chaque élément s'ajoutent alors, comme dans une pile de Volta, et l'on a une force électromotrice totale 20 fois plus grande qu'avec un seul élément.

1015. **Modifications de l'accumulateur Planté.** — On a cherché à perfectionner l'accumulateur Planté en accélérant la formation des couches de plomb poreux et de plomb peroxydé ; car c'est de l'épaisseur de ces couches que dépend la puissance de l'appareil.

1° *Perfectionnement de Planté.* — M. Planté a indiqué un premier moyen, qui consiste à attaquer les lames de plomb *préalablement* par l'acide azotique : il les rend ainsi plus aptes à subir l'action du courant primaire.

2° *Accumulateurs Faure.* — M. Faure a proposé le perfectionnement suivant. Il recouvre préalablement les deux lames de plomb d'une couche de minium (Pb^3O^4), maintenue au moyen de lames de feutre ou de flanelle. Sous l'action du courant primaire, le minium se transforme rapidement en peroxyde (PbO^2) sur la lame positive, et en plomb spongieux (Pb) sur la lame négative : les deux lames actives sont ainsi plus vite obtenues et l'accumulateur plus vite formé.

Mais les couches actives de peroxyde n'adhèrent pas suffisamment aux électrodes et se désagrègent rapidement; de plus, le feutre et la flanelle interposés augmentent la résistance intérieure et se désorganisent au contact de l'eau acidulée [1].

1016. **Constantes des accumulateurs genre Planté (au plomb).** — Quels que soient la constitution et le mode de formation des divers accumulateurs au plomb, leurs constantes sont sensiblement les mêmes.

1° *Force électromotrice.* — Elle est environ de $2^v,2$ au commencement, de 2 volts environ pendant la plus grande partie de la décharge, et de $1^v,7$ à la fin.

2° *Résistance intérieure.* — Elle varie suivant le développement des lames, leur écartement et la concentration des liquides, mais elle ne dépasse jamais *quelques centièmes* d'ohm.

3° *Capacité d'emmagasinement.* — Pour des accumulateurs bien formés, elle peut atteindre 4000 kilogrammètres par kilogramme de plomb.

4° *Rendement électrique.* — Le travail électrique rendu par l'accumulateur est environ 40 pour 100 du travail total fourni par la source primaire, et 60 pour 100 du travail *emmagasiné.*

CHAPITRE IV

EFFETS DIVERS DES COURANTS. — ÉLECTROLYSE ET GALVANOPLASTIE.

1017. **Effets des courants.** — Ces effets sont différents de ceux de l'électricité statique. Cela tient à ce que ces derniers sont dus à une recomposition instantanée de deux charges électriques à des potentiels très différents, tandis que les premiers résultent d'une recomposition lente des charges, à potentiels peu différents, qui sont sur les deux pôles de la pile. D'ailleurs, grâce à leur continuité, les effets des courants sont beaucoup plus remarquables que ceux des machines électriques.

1. R. Colson, *Traité élémentaire d'électricité.*

On peut les diviser, comme ceux de l'électricité statique, en *effets physiologiques*, *mécaniques*, *chimiques* et *physiques*. Ces derniers, les plus nombreux et les plus variés, comprennent les effets *calorifiques*, *lumineux*, *magnétiques* et les effets *d'induction*.

Les effets chimiques, les effets calorifiques et les effets lumineux dépendent surtout de la quantité d'électricité mise en mouvement dans la pile, et par conséquent de la surface des couples. On les obtient principalement avec des piles montées en *quantité* ou en *batterie*.

Les effets magnétiques, au contraire, ainsi que les effets physiologiques, dépendent de la différence de potentiels, et par suite du nombre des couples : on les manifeste surtout avec des éléments associés en série. Nous avons démontré ci-dessus (998) que, dans tous les cas, le maximum d'effet avec un nombre de couples donné s'obtient en les disposant de manière que la résistance intérieure de la pile soit égale à celle du circuit extérieur que doit parcourir le courant. Enfin, tous les effets de la pile augmentent avec l'intensité du courant.

EFFETS PHYSIOLOGIQUES.

1018. **Actions sur les nerfs et sur les muscles.** — On a vu que ces effets furent les premiers observés, puisque c'est à eux qu'est due la découverte de l'électricité dynamique par Galvani. Ils consistent en commotions et en contractions musculaires, d'autant plus énergiques que les piles sont plus puissantes.

1° En prenant dans les deux mains les rhéophores d'une forte pile, on ressent une commotion violente, comparable à celle de la bouteille de Leyde, surtout si les mains sont mouillées d'eau acidulée ou salée, ce qui augmente la conductibilité. La commotion est encore plus intense au moment où on lâche l'un des rhéophores. Avec une pile de Bunsen de 50 à 60 couples petit modèle, la commotion est forte; avec 150 à 200 couples, elle est insupportable, et même dangereuse. Elle se fait ressentir moins avant dans les bras que la commotion de la bouteille de Leyde et, transmise par une chaîne de plusieurs personnes, elle n'est ressentie que par celles qui sont plus rapprochées des pôles.

2° Les effets physiologiques des courants ne sont pas les mêmes sur les nerfs sensitifs, sur les nerfs moteurs et sur les muscles. Si le courant agit sur les premiers seuls, il y a douleur; sur les

seconds, il y a commotion; sur les muscles, il y a contraction, mais il faut alors un courant à plus forte tension.

3° Tous ces effets ne se font sentir qu'à la fermeture et à l'ouverture du courant, et ils cessent aussitôt que le courant est établi. Toutefois avec des courants très énergiques les commotions et les sensations persistent; seulement elles sont beaucoup plus faibles qu'à la fermeture et à l'ouverture du circuit.

4° Enfin, les effets des courants sur les nerfs varient suivant qu'ils se propagent dans le sens des ramifications nerveuses ou en sens contraire.

EFFETS CHIMIQUES. — LOIS DE L'ÉLECTROLYSE.

1019. **Expérience fondamentale. — Décomposition de l'eau.** — Le premier effet chimique observé fut la décomposition de l'eau, opérée en 1800 par deux Anglais, Carlisle et Nicholson, avec une pile à colonnes. Il suffit de quatre ou cinq couples de Bunsen pour décomposer l'eau avec rapidité; mais celle-ci doit contenir en dissolution un sel ou un acide qui augmente sa conductibilité; sinon la décomposition est très lente, parce que, l'eau pure étant fort peu conductrice, il n'y passe qu'un courant faible. L'appareil dont on se sert pour décomposer l'eau par la pile, et recueillir l'oxygène et l'hydrogène qui se dégagent, se compose d'un vase de verre, mastiqué dans un socle de bois (fig. 951). Du fond du vase s'élèvent deux fils de platine *h* et *n*, en communication avec deux bornes de cuivre, fixées sur les côtés de l'appareil et destinées à recevoir les électrodes de la pile. Après avoir rempli le vase d'eau légèrement acidulée, on pose sur les fils de platine deux cloches pleines d'eau, puis on établit le courant. Aussitôt l'eau est décomposée en oxygène et en hydrogène qui se dégagent dans les cloches. On vérifie alors que la cloche positive se remplit

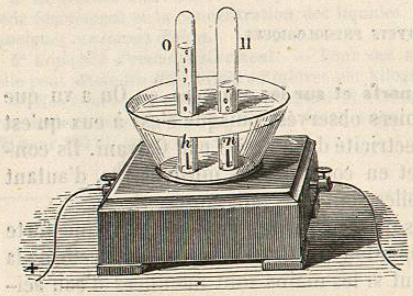

Fig. 951.

d'oxygène, et la cloche négative d'hydrogène; on constate que le volume de ce dernier gaz est double du premier. Cette expérience donne donc à la fois l'analyse qualitative et l'analyse quantitative de l'eau.

1020. **Définitions.** — Les substances qui, comme l'eau, sont décomposées par le courant, et dont les éléments sont complètement séparés, ont reçu de Faraday le nom d'*électrolytes;* et il a appelé *électrolysation* ou *électrolyse* le fait même de la décomposition par le courant. L'appareil qui sert à l'expérience fondamentale de l'électrolyse s'appelle un *voltamètre*. Les substances soumises à l'électrolyse sont des *électrolytes*. Enfin les surfaces métalliques qui établissent la communication entre l'électrolyte et le circuit général de la pile sont appelées *électrodes*.

1021. **Lois expérimentales de l'électrolyse.** — 1° Si l'on dispose à la suite les uns des autres une série de voltamètres, V, V′, V″, et qu'on les fasse traverser par un même courant (fig. 952), on observe que le poids d'hydrogène recueilli dans chacun d'eux est le même dans le même temps, quelles que soient, dans les différents voltamètres, la matière et la distance des électrodes, la proportion et la nature de l'acide. On exprime ce fait en disant que : *L'intensité du courant est la même en tous les points du circuit extérieur de la pile.*

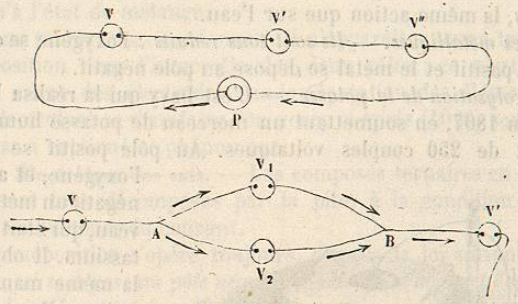

Fig. 952 et 953.

2° Daniell a reconnu également que la quantité de gaz recueillie dans l'intérieur d'un élément est la même que dans les voltamètres extérieurs. D'où l'on conclut que : *L'intensité du courant à l'intérieur de la pile est la même qu'à l'extérieur.*

3° Enfin, si le rhéophore partant du pôle positif de la pile se bifurque en deux fils qui se rendent séparément à deux voltamètres V_1 et V_2 identiques et se réunissent ensuite en un fil

unique aboutissant au pôle négatif de la pile (fig. 953), on recueille dans chaque voltamètre des quantités d'hydrogène égales entre elles; de plus, chacune est exactement la moitié, en temps égaux, du gaz obtenu quand le courant passe tout entier dans un seul des deux voltamètres. D'après l'idée qu'on se fait d'un courant électrique, il est évident, à priori, que la quantité d'électricité qui passe en une seconde par l'un ou l'autre voltamètre est la moitié de la quantité qui passe en une seconde par le circuit principal. On peut donc exprimer le fait précédent en disant que : *Le poids de l'eau décomposée ou de l'hydrogène dégagé dans un temps donné est proportionnel à la quantité d'électricité qui passe dans le voltamètre.*

Toutes ces lois se vérifient également avec d'autres électrolytes que l'eau, tels que des sels en dissolution ou en fusion, à la condition que ces corps soient rendus conducteurs.

1022. **Électrolyse des composés binaires.** — Les courants exercent sur tous les composés binaires, qu'on a d'abord rendus *conducteurs*, la même action que sur l'eau.

Oxydes métalliques. — Ils sont tous réduits : l'oxygène se dégage au pôle positif et le métal se dépose au pôle négatif.

Électrolysation de la potasse. — C'est Davy qui la réalisa le premier, en 1807, en soumettant un morceau de potasse humide au courant de 250 couples voltaïques. Au pôle positif se rendit l'oxygène, et au pôle négatif un métal nouveau, qui était le potassium. Il obtint de la même manière le sodium. Mais ces métaux, à cause de leur grande affinité pour l'oxygène, brûlaient à l'air à mesure qu'ils devenaient libres.

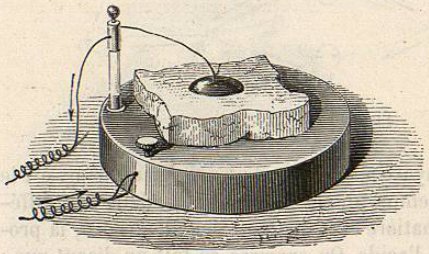

Fig. 954.

On ne peut les préparer par ce procédé qu'en employant le dispositif de Seebeck. Dans un fragment de potasse on pratique une cavité qu'on remplit de mercure; puis on pose la potasse sur une plaque métallique par laquelle on la fait communiquer avec le pôle positif d'une forte pile (fig. 954), tandis qu'on relie le mercure avec le pôle négatif. Le potassium, se portant alors sur le mercure, s'amalgame avec lui sans brûler. En distillant ensuite cet amalgame dans l'huile de naphte,

on a pour résidu le potassium. On opère de la même manière avec la soude.

Oxacides. — Ils sont décomposés de même que les oxydes, et toujours l'oxygène se porte au pôle positif et le radical au pôle négatif.

Hydracides. — Ils sont aussi décomposés, mais leur radical se porte au pôle positif et l'hydrogène au pôle négatif.

Sels haloïdes. — On appelle ainsi les composés binaires métalliques, tels que les chlorures, les iodures, les bromures. Ils se décomposent de la même manière : le métal se dépose au pôle négatif, et le chlore, l'iode, le brome, au pôle positif. Ces composés étant pour la plupart peu conducteurs à l'état solide, c'est à l'état de dissolution, ou à l'état de fusion, qu'il faut les soumettre à l'électrolyse.

Remarques. — 1° Les composés binaires non métalliques, comme le sulfure de carbone, le chlorure de soufre, n'étant pas assez conducteurs pour transmettre le courant, ne peuvent être électrolysés qu'à l'état de mélange.

2° Dans toutes ces expériences, il n'apparaît aucune trace de décomposition dans l'intervalle des deux pôles : ce n'est qu'au contact même des électrodes que la séparation des éléments du corps électrolysé se manifeste. On verra ci-après (1026) comment Grotthuss a expliqué ce phénomène.

1023. **Électrolyse des sels.** — Les composés ternaires en dissolution sont tous décomposés par la pile, à la condition d'être rendus conducteurs du courant.

La décomposition s'opère toujours, d'après la loi suivante : *Le métal du sel se dépose au pôle négatif, tandis que l'acide et l'oxygène de l'oxyde se dégagent au pôle positif.*

Par exemple, avec le sulfate de cuivre on a

$$SO^3,CuO + HO = SO^4 + Cu + HO,$$

et avec le sulfate de potasse

$$SO^3,KO + HO = SO^4 + K + HO.$$

1024. **Lois de Faraday.** — Les quantités des électrolytes décomposés, dans des conditions données, sont déterminées par la loi suivante, découverte par Faraday : *Lorsqu'un même courant agit simultanément sur une suite de dissolutions, les poids des électrolytes décomposés dans chacune d'elles sont dans le même rapport que leurs équivalents chimiques.*

Conséquences. — 1° Si l'on place dans le circuit un voltamètre

à eau, et qu'on prolonge assez l'expérience pour y décomposer un équivalent d'eau, *un équivalent de chacun des électrolytes sera décomposé dans le même temps*. Si l'on appelle *équivalent électrique* la quantité d'électricité qui décompose un équivalent d'eau, on peut énoncer cette autre loi : *Quel que soit l'électrolyte qu'il traverse, toujours l'équivalent électrique en décompose un équivalent.*

2° Enfin, l'intensité du courant étant la même dans toutes les parties du circuit, à l'extérieur et à l'intérieur de la pile, ce n'est pas seulement aux solutions interposées dans le circuit extérieur que la loi de Faraday est applicable, mais à chacun des couples de la pile. De là cette troisième loi : *Pour un équivalent d'électricité envoyé dans le circuit de la pile, un équivalent de zinc est dissous dans chacun des couples de la pile.*

1025. **Effets secondaires d'électrolyse.** — Dans l'électrolyse des solutions salines, il se produit souvent des réactions accessoires qui peuvent masquer la réaction principale. On les désigne sous le nom d'*effets secondaires*. En voici quelques exemples.

1° Dans les sels à base de potasse ou de soude, le métal qui se rend au pôle négatif décompose l'eau en s'emparant de son oxygène et apparaît à l'état d'oxyde en même temps que de l'hydrogène se dégage à ce pôle, et de l'oxygène à l'électrode positive : c'est là un effet secondaire, puisqu'il ne se produit qu'après la décomposition du sel.

2° Avec les sels dont l'oxyde peut prendre un plus haut degré d'oxydation, comme les sels de protoxyde de fer, l'oxygène mis en liberté au pôle positif suroxyde la base du sel, et celui-ci passe à l'état de sel de peroxyde.

3° Enfin, la nature des électrodes donne également lieu à des effets secondaires importants. Dans une dissolution d'un sel de cuivre, si l'électrode positive est elle-même de cuivre, l'oxygène qui s'y dégage à l'état naissant l'attaque en formant de l'oxyde de cuivre; puis ce dernier, se combinant avec l'acide sulfurique qui se rend au même pôle, reproduit une quantité de sulfate précisément égale à celle qui a été décomposée. Le premier effet est la décomposition du sulfate de cuivre, et le second est la reproduction d'une quantité égale du même sel. On verra ci-après l'application de ce dernier effet dans la galvanoplastie, la dorure et l'argenture.

1026. **Théorie de Grotthuss.** — Grotthuss a expliqué les décompositions électrochimiques de la manière suivante. Il admet d'abord que, dans tout composé, un des éléments est électropositif, et l'autre électronégatif. Il suppose ensuite que, sous l'influence des électricités contraires des électrodes, il se

produit dans le liquide où elles plongent une suite de décompositions et de recompositions successives d'un pôle à l'autre, en sorte qu'il n'y a que les éléments des molécules extrêmes qui, ne se recomposant pas, restent libres et se portent aux pôles. L'eau, par exemple, étant formée d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène, et le premier gaz étant électronégatif, le second électropositif, lorsque le liquide est traversé par un courant suffisamment énergique, la molécule *a*, en contact avec le pôle positif, *se polarise*, c'est-à-dire que l'oxygène, qui est électronégatif, se trouve attiré, et l'hydrogène, qui est électropositif, est repoussé (fig. 955). L'oxygène de cette molécule se rendant alors sur l'électrode positive, l'hydrogène mis en liberté s'unit immédiatement à l'oxygène de la molécule *b*, puis l'hydrogène de celle-ci à l'oxygène de la molécule *c*, et ainsi de suite, jusqu'au pôle négatif, où les derniers atomes d'hydrogène restent libres et se dégagent. La même explication s'applique à la décomposition des oxydes métalliques, des acides et des sels, en un mot à toutes les décompositions électrolytiques.

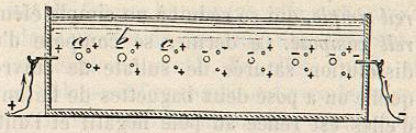

Fig. 955.

GALVANOPLASTIE ET ÉLECTROCHIMIE.

1027. **Galvanoplastie.** — La décomposition des sels par la pile a reçu une importante application dans la *galvanoplastie*. On nomme ainsi l'art de modeler les métaux en les précipitant de leurs dissolutions salines par l'action lente d'un courant électrique. Elle fut découverte presque en même temps, en 1838, par Jacobi en Russie et par Spencer en Angleterre.

Elle comprend deux ordres d'applications : 1° le dépôt de couches métalliques, plus ou moins épaisses, qui se moulent exactement sur les objets à reproduire, mais *sans y adhérer;* 2° le dépôt de couches métalliques minces qui *adhèrent* aux objets et en protègent la surface sans en altérer la forme. Les procédés qui servent dans le premier cas constituent la *galvanoplastie proprement dite;* les procédés employés pour les autres applications constituent l'*électrochimie* ou *galvanisation*, qui comprend : la *dorure*, l'*argenture*, le *cuivrage* et le *nickelage galvanique*.

1028. **Galvanoplastie proprement dite.** — Lorsqu'on veut reproduire le relief d'un objet quelconque, médaille, statue, bijou, etc., on commence par s'en procurer un *moule* en creux. On s'est d'abord servi pour cela du soufre, de la stéarine, de l'alliage fusible de Darcet; mais la substance généralement employée aujourd'hui est la gutta-percha, qui est facile à manier et qui donne des empreintes d'une grande netteté. Une fois que le moule est

obtenu, il ne reste plus qu'à le *métalliser*, c'est-à-dire à l'enduire de plombagine, pour le rendre bon conducteur du courant.

On le porte alors dans l'appareil galvanoplastique, soit l'*appareil simple*, qui se réduit à un simple élément Daniell, soit l'*appareil composé*. Ce dernier se compose d'une cuve remplie d'une dissolution saturée de sulfate de cuivre, sur le bord de laquelle on a posé deux baguettes de laiton B et D (fig. 956) : l'une d'elles est reliée au pôle négatif et l'autre au pôle positif de la pile; on suspend à la première le moule *m*, qu'on vient de préparer, et à l'autre une plaque de cuivre C. Le courant se trouvant

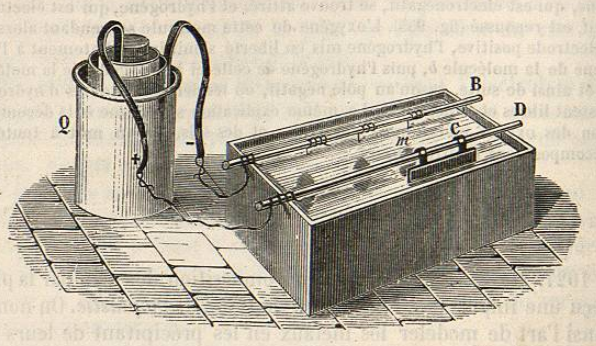

Fig. 956.

ainsi fermé, le sulfate de cuivre est décomposé; son acide et l'oxygène de l'oxyde se rendent au pôle positif, tandis que le cuivre seul se rend au pôle négatif, et se dépose lentement sur le moule. On peut même ainsi suspendre plusieurs moules à la même baguette. Au bout de quarante-huit heures, le moule est recouvert d'une couche de cuivre solide et résistante, mais non adhérente. C'est cette couche de cuivre qu'on détache du moule, et qui est l'exacte reproduction de l'objet.

Application. — Dans le présent ouvrage tous les dessins ont été d'abord gravés sur bois; mais le tirage est fait avec des clichés de cuivre obtenus à l'aide des bois par un procédé galvanoplastique. Le cliché galvanique primitif n'a pas plus de $\frac{1}{20}$ de millimètre d'épaisseur : il ne résisterait pas à la pression des presses typographiques, si on ne le renforçait pas en coulant sur le revers une couche de l'alliage des caractères d'imprimerie. Ainsi préparé, ce cliché peut supporter sans déformation un tirage de 80 000 exemplaires, tandis que le bois gravé en donnerait au plus

10 000. D'ailleurs celui-ci, restant intact, peut donner indéfiniment des *clichés galvanoplastiques*.

Électrode soluble. — La plaque de cuivre C, placée au pôle positif, n'a pas seulement pour but de fermer le courant, elle sert aussi à entretenir la dissolution dans un état de concentration constant : c'est ce qu'on appelle une *électrode soluble*. En effet, l'acide et l'oxygène qui se rendent au pôle positif se combinent avec le cuivre de cette électrode, et reproduisent constamment une quantité de sulfate égale à celle qui a été décomposée par le courant (1025, 3°).

Choix de la pile. — Dans la galvanoplastie, on emploie de préférence la pile de Daniell (1005), à cause de la constance de son courant.

1029. **Électrochimie. — Dorure galvanique.** — 1° *Historique.* — Avant l'invention des procédés de l'électrolyse, on dorait au mercure. Pour cela, on appliquait un amalgame d'or sur les pièces à dorer, puis on les chauffait dans un four : le mercure se volatilisait, et l'or seul restait sous la forme d'une couche très mince sur les objets dorés. On argentait de la même manière. Ce procédé était à la fois coûteux et très insalubre : on lui substitue aujourd'hui la dorure et l'argenture galvaniques.

La première idée de ces procédés remonte à Brugnatelli, élève de Volta. Il a été perfectionné par de la Rive, enfin rendu pratique et industriel par Elkington et par Ruolz.

2° *Opération.* — Les pièces à dorer doivent subir trois préparations, qui sont le *recuit*, le *dérochage* et le *décapage*.

Le *recuit* consiste à chauffer les pièces pour détruire les matières grasses dont elles ont pu être imprégnées antérieurement.

Les pièces à dorer étant ordinairement en cuivre, leur surface, pendant le recuit, s'est recouverte d'une couche de protoxyde et de bioxyde de cuivre que le *dérochage* a pour but d'enlever. Pour cela, on plonge les pièces encore chaudes dans un bain d'acide sulfurique très étendu d'eau, où on les laisse assez longtemps pour que l'oxyde s'en détache. On les frotte alors avec une brosse dure, et on les lave à l'eau distillée.

Les pièces étant encore irisées (par des traces d'oxyde), on achève de les nettoyer par le *décapage*. Cette opération consiste à les plonger rapidement dans un bain d'acide azotique ordinaire, puis dans un mélange du même acide, de sel marin et de suie, et enfin à les laver à l'eau pure.

Les pièces une fois préparées, on les suspend à l'électrode négative d'une pile de 3 ou 4 couples de Daniell ou de Bunsen, et on les plonge dans un bain d'or, en les disposant dans un appareil analogue au précédent (fig. 956). Elles restent dans le bain plus ou moins longtemps, suivant l'épaisseur qu'on veut donner au dépôt.

3° *Composition du bain d'or.* — On a beaucoup varié la composition des bains. Le plus simple se compose de 1 gramme de chlorure d'or et de 10 grammes de cyanure de potassium dissous dans 450 grammes d'eau. Pour entretenir le bain à un degré de concentration constant, on suspend à l'électrode positive une lame d'or qui se dissout à mesure que le bain laisse déposer son or sur les pièces placées au pôle négatif. Le dépôt prend une plus belle couleur lorsqu'on maintient le bain à une température constante d'environ 70°.

4° *Généralité du procédé.* — Ce procédé s'applique très bien à la dorure du cuivre, de l'argent, du bronze, du laiton, de maillechort. Quant aux autres mé-

taux, comme le fer, l'acier, le zinc, l'étain, le plomb, ils se dorent mal. Pour obtenir une bonne dorure, on est obligé de les cuivrer préalablement au moyen de la pile; c'est ensuite cette couche de cuivre qu'on dore comme il a été dit ci-dessus.

1030. **Argenture.** — Le même procédé s'applique exactement à l'argenture galvanique; il n'y a de différence que dans la composition du bain. Il est ordinairement formé de 1 gramme de cyanure d'argent et de 10 grammes de cyanure de potassium dissous dans 150 grammes d'eau. A l'électrode positive est suspendue une plaque d'argent qui empêche le bain de s'appauvrir, et à l'électrode négative sont les pièces à argenter, bien décapées.

Remarques. — 1° *Nickelure.* — Unprocédé de nickelure, analogue aux précédents, commence à avoir un grand nombre d'applications industrielles. Le bain est une solution de sulfate double d'ammoniaque et de nickel.

2° *Aciérure.* — On peut de même *aciérer* le cuivre, en le plaçant dans un bain de chlorure double de fer et d'ammoniaque.

CHAPITRE V

EFFETS MÉCANIQUES DES COURANTS. — ÉLECTRODYNAMIQUE.

1031. **Effets mécaniques des courants.** — Dans le flux électrique qui constitue les courants, il y a quelquefois transport, dans le sens de leur direction, de matière pondérable. L'arc voltaïque, que nous étudierons plus loin, en offre un exemple; on constate qu'il y a transport de particules de charbon du pôle positif au pôle négatif : c'est là un effet mécanique des courants. Il en est d'autres beaucoup plus importants : ce sont les *mouvements* qu'ils produisent à distance, soit sur les aimants mobiles, soit sur des conducteurs mobiles traversés eux-mêmes par des courants. Ce sont ces effets mécaniques proprement dits des courants que nous allons maintenant étudier.

1032. **Actions mutuelles entre les courants électriques.** — Les effets mécaniques les plus simples sont les actions mutuelles qui s'exercent entre des conducteurs métalliques parcourus par des courants. Lorsque deux fils métalliques voisins sont traversés simultanément par un courant électrique, il se produit entre eux des attractions ou des répulsions analogues à celles qui s'exercent entre les pôles des aimants. Ces phénomènes, dont la découverte est due à Ampère (1052), constituent une branche de l'électricité dynamique qu'on nomme *électrodynamique.* Les effets sont différents, suivant la direction des courants en présence et suivant leurs positions relatives. Ils peuvent être rangés en trois catégories : les effets de *déplacement*, d'*orientation* et de *rotation.* Les lois qui les régissent sont les suivantes.

DÉPLACEMENT DES COURANTS PAR LES COURANTS.

1033. **Lois des courants parallèles.** — 1° *Deux courants parallèles de même sens s'attirent.*

2° *Deux courants parallèles de sens contraires se repoussent.*

Ces lois se démontrent expérimentalement à l'aide d'un appareil dû à Ampère, modifié ensuite par Pouillet, et enfin par Obellianne.

Description de l'appareil. — Il se compose de deux colonnes de laiton A et D, entre lesquelles il y en a une plus petite *c*. La colonne D porte un cadre en

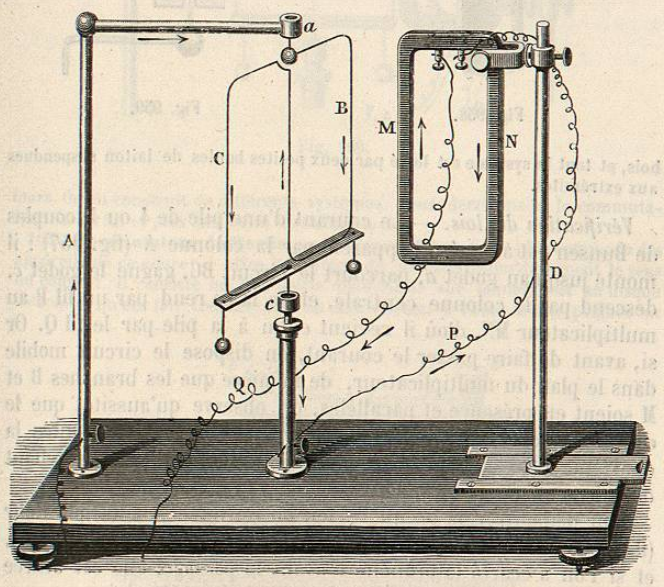

Fig. 957.

bois M, dit *multiplicateur* (fig. 957), qu'on peut fixer à différentes hauteurs au moyen d'une vis de pression : c'est un cadre de bois sur lequel le fil conducteur du courant a été enroulé 20 fois, ce qui augmente beaucoup l'action du courant. Ce multiplicateur est maintenu par deux articulations qui permettent, l'une de le renverser sur lui-même (fig. 960), l'autre de le placer horizontalement (fig. 963). La petite colonne est creuse, et dans son intérieur glisse un tube de laiton terminé par un godet *c*, plein de mercure, qu'on peut élèver plus ou moins. La colonne A supporte un godet *a*, rempli égale-