

des sels métalliques pour lesquels il existe une règle générale.

Avant d'énoncer cette règle, il importe de remarquer que les effets observés dans les expériences ne sont pas toujours ceux qui sont dus directement à l'électrolyse; les corps mis en liberté sous l'action du courant peuvent quelquefois ne subir aucune action ultérieure; mais souvent, sans que le courant intervienne, et par le seul fait des affinités chimiques, les corps mis en liberté réagissent soit sur les électrodes, soit sur le liquide dans lequel l'électrolyte est en dissolution, de telle sorte que les corps recueillis sont très différents de ceux dégagés par l'action du courant.

Il importe donc absolument de distinguer les effets électrolytiques proprement dits des effets secondaires qui sont dus à l'action des électrodes ou du dissolvant sur les corps provenant de la décomposition première.

*Lorsqu'un sel métallique amené à l'état liquide est décomposé par un courant, le métal se porte à la cathode ou électrode — : le corps ou le radical combiné au métal se porte à l'anode ou électrode +.*

On exprime encore la même idée en disant que le métal remonte le courant, tandis que le corps ou le radical combiné au métal descend le courant.

Pour l'application de cette règle, il faut admettre, comme on le fait maintenant généralement en chimie, que l'hydrogène est un métal, ainsi que l'ammonium.

900. — On rencontre rarement, dans les applications, l'occasion d'appliquer cette règle directement, et le plus souvent il se produit des actions secondaires; nous dirons cependant que c'est par la décomposition directe de l'acide fluorhydrique que M. Moissan a pu isoler le fluor qui se rendait à l'anode tandis qu'il recueillait de l'hydrogène à la cathode.

Examinons maintenant quelques-unes des actions secondaires qui se présentent le plus fréquemment, et commençons d'abord par celles qui peuvent se manifester à l'électrode —.

Le métal qui se dépose à la cathode peut agir sur l'électrode même : c'est par exemple le cas où, au fond du vase où a lieu l'électrolyse, on a mis une couche de mercure relié au pôle — de l'électromoteur, de telle sorte que le mercure joue le rôle de cathode; le métal mis en liberté, s'il est susceptible de former un amalgame, se dissout dans le mercure au fur et à mesure de sa production, de manière qu'on n'en trouve pas à l'état libre. C'est cette action qui a été réalisée par Davy lorsqu'il a décomposé la potasse par l'action du courant : en distillant ensuite l'amalgame obtenu, il a pu mettre le potassium en liberté.

Le métal dégagé à l'électrode — par l'électrolyse peut réagir sur le dissolvant que nous supposerons être l'eau, ce qui est le cas le plus

général. C'est ce qui se produit pour le cas des métaux alcalins et alcalino-terreux à la température ordinaire. On obtient alors l'hydrate du métal et un dégagement d'hydrogène, ainsi qu'on le sait.

Examinons de même les actions secondaires qui peuvent se manifester à l'électrode +. Le corps ou le radical qui se porte à l'anode peut réagir sur l'électrode même : c'est le cas, par exemple, où on électrolyse un chlorure en faisant usage d'électrode métallique : le chlore qui se porte sur cette électrode attaque le métal et donne un chlorure. Une action analogue se produit dans l'électrolyse d'un sulfate si l'électrode est en cuivre ou en zinc, par exemple : le radical du sel,  $SO^4$ , attaque le métal et donne du sulfate de cuivre ou du sulfate de zinc.

Si l'électrode n'est pas attaquant, il est possible que le corps ou le radical agisse sur l'eau : c'est le cas, par exemple, ce qui se produit dans le cas de l'électrolyse d'un sulfate lorsque l'électrode est en platine et ne peut entrer en combinaison avec le radical  $SO^4$ ; alors, ce radical agit sur l'eau, donne naissance à du sulfate d'hydrogène ou acide sulfurique, et de l'oxygène est mis en liberté.

901. — Il est quelques exemples particuliers qu'il est intéressant de signaler, soit à cause des applications qu'on en a faites, soit parce qu'ils ont donné lieu à des interprétations erronées qu'il importe de ramener à la réalité.

Considérons par exemple le cas de l'électrolyse d'un sel métallique en dissolution, les deux électrodes étant constituées par des plaques du métal même qui existe dans le sel; c'est le cas du sulfate de cuivre avec des électrodes de cuivre. A l'électrode —, du cuivre se déposera sur l'électrode, dont la nature ne sera pas changée; à l'électrode + se portera le radical  $SO^4$  qui attaquera et dissoudra du cuivre de manière à reformer du sulfate de cuivre, c'est-à-dire le sel même qui a été décomposé : il est évident que ces actions se produisant molécule à molécule, il se formera précisément autant de sel qu'il en avait été décomposé. Si donc, après une opération d'une durée quelconque, on analyse le liquide, on ne trouvera aucune modification de composition, et il semblera que, de ce côté, aucune action n'a eu lieu; mais l'anode a augmenté de poids et la cathode a perdu le même poids de métal. En résumé, toute l'action paraît consister en un transport d'un certain poids de métal de l'anode à la cathode; mais on voit que, en réalité, l'action est moins simple.

Soit maintenant le cas de l'électrolyse de l'acide sulfurique étendu d'eau, opération qui se fait dans un appareil appelé *voltamètre* (fig. 419), dont la disposition se comprend sans qu'il soit nécessaire d'insister. Dans ce cas, l'acide sulfurique est décomposé : l'hydrogène qui se porte à l'électrode — où il reste à l'état libre et peut être recueilli dans une éprouvette, et le radical  $SO^4$  se porte à l'électrode +, et comme celle-ci est constituée par un fil de platine inattaquant, le radical agit sur l'eau et, comme

réaction secondaire, reforme de l'acide sulfurique et met en liberté de l'oxygène que l'on recueille également dans une éprouvette. La quantité d'acide reconstitué est égale à la quantité d'acide décomposé, de telle sorte que, comme le montre l'analyse, il semble qu'aucune modification n'ait

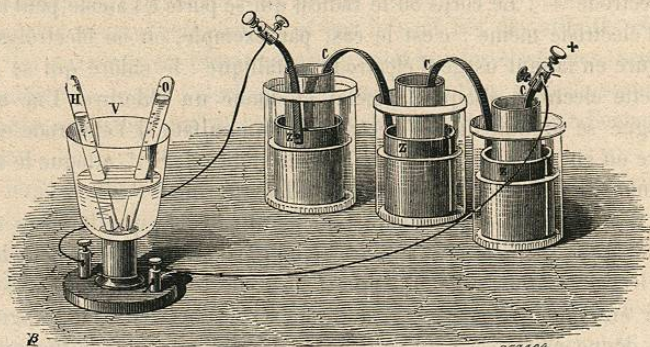


Fig. 419.

été apportée à l'acide et que c'est l'eau qui a été décomposée. Il est certain que le résultat est le même : mais une expérience directe montre que, dans les mêmes conditions, l'eau pure n'est pas décomposée, que le courant ne la traverse même pas. Il est donc naturel d'admettre que dans l'eau acidulée le courant passe, non par les molécules d'eau, mais par les molécules d'acide, et que, dès lors, c'est celles-ci qui doivent subir l'action du courant.

Si dans un tube en U (fig. 420) on verse une dissolution d'un sel alcalin, du sulfate de sodium, par exemple, qu'on la colore avec du sirop de violette et qu'on fasse passer le courant à l'aide d'électrodes de platine, on voit en A et en B se manifester des colorations, verte et rose, qui indiquent qu'il y a en A une base qui s'est réunie et en B un acide : l'analyse montre qu'il y a de la soude en A, de l'acide sulfurique en B; de plus, un dégagement gazeux se produit autour des électrodes : en recueillant les gaz on reconnaît qu'il y a de l'oxygène en A, de l'hydrogène en B.

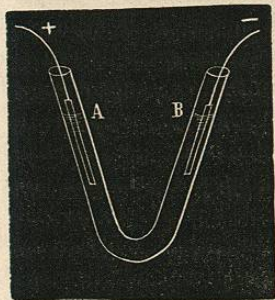


Fig. 420.

Comment expliquer cette action complexe? Faut-il imaginer que, comme on le pensait autrefois, il y a eu simultanément deux décompositions : le sulfate de soude (dont on écrivait la formule  $\text{NaO SO}^3$ ) ayant été décomposé en soude ( $\text{NaO}$ ) et en acide sulfurique ( $\text{SO}^3$ ), en même temps que l'eau était ramenée à ses éléments ( $\text{H}$  et  $\text{O}$ ). L'application de la règle générale et la considération des actions secondaires rendent

compte simplement de ces faits, de la façon suivante : le sulfate de sodium  $\text{Na}^2\text{SO}^4$  est décomposé en sodium et radical  $\text{SO}^4$ . Le sodium agit sur l'eau qu'il décompose en donnant de l'hydrogène et de l'hydrate de sodium ( $\text{Na} + \text{H}^2\text{O} = \text{H} + \text{NaHO}$ ); d'autre part, le radical  $\text{SO}^4$  agit également sur l'eau et donne de l'acide sulfurique et de l'oxygène ( $\text{SO}^4 + \text{H}^2\text{O} = \text{H}^2\text{SO}^4 + \text{O}$ ); par cette explication on a donc bien, comme le montre l'expérience, à l'électrode positive,  $\text{NaHO} + \text{H}$  et à l'électrode négative,  $\text{H}^2\text{SO}^4 + \text{O}$ .

En somme, les deux explications rendent compte des faits observés, mais la seconde a l'avantage d'être le résultat de l'application d'une règle générale, tandis que la première conduirait à établir deux règles, l'une pour les métaux en général, l'autre pour les métaux alcalins et alcalino-terreux; il y a d'ailleurs d'autres raisons pour adopter le second mode d'explication et nous aurons à revenir ultérieurement sur cette question.

902. **Lois de Faraday.** — Les actions chimiques produites par les courants ont été étudiées par Faraday qui a énoncé les lois suivantes qui portent son nom :

1<sup>re</sup> LOI. *Pour un même électrolyte, les quantités de métal mis en liberté sont proportionnelles aux quantités d'électricité.*

2<sup>e</sup> LOI. *Pour une même quantité d'électricité employée à décomposer divers électrolytes, les quantités de métal mis en liberté sont proportionnelles aux équivalents chimiques de ceux-ci.*

Nous aurons ultérieurement à signaler une autre loi relative aux actions chimiques qui se produisent dans certaines formes d'électromoteurs.

La démonstration de ces lois se fait d'une manière simple en plaçant dans un même circuit l'électrolyte et un galvanomètre, appareil permettant de mesurer l'intensité des courants et que nous décrirons plus loin. On choisit un électrolyte dont le métal se dépose sur l'électrode sans donner lieu à des actions secondaires : il suffit alors de déterminer, d'une part l'intensité du courant, d'autre part le poids du métal déposé pour reconnaître l'exactitude des lois précédentes.

On peut d'ailleurs faire une démonstration directe de la 1<sup>re</sup> loi : à cet effet, on place dans un circuit un appareil permettant de déterminer facilement les quantités du corps mis en liberté, un voltamètre A, par exemple, où l'on produit l'électrolyse de l'eau acidulée. A la suite, on établit deux conducteurs en dérivation comprenant chacun un voltamètre B, C, de telle sorte que les dérivations soient *identiques*; enfin un quatrième voltamètre D est placé au point de réunion des deux dérivations. Dans ces conditions, d'après l'hypothèse faite sur la nature des courants, la quantité d'électricité qui passe dans un temps donné doit être la même en A et en D; elle doit être la même aussi en B et en C, mais, pour chacun de ceux-ci, elle est la moitié de celle qui passe en A

ou D. Or, on observe que la quantité d'hydrogène recueillie en A est la même qu'en D, et que celle recueillie en B ou en C est la moitié de la précédente : il y a donc bien proportionnalité entre la quantité de métal mis en liberté par l'électrolyse et la quantité d'électricité qui a produit cette action.

Une conséquence nécessaire de la loi que nous étudions et de l'hypothèse faite sur la nature du courant est que la quantité de métal mis en liberté doit être la même en tous les points du circuit, puisque c'est la même quantité d'électricité qui traverse celui-ci dans toute son étendue. C'est ce qu'on reconnaît aisément en plaçant des voltamètres en des points divers d'un même circuit et vérifiant que la même quantité d'hydrogène a été dégagée dans les divers appareils.

903. — Il importe d'examiner quelques conséquences des lois précédentes.

Au lieu d'étudier la quantité de métal mis en liberté dans un temps quelconque, on peut dans le cas d'un courant constant convenir de déterminer la quantité de métal mis en liberté par unité de temps, par seconde. A cause de la relation qui existe entre la quantité d'électricité et l'intensité d'un courant (854), on peut énoncer ainsi qu'il suit la 1<sup>re</sup> loi de Faraday :

Loi : *Pour un même électrolyte, les quantités de métal mis en liberté en une seconde sont proportionnelles à l'intensité du courant.*

Comme nous avons défini l'intensité du courant par son action sur un aimant, action électromagnétique, cette loi revient à dire que les actions chimiques des courants sont proportionnelles à leurs actions électromagnétiques. On peut donc définir l'intensité d'un courant aussi bien par l'une de ces actions que par l'autre. L'action chimique étant liée au sens du courant, ne présente pas à ce point de vue l'inconvénient que nous avons signalé pour les actions calorifiques : cependant, dans la pratique, les actions électromagnétiques sont préférables parce qu'elles sont immédiatement observables et mesurables, tandis qu'il faut un temps quelquefois assez long pour apprécier avec quelque précision la grandeur d'une action électrolytique.

On voit, d'après la seconde loi, qu'il est aisé de déterminer l'action produite par une quantité d'électricité sur un électrolyte quelconque lorsqu'on connaît celle qui serait manifestée par le dépôt d'un métal déterminé une fois pour toutes.

Des mesures prises avec toutes les précautions nécessaires ont montré que, dans l'électrolyse, le passage d'une quantité d'électricité égale à 1 coulomb met en liberté 1<sup>mgr</sup>,118 d'argent : on en peut déduire que le poids d'hydrogène mis en liberté dans les mêmes conditions serait de 0<sup>mgr</sup>,0104, car les poids atomiques de ces métaux sont respectivement 108 et 1, et la substitution se fait atome à atome. Un calcul simple don-

nerait le poids d'un métal quelconque mis en liberté par l'action de 1 coulomb : on trouve, par exemple, 0<sup>mgr</sup>,327 pour le cuivre et 0<sup>mgr</sup>,337 pour le zinc.

Si on remarque qu'un courant de 1 ampère débite 1 coulomb en une seconde, on peut dire :

On désigne sous le nom de *coulomb* la quantité d'électricité qui peut décomposer un sel d'argent en mettant en liberté 1<sup>mgr</sup>,118 de ce métal.

On désigne sous le nom d'*ampère* l'intensité d'un courant qui peut décomposer un sel d'argent en mettant en liberté 1<sup>mgr</sup>,118 de ce métal en une seconde.

Ces définitions sont quelquefois substituées à celles que nous avons données ; elles ont l'avantage d'une plus grande simplicité de forme, mais elles présentent l'inconvénient qu'elles ne se rattachent directement à aucune autre unité ; les nombres qui y figurent ne permettent pas de les rattacher directement à un système d'unités absolues. On sait qu'elles dépendent du système C G S, seulement parce que l'expérience a montré qu'elles sont équivalentes aux unités électromagnétiques qui appartiennent à ce système.

904. **Polarisation des électrodes.** — Les règles et les lois que nous avons indiquées font connaître les résultats obtenus quand l'électrolyse a lieu ; elles ne permettent pas de savoir à quelles conditions cette action se produit : la question mérite d'être étudiée.

Lorsqu'on fait une électrolyse, on reconnaît que, au début de l'opération, l'intensité du courant décroît très rapidement pour atteindre une valeur qui reste constante ensuite. Comment interpréter ce résultat ? l'intensité d'un courant dépend des FEM mises en jeu et de la résistance du circuit ; dans ce cas, celle-ci ne varie pas d'une manière sensible au début (elle peut changer notablement par la suite à cause des modifications de constitution du liquide par l'électrolyse même) ; la FEM de l'électromoteur est restée invariable, l'action est donc la même que si, dans le circuit, on introduisait une cause produisant une FEM de sens contraire, en opposition avec celle de l'électromoteur ; on la désigne sous le nom de *force contre-électromotrice* ; nous verrons plus tard quelle origine on peut lui assigner. Le phénomène qui donne naissance à cette force contre-électromotrice est appelé *polarisation des électrodes*.

Pour qu'il puisse y avoir électrolyse d'un composé par l'emploi d'un électromoteur, il faut que l'action de celui-ci soit supérieure à celle qui résulte de la polarisation des électrodes, il faut que la FEM de l'électromoteur soit plus grande que la force contre-électromotrice à laquelle donnera lieu le phénomène même de l'électrolyse du corps en expérience.

905. **Dépôt électrique des métaux.** — Le dépôt des métaux par l'électrolyse ne se produit pas toujours dans les mêmes conditions, et l'effet dépend surtout de la densité du courant. Si celle-ci est trop considé-

nable, le dépôt n'offre pas de cohésion, il est pulvérulent; si, au contraire, la densité est faible, le dépôt se produit lentement, mais il est cohérent, solide. C'est sur cette remarque que repose l'industrie, maintenant très développée, du dépôt électrolytique des métaux.

Soit un bain liquide contenant un sel soluble d'un métal M, que l'on fait traverser par un courant susceptible de produire la décomposition; prenons pour électrode + une lame du métal M. D'après ce que nous avons dit plus haut, par suite de l'action secondaire qui se produit à l'électrode +, le métal qui constitue celle-ci se dissout progressivement, de manière à reproduire constamment le sel décomposé; pour cette raison l'électrode + est appelée *anode soluble*. Il résulte de cette recombinaison que la constitution du bain reste constante, qu'il en est de même de sa résistance et, par suite, de l'intensité du courant qui peut ainsi conserver la valeur convenable pendant toute la durée de l'opération.

D'autre part, le métal M se dépose à l'état de liberté sur l'électrode —. Deux cas sont à distinguer : 1° cette électrode est constituée par une pièce de métal soigneusement décapée au préalable; dans ce cas, le métal M demeure adhérent sur les parties où il se dépose et qu'il recouvre d'une couche plus ou moins épaisse suivant la durée de l'opération.

Suivant que le métal M est l'or, l'argent, le cuivre, le nickel on a la dorure, l'argenture, le cuivrage ou le nickelage électriques qui sont maintenant très fréquemment employés.

2° L'électrode — est un corps quelconque recouvert d'une couche conductrice de plombagine sur laquelle se fait le dépôt du métal, sans qu'il y ait adhérence; si, dans ce cas, on laisse l'opération se prolonger assez longtemps, la couche métallique peut devenir assez épaisse pour présenter une solidité telle qu'il est possible de la détacher du corps sur lequel le dépôt s'est formé et dont elle conserve absolument la forme, en donnant une contre-épreuve fidèle. On utilise ce procédé dans l'industrie sous le nom de *galvanoplastie* en utilisant presque exclusivement le dépôt de cuivre.

Divers points doivent être étudiés pour obtenir des résultats satisfaisants : c'est d'abord la nature du sel métallique soluble employé; c'est aussi la température à laquelle l'opération doit être faite; c'est enfin la densité du courant qu'il convient d'utiliser. Mais il suffit d'avoir indiqué la nature des conditions qu'il est nécessaire de préciser, sans nous arrêter à signaler les dispositions adoptées dans la pratique.

#### 906. Galvanocaustique chimique. Électrolyse chirurgicale. —

Les actions chimiques exercées par les courants sont employées en chirurgie et nous devons en dire quelques mots dès à présent : il importe de remarquer, en effet, qu'il ne s'agit pas là d'une action physiologique du courant; il n'y a pas une action directe, et les modifications cherchées

et obtenues sont le résultat d'un effet qui ne dépend pas de la nature organisée des tissus, mais seulement de leur constitution chimique.

Lorsque dans un tissu on plonge une aiguille de cuivre reliée au pôle + d'un électromoteur et qu'on ferme le circuit d'une manière quelconque, il se produit une électrolyse des sels minéraux contenus dans le tissu ou dans le liquide qui le baigne. Les métalloïdes, le chlore notamment, et les radicaux acides des sels se portent à l'électrode qu'ils attaquent, donnant naissance à des sels correspondants de cuivre; le fait est facilement mis en évidence par la coloration verte que présentent les parties environnant l'aiguille. Il ne semble pas, dans ce cas, y avoir une action immédiate sur les tissus; mais les sels de cuivre qui diffusent auraient, d'après le D<sup>r</sup> G. Gautier, une action efficace dans un certain nombre de cas, de telle sorte que l'action du courant ne serait pas directe, mais consisterait dans la production de substances susceptibles d'agir ultérieurement. Dans le même but, le D<sup>r</sup> G. Gautier introduit dans une tumeur à l'aide d'un trocart métallique une solution d'iodure de potassium et utilise ensuite le trocart même comme électrode pour faire passer le courant dans le liquide : il a observé de l'emploi de ce procédé de bons résultats qu'il attribue à l'action exercée par l'iode mis en liberté et agissant à l'état naissant.

Lorsqu'on opère avec des aiguilles en platine inattaquables, implantées dans des tissus sains ou dégénérés, les effets ne sont pas de même nature : il y a électrolyse des sels alcalins contenus dans l'organisme et action secondaire sur l'eau; c'est au moins là l'action principale sans qu'il soit possible d'affirmer qu'il n'y a aucune action directe sur d'autres éléments. Il y a donc production d'acide autour de l'aiguille qui sert d'électrode positive et production de substances alcalines autour de celle qui sert d'électrode négative : ces matières caustiques formées sur place agissent sur les tissus qu'elles touchent, comme elles le feraient si elles y avaient été déposées toutes formées; elles détruisent, mortifient les tissus en donnant naissance à des eschares : l'eschare est molle et fluente à l'électrode négative, sèche et résistante à l'électrode positive présentant les caractères de celles que donnent directement les alcalis et les acides.

Nous n'avons pas à insister sur les cas dans lesquels doit être appliquée la méthode dont nous venons d'indiquer le principe et qui est désignée sous le nom de galvanocaustique chimique ou d'électrolyse. Ces applications sont très nombreuses et cette méthode rend des services dans des cas très divers.

907. — On a utilisé l'action des courants pour produire la coagulation du sang notamment dans les poches anévrysmales en y introduisant une aiguille, en fer généralement : les auteurs ne sont pas absolument d'accord pour savoir à quel pôle cette aiguille doit être reliée quoiqu'on

donne actuellement la préférence au pôle + ; on a même proposé de faire des interventions pendant l'opération. Cette méthode qui a été appliquée aussi à d'autres cas, comme à l'oblitération des veines variqueuses, est quelquefois désignée sous le nom de galvanopuncture. Il est difficile d'établir une distinction nette entre cette méthode et l'électrolyse, car il est au moins difficile de penser que la coagulation du sang n'est pas le résultat d'une action chimique; il est vrai que, peut-être, les effets observés sont plutôt la conséquence d'une endartérite produite par le courant que de la formation d'un caillot.

Dans l'une et l'autre méthodes, le courant traverse l'organisme sur un parcours plus ou moins considérable et il est possible qu'il agisse également par là même, comme nous le dirons ultérieurement, mais cette action est négligeable vis-à-vis de celle qui se produit localement.

On fait usage suivant les circonstances, comme nous l'avons dit, de l'électrode positive ou de l'électrode négative représentée par une aiguille implantée dans les tissus. En général, il convient d'éviter qu'il se produise une action à l'autre électrode; pour arriver à ce résultat, il suffit d'employer une électrode de large surface, de manière à y diminuer la densité du courant; cette électrode est constituée soit par un tampon recouvert d'amadou, soit par une plaque de terre glaise qui peut s'appliquer exactement sur la peau, en contact intime.

Les courants employés dans les circonstances que nous venons d'indiquer varient en général de 10 à 30 milliampères.

908. — C'est également à des actions électrolytiques qu'il faut attribuer des effets de rubéfaction, de vésication même que l'on peut obtenir en un point déterminé à l'aide d'un appareil inventé par Boudet de Paris et composé de deux électrodes (fig. 421), l'une centrale constituée par un petit disque, l'autre annulaire, concentrique à la première dont elle est distante de quelques millimètres : en reliant le disque central au pôle + et l'anneau au pôle - d'un électromoteur, on obtient rapidement l'effet cherché.

C'est à l'électrolyse qu'il faut rapporter les effets obtenus par le Dr Apostoli dans sa méthode de galvanisation intra-utérine : l'électrode en platine, analogue à un hystéromètre, isolée sur toute son étendue, sauf la partie qui entre dans l'utérus, se trouve en contact avec les parois de cet organe, mais ne doit pas pénétrer dans les tissus. M. Apostoli emploie des courants intenses et il a atteint jusqu'à 250 milliampères. L'électrode

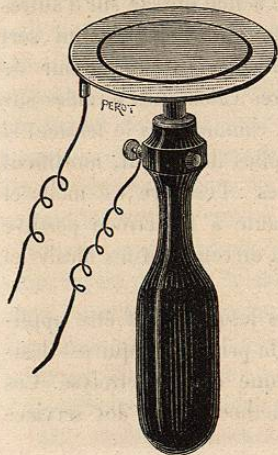


Fig. 421.

active est reliée au pôle +, l'électrode reliée à l'autre pôle est constituée par un large gâteau de terre glaise appliqué sur le ventre.

A diverses reprises on a proposé d'employer l'action des courants électriques pour introduire dans l'organisme des médicaments appliqués sur les tissus et soumis à l'électrolyse; on a même relaté des expériences tendant à prouver la réalité du fait. Mais, jusqu'à présent, on ne peut dire que les recherches ont été faites d'une manière exempte de causes d'erreur, et il ne semble pas que l'on puisse compter sur ce procédé.

909. **Production d'un champ magnétique par un courant.** — Les effets observés dans le voisinage d'un conducteur traversé par un courant sont la conséquence de la production d'un champ magnétique ou analogue au champ magnétique (790), par suite de l'existence même du courant.

Le premier fait qui tend à prouver l'existence de ce champ magnétique est l'expérience d'Ørsted que nous avons signalée déjà (852) : s'il n'existe, au préalable, aucun champ magnétique dans le voisinage d'un conducteur, lorsqu'un courant traverse celui-ci, une aiguille aimantée se place perpendiculairement au conducteur, de telle sorte que le pôle nord soit à la gauche du courant (Règle d'Ampère).

Lorsqu'on veut réaliser l'expérience, la condition primitive n'est pas naturellement satisfaite, par suite de l'existence du champ magnétique terrestre; aussi, dans le voisinage d'un courant, une aiguille aimantée est déviée de sa position normale d'équilibre sans se mettre en croix avec le courant : chaque pôle de l'aiguille est, en effet, soumis à deux forces émanées l'une du champ magnétique terrestre, l'autre du courant, et l'aiguille, mobile autour d'un point, prend la direction de la résultante de ces deux forces. La force terrestre est invariable pour une même aiguille, mais la force émanée du courant varie avec l'intensité de celui-ci; la direction de la résultante des forces, celle que prend l'aiguille dépend donc de l'intensité du courant. Nous reviendrons ultérieurement sur cette remarque qui est importante au point de vue des applications.

Il est possible de mettre en évidence l'existence du champ magnétique produit par un courant, par le procédé que nous avons indiqué pour les aimants, en plaçant dans le voisinage du courant un carton ou une lame de verre sur laquelle on projette de la limaille de fer et facilitant le groupement des grains par de légères secousses. La disposition la plus convenable consiste à percer un trou au centre de la lame et à y introduire le conducteur traversé par le courant en le plaçant perpendiculairement au plan de la lame. On voit alors la limaille dessiner, autour de l'ouverture, des circonférences concentriques qui font ainsi connaître la forme et la disposition des lignes de force. Il importe de remarquer que, en chaque point, ces circonférences indiquent la direction que doit prendre une aiguille aimantée qu'on y place; elles sont bien, en chaque point, perpendiculaires à la direction du courant.

Il faut, bien entendu, concevoir qu'un semblable système de lignes de force existe dans chaque plan que l'on peut considérer mené par un point quelconque du conducteur perpendiculairement à sa direction. On reconnaît d'ailleurs l'existence de ces plans en plaçant parallèlement au fil la lame sur laquelle on projette la limaille; on voit alors que celle-ci se réunit suivant des lignes perpendiculaires au conducteur, parallèles entre elles par conséquent, et qui sont les intersections par cette lame des différents plans dans lesquels sont situées les lignes de force circulaires.

Naturellement, les résultats sont moins simples si l'on n'a pas à l'avance neutralisé le champ magnétique terrestre, et le champ magnétique observé est alors le résultat de la combinaison du champ magnétique terrestre et du champ magnétique produit par le courant.

910. **Actions mécaniques produites par les courants.** — On peut penser que, par réciprocité de l'expérience d'Oersted, un courant électrique peut être soumis de la part d'un aimant à des actions qui tendent à lui donner une position stable d'équilibre. L'expérience montre qu'il en est bien réellement ainsi.

Il est difficile de réaliser matériellement les conditions simples de l'expérience où un conducteur traversé par un courant serait absolument libre de prendre toutes les positions dans l'espace. Aussi se borne-t-on à choisir un conducteur pouvant prendre des mouvements simples : on peut, par exemple, se servir de l'appareil représenté ci-contre (fig. 422); il comprend comme partie fixe une colonne montée sur un pied, colonne composée de deux cylindres métalliques concentriques A B, C D séparés par une couche de matière isolante et communiquant respectivement à deux bornes M et N qui sont reliées aux pôles d'un électromoteur.

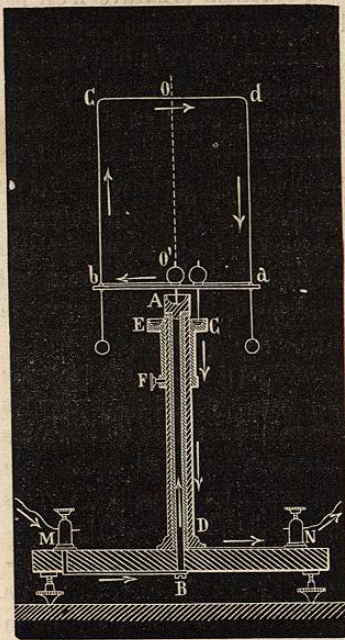


Fig. 422.

La tige centrale est terminée supérieurement par une capsule en fer A et le cylindre annulaire porte une gorge également annulaire en fer C E; on verse du mercure dans ces cavités. On a d'autre part un cadre *a b c d* comprenant un fil métallique terminé à deux points en acier, l'une qui repose sur le fond de la capsule A, l'autre qui pénètre dans le mercure de C E; enfin des poids

fixés au-dessous de la traverse *a b* abaissent le centre de gravité de manière à ce que l'équilibre soit stable. On conçoit dans ces conditions que d'une part le courant parcourt le circuit mobile, dans le sens indiqué par les flèches, et que d'autre part le cadre peut se mouvoir en tournant autour de l'axe vertical *O O'*, de telle sorte que la partie *c d* du courant tourne autour d'un axe perpendiculaire à sa direction et que les parties *b c* et *a d* tournent autour d'un axe parallèle à leur direction.

Dans ces conditions, si l'on approche un pôle d'aimant de l'un des côtés du cadre mobile, on observe que le cadre se déplace et prend une position d'équilibre qui est la plus rapprochée possible, eu égard aux liaisons matérielles, de celle qui correspondrait à l'application de la règle d'Ampère.

On peut varier les expériences en changeant les dispositions du cadre mobile, mais dans tous les cas les résultats sont les mêmes.

On est donc conduit à conclure que, comme on pouvait le supposer, les conducteurs traversés par des courants électriques subissent l'action de forces émanées d'un aimant, ou, comme nous l'avons déjà expliqué, que ces courants subissent une action provenant de l'existence du champ magnétique produit par la présence de l'aimant.

911. — Le rapprochement des résultats précédemment signalés, — la production d'un champ magnétique par un courant et l'orientation d'un courant par un champ magnétique, — conduit à penser qu'un courant mobile placé dans le voisinage d'un courant fixe doit être dirigé et tendre vers une position d'équilibre.

L'expérience justifie cette prévision : pour le reconnaître, on se sert du courant mobile précédemment décrit (fig. 423) dont on approche un courant *m n* maintenu fixe, soit qu'on le place verticalement sur le côté, soit qu'on le mette horizontalement au-dessus. On voit alors le cadre mobile *a b c d* se diriger et s'arrêter à une position d'équilibre stable qui correspond au cas où le courant mobile est parallèle au courant fixe et de même sens.

En réalité, la démonstration du fait simple exige une autre réalisation expérimentale, parce que, dans le cas précédent, ce courant fixe *m n* n'agit pas seulement sur la

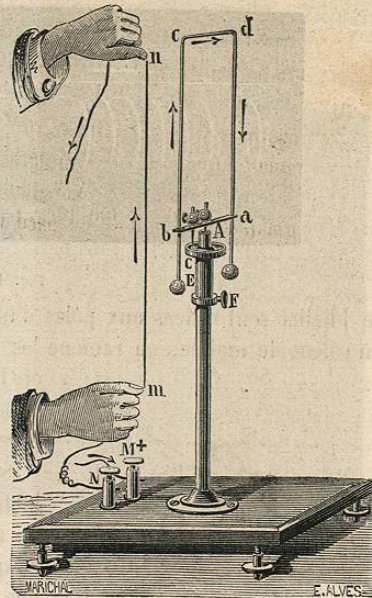


Fig. 423.