

temps dans chacun des éléments de la pile, ces quantités sont toujours égales entre elles (\*). — Si maintenant on opère avec une pile formée d'un nombre suffisant d'éléments, et si, dans le circuit, on interpose, à la suite les uns des autres, plusieurs voltamètres à eau, on constate que, dans chacun de ces voltamètres, la quantité d'eau décomposée est toujours égale à la quantité d'eau décomposée dans chacun des éléments de la pile. — On en conclut que l'action chimique accomplie, en un point quelconque de la partie du circuit qui est extérieure à la pile, est toujours équivalente à celle qui s'est produite dans l'un quelconque des éléments de la pile elle-même.

Supposons enfin que, dans la partie du circuit qui est extérieure à la pile, on interpose, à la suite les uns des autres, un voltamètre à eau, puis un vase contenant une solution d'un sel de cuivre, un autre vase contenant une solution d'un sel d'argent, etc. Le courant, en traversant ces divers composés, leur fait subir une décomposition : si l'on considère, dans chacun d'eux, le corps qui apparaît à l'électrode négative, ce corps est, dans le voltamètre à eau, de l'hydrogène ; dans le vase contenant un sel de cuivre, du cuivre ; dans le vase contenant un sel d'argent, de l'argent, etc. Si maintenant on détermine les quantités de ces corps qui ont été mis en liberté dans un même temps, on trouve, pour 1 gramme d'hydrogène, 52 grammes de cuivre, 108 grammes d'argent, etc. — Ces poids, 52 grammes de cuivre, 108 d'argent, doivent donc être considérés comme les équivalents électriques de 1 gramme d'hydrogène. Or, ces nombres sont aussi ceux que fournit l'étude des phénomènes chimiques, comme représentant les équivalents chimiques de ces mêmes corps, c'est-à-dire les poids qui peuvent se remplacer mutuellement dans les combinaisons. — Il en est de même, quels que soient les corps soumis à des expériences de ce genre.

On peut donc dire, d'une manière absolument générale, que, dans tous les points d'un circuit, aussi bien dans les éléments de la pile que dans les divers électrolytes qui peuvent être soumis à son action, il s'effectue des actions chimiques équivalentes.

**533. Effets secondaires. — Résultats de la décomposition des sels formés par les métaux alcalins.** — Il arrive, dans certains cas, que les éléments mis en liberté par un courant réagissent ensuite sur les corps en présence desquels ils se trouvent : de là, des actions secondaires, dont les résultats sont parfois les seuls observables.

Nous avons déjà vu, par exemple, que, dans la décomposition de la potasse par la pile, telle que l'effectuait d'abord Davy (529), le potassium mis en liberté se combinait avec de l'oxygène, qu'il prenait soit à l'eau,

(\*) On peut le vérifier en évaluant, d'une part, la quantité d'eau décomposée dans le voltamètre, au moyen des volumes de gaz dégagés ; d'autre part, la quantité d'eau décomposée dans chaque élément de la pile, au moyen du poids de zinc qui s'est dissous, et dont on déduit la quantité d'oxygène qui s'est combinée avec ce zinc.

soit à l'air : il se reformait ainsi de la potasse. — De même, si l'on fait passer un courant dans un sel de potasse, le métal devra d'abord être mis en liberté sur l'électrode négative, comme dans la décomposition des sels de cuivre (530). Mais ici le potassium ne pourra pas rester libre : il enlèvera de l'oxygène à l'eau, pour former de la potasse, et il se produira un dégagement d'hydrogène sur cette même électrode. — C'est, en effet, ce que montre l'expérience. Dans un tube en forme d'U (fig. 418) on verse une solution de sulfate de potasse, colorée avec de la teinture de violettes ; dans chacune des branches du tube, on fait plonger une lame de platine, qu'on met en communication avec l'un des pôles de la pile. Du côté de l'électrode positive A, on observe un dégagement d'oxygène, et la teinture de violettes est rougie par l'acide sulfurique mis en liberté ; du côté de l'électrode négative B, on observe un dégagement d'hydrogène, et la teinture de violettes est verdie par la potasse. — D'après ce que nous venons de dire, ces résultats doivent être attribués : 1° à une action directe du courant sur le sel, action qui a mis en liberté, d'une part, le potassium ; de l'autre, l'oxygène et l'acide ; 2° à une action secondaire du potassium sur l'eau, action qui a produit de la potasse et de l'hydrogène.

Si les choses se passent en effet de cette façon, il doit suffire, pour obtenir le potassium lui-même à l'électrode négative, de placer du mercure à cette électrode, afin d'absorber le potassium, comme dans l'expérience de Seebeck (529). — Or, c'est ce que vérifie encore l'expérience : si l'on place la solution saline dans un vase V (fig. 419), et qu'on prenne, pour électrode négative, du mercure contenu dans un tube recourbé BD, le potassium s'amalgame à la surface B du mercure, et l'action secondaire est presque totalement supprimée.

**534. Emploi d'une électrode positive soluble.** — Le résultat final de la décomposition électrolytique d'un sel est encore modifié, quand on emploie, comme électrode positive, un métal pouvant se combiner avec les corps qui se portent à cette électrode.

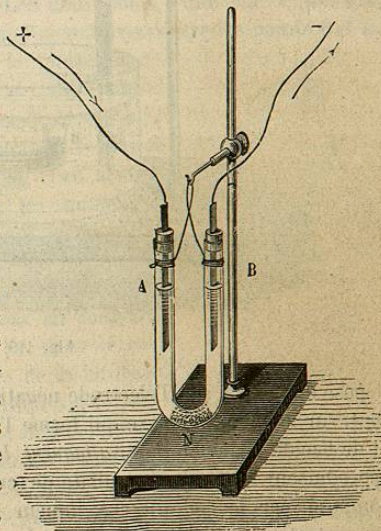


Fig. 418. — Décomposition du sulfate de potasse.



Supposons, par exemple, que, pour décomposer une solution de sulfate de cuivre, on prenne comme électrode positive une lame de *cuivre*, l'autre électrode étant formée par un corps conducteur quelconque. La décomposition du sel s'effectuant comme il a été indiqué (550), il se

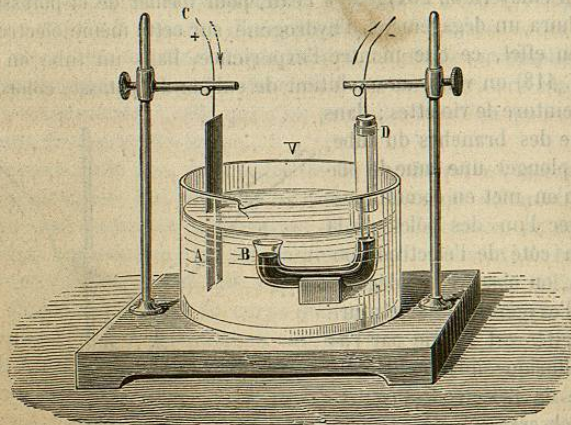


Fig. 419.

dépose du cuivre sur l'électrode négative; en même temps, il se produit, sur la lame de cuivre qui forme l'électrode positive, de l'oxygène et de l'acide sulfurique qui *attaquent le cuivre* de cette électrode, et reproduisent un poids de sulfate de cuivre égal à celui qui a été décomposé par le courant. La liqueur reste donc au même état de concentration, et l'effet définitif est le même que si le cuivre, pris à l'électrode positive, était simplement transporté par le courant sur l'électrode négative. — Dans tous les cas de ce genre, on dit, par abréviation, que le métal employé comme électrode positive s'est comporté comme une *électrode soluble*.

Ces remarques trouveront leur application dans la galvanoplastie, la dorure et l'argenture.

#### IV. — NOTIONS SUR LES LOIS DES COURANTS ET SUR LES UNITÉS ÉLECTRIQUES.

**555. Comparaison des intensités des courants, par leurs actions chimiques.** — D'après la loi de Faraday (552), divers électrolytes, interposés simultanément en divers points d'un même circuit, éprouvent des actions chimiques *équivalentes*. Mais les intensités abso-

ues de ces actions, c'est-à-dire les quantités absolues d'électrolytes décomposées, dans un même intervalle de temps, dépendent de la constitution du circuit et de la pile elle-même.

En cherchant à se rendre compte de ces phénomènes, on est conduit à se représenter la quantité d'électrolyte décomposée, dans un temps déterminé, en un point quelconque d'un circuit, comme proportionnelle à la *quantité d'électricité* transmise.

L'expérience suivante, due à Faraday, vient confirmer cette manière d'envisager le phénomène. — Les deux pôles d'une pile P (fig. 420) sont réunis par un conducteur qui se subdivise entre les points C et D; dans chacune des branches de la bifurcation, on intercale un voltmètre, *v, v'*; des voltmètres sont également placés en V et V', sur les parties non divisées du conducteur. — Si ces divers voltmètres contiennent de l'eau acidulée, l'expérience montre que les quantités d'hydrogène dégagées en V et V' sont *égales entre elles*: c'est ce que nous savons déjà. Les quantités d'hydrogène dégagées soit en *v*, soit en *v'*, sont moindres, mais *leur somme est toujours égale à la quantité dégagée en V*: dans le cas particulier où les deux branches de la bifurcation C<sub>0</sub>D et C<sub>0</sub>D' sont aussi identiques que possible, les quantités d'hydrogène dégagées en *v* et *v'* sont sensiblement égales chacune à la moitié

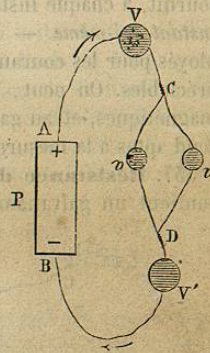


Fig. 420.

de la quantité dégagée en V. Or, dans ce cas, chacune des branches transmet évidemment la moitié de la quantité d'électricité qui passe en AC ou en BD: la quantité d'électrolyte décomposée est donc bien proportionnelle à la quantité d'électricité transmise. — Il en est de même, quelles que soient les dispositions diverses que l'on adopte pour les expériences de ce genre.

Donc, si l'on considère les *intensités* des courants comme définies par les quantités d'électrolyte décomposées en un même temps, on peut dire que ces intensités sont proportionnelles aux *quantités d'électricité* qui passent, pendant un intervalle de temps déterminé, par une section transversale faite dans le conducteur intermédiaire.

**556. Emploi du galvanomètre et des instruments électromagnétiques, pour la mesure des intensités.** — Pour mesurer les intensités des courants, on peut employer aussi des instruments fondés sur les actions que ces courants exercent sur une aiguille aimantée. — Or, quand un instrument de ce genre est intercalé, en même temps qu'un voltmètre, dans un circuit parcouru par un courant, on constate qu'il y a toujours proportionnalité entre l'action *électro-magnétique*, évaluée au moyen de la déviation de l'aiguille aimantée, et l'intensité



du courant, définie par l'action *électro-chimique*. On conçoit donc, sans plus de détails, comment les instruments électro-magnétiques, et en particulier le galvanomètre qui sera décrit plus loin, peuvent servir à mesurer les intensités des courants.

Les instruments électro-magnétiques présentent d'ailleurs, sur les voltamètres, divers avantages. — Si l'intensité d'un courant vient à éprouver des variations pendant l'intervalle de temps où l'on recueille les produits de l'électrolyse, le voltamètre ne donne que la valeur *moyenne* des intensités qui se sont succédé pendant cet intervalle. Avec un instrument électro-magnétique, la déviation de l'aiguille aimantée fournit, à chaque instant, une mesure de l'intensité du courant à cet instant *lui-même*. — Enfin les voltamètres ne peuvent pas être employés pour les courants faibles, dont les actions chimiques sont inappréciables. On peut, au contraire, donner aux instruments électro-magnétiques, et au galvanomètre en particulier, une sensibilité qui les rend aptes à la mesure des intensités très petites.

**537. Résistance des conducteurs.** — Si le circuit d'une pile P contient un galvanomètre G (fig. 421), et si l'on vient à allonger le circuit, en intercalant entre deux points C et D un fil métallique F, on constate que le galvanomètre accuse une *diminution d'intensité* du courant. — En général, l'introduction d'un conducteur quelconque, dans un circuit parcouru par un courant, doit être considérée comme apportant une *résistance*, ayant pour effet de diminuer l'intensité. Cette diminution est d'autant plus grande que le conducteur présente, toutes choses égales d'ailleurs, une longueur plus considérable.

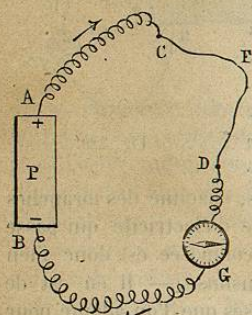


Fig. 421.

Supposons maintenant que l'on remplace un fil F de longueur  $l$  et de section  $s$ , par un autre fil F' de même nature, mais de section  $s'$ .

Si l'on détermine, par tâtonnements, quelle est la longueur  $l'$  qu'on doit donner à ce nouveau fil, pour rendre au courant la même intensité qu'avec le premier fil, on trouve que l'on a la relation

$$\frac{l'}{s'} = \frac{l}{s},$$

c'est-à-dire que, pour des conducteurs de même nature, mais de sections différentes, les longueurs *équivalentes* sont proportionnelles aux sections.

Enfin, si l'on remplace un fil métallique par un autre fil de même longueur et de même section, mais de *nature différente*, l'intensité du cou-

rant prend, en général, une valeur différente. — La résistance des conducteurs dépend donc aussi de leur *nature*.

Dès lors, si l'on veut comparer numériquement les résistances de conducteurs différant à la fois par leur nature et par leurs dimensions, il est nécessaire de choisir d'abord une *unité de résistance*.

**538. Unité de résistance, ou ohm.** — Pouillet a proposé, le premier, de choisir, pour définir l'unité de résistance électrique, la résistance d'une *colonne de mercure*, de 1 mètre de longueur et de 1 millimètre carré de section (\*). — Cette unité, acceptée par un grand nombre de physiciens, et employée particulièrement en Allemagne, est connue aujourd'hui sous le nom d'*unité Siemens*.

A la suite des travaux effectués par l'Association britannique en 1865, le Congrès international des électriciens, réuni à Paris en 1881, pendant l'Exposition d'électricité, a repris la question de la fixation des diverses unités électriques, et a décidé qu'elles seraient rattachées, comme unités dérivées, aux unités fondamentales du système C. G. S., dont nous avons indiqué les bases (15). — L'unité de résistance électrique adoptée par le Congrès a été nommée *ohm*, en mémoire du savant allemand qui a découvert les lois des courants. — Voici, en quelques mots, les considérations qui ont servi à fixer la valeur de l'*ohm*.

L'*unité théorique de résistance* électrique peut se déduire directement, comme unité dérivée, des unités fondamentales du système C. G. S. La transition, entre ces unités fondamentales et l'unité dérivée dont il s'agit, repose sur des notions d'un ordre trop élevé pour que nous puissions les développer ici. — Mais, d'autre part, cette unité *théorique* serait beaucoup trop petite pour être d'un usage commode dans la pratique. On est convenu alors de la multiplier par une puissance de 10, telle que la valeur ainsi obtenue se rapprochât, autant que possible, de la valeur de l'unité primitivement adoptée, c'est-à-dire de l'unité Siemens. — On a pris alors, pour valeur de l'*ohm*, ou unité *pratique* de résistance, le produit de l'unité *théorique* de résistance du système C.G.S. par le nombre  $10^9$  (ou mille millions). — Les expériences effectuées ultérieurement, et en particulier celles de M. Mascart, ont montré que l'*ohm* ainsi défini est représenté par la résistance à 0° d'une colonne de mercure ayant 1 millimètre carré de section et 106 centimètres de longueur.

On voit que les évaluations des résistances des conducteurs, en unités Siemens, pourront toujours être considérées comme fournissant

(\*) Le mercure peut toujours être obtenu dans un état de pureté parfaite. En outre, son état liquide lui assure une constitution physique toujours identique, tandis que la plupart des fils métalliques présenteraient des résistances variables avec le degré d'érouissage ou de recuit qu'ils auraient pu éprouver.



au moins des valeurs approchées de ces mêmes résistances en *ohms*.

539. **Coefficients de résistance des corps solides.** — Pour mesurer numériquement, par l'expérience, la résistance d'un fil déterminé, de longueur  $l$  et de section  $s$ , la méthode qui se présente d'abord consiste à placer ce fil dans un circuit comprenant une pile et un galvanomètre; à remplacer ensuite ce fil par une colonne de mercure de 1 millimètre carré de section, et à chercher quelle longueur on doit donner à cette colonne pour que le courant reprenne la même intensité. Cette longueur, exprimée en *ohms*, représentera la *résistance* du fil; désignons-la par  $r$  (\*).

D'après ce qui a été dit (537), la valeur de cette quantité  $r$  dépend à la fois de la longueur du fil, de sa section et de sa nature: elle est proportionnelle à la longueur  $l$ , en raison inverse de la section  $s$ , et enfin proportionnelle à un certain coefficient  $k$ , qu'on peut appeler le *coefficient de résistance* de la substance qui forme le fil. — On peut donc poser

$$r = k \frac{l}{s}$$

La valeur de  $r$  étant donnée par l'expérience, cette équation permettra de déterminer le coefficient  $k$ . — Quant à la signification de cette quantité  $k$  elle-même, on voit que si l'on fait  $l = 1^m$  et  $s = 1^{mm^2}$ , dans l'équation précédente, on a  $k = r$ , c'est-à-dire que le nombre  $k$  représente, pour chaque substance en particulier, la *résistance en ohms* d'un fil d'un mètre de longueur et d'un millimètre carré de section.

Le tableau suivant indique les valeurs des résistances, ainsi définies, pour quelques-uns des corps solides les plus employés (\*\*). — Il permettra de calculer la résistance, en *ohms*, d'un conducteur de nature quelconque, étant données sa longueur et sa section.

(\*) Nous indiquerons plus loin (548) une méthode de détermination plus précise de la résistance d'un conducteur.

(\*\*) Les nombres qui représentent ces résistances, évaluées en *ohms*, sont un peu différents de ceux qu'on trouve dans certains ouvrages, et qui représentent les résistances rapportées à l'unité Siemens, c'est-à-dire à une colonne de mercure ayant 1 mètre de longueur et 1 millimètre carré de section. — Pour obtenir les résistances rapportées à l'unité Siemens, il suffirait de diviser les nombres ci-dessus par 1,06.

## CORPS SOLIDES.

	Résistance en ohms.		Résistance en ohms.
Argent recuit . . . . .	0,017	Étain comprimé . . . . .	0,146
Cuivre . . . . .	0,018	Plomb comprimé . . . . .	0,217
Or . . . . .	0,023	Antimoine comprimé . . . . .	0,592
Aluminium . . . . .	0,053	Mercure . . . . .	0,944
Zinc comprimé . . . . .	0,062	Bismuth comprimé . . . . .	1,448
Platine recuit . . . . .	0,100	Coke . . . . .	43
Fer recuit . . . . .	0,107	Charbon de cornue . . . . .	705

On remarquera que, à égalité de dimensions, les fils de fer offrent une résistance environ six fois plus grande que les fils de cuivre. — La résistance du charbon de cornue, qu'on emploie pour les piles de Bunsen ou pour la production de la lumière électrique, est plusieurs centaines de fois plus grande.

540. **Coefficients de résistance des liquides.** — Les liquides, en général, présentent, à dimensions égales, des résistances incomparablement plus grandes que les corps solides. Voici quelques nombres qui en pourront donner une idée, pour quelques-unes des dissolutions les plus employées en électricité. — Ces nombres représentent, comme les précédents, les *résistances en ohms*, pour des colonnes d'un mètre de longueur et d'un millimètre carré de section.

## CORPS LIQUIDES.

	Résistance en ohms.
Acide azotique à 56° de l'aréomètre Baumé . . . . .	21 560
Solution saturée de sel marin (température 15°) . . . . .	64 000
— — sulfate de zinc (temp. 14°) . . . . .	349 700
— — sulfate de cuivre (temp. 9°) . . . . .	572 500
Eau acidulée ( $\frac{1}{20\,000}$ d'acide sulfurique) . . . . .	15 700 000

La grandeur de ces résistances fait comprendre pourquoi, quand on intercale une colonne liquide dans le circuit d'une pile, il faut toujours lui donner une grande section et une petite longueur, si l'on veut que le courant conserve une intensité appréciable.

541. **Influence de la résistance de la pile elle-même.** — Prenons un élément de pile formé de lames métalliques plongeant dans un liquide, comme celui de la figure 590, ou de l'une quelconque des piles *hydro-électriques* que nous avons étudiées. Réunissons les deux lames par un conducteur, dans lequel sera interposé un instrument mesurant l'intensité du courant produit. Si l'on vient à éloigner progressivement les lames métalliques l'une de l'autre, on observe que



l'intensité du courant diminue; le liquide, qui, dans la pile, est placé entre les deux pôles, se comporte donc, au point de vue des variations d'intensité du courant, comme se comporterait une couche liquide interposée dans le circuit extérieur à la pile. — Nous allons voir que la résistance intérieure de la pile intervient en effet, dans la valeur de l'intensité acquise par le courant, exactement au même titre que les résistances extérieures.

542. **Lois d'Ohm.** — Les lois qui permettent d'établir, dans tous les cas, une relation entre l'intensité du courant, la résistance du circuit, et la force électromotrice de la source d'électricité, ont été établies par Ohm. — Il est digne de remarque que les principes adoptés par lui, et développés dans sa *Théorie mathématique des courants électriques*, sont exactement ceux qui avaient servi de base à la *Théorie de la chaleur* de Fourier. C'est là une assimilation sur laquelle nous ne pouvons insister, mais que les progrès de la science semblent devoir confirmer chaque jour. — Ohm avait, d'ailleurs, effectué lui-même un grand nombre d'expériences, qui ont servi de point de départ à ses travaux. Des expériences semblables ont été faites depuis, par Fechner et par Pouillet, dans des conditions plus précises. — C'est uniquement sur ces résultats d'expériences que nous insisterons ici.

1° D'après ce qui précède (541), le cas le plus simple est évidemment celui où la résistance de la pile est négligeable par rapport aux résistances des autres parties du circuit : c'est le cas des piles thermo-électriques, comme celle de la figure 440, puisque les barreaux ou les lames métalliques qui forment les éléments peuvent être considérés comme ayant une résistance négligeable, par rapport aux fils plus ou moins longs et plus ou moins fins qui ferment le circuit. C'est en effet dans ces conditions qu'ont été effectuées les expériences de Ohm, et aussi les premières expériences de Pouillet. — Or, supposons que l'on prenne une pile de cette nature, et qu'on ferme successivement le circuit avec divers conducteurs, dont les résistances soient connues (539). Supposons que le circuit contienne, en outre, un galvanomètre, dont le fil aura également une résistance connue. Si, dans deux expériences consécutives, on représente par  $i$  et  $i'$  les intensités du courant, mesurées au moyen du galvanomètre, et par  $r$  et  $r'$  les valeurs de la résistance totale des conducteurs extérieurs à la pile, y compris celle du fil du galvanomètre, on trouve

$$\frac{i}{i'} = \frac{r'}{r};$$

c'est-à-dire que les intensités du courant sont en raison inverse des résistances du circuit.

2° Si l'on répète la même série d'opérations avec un élément de pile hydro-électrique, et si, dans deux expériences faites avec des circuits extérieurs ayant des résistances  $r$  et  $r'$ , on a soin de ne rien changer à la pile elle-même, on trouve que, pour représenter le rapport des intensités  $i$  et  $i'$ , il faut ajouter aux résistances  $r$  et  $r'$  une quantité constante  $R$ , c'est-à-dire qu'on a

$$\frac{i}{i'} = \frac{R + r'}{R + r}.$$

Cette quantité  $R$  doit être considérée comme représentant la résistance de la pile. L'énoncé précédent s'applique donc encore, à la condition de faire intervenir, dans la résistance du circuit, la résistance de la pile, au même titre que les résistances extérieures. — On peut donc dire, d'une manière générale, que les intensités des courants produits par une même pile, dans des circuits diversement constitués, sont en raison inverse des résistances du circuit tout entier, pile comprise.

Cela posé, pour un élément de pile déterminé, quelles que soient les résistances  $r, r', r'', \dots$  du conducteur  $C$  qui ferme le circuit (fig. 422), on a toujours

$$i(R + r) = i'(R + r') = i''(R + r'') \dots = E,$$

la quantité  $E$  étant un nombre constant, dont la valeur caractérise l'élément de pile lui-même. — Pour déterminer la signification physique de cette quantité, il suffit de remarquer que, si le circuit était constitué de façon que l'on eût  $R + r = 1$ , on aurait  $i = E$ . Donc la constante  $E$  représente l'intensité du courant que produirait cet élément de pile, dans un circuit dont la résistance totale serait égale à l'unité; c'est ce qu'on nomme la force électromotrice de l'élément.



En introduisant cette constante, on a, pour un circuit formé d'une manière quelconque,  $i(R + r) = E$ , ou bien

$$(1) \quad i = \frac{E}{R + r}.$$

Enfin, considérons une succession de  $n$  éléments égaux (fig. 425), réunis les uns aux autres par les pôles de noms contraires, comme nous l'avons supposé jusqu'ici dans la construction des piles. — Si l'on ferme le circuit de cette pile par un conducteur  $C$ , de résistance  $r$ , la résistance totale du circuit sera  $nR + r$ ; par suite, le cou-



rant produit par *chaque élément* aura pour intensité  $i = \frac{E}{nR + r}$ . Ces

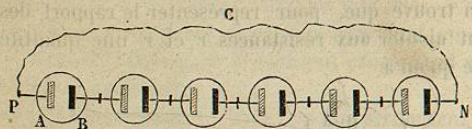


Fig. 425. — Association en tension.

$n$  courants, égaux et de même sens, donneront donc une intensité totale  $I$ , dont la valeur sera

$$(2) \quad I = \frac{nE}{nR + r}$$

Nous verrons plus loin (545) quelle est l'unité adoptée pour la mesure de la quantité  $E$ .

**545. Divers modes d'association des éléments de pile.** — Le mode d'association que nous venons d'indiquer, pour les éléments de pile, est connu sous le nom d'*association en série*, ou *en tension*.

On désigne sous le nom d'*association en batterie*, ou *en surface*, celui dans lequel tous les pôles de même nom sont réunis entre eux (fig. 424),

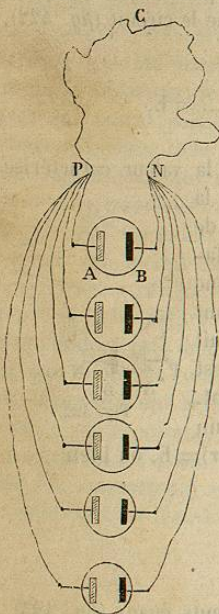


Fig. 424. Association en surface.

de sorte que le conducteur extérieur  $C$  réunit l'ensemble  $P$  de tous les pôles positifs, à l'ensemble  $N$  de tous les pôles négatifs. — Si l'on considère un système formé de  $n$  éléments égaux, ainsi associés, le résultat doit être le même que si l'on avait *un seul élément*, dont les lames auraient une surface  $n$  fois plus grande. Par suite, puisque la résistance d'une colonne liquide est en raison inverse de sa section, la résistance de cet *élément multiple* doit être  $\frac{R}{n}$ . — Mais, d'autre part, nous verrons plus loin (546) que la force électromotrice d'un élément de pile est indépendante de sa surface, et ne dépend que de la nature des corps qui le forment : la force électromotrice de cet élément multiple sera donc toujours  $E$ . — Si donc on désigne par  $J$  l'intensité du courant produit, le circuit étant fermé par un conducteur  $C$  de résistance  $r$ , on aura :

$$(5) \quad J = \frac{E}{\frac{R}{n} + r}$$

Le mode d'association en *tension* (fig. 425), qui est celui où la pile offre le plus de résistance, convient spécialement au cas où le conduc-

teur extérieur présente une résistance *très grande* par rapport à celle de chacun des éléments de la pile. — En effet, en considérant  $R$  comme négligeable vis-à-vis de  $r$ , les formules (1), (2) et (3) deviennent respectivement :

$$i = \frac{E}{r}, \quad I = \frac{nE}{r}, \quad J = \frac{E}{r}$$

ce qui montre que l'intensité  $I$  est sensiblement *proportionnelle au nombre des éléments*, tandis que l'intensité  $J$  serait simplement égale à l'intensité  $i$  que donnerait *un seul élément* (\*).

Au contraire, le mode d'association *en surface*, qui est celui où la pile offre le moins de résistance, convient spécialement au cas où le conducteur extérieur présente une résistance *très petite* par rapport à celle de chacun des éléments de la pile. — En effet, en considérant maintenant  $r$  comme négligeable vis-à-vis de  $R$ , les formules (1), (2) et (3) donnent respectivement

$$i = \frac{E}{R}, \quad I = \frac{E}{R}, \quad J = \frac{nE}{R}$$

ce qui montre que, dans ce cas, l'intensité  $I$  est simplement égale à celle que donnerait *un seul élément*, tandis que l'intensité  $J$  est sensiblement *proportionnelle au nombre des éléments* (\*\*).

Enfin, entre ces deux cas extrêmes, se présentent des cas intermédiaires, où la résistance du conducteur extérieur est comparable à celle d'un ou plusieurs éléments de la pile. On groupe alors les éléments en un certain nombre de séries, et on réunit en batterie ces séries successives. — Si l'on a, par exemple, six éléments, on pourra les

(\*) Ainsi, par exemple, c'est toujours *en tension* qu'on associe les couples thermo-électriques, lorsque les courants qu'ils produisent doivent traverser des fils métalliques fins, incomparablement plus résistants que les couples eux-mêmes. — C'est encore *en tension* que l'on associe les couples hydroélectriques, quand le courant doit traverser des corps présentant une résistance considérable, comme des colonnes liquides d'une certaine épaisseur. C'est ainsi, par exemple, qu'une pile à colonne (fig. 394), d'une cinquantaine d'éléments, produit une commotion assez vive quand on touche ses deux extrémités avec les deux mains (le corps humain doit surtout sa conductibilité aux liquides répartis dans les tissus). Au contraire, une pile de Wollaston (fig. 398), de cinq à six éléments à grande surface, ne produit, dans les mêmes circonstances, qu'une secousse légère.

(\*\*) C'est ainsi que l'association *en surface* convient au cas où l'on veut, avec des piles hydro-électriques, amener à l'incandescence des fils métalliques, toujours beaucoup moins résistants que la pile elle-même. — C'est pour la même raison qu'il y a avantage, dans les expériences de ce genre, à employer des éléments à grande surface. Ainsi, un simple couple de Wollaston suffit pour fondre un fil de platine fin (fig. 397), qui serait à peine rougi par une pile à colonne, formée d'un grand nombre d'éléments à petite surface. Les piles en hélice (fig. 396) sont éminemment propres à la production d'effets calorifiques d'une grande intensité, même dans des fils métalliques d'une assez grande longueur.



réunir, ou en deux séries formées chacune de trois éléments (fig. 425), ou en trois séries formées chacune de deux éléments (fig. 426). — Le calcul montre que, dans chaque cas particulier, la meilleure disposi-

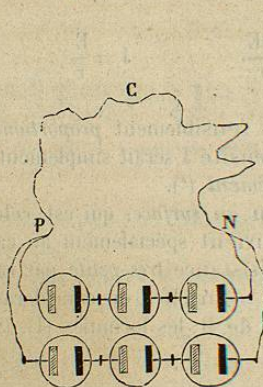


Fig. 425.

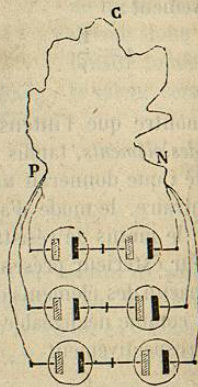


Fig. 426.

tion, pour obtenir un courant d'intensité maximum, est celle pour laquelle la résistance de la pile est aussi voisine que possible de la résistance du conducteur extérieur (\*).

(\*) Voici le calcul dont il s'agit. — Soit  $N$  le nombre total des éléments dont on dispose; désignons par  $m$  le nombre des éléments de chaque série, et par  $n$  le nombre des séries, en sorte qu'on ait  $m \times n = N$ . — D'après ce qui précède, chaque série a alors une force électromotrice  $mE$  et une résistance  $mR$ : dès lors, la batterie formée par  $n$  de ces séries donne, dans un conducteur de résistance  $r$ , un courant dont l'intensité  $J$  peut se calculer en appliquant la formule (3), et l'on a :

$$J = \frac{mE}{\frac{mR}{n} + r} = \frac{E}{\frac{R}{n} + \frac{r}{m}}$$

Pour que l'intensité  $J$  ait une valeur maximum, il faut que le dénominateur  $\frac{R}{n} + \frac{r}{m}$  soit minimum. Or, remarquons que le produit de ces deux termes  $\frac{R}{n} \times \frac{r}{m}$  est constant (puisque'il est égal à  $\frac{Rr}{N}$ ); dès lors, d'après un théorème connu, la somme des deux termes sera minimum quand ils seront égaux entre eux. Donc l'intensité  $J$  sera maximum quand on aura  $\frac{R}{n} = \frac{r}{m}$ , ou bien

$$\frac{m}{n} = \frac{r}{R}.$$

On devra donc adopter la disposition pour laquelle le rapport des nombres  $m$  et  $n$  sera le plus voisin de cette valeur.

Remarquons enfin que, si cette relation est satisfaite, on a :

$$r = \frac{mR}{n};$$

le second membre n'est autre chose que l'expression de la résistance intérieure de la pile. Donc, dans ce cas, la résistance de la pile est égale à la résistance du conducteur extérieur.

544. **Courants dérivés.** — Supposons que, dans un circuit contenant une pile  $P$ , se trouvent intercalés deux ou plusieurs fils,  $F, F'$ , aboutissant aux mêmes points  $C$  et  $D$  (fig. 427). Les courants qui traversent ces fils dans le même sens, et qu'on nomme courants dérivés, acquièrent des intensités dont les lois ont été données par Ohm. — Nous nous bornerons au cas particulier où les fils de dérivation sont au nombre de deux.

Et d'abord, la somme des quantités d'électricité qui traversent les fils  $F$  et  $F'$ , pendant un temps déterminé, étant égale à la quantité d'électricité qui traverse la partie non divisée  $DPC$  pendant le même temps (535), si l'on désigne par  $i$  et  $i'$  les intensités du courant dans les deux fils de dérivation, et par  $I$  l'intensité dans la partie non divisée, on doit avoir

$$(1) \quad I = i + i';$$

c'est ce que Ohm a vérifié, et ce que M. Kirchhoff a démontré d'une manière générale.

Pour déterminer maintenant les valeurs des intensités  $I, i$  et  $i'$ , nous ferons usage du théorème suivant, qui a été démontré par M. Kirchhoff.

**Théorème:** Lorsque, dans un réseau quelconque de conducteurs, on considère une suite continue de conducteurs, de résistances  $r, r', r'', \dots$ , formant un circuit fermé, et contenant une force électromotrice  $E$ , si l'on désigne par  $i, i', i'', \dots$  les intensités du courant dans chacun de ces conducteurs, on a toujours

$$E = ir + i'r' + i''r'' + \dots$$

Or, dans le cas actuel, représentons par  $r$  et  $r'$  les résistances des deux fils de dérivation, et par  $R$  la résistance totale de la partie non divisée  $DPC$ , pile comprise. — On aura, en appliquant successivement le théorème aux deux circuits fermés  $CFDPC$  et  $CF'DPC$ ,

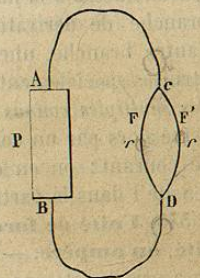
$$(2) \quad E = ir + IR$$

$$(3) \quad E = i'r' + IR.$$

En tirant des équations (1), (2) et (3) les valeurs de  $I, i$  et  $i'$ , on trouve

$$I = \frac{E}{R + \frac{rr'}{r+r'}}, \quad i = I \frac{r'}{r+r'}, \quad i' = I \frac{r}{r+r'}.$$

Si l'on veut exprimer ces résultats en langage ordinaire, on peut dire que l'ensemble des deux fils de dérivation se comporte, quant à l'intensité  $I$  du courant dans la partie non divisée, comme un conducteur unique

Fig. 427.  
Courants dérivés.