

dont la résistance serait $\frac{r r'}{r + r'}$. — D'autre part, on voit que l'on a $\frac{i}{2} = \frac{r'}{r}$, c'est-à-dire que les intensités, dans les deux branches de la dérivation, sont *en raison inverse de leurs résistances*. — Ces résultats avaient été obtenus par Ohm, par une voie un peu différente.

On fait fréquemment usage des dérivation, dans les expériences destinées à la mesure des intensités des courants. — Nous verrons, par exemple, que les galvanomètres, pour peu qu'ils soient sensibles, ne peuvent fournir des indications exactes qu'à la condition d'être traversés par des courants très faibles. Lorsqu'on veut employer un galvanomètre à la mesure de courants intenses, on le place dans une branche de dérivation du courant principal, et l'on intercale, dans l'autre branche, une ou plusieurs bobines de fils métalliques, construites spécialement de manière à présenter des résistances qui soient *des multiples connus* de celle du galvanomètre. Le galvanomètre, traversé alors par un courant faible, donne avec exactitude l'intensité i de ce courant : on en déduit, au moyen des formules précédentes, l'intensité I dans la partie non divisée du circuit (*).

545. Unité de force électromotrice, ou volt. — Unité d'intensité, ou ampère. — Pour mesurer les forces électromotrices des piles, on a pris longtemps pour unité la *force électromotrice de l'élément Daniell*, dont nous avons montré la constance.

Des considérations théoriques, semblables à celles qui ont déterminé le choix de l'*ohm* pour unité de résistance (538), ont conduit le Congrès international des électriciens à adopter une unité de force électromotrice un peu différente : on lui a donné le nom de *volt*, en mémoire du savant italien auquel est due la découverte de la pile. — L'unité *théorique* de force électromotrice, dérivée des unités fondamentales du système C. G. S., aurait eu une valeur trop petite pour être employée commodément dans la pratique. Pour définir le *volt*, ou unité *pratique* de force électromotrice, on est convenu de prendre le produit de cette unité théorique par 10^8 (ou cent millions). — C'est une force électromotrice peu différente de celle de l'élément Daniell, qui vaut exactement $1^{010},079$. — On obtient un élément de pile dont la force électromotrice est presque exactement 1 volt, en combinant une lame de zinc amalgamé, plongée dans l'acide sulfurique étendu de douze fois son poids d'eau, et une lame de cuivre, plongée dans une solution d'azotate de cuivre (**).

(*) Le système de bobines dont il s'agit doit être évidemment construit, d'une manière spéciale, pour *chaque galvanomètre* en particulier. — On le désigne, en Angleterre, sous le nom *shunt*.

(**) On voit que, dans tous les cas, les évaluations des forces électromotrices, effectuées en prenant pour unité celle de l'élément Daniell, pourront toujours être considérées

Cette unité de force électromotrice est en même temps l'*unité de potentiel* (443), car, dans les formules précédentes, la quantité n'est autre chose que la différence de potentiel des deux pôles de la pile.

Enfin, le choix de l'unité de force électromotrice, et le choix que nous avons fait de l'unité de résistance (538), entraînent, comme conséquence, la fixation de l'*unité d'intensité* de courant. — En effet, si l'on désigne par E la force électromotrice mise en jeu dans un circuit déterminé, de résistance totale R , nous avons vu que l'on a $i = \frac{E}{R}$. Dès lors, l'*unité d'intensité* sera l'intensité du courant produit par une force électromotrice de 1 volt, dans un circuit ayant pour résistance totale 1 ohm. — Cette unité a reçu le nom d'*ampère*, en mémoire du savant français qui a découvert les lois des actions des courants les uns sur les autres (*).

546. Détermination expérimentale des constantes d'une pile. — D'après ce que nous avons vu, une pile placée dans un circuit intervient à la fois par sa *résistance* et par sa *force électromotrice*. Ce sont là les deux *constantes* qui caractérisent la pile elle-même, et qu'il importe, dans la pratique, de déterminer expérimentalement.

Une fois la pile installée, on en peut mesurer la *résistance* par diverses méthodes. La plupart de ces méthodes consistent à mesurer les variations qu'éprouve l'intensité du courant, quand on le fait passer dans des conducteurs de résistances connues, que l'on dispose successivement, soit en un circuit continu, soit en dérivation. Les formules déduites des lois d'Ohm fournissent autant d'équations qu'on a effectué d'expériences : il suffit, en général, de deux équations, entre lesquelles on élimine la force électromotrice E , pour déterminer la résistance R de la pile. — On trouve ainsi, comme on pouvait le prévoir, que les résistances présentent des valeurs très diverses, même pour des éléments de piles d'un même système, selon les dimensions de ces éléments, les épaisseurs des couches liquides, etc.

comme fournissant au moins des valeurs approchées des forces électromotrices en volts.

(*) Le Congrès international des électriciens a encore fixé la valeur de deux autres unités pratiques, dont la valeur dérive des précédentes.

L'*unité de quantité* d'électricité, ou *coulomb*, est la quantité d'électricité fournie, en une seconde, par un courant ayant pour intensité 1 ampère. — Il résulte des expériences de Weber, dont M. Mascart a vérifié l'exactitude, que pour mettre en liberté un milligramme d'hydrogène en une seconde, par la décomposition de l'eau, il faut un courant ayant pour intensité 96 ampères.

L'*unité de capacité électrique*, ou *farad* (du nom du physicien anglais Faraday), est la capacité électrique d'un conducteur tel que, chargé d'une quantité d'électricité égale à 1 coulomb, il donne une force électromotrice de 1 volt. — La considération des capacités électriques est surtout utile pour l'étude des condensateurs. Il n'existe pas de condensateur ayant une capacité assez grande pour représenter 1 farad. Aussi, emploie-t-on ordinairement, pour mesurer les capacités électriques des condensateurs, le *microfarad*, c'est-à-dire la millionième partie du farad.

Au contraire, la *force électromotrice* d'un élément de pile dépend uniquement de la nature des substances qui le composent, et nullement des dimensions. Elle peut donc être déterminée, une fois pour toutes, pour *chaque espèce d'éléments* de piles, et les valeurs ainsi obtenues pourront être employées dans tous les cas où l'on aura à faire usage d'éléments de même espèce.

Pour mesurer la force électromotrice E d'un élément de pile, la méthode la plus simple est la suivante : — On ferme d'abord le circuit de l'élément de pile avec un fil métallique long et fin, dans lequel est interposé un galvanomètre : soient R la résistance de l'élément de pile, que nous supposons préalablement connue, et r la résistance de la partie extérieure ; soit I l'intensité du courant, donnée par le galvanomètre. — On remplace ensuite cet élément de pile, dans le même circuit, par un élément d'espèce différente, dont on connaît la force électromotrice E' en volts : ce sera, par exemple, un élément de Daniell, ou l'élément à azotate de cuivre que nous avons indiqué (545) ; soient R' la résistance de cet élément, et I' l'intensité du courant, fournie par l'observation du galvanomètre. — Les lois d'Ohm donnent :

$$I = \frac{E}{R + r}, \quad I' = \frac{E'}{R' + r}, \quad \text{d'où} \quad \frac{E}{E'} = \frac{I(R + r)}{I'(R' + r)}$$

La valeur de E' étant supposée connue en volts, on en déduira la valeur de E , évaluée avec la même unité. — On voit que, si l'on suppose la résistance extérieure r choisie de manière qu'elle soit très grande par rapport à R et à R' , on pourra considérer les termes $R + r$ et $R' + r$ comme sensiblement égaux, et poser simplement

$$\frac{E}{E'} = \frac{I}{I'}$$

Le tableau suivant donne les forces électromotrices, en volts, des éléments de piles les plus employés :

	Force électromotrice, en volts.
Élément Daniell ordinaire.....	1,079
Élément Daniell, zinc dans une solution de sulfate de zinc.....	0,935
Élément de Grove.....	0,956
Élément de Bunsen.....	1,754
Élément de Leclanché.....	1,61
Élément de pile secondaire de Planté.....	7,38

547. *Force électromotrice des piles thermo-électriques.* — Les éléments de piles *thermo-électriques* (524) sont, en général, remarquables par la faiblesse de leur force électromotrice, qui est toujours une très petite fraction de volt.

Ce qu'il est essentiel de remarquer, c'est que, pour chaque espèce d'élément thermo-électrique, la force électromotrice est *proportionnelle* à la *différence de température* des deux soudures, au moins tant que cette différence ne dépasse pas certaines limites. — C'est là une remarque importante, dont nous aurons à indiquer plus tard diverses applications.

548. *Détermination expérimentale de la résistance des conducteurs. — Méthode du pont de Wheatstone.* — Dans tout ce qui précède, nous avons supposé qu'on connaissait avec exactitude les résistances des conducteurs employés. Or, la méthode que nous avons indiquée pour déterminer la résistance d'un conducteur (539) ne présente qu'une précision insuffisante, quand on l'applique à un fil dont la résistance est faible par rapport à celle de la pile : l'interposition de ce fil dans le circuit ne produit, dans l'intensité du courant évaluée par la déviation du galvanomètre, qu'une variation inappréciable.

Parmi les procédés qui peuvent être employés pour la mesure des résistances des conducteurs, celui qui a été indiqué par Wheatstone est particulièrement simple. En voici le principe. — Supposons que, les deux pôles d'une pile P aboutissant à deux points C et D (fig. 428), on réunisse ces deux points par deux dérivations formées, l'une de deux conducteurs A et R , dont les résistances seront a et r , et qui seront placés bout à bout ; l'autre, de deux conducteurs B et S , dont les résistances seront b et s , et qui seront également placés bout à bout. Supposons enfin que les points de jonction M et N des deux systèmes soient réunis par un conducteur MN , comprenant un galvanomètre G ; c'est ce conducteur MN qu'on appelle le *pont*. Cherchons quelle

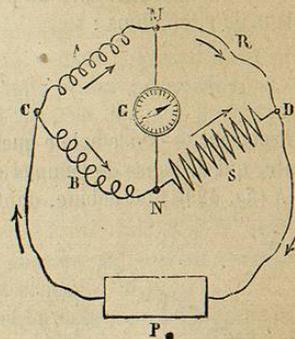


Fig. 428. — Pont de Wheatstone.

est la relation qui doit exister entre les résistances a , b , r , s , pour que, dans ce réseau de conducteurs, le fil MN ne soit traversé par aucun courant, ou pour que l'aiguille du galvanomètre n'éprouve aucune déviation. — Pour cela, remarquons que, s'il ne passe aucune quantité d'électricité par MN , on peut affirmer que le courant a une même intensité i dans le conducteur A et dans le conducteur R , et une même intensité i' dans le conducteur B et dans le conducteur S . Dès lors, appliquons le théorème de Kirchhoff (544) au circuit fermé $CMNC$, qui ne contient aucune force électromotrice, et dans lequel, en suivant le circuit dans un même sens, on rencontre des courants marchant en sens contraire : on aura (en faisant $E = 0$ dans la formule générale, et

en donnant à i' un signe contraire à celui de i :

$$(1) \quad ia - i'b = 0.$$

En appliquant le même théorème au circuit fermé MDNM, on aura :

$$(2) \quad ir - i's = 0.$$

De ces deux équations, on tire

$$\frac{r}{s} = \frac{a}{b}$$

c'est-à-dire que, s'il ne passe aucune portion du courant par le pont, les résistances des conducteurs situés au delà du pont sont dans le même rapport que les résistances des conducteurs situés en deçà.

Pour appliquer ce résultat à la mesure de la résistance d'un fil, on pourra placer en A et en B deux bobines, de résistances connues a et b ; en R, le fil qui est l'objet de l'expérience; enfin en S, une boîte de résistances, contenant une succession de bobines construites de manière à représenter des multiples successifs de l'ohm. On déterminera, par tâtonnements, quel est le nombre d'ohms s qu'on devra prendre, pour que le galvanomètre du pont reste au zéro, et l'on en déduira la valeur de r , en ohms :

$$r = s \cdot \frac{a}{b}.$$

Remarque. — On emploie quelquefois une disposition un peu différente, qui dispense de l'emploi d'une boîte de résistances. — On place en A (fig. 429) une bobine, dont la résistance a est connue en ohms;

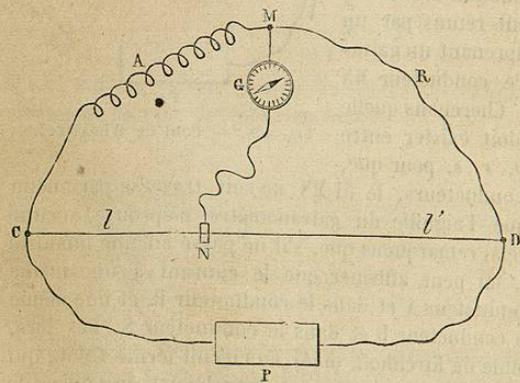


Fig. 429.

en R, le fil qui est l'objet de l'expérience; entre C et D est tendu un fil rectiligne, sur une règle divisée. Sur ce fil est disposée une petite pièce métallique N, qui est mobile sur le fil lui-même, et à laquelle vient aboutir l'extrémité du conducteur MGN qui forme le pont. — On règle, par tâtonnements, la position de la pièce N sur le fil, de manière que

e galvanomètre reste au zéro. En lisant alors, sur la règle divisée, les deux longueurs CN et ND, et désignant ces longueurs par l et l' , on a

$$\frac{r}{l'} = \frac{a}{l} \quad \text{ou} \quad r = a \frac{l'}{l};$$

la résistance a de la bobine étant donnée en ohms, on obtient ainsi la valeur de r , évaluée avec la même unité.

V. — PHÉNOMÈNES DE POLARISATION. — INTERVENTION DE CES PHÉNOMÈNES DANS LES PILES HYDRO-ÉLECTRIQUES.

549. **Phénomènes de polarisation : influence de ces phénomènes sur l'intensité des courants.** — Dans tous les cas où l'on décompose un électrolyte par un courant, si les électrodes sont formées par des corps inattaquables par les produits de la décomposition, on observe, au bout de peu d'instant, une diminution dans l'intensité du courant.

Pour constater le phénomène et en concevoir la cause, on peut disposer l'expérience de la manière suivante. — Dans le circuit d'une pile, on interpose un voltamètre à eau acidulée et un galvanomètre : dès que la décomposition de l'eau a marché pendant quelques instants, on voit diminuer notablement la déviation de l'aiguille du galvanomètre. — Si l'on supprime alors la pile, et qu'on la remplace par un fil métallique, de manière à former un nouveau circuit, l'aiguille du galvanomètre est encore déviée, mais elle accuse un courant dont le sens est contraire à celui du courant primitif. Ce courant, dit courant secondaire, a une intensité moindre que le courant primitif.

Dès lors, pour expliquer l'affaiblissement progressif du courant de la pile, il suffit d'admettre que le courant secondaire existait avec celui de la pile elle-même, et que ces deux actions contraires se neutralisaient en partie sur le galvanomètre. — Lorsque les électrodes sont amenées à cet état particulier où elles peuvent produire un courant secondaire, on dit qu'elles sont polarisées.

Quant à la cause qui produit le courant secondaire, dans l'exemple précédent, c'est la présence de l'oxygène et de l'hydrogène au contact des fils de platine du voltamètre. En effet, on peut également produire un courant, en établissant une communication entre deux fils de platine qui n'ont servi à aucune décomposition électrolytique, mais dont les extrémités pénètrent dans deux éprouvettes placées sur l'eau et contenant, l'une de l'hydrogène, l'autre de l'oxygène. — On a même construit des piles à gaz, formées d'éléments ainsi constitués; mais les

courants produits par ces piles n'ont qu'une durée limitée : comme ils sont dus à la combinaison progressive des gaz, ils cessent dès que les gaz libres ont disparu.

On peut faire des observations semblables dans la plupart des exemples de décompositions chimiques par les courants.

550. Interprétation des procédés employés pour augmenter la constance dans les piles hydro-électriques. — Il nous est maintenant facile de nous rendre compte de l'efficacité des procédés employés (518 à 522) pour diminuer la variabilité dans les piles hydro-électriques.

Et d'abord, nous avons constaté (518) que, si l'on emploie du zinc amalgamé pour la construction de l'une quelconque des modifications de la pile de Volta, ce métal n'est pas attaqué tant que le circuit n'est pas fermé, et que, au moment de la fermeture du circuit, l'hydrogène apparaît en bulles fines, exclusivement sur le cuivre. M. de la Rive a montré que la même propriété appartient au zinc *parfaitement pur* (*). — Or, en analysant le zinc du commerce, on constate qu'il est allié à plusieurs métaux étrangers, et que les diverses régions d'une même plaque sont très différentes les unes des autres sous ce rapport. On conçoit donc que ces métaux forment, dans les divers points d'une lame, des couples dont le circuit est toujours fermé, et qui, par suite, peuvent toujours décomposer l'eau, dès que la lame y est plongée. De là résultent, même après la fermeture du circuit de la pile, de petits courants qui circulent dans les parties hétérogènes de la lame, et qui sont perdus au point de vue de l'intensité du courant interpolaire; de là aussi, un dégagement d'hydrogène sur les métaux alliés au zinc et

(*) L'expérience de M. de la Rive est très simple et facile à reproduire :

On plonge dans un vase V, contenant de l'eau acidulée (fig. 430), une lame de zinc *parfaitement pur* : on n'observe qu'une action chimique à peu près insensible, et un dégagement d'hydrogène à peine appréciable. Lorsqu'on plonge dans le même liquide un fil conducteur quelconque, par exemple un fil de platine, l'action est encore nulle, tant qu'il n'y a pas contact entre les deux métaux : mais, si l'on vient à fermer le circuit, en touchant la lame de zinc Z avec le fil de platine P, comme le représente la figure 430, on voit l'action chimique devenir très intense, et l'hydrogène se dégager en petites bulles, *uniquement sur le platine*.

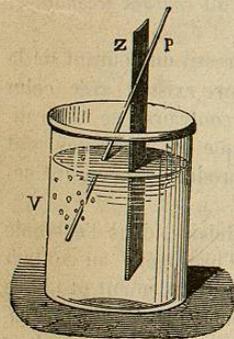


Fig. 430.

L'expérience réussit de la même manière avec un métal autre que le zinc, et avec un liquide autre que l'acide sulfurique. Si le métal est parfaitement pur, le liquide, bien que capable d'agir sur lui pour former un sel, n'exerce pas d'action tant que le circuit n'est pas fermé par un corps conducteur, non attaqué par le liquide, ou moins attaqué que le premier; au contraire, l'action commence dès que le circuit est fermé, et les corps mis en liberté par la décomposition du liquide se dégagent exclusivement à la surface du conducteur non attaqué.

moins attaquables que lui. L'emploi du zinc du commerce a donc deux inconvénients : 1° une partie de l'action chimique est perdue pour le courant interpolaire; 2° les bulles de gaz, qui augmentent la résistance du circuit et qui se dégagent irrégulièrement, rendent le courant variable et moins intense. — Ces inconvénients disparaissent lorsqu'on emploie du zinc amalgamé, plus homogène à sa surface que le zinc ordinaire : l'expérience montre que le zinc amalgamé se comporte à peu près comme du zinc pur.

Mais, lors même qu'on emploie du zinc amalgamé, les piles à un seul liquide, comme la pile de Volta, la pile à tasses, la pile de Wollaston, donnent toujours des courants d'intensité graduellement décroissante. Ce résultat est dû à ce que l'hydrogène, qui provient de la décomposition de l'eau, et qui se porte sur le cuivre, donne naissance à un *courant secondaire* de polarisation. Ce courant, de sens contraire au courant principal, a pour effet d'en diminuer l'intensité. Ainsi s'explique l'efficacité du *bichromate de potasse*, mélangé à l'eau acidulée, dans la pile que nous avons étudiée (519). Ce corps, en fournissant de l'oxygène qui reforme de l'eau avec l'hydrogène, supprime dans la pile l'apparition de l'hydrogène : le courant gagne alors en intensité et en constance.

Dans les piles à deux liquides séparés, comme la pile de Daniell (520) ou la pile de Bunsen (521), le liquide qui environne le pôle positif de chaque élément donne lieu, comme nous l'avons vu, à un effet semblable. C'est la cause principale de la supériorité de ces piles sur les piles à un seul liquide. — Enfin, dans la pile Leclanché (522), le rôle du bioxyde de manganèse que contient le vase poreux est encore le même : cependant l'expérience montre que, dans cette pile, la polarisation est détruite d'une manière moins complète que dans la pile de Daniell.

551. Piles secondaires de M. Planté. — Les phénomènes de polarisation ont été utilisés pour la construction de piles, dites *piles secondaires*, qui ont été, de la part de M. Planté, l'objet de perfectionnements permettant d'obtenir des effets remarquables.

Le principe de la construction de ces piles est le suivant. — Dans un vase contenant de l'eau acidulée (fig. 431), on introduit deux lames de plomb, que l'on enroule en spirale, de manière à former deux électrodes qui présentent une très grande surface sans que leur volume soit trop considérable. Ces deux spirales sont emboîtées l'une dans l'autre, et séparées par une toile qui s'imprègne du liquide, en sorte que, dans toute leur étendue, les deux lames présentent une couche d'eau acidulée, interposée entre elles. Les deux lames étant mises respectivement en communication avec les deux pôles d'une pile quelconque, l'hydrogène qui provient de la décomposition de l'eau se porte sur l'une d'elles, l'oxygène sur l'autre. Mais, pendant un temps assez

long, la plus grande partie de ces gaz se condense sur les lames de plomb, et le dégagement de gaz dans le liquide est très faible. On supprime l'action de la pile extérieure, dès que le dégagement gazeux devient abondant.

L'appareil, ainsi chargé, peut être conservé pendant un temps plus ou moins long, sans perdre sa charge. Lorsqu'on vient à réunir les deux lames par un conducteur, il se produit un courant de sens contraire à celui qui a servi à les charger, et qui conserve une constance remarquable, tant que les provisions de gaz fixées sur les lames ne sont pas épuisées. — Avec plusieurs éléments ainsi constitués, et de dimensions suffisantes, on peut obtenir des effets très intenses.

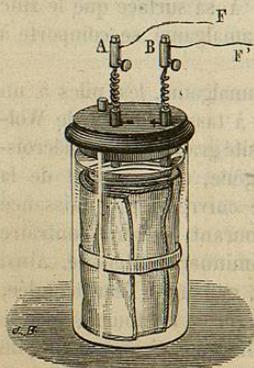


Fig. 451.
Élément de pile secondaire.

C'est d'après ces principes que l'on construit, depuis quelques années, des appareils que l'on désigne sous le nom d'*accumulateurs*, et qui sont destinés à faciliter l'emploi de l'électricité, dans des locaux où il serait impossible d'installer des piles ordinaires ou des machines comme celles que nous étudierons plus loin (619). — On charge les accumulateurs, dans les établissements industriels où sont disposés les appareils générateurs d'électricité, et on les transporte ensuite dans le lieu où l'on doit en faire usage; on peut ainsi utiliser, quand on veut, où l'on veut, et sans grande perte, l'énergie qui a été dépensée pour les charger.

VI. — GALVANOPLASTIE. — DORURE, ARGENTURE ET CUIVRAGE GALVANIQUES.

552. **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.

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*, qui a la propriété de se ramollir sous l'action d'une douce chaleur, et qui reprend, à la température ordinaire, une dureté comparable à celle d'un cuir résistant. Cette empreinte est *inverse*, c'est-à-dire qu'elle donne en creux les reliefs de la médaille,

et réciproquement : on conçoit donc que, si l'on parvient à déposer sur l'empreinte une couche de cuivre, cette couche, détachée ensuite de l'empreinte, sera la reproduction *directe* de la médaille.

Pour obtenir le dépôt de cuivre, on emploie le procédé qui a été décrit plus haut (530). Le vase A (fig. 452) contient une solution saturée

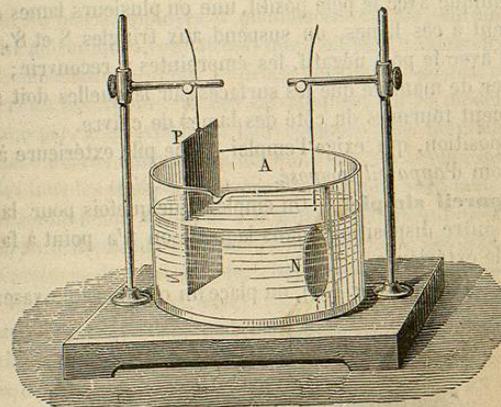


Fig. 452. — Galvanoplastie.

de sulfate de cuivre; l'empreinte de la médaille, préalablement couverte d'une légère couche de plombagine, de manière à rendre conduc-

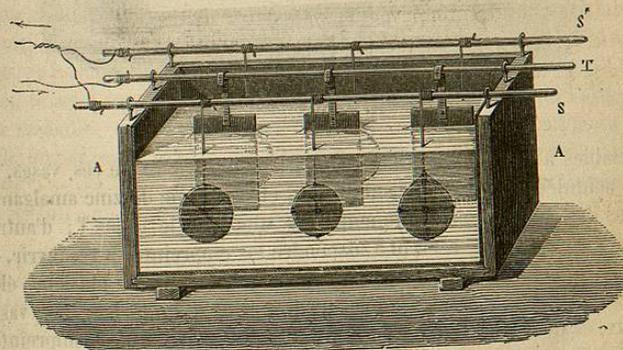


Fig. 453. — Cuve pour la galvanoplastie. (Appareil composé.)

teurs les points de la surface qui doivent recevoir le dépôt, est placée en N, à l'extrémité d'un fil communiquant 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 élec-

trode (554). — On arrête l'opération lorsque la couche de cuivre a atteint une épaisseur suffisante, et on la détache de l'empreinte.

La figure 453 représente un appareil qui peut servir à reproduire galvaniquement plusieurs objets à la fois. La cuve AA contient une solution de sulfate de cuivre; on suspend à la tringle métallique T, qui communique avec le pôle positif, une ou plusieurs lames de cuivre. 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*.

553. **Appareil simple.** — On emploie quelquefois pour la galvanoplastie une autre disposition, dans laquelle on n'a point à faire intervenir de pile extérieure.

Au centre de la cuve (fig. 454), on place un ou plusieurs vases poreux,

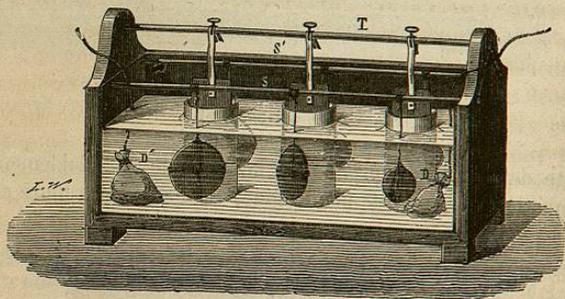


Fig. 454. — Appareil simple.

semblables à ceux des piles de Daniell; dans chacun de ces vases, de l'eau acidulée par de l'acide sulfurique, et une lame de zinc amalgamé. Toutes les lames communiquent avec une tringle isolée T; d'autres tringles isolées 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 (520). — L'appareil est connu sous le nom d'*appareil simple* (*).

(*) On voit que, avec cette disposition, le bain tend à s'appauvrir progressivement 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 se dis-

554. **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 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-postes*, 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.

555. **Dorure et argenture galvaniques.** — C'est à M. 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. L'expérience a montré que les sels les plus convenables sont, pour la dorure, le cyanure double d'or et de potassium; pour l'argenture, le cyanure double d'argent et de potassium.

Supposons que la cuve A de la figure 452 contienne une solution de cyanure double d'argent et de potassium; que la lame P soit une lame d'argent, et que N soit une médaille de cuivre, qu'on se propose d'argenter. Si P communique avec le pôle positif, N avec le pôle négatif de la pile, le sel 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 453 donne une idée des appareils qu'on emploie pour argenter un grand nombre de pièces à la fois.

solvent à mesure que l'opération se poursuit. — Quand le bain a servi pendant un certain temps, on l'enlève de la cuve: on neutralise, par une addition de craie en poudre, l'acide sulfurique qui avait été mis en liberté, et l'on enlève, par une filtration le sulfate de chaux ainsi formé.

(*) 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 par le *dérochage* et le *décapage*. — On chauffe d'abord ces objets, pour détruire les matières grasses dont ils peuvent être souillés; ils se couvrent alors d'une légère couche d'oxyde; on les plonge, encore chauds, dans de l'eau aiguisée d'acide sulfurique, qui enlève l'oxyde noir et ne laisse qu'un peu

L'opération de la dorure se fait d'une manière tout à fait semblable, avec cette seule différence qu'elle exige une température d'environ 70 degrés, que l'on maintient en plaçant les bains de dorure sur un feu doux.

556. **Cuivrage, nickelage, etc.** — En modifiant, dans quelques-uns de leurs détails, 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 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, les statues et les divers objets de fonte qui ornent nos places publiques, on les revêt d'une couche de cuivre, à laquelle les procédés de M. Fr. Weill permettent de donner une adhérence parfaite. — 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. Le nickel est absolument inoxydable, et, comme c'est en outre un métal très dur, il suffit d'une couche mince pour résister très longtemps à l'usure que tendent à déterminer les frottements.

Ces exemples suffisent pour montrer tout le parti que l'industrie peut tirer des dépôts galvaniques : il n'est presque plus de métaux dont les propriétés spéciales ne puissent être utilisées par des procédés de ce genre.

d'oxyde rouge; puis, on lave à grande eau. La pièce, ainsi *dérochée*, est ensuite plongée dans de l'acide nitrique faible, puis, pendant une ou deux secondes, dans de l'acide nitrique concentré, auquel on a ajouté un peu de sel marin : c'est le *décapage*. Enfin, la pièce est rincée, et portée au bain d'argent ou au bain d'or.

CHAPITRE IV

ÉLECTRO-MAGNÉTISME

I -- EXPÉRIENCE D'ØRSTED ET LOI D'AMPÈRE. — CONSTRUCTION ET USAGE DU GALVANOMÈTRE.

557. **Expérience d'Ørsted.** — L'électro-magnétisme est l'étude des actions exercées par les courants sur les aimants, et des actions réciproques. — Une action de ce genre fut observée pour la première fois en 1820, par Ørsted, professeur à Copenhague. En plaçant un fil métallique dans une direction parallèle à une aiguille aimantée mobile sur un pivot, Ørsted vit l'aiguille abandonner sa position d'équilibre, dès qu'on faisait passer un courant dans un fil.

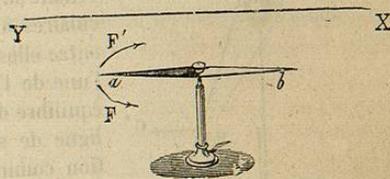


Fig. 455.

Le sens de la déviation observée dépendait, et de la direction du courant, et de sa position par rapport à l'aiguille : ainsi, quand le fil XY était placé au-dessus de l'aiguille (fig. 455), selon que le courant allait du nord au sud ou en sens contraire,

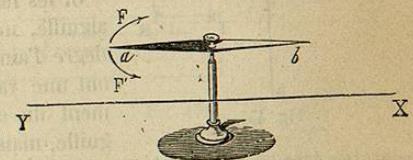


Fig. 456.

le pôle austral de l'aiguille était dévié vers l'est ou vers l'ouest, c'est-à-dire dans le sens de la flèche F ou dans le sens de la flèche F'. Lorsqu'on plaçait le fil au-dessous de l'aiguille (fig. 456), les résultats étaient encore intervertis. — Ces divers résultats peuvent être compris dans un même énoncé, connu sous le nom de *loi d'Ampère*.