

CHAPITRE III

ÉLECTRICITÉ DYNAMIQUE

I. — PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX. — DESCRIPTION DES PRINCIPALES ESPÈCES DE PILES VOLTAÏQUES.

511. **Expérience de Galvani.** — L'origine de la découverte de l'électricité dynamique est une expérience de Galvani, effectuée à Bologne en 1786. Cette expérience peut être reproduite comme il suit :

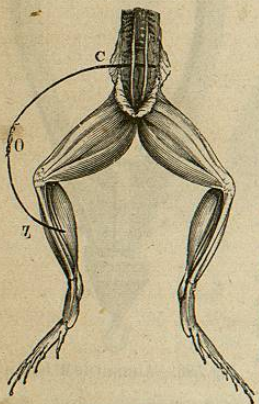


Fig. 387.
Expérience de Galvani.

On coupe en deux, vers la région lombaire, la colonne vertébrale d'une grenouille récemment tuée, et l'on prend la partie du corps qui est au-dessous de cette section : après l'avoir dépouillée, on distingue, de chaque côté de la colonne vertébrale, deux faisceaux blanchâtres, qui sont la réunion des nerfs lombaires se rendant aux membres inférieurs. On prend alors un arc métallique COZ (fig. 387), formé d'un fil de cuivre C et d'un fil de zinc Z, réunis en O, et l'on engage l'un de ces fils sous les nerfs lombaires, comme le montre la figure. Si maintenant on vient à toucher, avec l'extrémité de l'autre fil, les muscles de l'une des cuisses, on voit la cuisse se contracter. Le même phénomène se reproduit à chaque nouveau contact, pendant plusieurs heures (*).

(*) Cette expérience se présenta à Galvani d'une manière presque fortuite : les membres inférieurs de plusieurs grenouilles avaient été préparés comme nous venons de le dire, et suspendus à un balcon de fer, par un crochet de cuivre qui traversait la moelle épinière; le but du savant professeur d'anatomie était d'étudier

Ces contractions rappellent celles qui se produisent quand le corps d'un animal est traversé par une décharge électrique, comme celle qui provient de la combinaison des électricités accumulées sur les deux armatures d'une bouteille de Leyde. Aussi Galvani vit-il d'abord dans le muscle un véritable *condensateur*, chargé de l'une des électricités à l'intérieur, c'est-à-dire dans les points où pénétrait le nerf, et d'électricité contraire à l'extérieur; l'arc métallique jouait alors le rôle d'un *excitateur* (455), établissant la communication entre ces deux armatures.

512. **Théorie et expériences de Volta.** — En reproduisant l'expérience de Galvani et en variant les conditions, Volta, professeur à Pavie, constata que les contractions sont toujours assez faibles quand on emploie, pour réunir les nerfs lombaires aux muscles, un arc formé d'un même métal dans toute sa longueur. Elles acquièrent toujours une énergie beaucoup plus grande, quand on emploie, comme dans l'expérience précédente, un arc formé de deux métaux différents. — Il fut alors conduit à une théorie nouvelle, d'après laquelle le *contact de corps différents* a pour effet d'établir entre eux une différence d'états électriques, par une *force électromotrice* spéciale.

D'après Volta, les effets observés dans l'expérience de Galvani sont dus, au moins pour la plus grande partie, à ce que le contact du zinc et du cuivre au point O (fig. 387), développe une force électromotrice qui a pour effet de charger l'un des métaux d'électricité positive, l'autre d'électricité négative. Au moment où les extrémités de l'arc métallique viennent à être réunies par le corps de la grenouille, c'est la combinaison de ces électricités contraires, au travers des muscles et des nerfs, qui est la cause principale de la contraction. — Dès que la communication est interrompue, la différence entre les états électriques des deux métaux se rétablit, ce qui permet de répéter l'expérience; et ainsi de suite.

Pour qu'il y ait développement d'une force électromotrice, il n'est pas nécessaire que les corps mis en contact soient métalliques : il suffit que les deux corps soient de *natures différentes* — C'est ainsi que Volta interpréta une expérience célèbre, que Galvani avait considérée comme une objection irréfutable à la théorie nouvelle. En détachant simplement les nerfs lombaires, et laissant tomber leur extrémité libre sur les muscles de la cuisse, Galvani avait obtenu des contractions : d'après Volta, c'est le contact de ces deux tissus, de natures différentes, qui donnait lieu au développement d'électricité.

Pour appuyer cette *théorie du contact*, contre laquelle Galvani multi-

l'influence que peuvent exercer, sur le système nerveux, les décharges qui s'effectuent entre des nuages orageux. Contre son attente, il vit les membres s'agiter de mouvements convulsifs, en l'absence de tout orage, chaque fois que le vent amenait les muscles au contact des barreaux de fer.

plia longtemps les objections, Volta réunit un grand nombre d'expériences. — Il prit, par exemple, un électroscope dont la tige était surmontée d'un plateau de *cuivre* et déposa sur ce plateau un plateau de *zinc* : il montra que, en établissant d'abord la communication entre les deux plateaux par un fil de cuivre muni de manches isolants, et en les séparant ensuite, on trouvait l'électroscope chargé d'électricité négative, tandis que le zinc était chargé d'électricité positive.

Voici encore une autre série d'expériences, qu'il est facile de reproduire :

1° Une lame de zinc Z ayant été soudée bout à bout avec une lame de cuivre C, on prend à la main l'extrémité zinc (fig. 388), et on ap-

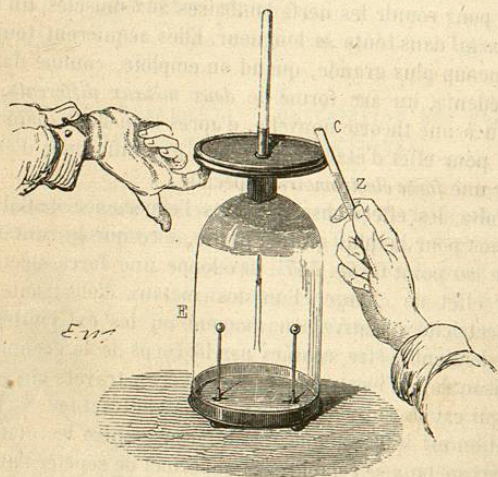


Fig. 388. — Expériences de Volta.

plique l'extrémité cuivre sur le plateau supérieur d'un électroscope condensateur, en touchant avec l'autre main le plateau inférieur pour le mettre en communication avec le sol. On constate alors, en supprimant les communications et séparant les deux plateaux, que la lame a agi sur l'instrument comme une source d'électricité négative.

2° Si l'on répète l'expérience, en prenant la lame par l'extrémité cuivre, et appliquant sur le plateau de l'instrument l'extrémité zinc, l'électroscope n'accuse aucune trace sensible d'électricité. — D'après Volta, ce résultat est encore une confirmation de la théorie. En effet, le zinc est alors en contact par ses deux extrémités avec des pièces de cuivre, savoir : d'une part, la lame de cuivre que l'opérateur tient à la main; d'autre part, le plateau de cuivre de l'électroscope. Il y a donc deux forces électromotrices mises en jeu : la première doit

établir une certaine différence d'état électrique entre le zinc et la lame de cuivre; la seconde doit établir la même différence d'état électrique entre le zinc et le plateau de cuivre. En d'autres termes, le plateau de l'électroscope doit se trouver au même état électrique que la lame de cuivre; mais la lame de cuivre, en raison de sa communication avec le sol, est à l'état *neutre* : il doit donc en être de même du plateau de l'instrument.

3° Enfin, la lame étant placée de la même manière, si l'on interpose, entre son extrémité zinc et le plateau de l'électroscope, un fragment de papier imprégné d'eau acidulée avec de l'acide sulfurique, on constate que le plateau se charge d'électricité positive, et la charge est beaucoup plus grande que dans le premier cas. — Ce résultat n'est pas contradictoire avec le précédent, puisqu'il n'y a plus la même symétrie dans les contacts. Pour l'interpréter d'une manière précise, il faut avoir recours à un autre principe. — Ce principe n'est autre que celui qui a conduit Volta à la découverte de la *pile électrique*, c'est-à-dire d'une disposition permettant d'obtenir, dans un circuit conducteur, une circulation continue d'électricité.

515. **Circuit entièrement métallique.** — Il est aisé de voir que les forces électromotrices dues au simple contact entre métaux différents ne pourraient jamais produire, dans un circuit *entièrement métallique*, une *circulation continue* d'électricité.

Considérons d'abord le cas le plus simple, celui d'un circuit formé de deux lames, de zinc et de cuivre par exemple, en contact au point M par une de leurs extrémités (fig. 389), et portant à leurs autres extrémités des fils de cuivre AB, DE, qui pourront être réunis en BE. Dans ce système, où n'entrent que *deux métaux*, la force électromotrice qui agit au point M doit établir entre le zinc et le cuivre CDE une certaine différence électrique; la force électromotrice qui agit au point A doit établir entre le zinc Z et le cuivre AB la même différence électrique; c'est-à-dire que les deux fils de cuivre DE et AB doivent être *au même état électrique*. Dès lors, si l'on vient à fermer le circuit en BE, il ne peut se produire aucun mouvement d'électricité.

Il en serait encore de même si l'on interposait d'autres métaux en des points quelconques de ce circuit, de manière à constituer une chaîne continue, formée *d'un nombre quelconque de métaux différents*. — Dans ce cas, à chaque point de contact entre deux métaux déterminés, il se développerait une force électromotrice, établissant entre ces deux métaux une différence d'état électrique, ou ce que l'on nomme aujourd'hui une différence de *potentiel* (442). Mais les expériences de Volta ont montré : 1° que, à chaque point de contact,

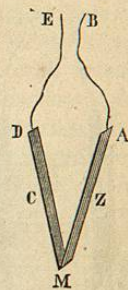


Fig. 389. — Circuit entièrement métallique.

la différence d'état électrique, ou de potentiel, entre les deux métaux qui sont en contact en ce point, dépend uniquement de la nature de ces métaux, et ne dépend pas de l'état électrique qui peut avoir été communiqué à l'un ou à l'autre par d'autres actions; 2° que la différence des états communiqués, par l'ensemble de toutes les forces électromotrices, aux deux métaux qui forment les extrémités d'une pareille chaîne, est toujours la même que si ces deux métaux avaient été mis directement en contact, en supprimant tous les métaux interposés. Cette dernière loi est ce que Volta appelait la *loi des tensions*, et ce que l'on peut appeler aujourd'hui la *loi des potentiels*. — Il en résulte que, si la chaîne est terminée, de part et d'autre, par deux fils de même nature, par des fils de cuivre par exemple, ces fils sont toujours à un même potentiel. Ainsi s'explique ce résultat, fourni par l'expérience, que, de quelque manière que la chaîne soit composée, il ne se produit, au moment où l'on ferme le circuit, aucun mouvement électrique.

En résumé, on peut dire, d'une manière générale, que dans un circuit continu et fermé, comprenant uniquement des métaux, il ne peut se produire aucun mouvement d'électricité, aucun courant.

514. **Principe des piles hydro-électriques.** — Les résultats sont tout autres, quand on interpose, entre deux métaux, un liquide capable d'exercer une action chimique sur l'un d'eux.

Plongeons, par exemple, une lame de zinc Z et une lame de cuivre C dans l'eau acidulée par de l'acide sulfurique (fig. 590). On sait que l'eau acidulée peut attaquer le zinc, pour former du sulfate de zinc et de l'hydrogène. Or l'expérience montre qu'il se produit une différence d'états électriques entre les fils de cuivre P et N qui terminent les deux lames; si l'on met le fil P en communication avec un électroscope condensateur, on constate qu'il est électrisé positivement; en répétant l'expérience avec le fil N, on constate qu'il est électrisé négativement. — Donc, dans ce cas, l'effet des forces électromotrices mises en jeu par l'interposition de l'eau acidulée, entre le zinc et le cuivre, n'est plus équilibré par la force électromotrice qui agit entre la lame de zinc et le fil de cuivre qui y est adapté.

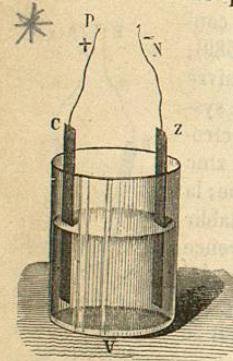


Fig. 590. — Couple formé de deux métaux et d'un liquide interposé.

L'ensemble formé par les deux lames et par le liquide interposé est ce que nous nommerons un *couple électrique*. — Nous appellerons *force électromotrice du couple*, la différence des états électriques, ou des potentiels, qui se produisent sur les deux fils qui terminent les lames.

* Prenons maintenant un certain nombre de couples semblables

80³, 760 + 2m = 2m 0, 80³ + 76 ↑

(fig. 591); réunissons, par un fil de cuivre, le zinc du premier couple au cuivre du second; par un autre fil, le zinc du second au cuivre du troisième; et ainsi de suite, en ne laissant libres que le cuivre du premier couple et le zinc du dernier. Enfin, à ces deux lames laissées libres, adaptons des fils de cuivre, dont nous laisserons d'abord les extrémités P et N séparées. On donne le nom de *pile* à cette réunion de couples. — Volta a démontré que, dans un ensemble de couples ainsi réunis, chaque couple conserve individuellement la même force électromotrice que s'il était seul. Dès lors, soit, par exemple, une pile compo-

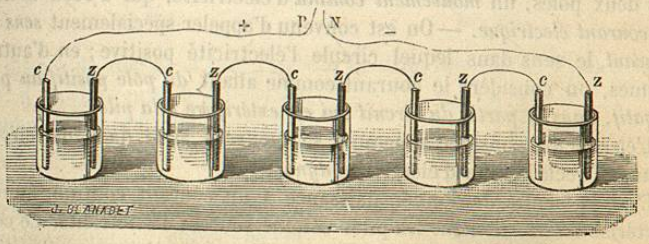


Fig. 591. — Pile à tasses.

sée de cinq couples, comme celle que représente la figure 591; considérons successivement les divers couples, de gauche à droite. La force électromotrice du premier couple établit, entre la première lame de cuivre et la seconde, une différence d'états électriques, ou de potentiels, que nous désignerons par *e*; la force électromotrice du second couple établit, entre la seconde lame de cuivre et la troisième, une différence égale, de sorte que la différence de potentiels entre la première lame de cuivre et la troisième est *2e*; de même la différence de potentiels entre la première lame de cuivre et la quatrième est *3e*; la différence entre la première et la cinquième est *4e*; enfin, la force électromotrice du cinquième couple établit encore, entre la cinquième lame de cuivre et le fil de cuivre N, une nouvelle différence *e*, ce qui donne, entre les fils P et N, une différence de potentiels représentée par *5e*. C'est ce qu'on exprime, d'une manière abrégée, en disant que la *force électromotrice de la pile tout entière est proportionnelle au nombre des couples*. — On peut le vérifier, en faisant communiquer l'un des fils extrêmes avec le sol, et mettant l'autre fil en communication, soit avec une petite sphère métallique, soit avec un électromètre de Thomson (441). En opérant ainsi, on trouve, sur le fil P, un potentiel positif; sur le fil N, un potentiel négatif. Si l'on prend successivement des nombres divers de couples semblables, on constate que chacun de ces deux potentiels est toujours proportionnel au nombre des couples.

L'extrémité du fil P prend le nom de *pôle positif* de la pile; l'extrémité du fil N est le *pôle négatif*.

515. **Courant électrique.** — Réunissons maintenant les extrémités P et N des deux fils qui terminent la pile, de manière à en former un conducteur unique : les électricités contraires vont se mettre en mouvement dans ce conducteur, pour se combiner ensemble, et comme les forces électromotrices mises en jeu dans la pile maintiendront toujours les mêmes différences d'états électriques entre ses divers points, il se produira, soit dans la pile elle-même, soit dans le fil qui réunit ses deux pôles, un *mouvement continu* d'électricité, qui a reçu le nom de *courant électrique*. — On est convenu d'appeler spécialement *sens du courant*, le sens dans lequel circule l'électricité positive; en d'autres termes, on considère le courant comme allant *du pôle positif au pôle négatif, dans la partie du circuit qui est extérieure à la pile*.

L'électricité, considérée comme se mouvant ainsi dans un circuit fermé, a reçu le nom d'électricité *dynamique*.

C'est la faculté de donner naissance à un courant continu, qui caractérise essentiellement les piles comme sources d'électricité. Ce courant produit, en général, comme on le verra plus loin, une élévation de température dans les fils qui forment le circuit; il peut aussi produire des effets de mouvements sur les corps extérieurs. Mais, en même temps, le zinc qui fait partie de chacun des couples se consume, en enlevant à l'eau son oxygène, et l'oxyde de zinc se combine avec l'acide sulfurique, pour former du sulfate de zinc qui se dissout dans l'eau restante. — Il s'effectue donc, dans la pile, une véritable combustion, dégageant de la chaleur comme la combustion du charbon dans le foyer d'une machine. C'est ce dégagement de chaleur qui doit être considéré comme fournissant l'énergie nécessaire à l'accomplissement des divers effets produits par le courant (*).

La pile que nous venons de décrire (fig. 591), et qui le porte le nom de *pile à tasses*, ne donne des effets énergiques que si elle est formée d'un grand nombre de couples ou *éléments*. — En étudiant quelques autres espèces de piles, nous en rencontrerons qui produisent les mêmes effets avec un nombre d'éléments beaucoup moindre.

516. **Pile de Volta.** — La *pile de Volta*, qui fut construite en 1794, et qui devint l'origine de toutes les autres piles, présente une disposition un peu différente de celle qui vient d'être décrite.

(*) Ces considérations générales suffisent pour montrer l'impossibilité de la production d'un courant électrique dans un circuit formé *uniquement de métaux*, comme celui que nous avons indiqué plus haut (fig. 589). En effet, les métaux qui composent ce circuit n'éprouvent, au contact l'un de l'autre, aucune modification dans leur constitution. Dès lors, s'il y avait production d'un courant et des effets extérieurs qui en sont la conséquence, ces résultats ne seraient accompagnés d'aucune dépense d'énergie. Les mêmes phénomènes pourraient se continuer ainsi indéfiniment; on aurait réalisé un *mouvement perpétuel*.

Volta plaçait, sur un socle isolant, un disque de cuivre C (fig. 592),

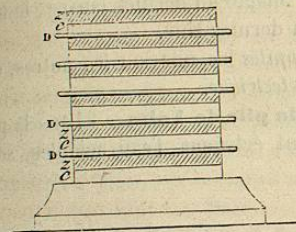


Fig. 592.

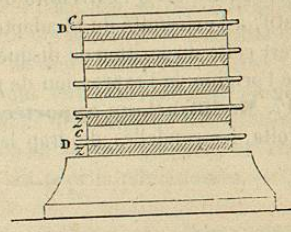


Fig. 593.

un disque de zinc Z, et une rondelle de drap imprégnée d'eau acidulée; il répétait ensuite un certain nombre de fois la même succession, et terminait par un disque de zinc. Afin de mieux assurer les contacts des métaux entre eux, il soudait ensemble les disques contigus de cuivre et de zinc. — Or, d'après ce qui précède, les forces électromotrices qui sont ici prédominantes sont celles qui se développent aux surfaces par lesquelles l'eau acidulée touche le zinc : c'est l'action chimique de ce liquide qui est la source d'énergie nécessaire à la production continue du courant, quand le circuit est fermé. Dès lors, dans la pile que représente la figure 592, la lame de cuivre qui commence la série, à la partie inférieure, et la lame de zinc qui termine la série, à la partie supérieure, ne jouent que le rôle des conducteurs, et peuvent être supprimées sans que l'énergie de la pile soit modifiée. En d'autres termes, si le circuit est complété par des fils de cuivre, la pile de la figure 593 aura la même force électromotrice que celle de la figure 592. — C'est ainsi que l'on construit généralement aujourd'hui la pile de Volta (fig. 594), et il est aisé de voir que la disposition de

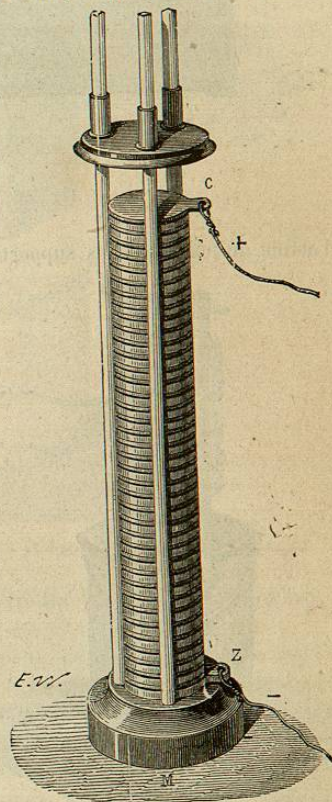


Fig. 594. — Pile à colonne de Volta.

ses diverses parties correspond alors exactement à celle de la figure 391. Le pôle positif est à l'extrémité du fil adapté au dernier cuivre ; le pôle négatif, à l'extrémité du fil adapté au dernier zinc.

C'est cette disposition de disques empilés les uns sur les autres, qui a été l'origine de l'expression de *pile électrique*.

517. Modifications apportées à la pile de Volta. — Dans la pile de Volta, les rondelles de drap laissent échapper l'eau acidulée, sous

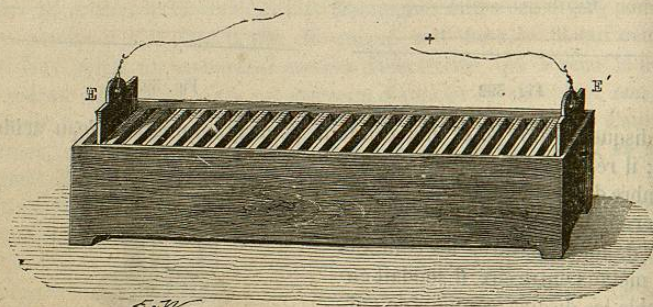


Fig. 395. — Pile à auge.

l'action du poids qu'elles supportent, et la pile perd rapidement son énergie. — Aussi, a-t-on imaginé d'assujettir verticalement les lames métalliques dans une auge de bois (fig. 395), où l'on verse de l'eau acidulée. Les pièces de drap deviennent alors inutiles : il suffit de laisser, entre les doubles lames métalliques, des intervalles dans lesquels le liquide pénètre. Cette disposition est connue sous le nom de *pile à auge*. — C'est avec une pile semblable, formée de deux cents auges et comprenant en tout deux mille couples, que furent faites, en 1805, à l'Institut royal de Londres, les célèbres expériences de Davy, qui conduisirent à la découverte des métaux alcalins (529).

Fig. 396. — Élément de la pile en hélice.

La *pile à tasses* (fig. 391), dont nous avons parlé plus haut, est plus longue à monter, mais elle offre une marche plus régulière.

La *pile en hélice*, dont la figure 396 représente un élément, n'est qu'une modification de la pile à tasses : la lame de zinc Z et la lame de cuivre C sont enroulées en hélice, de manière à présenter une grande surface sous un petit volume ; les deux lames sont séparées par des lanières de drap. — Les couples, qui ont généralement plusieurs décimètres de hauteur, sont plongés dans des seaux de bois contenant de l'acide sulfurique étendu d'eau : pour former une pile, on réunit les éléments entre eux comme il a été dit pour la pile à tasses. — Cette pile a été imaginée par Hare.

Dans la *pile de Wollaston*, la lame de cuivre C de chaque élément (fig. 397) est repliée de manière à envelopper des deux côtés la lame de zinc Z, dont elle est séparée par de petites cales de bois l, l'. On utilise ainsi les forces électromotrices développées sur les deux faces de la lame de zinc, c'est-à-dire que le couple acquiert ainsi, en réalité, une surface double. —

Pour former une pile de plusieurs éléments (fig. 398), on réunit, par une lame métallique, le zinc de chaque élément au cuivre de l'élément suivant. Tous les éléments sont ordinairement fixés à une traverse de bois, mobile le long de deux montants M, M' ; cette disposition permet de les enlever, tous ensemble, des vases de verre qui contiennent l'eau acide acidulée.

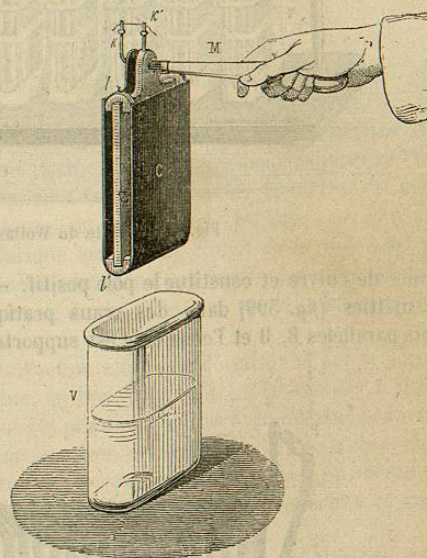


Fig. 397. — Élément de la pile de Wollaston.

La *pile de Münch* (fig. 399) se rapproche, par sa construction, de la pile de Wollaston : on a soudé deux à deux, par leurs bords, des lames de zinc et des lames de cuivre, de manière à en former des doubles lames, dont les deux parties présentent entre elles un certain écartement : deux séries opposées de ces doubles lames M, M, M, et M', M', M', sont emboîtées l'une dans l'autre comme l'indique la figure 400, de façon qu'une lame de zinc soit toujours placée entre deux lames de cuivre non soudées à elle et appartenant, l'une à la même série, l'autre à la série opposée. La pile est terminée, d'un côté par un zinc libre Z,

qui est placé comme les autres lames de zinc et constitue le pôle négatif, de l'autre par un cuivre libre C, qui est placé comme les autres

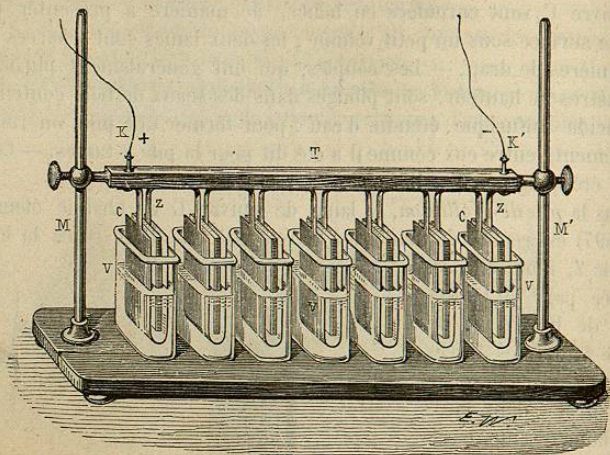


Fig. 598. — Pile de Wollaston.

lames de cuivre et constitue le pôle positif. — Toutes ces lames sont assujetties (fig. 599) dans des crans pratiqués sur des traverses de bois parallèles B, B et l'ensemble est supporté par des poignées P, P. Il

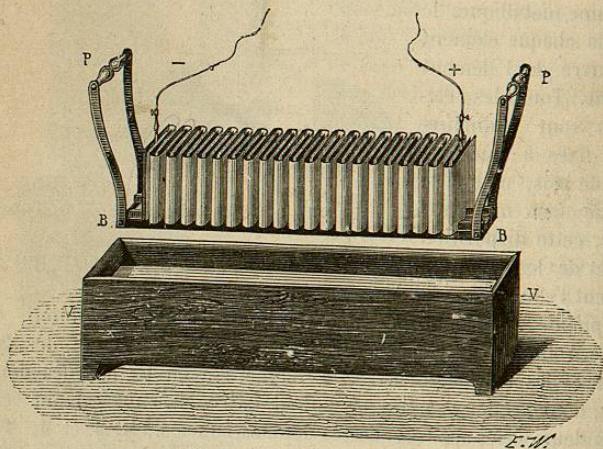


Fig. 599. — Pile de Münch.

suffit, pour mettre la pile en activité, de plonger les couples dans une auge VV, contenant de l'eau acidulée; lorsqu'on veut arrêter l'expé-

rience, on peut de même enlever tous les couples à la fois. Cette pile

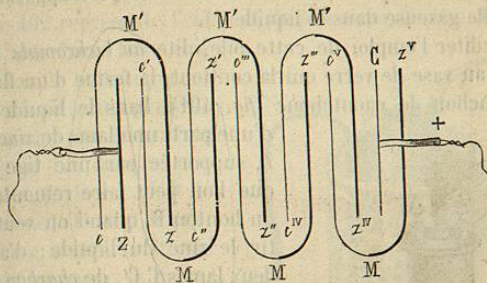


Fig. 400.

a l'avantage d'être peu volumineuse et d'un maniement facile : elle fournit des courants intenses, mais elle s'affaiblit rapidement.

518. Emploi du zinc amalgamé, pour la construction des piles. — Lorsqu'on emploie le zinc du commerce pour construire l'une des piles précédentes, et qu'on a soin d'amalgamer la surface du métal en la frottant avec du mercure, on constate que les lames ne sont plus attaquées par l'acide sulfurique tant que le circuit de la pile n'est pas fermé. Le métal et l'acide ne sont donc pas inutilement consommés : de là une économie qui serait, à elle seule, une raison suffisante pour avoir recours à ce procédé.

Mais, en outre, une fois l'action chimique déterminée par la fermeture du circuit, l'hydrogène, au lieu d'apparaître à la fois sur le zinc et sur le cuivre, comme dans les piles construites avec du zinc ordinaire, apparaît exclusivement sur le cuivre, en bulles fines. — L'observation montre que, en même temps, le courant produit dans un même circuit extérieur acquiert plus d'intensité. — Nous accepterons ce résultat comme un fait, sauf à y revenir plus tard.

519. Introduction de corps oxydants dans le liquide de la pile. — Pile au bichromate de potasse. — La principale cause d'affaiblissement du courant est le dégagement même de l'hydrogène : c'est ce que nous verrons plus loin en traitant des phénomènes de polarisation (550). On conçoit donc qu'il y ait avantage à ajouter, dans le liquide de la pile, un corps capable d'absorber l'hydrogène, à mesure qu'il se produit. — C'est l'effet que réalisent, en général, les corps oxydants : on en trouve un exemple dans l'emploi du bichromate de potasse.

Quand on ajoute du bichromate de potasse au liquide de la pile, ce sel, en présence de l'acide sulfurique, et sous l'influence du courant électrique, est décomposé : il se forme du sulfate de potasse et du sulfate de chrome, et une partie de l'oxygène que le sel contenait est