrémité où tend à s'accumuler le fluide positif, et *pôle négatif*, celle où tend à s'accumuler le fluide négatif. C'est le dernier zinc qui est le pôle positif, et le dernier cuivre, le pôle négatif; mais comme, dans la pile à colonne décrite ci-dessus (693), on peut supprimer le zinc supérieur sans rien changer à la distribution de l'électricité, en sorte que chaque pôle correspond alors à un cuivre, et comme il en sera de même dans les diverses piles qu'il nous reste à faire connaître, il en résulte qu'il y aurait confusion si l'on désignait les pôles par les noms des métaux auxquels ils correspondent. En un mot, ce n'est pas la nature des métaux qui terminent la pile qui doit déterminer tel ou tel pôle, mais l'ordre dans lequel ces métaux sont disposés. C'est-à-dire que le pôle positif est toujours à l'extrémité vers laquelle les zincs de chaque couple sont tournés, et le pôle négatif à l'extrémité vers laquelle sont tournés tous les cuivres; ou bien, ajoutons qu'en traitant de l'électricité dégagée dans les actions chimiques (702), on verra que, dans toutes les piles, c'est toujours le métal non attaqué par l'acide,

c'est-à-dire le cuivre, qui est positif, et le métal attaqué, c'est-à-dire le zinc, qui est négatif, qu'il soit ou non soudé à un appendice de cuivre.

On appelle *électrodes*, ou *réophores*, deux fils métalliques fixés aux pôles de la pile (fig. 585), et destinés à les faire communiquer entre eux, en sorte que les extrémités de ces fils deviennent elles-mêmes les pôles.

Enfin, on désigne sous le nom de *courant*, la recombinaison des électricités contraires qui s'opère d'un pôle à l'autre d'une pile, lorsqu'ils communiquent entre eux au moyen des électrodes ou d'un corps conducteur quelconque. Les effets des piles démontrent que les courants sont continus, ce qui prouve qu'à mesure que les deux électricités se réunissent par le fil conjonctif, la force électromotrice, ou plutôt l'action chimique, décompose une nouvelle quantité d'électricité neutre dans la pile. Le courant ne commence qu'au moment où les deux pôles sont mis en communication par un corps conducteur, ce qu'on exprime en disant que le *courant est fermé*. Les effets de l'électricité à l'état de tension cessent alors, mais de nouveaux effets apparaissent, qui caractérisent les courants, et qui seront décrits en parlant des effets des piles.

Dans la théorie des deux fluides, il y a réellement deux courants, l'un, de fluide positif, allant extérieurement du pôle positif au pôle négatif de la pile; l'autre, de fluide négatif, marchant en sens contraire; mais, dans tous les phénomènes que présentent les courants, on est convenu de ne considérer que le *courant positif*, c'est-à-dire celui qui va du pôle positif au pôle négatif dans les électrodes, et du pôle négatif au pôle positif dans l'intérieur de la pile.

Dans l'hypothèse d'un seul fluide électrique, qui serait l'éther (638), le courant électrique n'est autre chose que l'écoulement de ce fluide dans les conducteurs, c'est-à-dire un transport réel dans un seul sens, du pôle positif au pôle négatif, un véritable *flux*, sous la forme d'ondes successives qui ne se confondent en aucune façon avec les ondes lumineuses. « Né dans la pile, ce flux se continue dans le conducteur, et si nous considérons l'ensemble du circuit ainsi formé, il nous sera facile de voir que l'action chimique, l'électricité, la chaleur, le travail mécanique, s'y produisent suivant cette loi de transformation mutuelle à laquelle nous nous sommes efforcés de réduire tous les phénomènes physiques. » (Sai-gey, *la Physique moderne*.)

Dans cette hypothèse, le courant positif serait de l'éther en excès, et le courant négatif, de l'éther en moins.

DIVERSES MODIFICATIONS DE LA PILE.

696. **Pile à auges.** — La pile de Volta a reçu diverses dispositions. Celle que nous avons décrite ci-dessus (693) présente l'inconvénient que les rondelles de drap, comprimées par le poids des disques, laissent écouler le liquide dont elles sont imbibées.

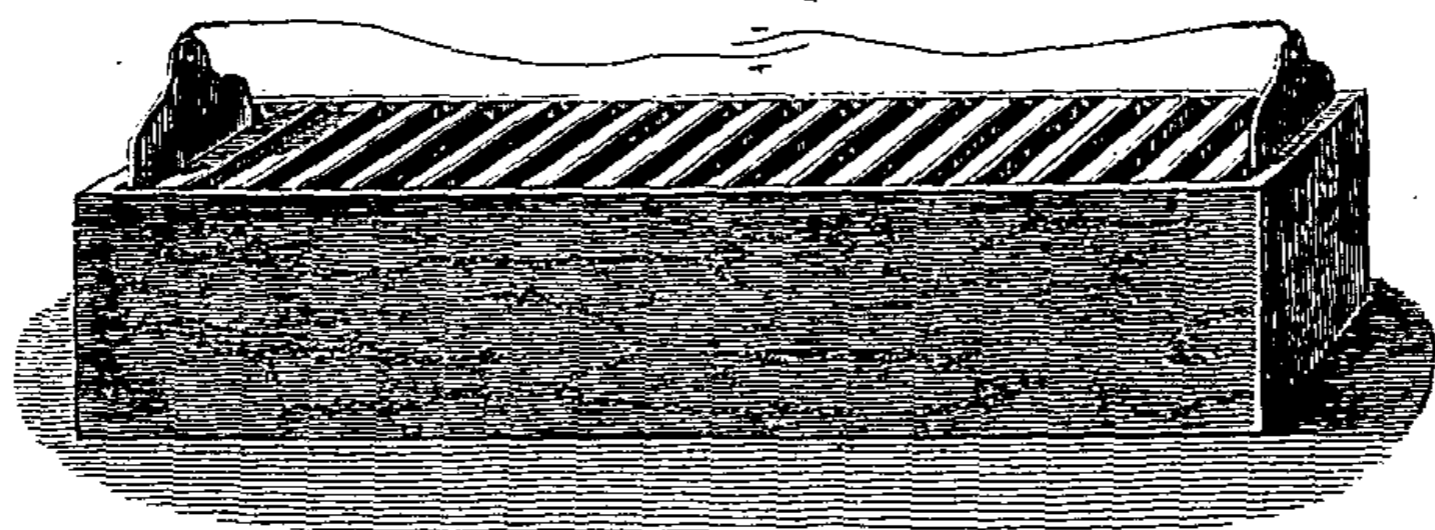


Fig. 586.

C'est pour cette raison qu'on adopta promptement la *pile à auges*, due à Cruikshank, laquelle n'est, pour ainsi dire, qu'une pile à colonne horizontale. Elle se compose d'une boîte rectangulaire de bois, enduite intérieurement d'un mastic isolant (fig. 586). Les plaques zinc et cuivre, soudées entre elles deux par deux, forment des couples qui ont une grandeur égale à la section intérieure de la boîte et qui sont fixés dans le mastic, de manière qu'il y ait, d'un couple à l'autre, des intervalles peu considérables formant autant de compartiments ou *auges*. Dans celles-ci, on verse un mélange d'eau et d'acide sulfurique, qui produit le même effet que les rondelles dans la pile à colonne; les deux pôles communiquent entre eux au moyen de fils métalliques soudés à deux plaques de cuivre qui plongent dans les auges extrêmes. On verra ci-après (704) la théorie chimique de cette pile, théorie qui est aussi celle de la pile à colonne et de la pile de Wollaston.

697. **Pile de Wollaston.** — La *pile de Wollaston*, ou *pile à bocaux*, est encore une modification de la pile de Volta, mais une modification importante, parce qu'elle est disposée de manière qu'on peut facilement ne mettre la pile en activité que juste le temps pendant lequel on veut utiliser le courant.

La figure 587 montre une coupe verticale de deux couples de la pile de Wollaston, et la figure 588 représente séparément le zinc et le cuivre destinés à plonger dans un même bocal. Les zincs Z sont taillés en plaques rectangulaires d'une épaisseur de 4 à 5 millimètres, sur environ une hauteur de 20 centimètres et une largeur de 45. Les cuivres sont des feuilles minces C de même lar-

geur que les zincs, et recourbées de manière à les envelopper sur leurs deux faces, mais sans les toucher, étant maintenues à distance par de petits morceaux de liège ou de bois. De chaque feuille

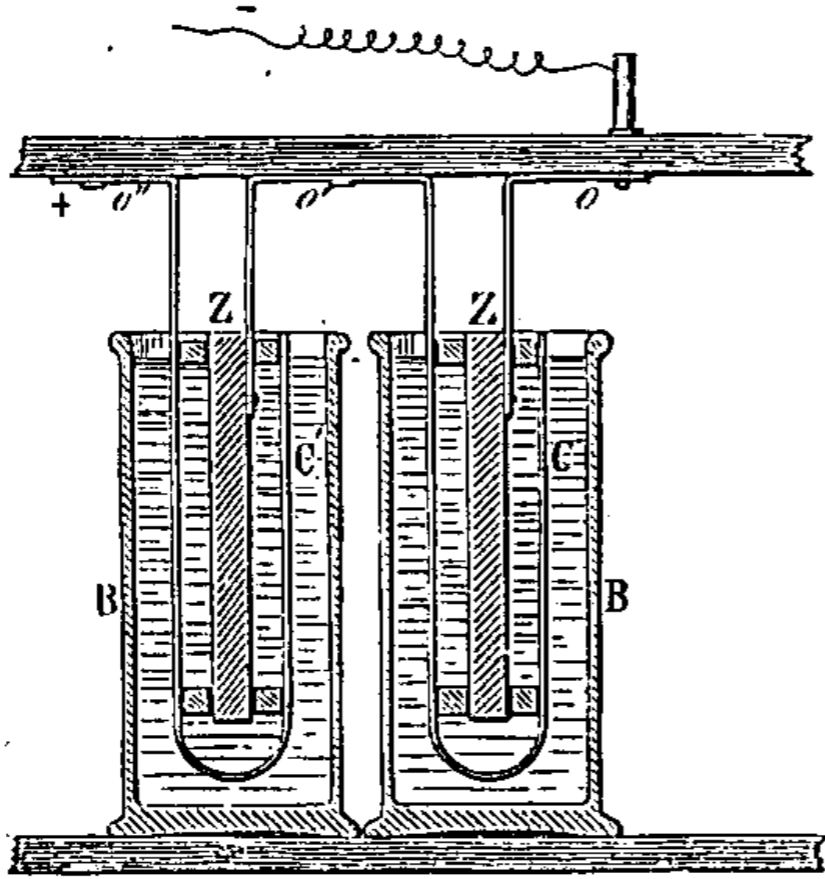


Fig. 587.

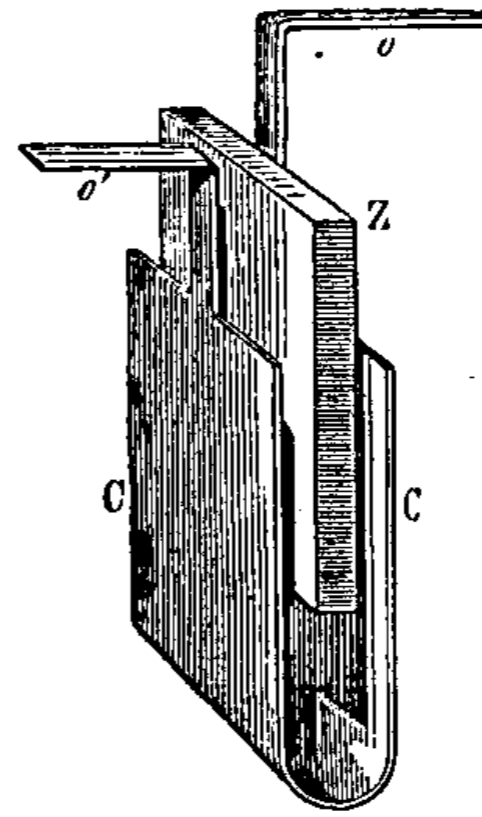


Fig. 588.

de cuivre part une lame étroite *o* qui se prolonge, et, se recourbant deux fois à angle droit, va se souder au zinc du couple sui-

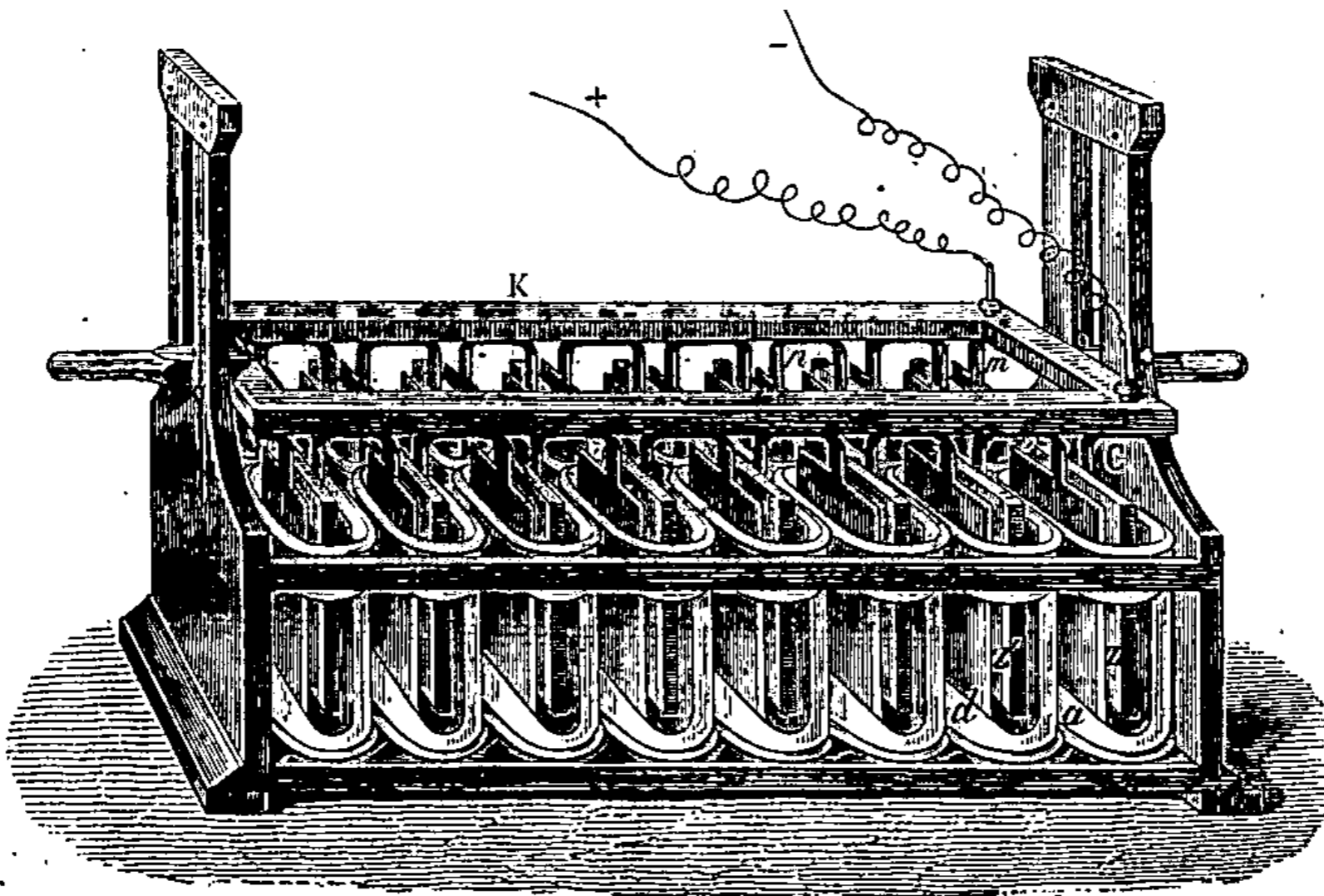


Fig. 589 (*l* = 85).

vant. La figure 587 fait voir comment la première lame étroite *o* est soudée au premier zinc *Z*; puis comment autour de celui-ci s'enroule la première lame de cuivre *C*, de même largeur que le

zinc, laquelle, se terminant par une lame étroite o' , va se souder au deuxième zinc Z' ; et ainsi de suite, de manière à réunir autant de couples que l'on veut. Enfin, ces lames zinc et cuivre plongent deux à deux dans des bords étroits remplis d'eau acidulée.

La figure 589 représente une pile de 46 couples réunis parallèlement en deux séries de 8. Le premier cuivre C , étant soudé à un zinc, représente le pôle négatif. Quant au pôle positif, il correspond au dernier cuivre m , qui, n'étant en contact avec aucun zinc, ne fait qu'enlever au liquide le fluide positif qui lui est fourni par le dernier couple. Tous les couples étant fixés à un cadre de bois K , qui peut s'élever ou s'abaisser à volonté entre quatre montants, on soulève le cadre aussitôt qu'on ne veut plus faire fonctionner la pile. Ordinairement, l'eau des bords est chargée de $\frac{1}{16}$ d'acide sulfurique et $\frac{1}{20}$ d'acide azotique; celui-ci rend le courant plus constant en cédant de l'oxygène à l'hydrogène qui provient de la décomposition de l'eau, et en s'opposant ainsi à un dépôt gazeux nuisible sur le cuivre des couples (705).

698. **Pile de Münch.** — Münch a donné à la pile de Wollaston une disposition plus simple, en faisant plonger tous les couples

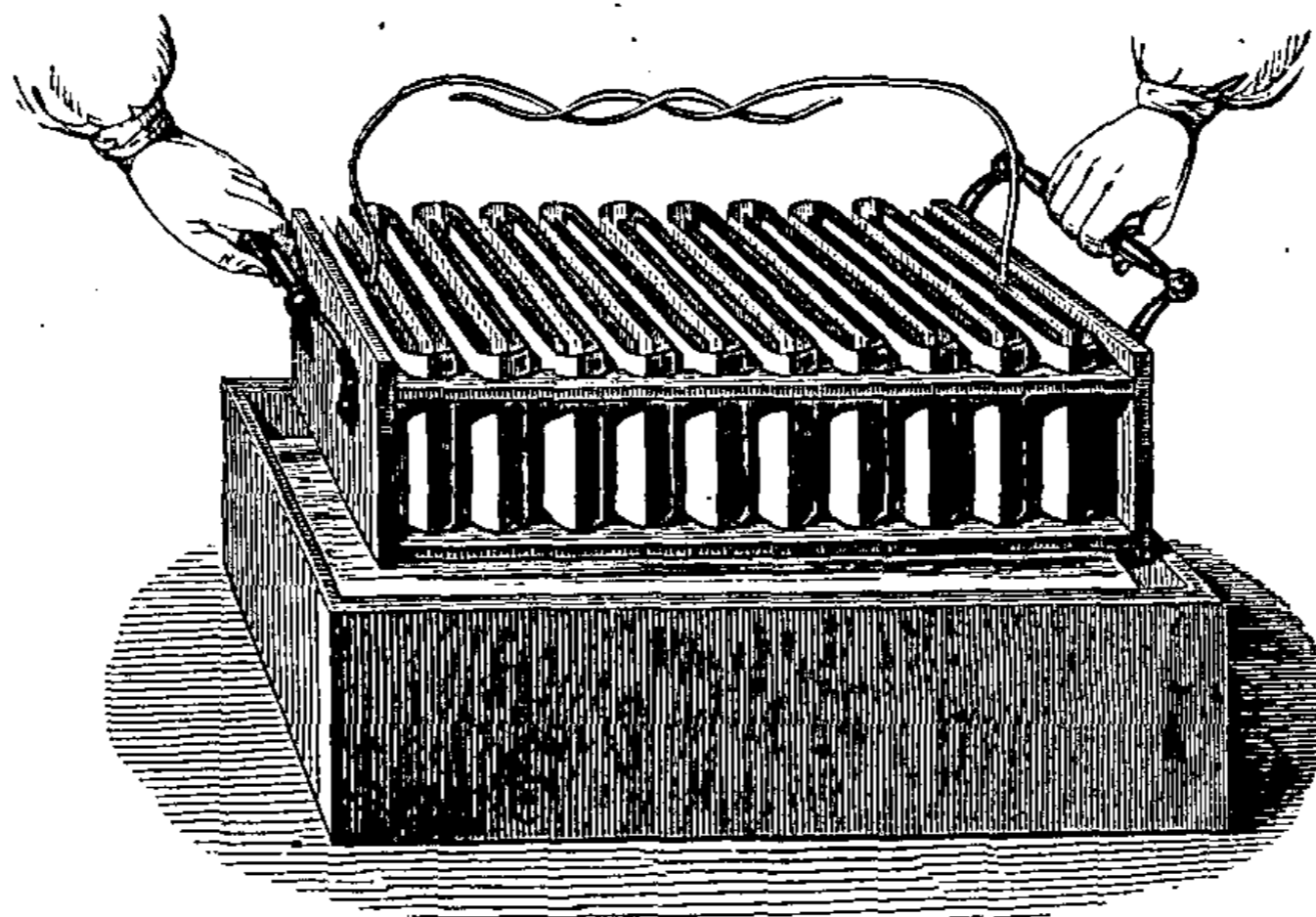


Fig. 590 ($l = 61$).

dans une même auge de bois mastiquée à l'intérieur. La figure 590, qui représente une pile de 20 couples, montre comment les plaques de ces couples sont soudées verticalement. Les plaques blanches sont les zincs, les autres sont les cuivres. Cette pile, sous un petit volume, donne des effets énergiques, mais peu constants.

Dans les différentes piles que nous venons de décrire, on donne aux plaques de zinc plus d'épaisseur qu'aux plaques de cuivre,

parce que le premier métal est seul attaqué par l'acide sulfurique.

699. **Piles sèches.** — Les *piles sèches* sont de véritables piles à colonne dans lesquelles les rondelles acidulées sont remplacées par une substance solide hygrométrique. On en a construit de différentes sortes : dans la pile de Zamboni, qui est la plus en usage, les métaux électromoteurs sont l'étain ou l'argent, et le bioxyde de manganèse. Pour construire cette pile, on prend une feuille de papier argentée ou étamée sur l'une de ses faces, et sur l'autre on fixe, avec de la colle de pâte, du bioxyde de manganèse bien lavé. Ayant superposé 7 ou 8 de ces feuilles, on les découpe avec un emporte-pièce en disques de 25 millimètres de diamètre environ, et on superpose ces disques dans le même ordre, de manière que l'argent ou l'étain de chaque disque soit en contact avec le manganèse du suivant. Ayant ainsi empilé 4200 à 4800 couples, on termine la pile, à chaque bout, par un disque de cuivre, et l'on serre tout le système fortement avec des fils de soie, pour mieux établir les contacts. C'est alors au disque de cuivre en contact avec le manganèse que correspond le pôle positif; au disque de l'autre extrémité, c'est-à-dire au pôle argent ou étain, correspond le pôle négatif.

Les piles sèches sont remarquables par la durée de leur action, qui peut se prolonger plusieurs années. Leur énergie dépend beaucoup de la température et de l'état hygrométrique de l'air. Elle est plus forte en été qu'en hiver, et l'action d'une forte chaleur peut la raviver lorsqu'elle semble éteinte. Une pile de Zamboni de 2000 couples ne donne ni commotion, ni étincelle, mais elle peut charger la bouteille de Leyde et les autres condensateurs. Toutefois il faut pour cela un certain temps, parce que l'électricité ne se meut que lentement dans son intérieur. Le développement de l'électricité dans ces piles est généralement attribué à une action chimique lente résultant de la décomposition des matières organiques dont le papier est imprégné.

* 700. **Électromètre de Bohnenberger.** — Bohnenberger a construit un électromètre à pile sèche d'une extrême sensibilité. C'est un électroscope à feuilles d'or (fig. 544, page 627) dont la tige ne porte qu'une seule feuille d'or suspendue à égale distance des pôles contraires de deux piles sèches, placées verticalement, dans l'intérieur de la cloche, sur le plateau qui sert de base à l'appareil. Aussitôt qu'on communique à la feuille d'or la plus faible quantité d'électricité libre, elle est attirée par une des piles et repoussée par l'autre, et son électricité est évidemment contraire à celle du pôle vers lequel elle se dirige.

* 704. **Appareil à rotation.** — On construit, sous le nom de *jeux*

de bague, de petits appareils à rotation continue, dont le mouvement persiste pendant plusieurs années. Le figure 591 représente un appareil de ce genre. Deux colonnes de cuivre *a* et *b*, fixées sur un socle de bois, communiquent par leur base, l'une au pôle positif, l'autre au pôle négatif d'une forte pile sèche placée horizon-

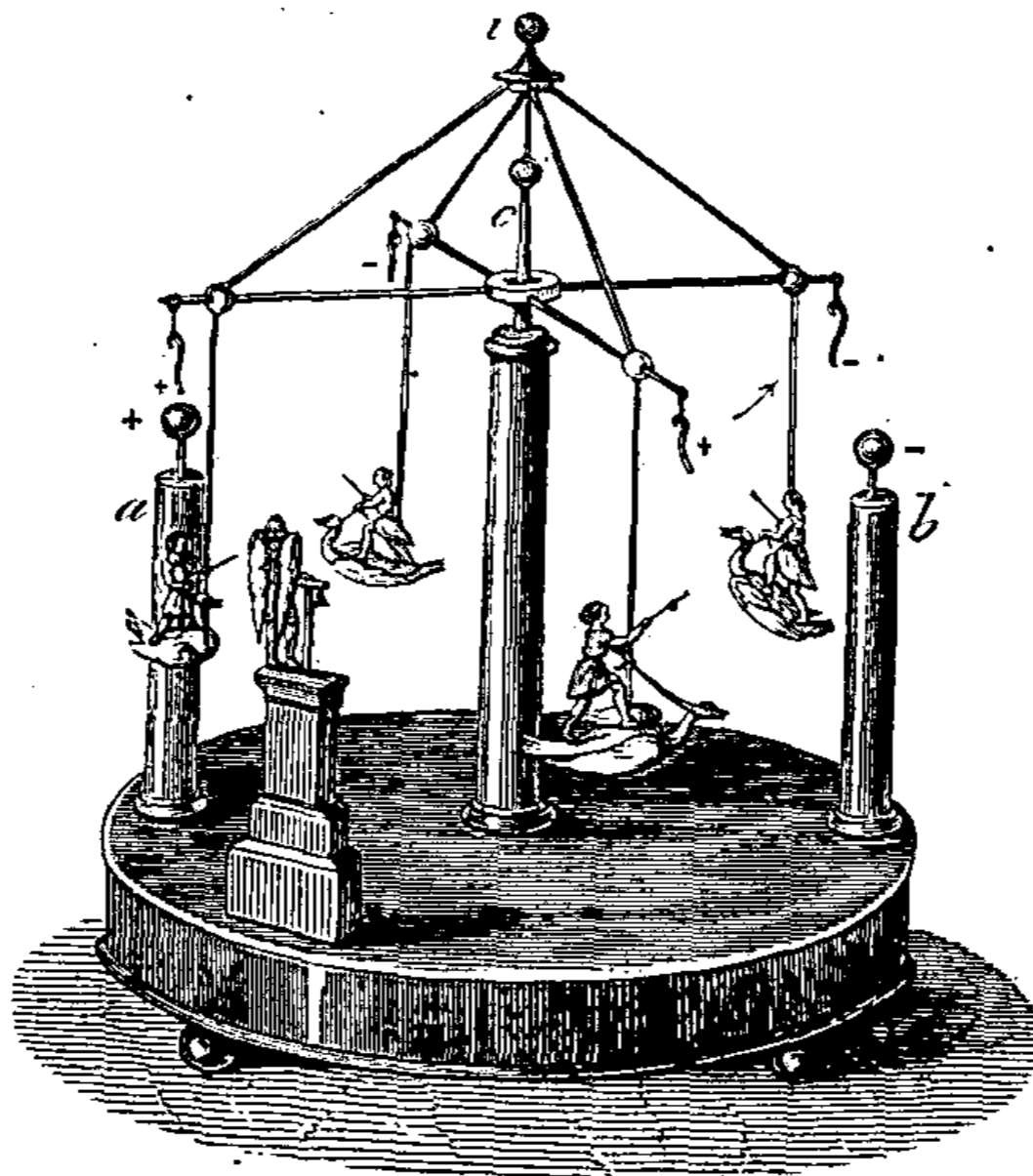


Fig. 591.

talement au-dessous du socle. Cette pile est ordinairement formée de six piles plus petites communiquant entre elles et comprenant en tout 1800 couples.

Sur un pivot *c*, placé à égale distance des deux colonnes *a* et *b*, est une chape d'ivoire *i*, à laquelle sont liés quatre supports qui soutiennent de petites figures peintes sur un carton très-léger. Ces supports se terminent par de petits étendards de clinquant fixés par de la gomme laque qui les isole. Ces étendards, attirés d'abord par l'électricité des boules qui terminent les colonnes, les touchent et se chargent de la même électricité qu'elles. Repoussés alors, ils se mettent à tourner, et les deux étendards positifs, par exemple, qui sont repoussés par la colonne *a*, se trouvent au contraire attirés par la colonne *b*, qu'ils viennent toucher pour être repoussés de même; d'où résulte une rotation qui se prolonge tout le temps que la pile fonctionne, c'est-à-dire pendant plusieurs années.

THÉORIE CHIMIQUE DE LA PILE.

702. **Électricité dégagée dans les actions chimiques.** — La théorie du contact, proposée par Volta pour expliquer la production de l'électricité dans la pile, ne tarda pas à être attaquée par plusieurs physiciens. Fabroni, compatriote de Volta, ayant observé que les disques de zinc s'oxydaient au contact des rondelles acidulées, pensa que cette oxydation était la cause principale du dégagement de l'électricité. En Angleterre, Wollaston avança bientôt la même opinion, et Davy l'appuya d'ingénieuses expériences.

Il est vrai que dans l'expérience que nous avons citée plus haut (694), Volta avait obtenu des signes sensibles d'électricité; mais si l'on tient le zinc avec une pince de bois, M. de La Rive a fait voir que tout signe d'électricité disparaît, et qu'il en est encore de même si le zinc est placé dans des gaz, comme l'hydrogène, l'azote, qui n'exercent sur lui aucune action. M. de La Rive a conclu de là que le dégagement d'électricité, dans l'expérience de Volta, est dû aux actions chimiques qui résultent de la transpiration cutanée de la main et de l'oxygène de l'air.

On démontre le développement de l'électricité, dans les actions chimiques, de la manière suivante, au moyen de l'électromètre condensateur. On pose sur le plateau supérieur un disque de papier mouillé, et dessus, une capsule de zinc dans laquelle on verse de l'eau et de l'acide sulfurique, puis on plonge dans le liquide une lame de platine communiquant avec le sol, tandis qu'on fait aussi communiquer avec lui le plateau inférieur par l'intermédiaire du doigt mouillé. Lorsqu'on rompt les communications et qu'on enlève le plateau supérieur, on reconnaît que les feuilles d'or ont pris une quantité sensible d'électricité positive, ce qui montre que le plateau supérieur a été électrisé négativement par l'action chimique de l'acide sulfurique sur les parois de la capsule.

Mais c'est surtout à l'aide du galvanomètre (739) qu'on a constaté que toutes les actions chimiques sont accompagnées d'un dégagement d'électricité plus ou moins abondant, et c'est à l'aide du même instrument que M. Becquerel a trouvé les lois suivantes sur le dégagement de l'électricité dans les actions chimiques.

1° *Dans la combinaison de l'oxygène avec un autre corps, l'oxygène prend l'électricité positive, et le combustible l'électricité négative.*

2° *Dans la combinaison d'un acide avec une base, ou de corps se comportant comme tels, le premier prend l'électricité positive, et le second l'électricité négative.*

3° Quand un acide agit chimiquement sur un métal, l'acide s'électrise positivement et le métal négativement, ce qui est une conséquence de la deuxième loi.

4° Dans les décompositions, les effets électriques sont inverses des précédents.

5° Dans les doubles décompositions, l'équilibre des forces électriques n'est point troublé.

Quant à la quantité d'électricité dégagée dans les actions chimiques, elle est énorme. En effet, M. Becquerel est arrivé à ce résultat, qui effraye l'imagination, que l'oxydation d'une quantité d'hydrogène pouvant donner 4 milligramme d'eau, dégage suffisamment d'électricité pour charger vingt mille fois une surface métallique d'un mètre de superficie, à un tel degré, que les étincelles résultant de la décharge éclatent à un centimètre de distance. MM. Faraday, Pelletier et Buff sont parvenus à des résultats semblables.

703. **Théorie chimique de la pile à un seul couple.** — Dans

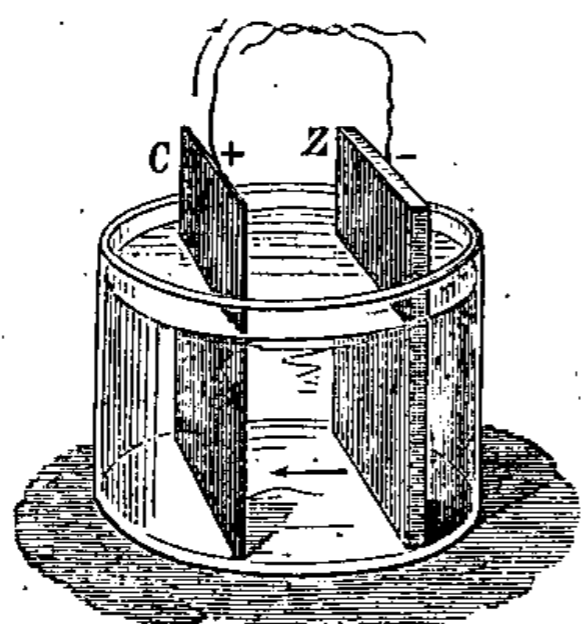


Fig. 592.

cette théorie, la seule généralement admise aujourd'hui, toute l'électricité dégagée dans les piles précédemment décrites est due à l'action de l'eau acidulée sur le zinc, ainsi qu'il est facile de s'en rendre compte d'après les lois données ci-dessus (702). Toutefois il importe d'observer que tandis que dans la théorie du contact (692), c'est la réunion d'un zinc et d'un cuivre soudés ensemble qui constitue un couple, dans la théorie chimique, c'est le système d'un zinc et

d'un cuivre non juxtaposés, plongeant dans de l'eau acidulée.

Soit d'abord le cas d'un seul couple zinc et cuivre plongeant dans de l'eau acidulée avec de l'acide sulfurique (fig. 592). D'après la troisième loi de M. Becquerel, dans l'action chimique qui se produit entre l'acide, l'eau et le zinc, ce dernier s'électrise négativement et l'eau acidulée positivement. Quant au cuivre, étant *inactif*, c'est-à-dire non attaqué par l'acide sulfurique à la température ordinaire, il ne fait que prendre au liquide son électricité, en sorte qu'il se trouve électrisé positivement. Si donc on réunit les deux métaux par un fil métallique, on aura un courant allant, dans le liquide, du zinc au cuivre, et au contraire du cuivre au zinc à l'extérieur. D'où l'on voit que le pôle positif correspond au métal inactif, et le pôle négatif au métal actif, c'est-à-dire au métal attaqué par l'acide. Ce principe est général et s'applique non-seu-

lement à toutes les piles déjà décrites, mais à celle qu'il nous reste à faire connaître.

Dans la théorie chimique de la pile, due à M. de La Rive, on voit qu'il importe qu'un des métaux qui composent le couple voltaïque soit seul attaqué par l'eau acidulée, ou du moins que le second métal soit beaucoup moins actif que le premier, sinon il se produit deux effets de directions contraires qui tendent à s'annuler. C'est pour cette raison qu'on remplace avec avantage, dans le couple voltaïque, le cuivre par le platine ou par le charbon calciné.

704. Théorie de la pile à plusieurs couples. — Dans le cas d'un seul couple, tel qu'on l'a considéré ci-dessus (fig. 592), aussitôt que les deux électricités séparées par l'action chimique se sont portées, l'une sur le zinc, l'autre dans le liquide, la plus grande partie se recombine dans le couple même au travers du liquide, en sorte que ce n'est qu'une très-faible portion des électricités développées par l'action chimique qui circule dans le fil conjonctif; et la quantité d'électricité qui passe ainsi dans ce fil est d'autant plus faible, que les deux fluides rencontrent moins de résistance à se réunir dans l'intérieur du couple. Au contraire, si cette résistance devient plus

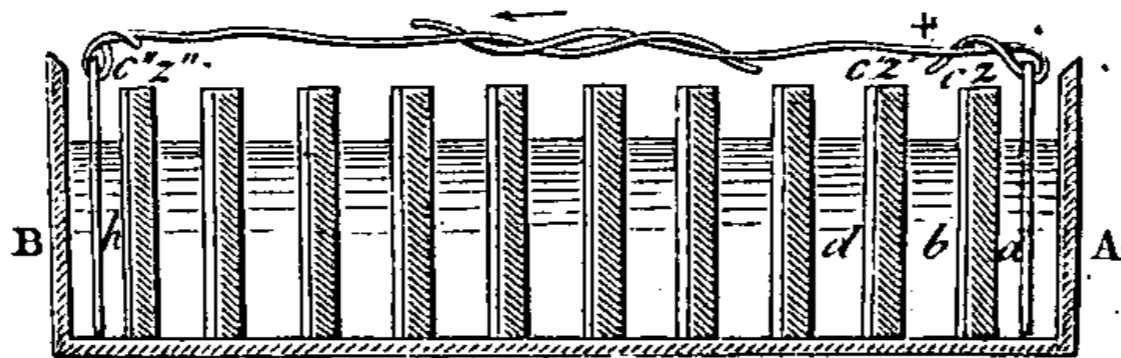


Fig. 593.

grande, la quantité d'électricité qui va d'un pôle à l'autre par le fil conjonctif augmente. Or, tel est le résultat qu'on obtient en multipliant le nombre des couples.

En effet, soit, par exemple, une pile à auges AB (fig. 593), formée de couples zinc et cuivre, et dont les auges contiennent de l'acide sulfurique étendu d'eau. L'acide de chaque auge attaque le zinc, mais n'a pas d'action sur le cuivre; il y a donc, dans toute la pile, dégagement d'électricité positive vers le liquide et d'électricité négative sur le zinc de chaque couple (702, 3°). Or, dans l'auge *b*, où le liquide est en même temps en contact avec un zinc et un cuivre, l'électricité positive du liquide se recombine constamment avec l'électricité contraire du couple *cz*; de même, dans l'auge *d*, le fluide positif du liquide se combine avec le fluide négatif du couple *c'z'*, et ainsi de suite dans toute la pile: en sorte qu'il n'y a que les électricités des auges extrêmes *a* et *h* qui, ne pouvant s'unir à celles des auges voisines, restent libres. Il est facile de

voir que c'est alors l'auge a qui est électrisée positivement par l'action de son acide sur le zinc z , et l'auge h qui l'est négativement par l'électricité que lui communique le couple $c''z''$. Quant aux plaques extrêmes a et h , qui sont de cuivre et ne sont point attaquées par l'eau acidulée, elles sont destinées à recueillir les électricités contraires accumulées aux deux pôles, et à les transmettre aux fils de cuivre qui servent d'électrodes.

M. de La Rive ayant trouvé que la conductibilité d'une masse liquide interrompue par des diaphragmes métalliques est en raison inverse de leur nombre, il s'ensuit que plus le nombre des couples interpolaires est considérable, plus les électricités contraires accumulées aux pôles rencontrent de résistance à leur recombinaison dans la pile, plus la tension est forte aux deux pôles et plus est abondante l'électricité qui parcourt le fil conjonctif. Il découle encore de là que, dans les couples interpolaires, la tension décroît des pôles vers le milieu de la pile, car, l'intervalle des couples diminuant, la résistance à la recombinaison est moindre. Par la même raison, la tension est nulle dans la partie centrale.

La résistance à la recombinaison des électricités contraires accumulées aux deux pôles augmentant quand le liquide intermédiaire est moins conducteur, il doit en être de même de la tension. En effet, M. de La Rive a reconnu que, les auges de la pile étant remplies d'eau acidulée, ou d'eau ordinaire, la tension est la même. Dans le premier cas, la production d'électricité est plus abondante, mais les fluides contraires se recomposent plus facilement.

Enfin, d'après la théorie qui précède, la tension augmente avec le nombre des couples; mais les électricités contraires des couples intermédiaires formant constamment du fluide neutre, il en résulte, lorsqu'on réunit les deux pôles par un circuit métallique, que celui-ci n'est traversé, en réalité, que par l'électricité développée par un seul couple. En augmentant le nombre des couples, ceux-ci se comportent donc comme s'ils étaient inactifs, et ne modifient l'intensité du courant que par la résistance qu'ils opposent à la recombinaison des électricités contraires des couples extrêmes.

705. Affaiblissement du courant dans les piles, courants secondaires. — Les diverses piles à colonne, à auges, de Wollaston et de Münch, décrites précédemment, et qui ont toutes pour caractère d'être composées de deux métaux et d'un seul liquide, présentent le grave inconvénient de donner des courants dont l'intensité décroît rapidement.

Cet affaiblissement est dû à deux causes : la première est le décroissement des actions chimiques par la neutralisation de l'acide sulfurique à mesure qu'il se combine avec le zinc; la deuxième

provient des *courants secondaires*. On nomme ainsi des courants qui se produisent dans les piles en sens contraire du courant principal, et le neutralisent en totalité ou en partie. M. Becquerel a reconnu que ces courants sont engendrés par des dépôts qui se font sur les lames zinc et cuivre des couples. En effet, le courant qui va du zinc au cuivre, *dans la pile*, décomposant l'eau et le sulfate de zinc qui s'est formé, il se dépose, sur le cuivre vers lequel marche le courant, non-seulement une couche de zinc d'autant plus épaisse que la pile est plus longtemps en activité, mais des bulles d'hydrogène qui restent adhérentes au métal et ne s'en séparent qu'après avoir atteint un volume assez considérable. De là deux causes d'affaiblissement très-puissantes; car, tandis que le dépôt de zinc donne naissance à un courant de sens contraire à celui de la pile et le neutralisant plus ou moins, le gaz hydrogène, qui est très-oxydable, donne lui aussi, en reformant de l'eau, un courant secondaire de sens contraire à celui du courant principal, et de plus, par sa non-conductibilité, présente une grande résistance à la circulation de l'électricité dans la pile.

Si l'on interrompt le circuit, les dépôts se dissolvent et l'intensité du courant augmente. On obtient le même résultat en faisant passer le courant d'une autre pile en sens contraire de celui de la première, les dépôts qui se sont formés étant alors dissous par les dépôts opposés.

706. **Polarité.** — M. de La Rive a constaté, le premier, que des lames de platine qui ont servi à transmettre le courant dans un liquide décomposable, étant retirées de ce liquide et plongées dans de l'eau distillée, donnent naissance à un courant de sens inverse à celui qu'elles ont d'abord transmis, phénomène que le savant physicien de Genève a exprimé en disant que les lames sont *polarisées*. M. Becquerel et M. Faraday ont fait voir que cette polarité des métaux est un effet des dépôts engendrés par les courants secondaires (705).

Les lames de platine qui ont servi à la décomposition de l'eau pure acquièrent aussi la polarité électrique, sans qu'on puisse l'attribuer à l'effet d'un acide ou d'une base; mais M. Matteucci a fait voir qu'elle provient alors d'une couche d'oxygène et d'hydrogène déposée respectivement sur chaque lame.

PILES CLOISONNÉES A DEUX LIQUIDES.

707. **Objet des piles à deux liquides.** — Dans les piles décrites jusqu'ici, lesquelles sont connues sous le nom de *piles à un seul liquide*, on vient de voir ci-dessus (705) que les causes qui