

le circuit d'une pile: l'hydrogène et l'oxygène électrolysés se condensent en partie sur les électrodes négative et positive. Si l'on supprime la pile, et que l'on mette en communication avec un électromètre de Thomson le fil qui a servi d'électrode positive, en reliant l'électrode négative au sol, on constate que l'électrode positive est à un potentiel positif; donc la série des contacts (platine-hydrogène, eau acidulée, oxygène-platine), n'obéit pas à la *loi des tensions* de Volta (750). — Un voltamètre à eau, dès qu'il a été employé quelques instants à produire l'électrolyse, devient donc un véritable élément de pile, dont le pôle positif est le fil qui a servi d'électrode positive, c'est-à-dire que le courant secondaire marche, dans le circuit, en sens inverse du courant primaire qui a donné naissance à la polarisation.

Nous avons vu (761) que les phénomènes de polarisation se manifestent dans toutes les piles à un seul liquide, par un affaiblissement très notable du courant. La polarisation est considérablement atténuée dans la pile au bichromate de potassium; elle est nulle dans la pile de Daniell.

778. Pile secondaire de Planté. — Accumulateurs. — Les phénomènes de polarisation ont été utilisés pour la construction de piles, dites *piles secondaires* ou *accumulateurs*, qui sont destinées à faciliter l'emploi de l'électricité dans des locaux où il serait difficile d'installer des piles ordinaires.

Chaque élément de la pile secondaire de Planté se compose de deux lames de plomb, de grande surface, enroulées en spirale, et séparées par une toile; le tout plonge dans l'eau acidulée (fig. 554). Pour charger cet élément, on y fait passer un courant :

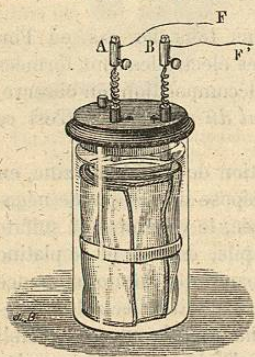


Fig. 554.
Élément de pile secondaire.

l'eau est électrolysée; à l'électrode positive A, l'oxygène forme, avec le plomb, du bioxyde de plomb; à l'électrode négative B, l'hydrogène se condense à la surface du plomb. Quand l'hydrogène n'est plus absorbé par le plomb et commence à se dégager à l'état gazeux, on supprime le courant primaire. — L'appareil, ainsi chargé, peut être conservé pendant un temps plus ou moins long, sans perdre sa charge. Quand on vient à réunir les deux lames A et B par un conducteur, il se produit un courant secondaire, qui, dans l'élément de pile, est de sens contraire à celui du courant qui avait servi à le charger. L'eau étant décomposée, son hydrogène se porte sur la lame A et réduit l'oxyde de plomb; l'oxygène qui se porte sur la lame B se combine progressivement avec l'hydrogène qui y avait été condensé pen-

dant la charge. Ce courant secondaire persiste tant que les provisions de gaz ne sont pas épuisées (*).

Les différents types d'accumulateurs sont construits d'après le même principe. — Les lames de plomb, généralement planes, sont placées dans une auge qui contient l'eau acidulée (fig. 555) : les lames de rang impair communiquent ensemble, et constituent l'une des électrodes A ; les lames de rang pair, mises également en communication, constituent l'autre électrode B.

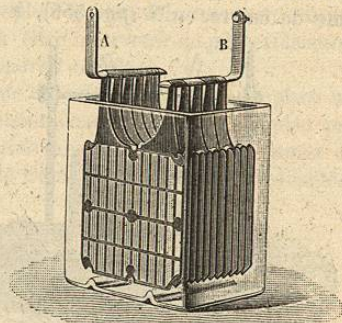


Fig. 555. — Accumulateur.

La charge s'effectue généralement dans des établissements industriels, où sont installés des appareils générateurs d'électricité, et où l'on opère à la fois sur un grand nombre d'accumulateurs. On réunit, d'une part, toutes les électrodes A ; d'autre part, toutes les électrodes B, et l'on fait passer le courant de charge. Avec cette disposition, quelque grand que soit le nombre des accumulateurs, la résistance opposée au passage du courant primaire est très faible.

Une fois les accumulateurs chargés, et transportés dans le lieu où ils doivent être utilisés, si on les réunit entre eux comme nous avons réuni jusqu'ici les éléments de piles, c'est-à-dire si l'on fait communiquer l'électrode B du premier avec l'électrode A du second, et ainsi de suite, la force électromotrice de la pile secondaire ainsi formée est proportionnelle au nombre des accumulateurs.

La force électromotrice de ces piles va en diminuant progressivement pendant la durée du courant secondaire; sa valeur moyenne est d'environ 2 volts *par couple*.

VI. — GALVANOPLASTIE.

779. Galvanoplastie. — On donne le nom de *galvanoplastie* à l'art de modeler les métaux, en les précipitant de leurs solutions salines par l'action d'un courant électrique. — Les principes de la galvanoplastie ont été posés, en 1838, par Jacobi en Russie, et à peu près en même temps par Spencer en Angleterre.

(*) Pour que le courant secondaire ait une longue durée, il est nécessaire qu'une grande quantité d'hydrogène puisse être condensée à la surface du plomb pendant la charge; pour cela, il faut que les lames de plomb soient très poreuses. — Pour obtenir ce résultat, on fait passer plusieurs fois le courant primaire dans chaque élément

Supposons qu'il s'agisse de reproduire, par voie galvanique, l'une des faces d'une médaille. — On commence par en prendre l'empreinte avec de la gutta-percha; cette empreinte est *inverse*, c'est-à-dire qu'elle donne en creux les reliefs de la médaille, et réciproquement. — Après avoir recouvert l'empreinte d'une légère couche de plombagine, pour la rendre conductrice, on la plonge dans une solution saturée de sulfate de cuivre, en N (fig. 556), à l'extrémité d'un fil communiquant

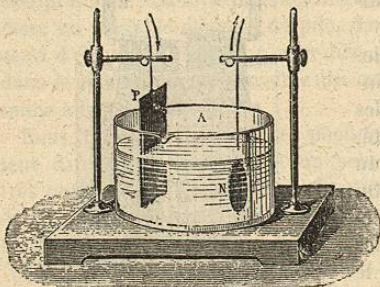


Fig. 556. — Galvanoplastie.

avec le pôle négatif d'une pile. L'électrode positive est formée par une lame de cuivre P : c'est une *électrode soluble*, qui doit abandonner progressivement au liquide une quantité de cuivre égale à celle qui se déposera sur l'autre électrode (776). — On arrête l'opération lorsque la couche de cuivre a atteint une épaisseur suffisante, et on la détache de l'empreinte.

La figure 557 représente un appareil qui peut servir à reproduire galvaniquement plusieurs objets à la fois. La cuve AA contient une solution de sulfate de cuivre.

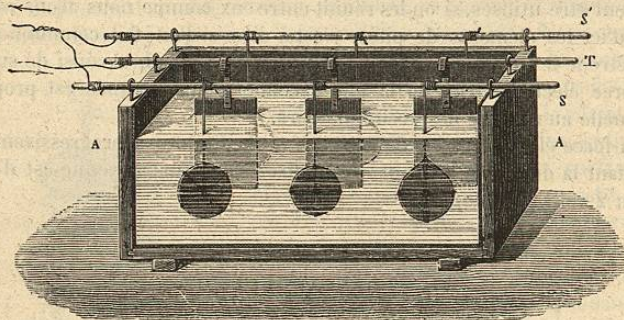


Fig. 557. — Cuve pour la galvanoplastie. (Appareil composé.)

qu'on additionne d'une très petite quantité d'acide sulfurique ou azotique pour la rendre plus conductrice; on suspend à la tringle métallique T qui communique avec le pôle positif, une ou plusieurs lames de cuivre.

alternativement dans un sens et dans l'autre. A chaque opération, l'hydrogène décompose, sur l'une des électrodes, l'oxyde de plomb qui avait été produit par l'opération précédente; les surfaces des deux lames ayant ainsi acquis une grande porosité, l'élément est dit *formé*. — On abrège la durée de la formation, en immergeant préalablement les deux lames de plomb, pendant vingt-quatre heures, dans l'acide azotique.

Parallèlement à ces lames, on suspend aux tringles S et S', qui communiquent avec le pôle négatif, les empreintes à recouvrir; on a soin de les placer de manière que les surfaces sur lesquelles doit se former le dépôt soient tournées du côté des lames de cuivre.

Cette disposition, qui exige l'emploi d'une pile extérieure à la cuve, a reçu le nom d'*appareil composé* (*).

780. Appareil simple. — On emploie quelquefois une autre disposition, dans laquelle on n'a point à faire intervenir de pile extérieure, et qui est connue sous le nom d'*appareil simple*.

Au milieu de la solution de sulfate de cuivre (fig. 558), on place un ou plusieurs vases poreux, contenant chacun de l'eau acidulée par l'acide sulfurique et une lame de zinc amalgamé. Toutes les lames de zinc communiquent avec une tringle isolée T; d'autres tringles isolées

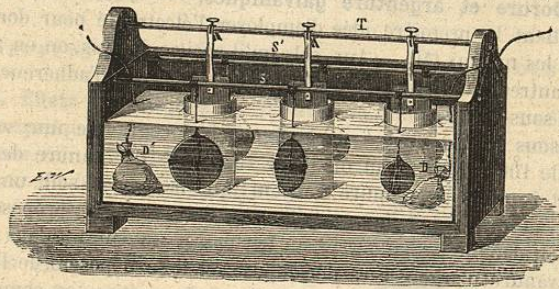


Fig. 558. — Appareil simple.

S, S', servent à suspendre les empreintes à recouvrir. — Cet ensemble représente évidemment une pile formée de plusieurs éléments de Daniell, dont les lames de zinc sont à l'intérieur des vases poreux, et dont les lames de cuivre sont remplacées par les empreintes conductrices : dès que l'on fait communiquer la tringle T avec les tringles S, S', le sulfate de cuivre est décomposé, et un dépôt de cuivre se produit sur chacune des empreintes (**).

781. Applications industrielles de la galvanoplastie. — On fait une application journalière de la galvanoplastie, pour le tirage des gravures, et particulièrement de celles qui doivent être insérées dans les ouvrages tirés à plusieurs milliers d'exemplaires. En effet, une

(*) On emploie fréquemment la pile de Daniell, quelquefois la pile de Bunsen. — Le nombre des éléments employés ne doit pas dépasser beaucoup celui qui est strictement nécessaire pour l'électrolyse (774). Si l'intensité du courant était trop considérable, on obtiendrait un dépôt de cuivre pulvérulent.

(**) A mesure que l'opération se poursuit, le bain tend à s'appauvrir en sulfate de cuivre, et à devenir de plus en plus acide. — Dans la figure ci-dessus, D et D' sont deux petits sacs de toile, contenant des cristaux de sulfate de cuivre qui maintiennent la solution toujours saturée.

planche de bois ou de cuivre s'use rapidement, lorsqu'on la fait servir à un tirage répété. Au lieu d'employer la planche elle-même, on emploie des reproductions galvaniques, ou *clichés*, que l'on peut renouveler chaque fois qu'il est nécessaire. — Pour le tirage des *timbres-poste*, on fait de même un certain nombre de clichés galvaniques, sur le modèle unique qui a été livré par le graveur, et l'on compose une planche avec un certain nombre de ces clichés : on obtient ainsi, au tirage, des feuilles sur lesquelles tous les timbres sont rigoureusement semblables.

Les perfectionnements apportés à la galvanoplastie ont permis d'obtenir des objets présentant des dimensions énormes, des panneaux de portes, des statues, des bas-reliefs, comme ceux qui ont servi à la décoration de l'Opéra de Paris, etc.

782. Dorure et argenture galvaniques. — C'est à de la Rive qu'appartient la première idée d'employer l'électricité pour dorer ou argenter les métaux (*). — Aux sels qu'il avait employés, on en a substitué d'autres, qui donnent au dépôt galvanique plus d'adhérence avec le métal sous-jacent.

Supposons que la cuve A de la figure 556 contienne une solution formée de 100 parties d'eau distillée, 10 parties de cyanure de potassium, et 1 partie de cyanure d'argent; que la lame P soit une lame d'argent, et que N soit une médaille de cuivre, qu'on se propose d'argenter. Si, dans le *bain d'argent*, on fait passer un courant dans le sens PN, le cyanure d'argent sera décomposé, et il se déposera de l'argent sur la médaille; en même temps, l'électrode positive, se comportant comme une *électrode soluble*, restituera à la liqueur l'argent qu'elle aura perdu — La figure 557 donne une idée des appareils qui servent à argenter un grand nombre de pièces à la fois (**).

L'opération de la dorure se fait d'une manière semblable, avec cette seule différence que le *bain d'or*, formé de 100 parties d'eau distillée, 10 parties de cyanure de potassium, et 1 partie de cyanure d'or, doit être porté à une température d'environ 70°.

783. Cuivrage, nickelage, etc. — En modifiant les procédés que nous venons d'indiquer, l'industrie est parvenue à obtenir, au moyen des courants, la plupart des métaux en couches adhérentes à la surface

(*) Cette méthode présente, pour la dorure en particulier, l'avantage de ne point exposer les ouvriers aux vapeurs qui se dégagent dans les procédés de *dorure au mercure*, vapeurs dont l'absorption donne lieu aux accidents les plus funestes.

(**) Les objets qui sont destinés à être argentés ou dorés, dans l'industrie, sont le plus souvent en laiton ou en maillechort. Pour que le dépôt adhère fortement à leur surface, il faut que cette surface ait été préalablement débarrassée de toute matière étrangère : c'est à quoi l'on arrive en plongeant les objets dans des bains successifs d'eau acidulée, d'abord par de l'acide sulfurique, puis par de l'acide nitrique. C'est ce qu'on appelle, dans l'industrie, le *dérochage* et le *décapage*. — Dans les exploitations importantes, le courant est produit par une machine magnéto-électrique, telle que la machine de Gramme, qui sera étudiée plus loin.

des objets, de manière à satisfaire à tous les besoins de l'ornementation ou des usages journaliers.

C'est ainsi que, pour préserver, de l'action oxydante de l'air, les candélabres ou les statues de fonte qui ornent nos places publiques, on les revêt d'une couche de cuivre. — Pour garantir de l'action corrosive de l'eau de mer les plaques de blindage des navires cuirassés, on revêt également ces plaques d'une couche de cuivre, qui n'éprouve qu'une altération superficielle.

C'est ainsi encore que, pour préserver de la rouille les objets de fer ou d'acier, on les couvre d'une couche de nickel, obtenue par l'électrolyse d'un sulfate double de protoxyde de nickel et d'ammoniaque. Le nickel est à peu près inoxydable, et, comme c'est un métal très dur, il suffit d'une couche mince pour résister longtemps à l'usure que tendent à déterminer les frottements.

VII. — EFFETS CALORIFIQUES, LUMINEUX ET PHYSIOLOGIQUES

784. Effets calorifiques. — Il suffit de réunir les deux pôles d'une pile de quelques éléments de Bunsen, par un fil de platine suffisamment fin, pour voir ce fil devenir incandescent. En introduisant dans le circuit des longueurs moindres du même fil, ou en prenant des fils de plus en plus fins, on arrive même à la température de fusion du platine. — Ces effets calorifiques sont surtout très intenses quand on opère avec une pile dont les éléments sont à *grande surface*, comme la pile de Wollaston ou la pile de Münch (fig. 554, 555). Avec un seul couple de Wollaston, on amène facilement à l'incandescence un fil de platine fin, fixé entre ses pôles (fig. 559).

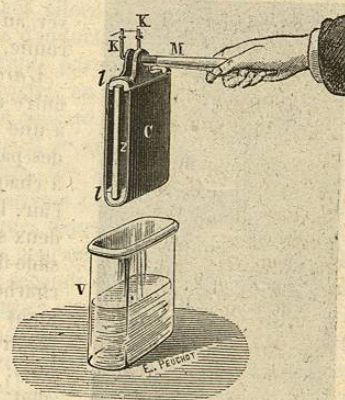


Fig. 559.

785. Effets lumineux. — **Arc voltaïque.** — Lorsqu'on rapproche les extrémités des fils qui terminent les pôles d'une pile, on n'observe généralement pas d'étincelle; la différence de potentiel des deux pôles est trop faible, pour que les électricités contraires puissent se combiner au travers de l'air (*).

(*) Avec une pile à auge de 1500 à 2000 éléments, Davy a cependant obtenu, en approchant les extrémités des fils à une distance d'une fraction de millimètre, une série continue de petites étincelles.

Mais si, après avoir réuni les deux fils, on vient à les séparer, on observe toujours une *étincelle de rupture*. — Un peu avant la séparation, et lorsque les extrémités des deux fils ne sont plus en contact que par une petite surface, elles sont portées à l'incandescence; une fois les fils séparés, tant que leur distance est très petite, le courant continue à passer à travers le conducteur médiocre constitué par l'air chaud : enfin, des parcelles métalliques, arrachées par le courant, sont amenées à l'incandescence et transportées d'un pôle à l'autre.

Si l'on maintient les extrémités des conducteurs à une petite distance l'une de l'autre, et si l'on opère, par exemple, avec une pile d'une cinquantaine d'éléments de Bunsen, on obtient un phénomène continu.

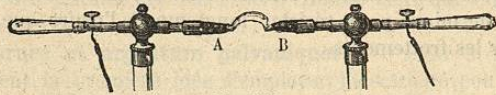


Fig. 560.

— C'est ce qu'a constaté pour la première fois Davy, en employant deux pointes de charbon (fig. 560). Si les deux conducteurs sont disposés horizontalement, la flamme, constituée par l'air chaud et les parcelles de charbon incandescentes, tend à s'élever au milieu de l'air froid qui l'environne, et prend la forme d'un arc.



Fig. 561.

L'*arc voltaïque* peut continuer à jaillir entre deux pointes de charbon amenées à une distance de plusieurs centimètres; des particules de charbon sont arrachées à chaque pointe: les unes brûlent dans l'air, les autres sont transportées dans les deux sens. Ce transport est surtout sensible du pôle positif au pôle négatif: le charbon positif s'use en effet plus rapidement que le charbon négatif, et la pointe positive se creuse progressivement (fig. 561). L'usure des charbons aurait pour effet d'amener l'extinction de l'arc, si, par un procédé quelconque, on ne rapprochait pas constamment les deux pointes:

La température de l'*arc voltaïque* est une des plus élevées que l'on puisse réaliser artificiellement: les substances les plus réfractaires, le platine, le quartz, la chaux, y entrent en fusion (*). — Le charbon négatif

(*) On doit à Despretz des expériences sur les effets auxquels on peut atteindre, en oignant, à la chaleur de l'*arc voltaïque*, la chaleur du soleil concentrée par des lentilles puissantes, et celle d'un chalumeau à gaz hydrogène. Despretz est ainsi parvenu, en opérant dans le vide, à réduire en vapeurs les diverses variétés de charbon, et le

tif atteint une température de 2500°; le charbon positif, une température de 5200°.

Quant à l'éclat de la lumière, il est dû à la vive incandescence des pointes de charbon, et surtout de la pointe positive, plutôt qu'au pouvoir éclairant de l'arc lui-même.

786. Effets physiologiques. — Au moment où l'on met les deux pôles d'une pile en communication avec les organes d'un animal vivant, ou avec les organes d'un animal mort depuis peu, de manière à faire passer le courant dans un nerf moteur, il se produit, dans le muscle correspondant, une contraction d'autant plus forte que l'intensité du courant qui s'établit est plus considérable. — La contraction se renouvelle au moment où l'on interrompt le circuit (*).

Quand on fait passer le courant dans un nerf de sensibilité générale, le nerf transmet au cerveau une sensation douloureuse, à l'instant où le courant commence et à l'instant où il finit; mais, tant que le courant conserve une intensité constante, la sensation est nulle.

Pour obtenir une succession rapide d'effets physiologiques de ce genre, on fait usage d'appareils qui présentent des dispositifs particuliers, de manière à interrompre et à rétablir fréquemment le courant dans l'organe sur lequel on opère. — Plus souvent encore, on emploie une succession de courants dirigés alternativement dans un sens et dans l'autre, comme les courants d'induction, dont l'étude sera faite plus loin. Quand l'un de ces courants passe dans un organe, le point d'entrée et le point de sortie sont portés, au même instant, à des potentiels différents; chaque fois que le courant change de sens, cette différence de potentiel change de signe. Il se produit alors, dans l'organe traversé par les courants alternatifs, des sortes d'oscillations électriques, dont le nombre par seconde est égal à la *fréquence* de ces courants.

L'intensité des effets physiologiques dépend à la fois de la différence de potentiel et de la fréquence des courants. — Quand le nombre des courants qui se succèdent en une seconde n'est pas très considérable, les effets sont d'autant plus accentués que la différence de potentiel est plus grande; pour une différence de potentiel de 1000 volts, l'effet des courants peut entraîner la mort. — Mais quand la fréquence devient très considérable, les effets physiologiques diminuent d'intensité. Par exemple, quand la fréquence dépasse 50 000, les courants alternatifs n'excitent plus les nerfs moteurs, ni les nerfs de la sensibilité; et cela, même avec de très grandes différences de potentiel.

diamant lui-même. Les bagnettes de charbon peuvent être courbées ou soudées entre elles; le diamant se transforme en une sorte de graphite, laissant sur le papier une trace noirâtre.

(*) De ces deux contractions, que l'on observe, la première au moment de la *fermeture* du circuit, la seconde au moment de la *rupture*, l'une ou l'autre peut manquer de se produire, quand on opère avec des courants faibles; avec un courant suffisamment intense, elles se produisent toujours toutes deux.