856. — Comme nous l'avons dit précédemment, lorsqu'un conducteur est traversé par un courant, il y a dégagement de chaleur : des expériences que nous signalerons montrent que la quantité de chaleur dégagée est proportionnelle à la quantité Q d'électricité qui a traversé le conducteur et à la différence de potentiel D qui existe entre les deux extrémités de celui-ci. En remarquant que, comme nous l'avons dit (267), une quantité de chaleur est équivalente à une quantité de travail mécanique, nous pouvons donc dire que la quantité d'énergie, de travail développée dans les conditions précédemment indiquées est proportionnelle au produit $Q \times D$. Si donc nous désignons par P cette quantité d'énergie, la relation la plus simple que nous puissions adopter est :

$$P = Q \times D.$$

Équation qui définit l'unité de différence de potentiel, car si l'on fait $R = 1$ et $D = 1$, il faut que l'on ait $D = 1$.

L'unité de travail adopté pour ces mesures est égale à $\frac{1}{9,81}$ kilogrammètre, soit très sensiblement 0,1 de kilogrammètre : c'est ce qu'on appelle 1 *joule*. Nous aurons donc la définition suivante pour l'unité de différence de potentiel qui a reçu le nom de *volt* :

Le volt, unité de différence de potentiel, est la différence de potentiel qui doit exister entre les extrémités d'un conducteur qui, étant parcouru par une quantité d'électricité égale à 1 coulomb, dégage une quantité d'énergie de 1 joule (ou de 0,1 kilogrammètre).

Si le courant est constant, nous pouvons diviser les deux membres de l'égalité par t : le quotient $\frac{P}{t}$ mesure l'énergie développée en 1 seconde, c'est ce qu'on appelle la puissance électrique qu'on représente par W (initiale du mot anglais *Work*, travail) ; comme d'autre part on a $\frac{Q}{t} = I$, il vient donc :

$$W = I \times D,$$

équation sur laquelle nous aurons à revenir.

Il importe de remarquer que, comme nous l'avons dit, la FEM n'est connue que par la différence de potentiel qu'elle fait naître ; aussi la mesure-t-on à l'aide de celle-ci et le plus souvent établit-on une confusion entre ces deux quantités qui sont cependant de nature différente. Si nous appelons E la FEM qui produit une certaine différence de potentiel D, cela revient à dire qu'on prend toujours E égal à D. Nous aurons donc, en introduisant la FEM, les équations :

$$P = Q \times E \qquad W = I \times E.$$

857. — Si aux deux extrémités d'un conducteur déterminé, on produit successivement diverses différences de potentiel E,E',E''.. et qu'on mesure les intensités correspondantes, I,I',I''..., on trouve qu'il y a proportionnalité ; on peut donc écrire les relations :

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

de telle sorte que, pour la production d'un courant dans un conducteur, le quotient de la différence de potentiel par l'intensité correspondante est un nombre constant ; il est donc caractéristique du conducteur à ce point de vue. Ce quotient qu'on appelle *résistance* du conducteur et qu'on désigne par R est donné par la relation :

$$\frac{E}{I} = R \quad \text{ou} \quad I = \frac{E}{R},$$

qui définit l'unité de résistance, car on a $R = 1$ si l'on prend E égal à 1 volt et I égal à 1 ampère. Cette unité de résistance a reçu le nom d'*ohm*. On peut donc la définir ainsi :

L'ohm est la résistance d'un conducteur tel qu'il soit parcouru par un courant de 1 ampère quand entre ses deux extrémités il existe une différence de potentiel de 1 volt.

On considère aussi la capacité C d'un conducteur qui est défini comme nous l'avons déjà indiqué (829) par l'équation :

$$\frac{Q}{E} = C \quad \text{ou} \quad Q = CE.$$

Il y a une unité de capacité qu'on appelle le *farad* et dont on déduirait la définition de cette équation ; mais la capacité des corps présente peu d'applications au point de vue qui nous occupe ; nous n'insisterons donc pas.

Il importe de remarquer qu'il ne peut y avoir de représentation matérielle du coulomb, de l'ampère et du volt qui se rapportent uniquement à la cause des phénomènes, cause inconnue et certainement de nature immatérielle. Il n'en est pas de même de l'ohm et du farad qui sont, en somme, des manières d'être de certains corps matériels ; nous ne nous occuperons pas du farad, mais nous dirons que des recherches précises ont montré que la valeur de l'ohm est représentée par la résistance à 0° d'une colonne cylindrique de mercure de 1 millimètre carré de section et de 106 centimètres de longueur.

858. **Lois des courants. Résistance.** — Dans un circuit traversé par un courant, il existe des relations entre les divers éléments qui caractérisent celui-ci et entre ces éléments et les appareils qui lui donnent naissance, les électromoteurs. Ces relations sont d'ailleurs indépendantes de la nature des électromoteurs (éléments de pile, accumula-

teurs, etc.), que nous décrirons seulement plus tard; nous pouvons donc dès à présent indiquer ces relations dont la connaissance est utile pour étudier les effets des courants : ce sont les *lois de Ohm*.

Nous avons défini la résistance d'un conducteur; recherchons d'abord de quels éléments dépend cette résistance. Supposons que, par un procédé quelconque, nous puissions maintenir entre deux points A et B une différence de potentiel invariable que nous désignerons par E. Intercalons un fil métallique entre ces deux points et mesurons l'intensité I du courant. Répétons la même expérience avec un fil identique, mais de longueur différente l' ; nous observerons une autre intensité I' et l'expérience montre que dans ce cas on a

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

c'est-à-dire que les intensités sont en raison inverse des longueurs du conducteur. Mais comme nous savons que l'on a, par définition (856),

$$R = \frac{E}{I} \qquad R' = \frac{E}{I'},$$

il en résulte

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

d'où l'on conclut que :

La résistance d'un fil homogène de section constante est proportionnelle à sa longueur.

Faisons, de même, deux observations en intercalant entre A et B deux fils cylindriques, homogènes, de même nature et de même longueur, mais de sections différentes s et s'. Nous trouverons alors que les intensités des courants obtenus sont proportionnelles aux sections, c'est-à-dire que l'on a

$$\frac{I}{I'} = \frac{s}{s'}.$$

Il vient donc, à cause des relations précédentes qui déterminent les résistances :

$$\frac{R}{R'} = \frac{s'}{s}.$$

Les résistances d'un fil homogène sont inversement *proportionnelles à la section.*

Enfin si nous opérons avec des fils de même longueur et de même section, mais de nature différente, nous obtenons des intensités différentes.

La résistance d'un conducteur dépend donc de sa nature.

Si alors nous déterminons, pour un conducteur donné de longueur l et de section s, la résistance R d'après les valeurs déterminées expérimentalement de la différence de potentiel E et de l'intensité I, nous pourrons poser la relation

$$R = k\,\frac{l}{s},$$

dans laquelle k est un coefficient constant pour un même corps, mais variable d'un corps à l'autre; ce coefficient, qui est déterminé précisément par la relation précédente, est ce qu'on appelle la *résistance spécifique* du corps considéré. Les nombres suivants donnent la résistance de quelques corps usuels pour une longueur de 1 mètre et une section de 1 millimètre carré.

Argent	0,015	Fer	0,096
Cuivre	0,016	Maillechort	0,208
Platine	0,090	Mercure	0,943

Pour le charbon, la résistance est beaucoup plus grande; elle varie entre 40 et 70.

Les dissolutions liquides ont des résistances considérables; voici quelques nombres :

Solution de sulfate de cuivre à 8 p. 100	437 000
— — à 28 p. 100	247 000
Solution saturée de sulfate de zinc	215 000
Acide sulfurique étendu, de densité 1,10	8 800
— — 1,70	46 700

D'une manière générale, la résistance croît avec la température.

859. — Il est quelquefois commode de représenter la résistance d'un conducteur par celle d'un conducteur équivalent qui aurait une résistance égale à l'unité et dont une des dimensions serait aussi égale à l'unité.

Soit $R = k\,\frac{l}{s}$ la résistance d'un conducteur; cherchons la longueur λ d'un conducteur de résistance 1 et de section 1; on devrait alors avoir

$$k\,\frac{l}{s} = 1\,\frac{\lambda}{1} \quad \text{ou} \quad \lambda = R.$$

La quantité λ qu'on appelle la *longueur réduite* du conducteur ne diffère pas de ce que nous avons désigné sous le nom de *résistance*.

Cherchons la section ω que devrait avoir un conducteur de longueur 1 et de résistance 1. On devrait avoir

$$k\,\frac{l}{s} = 1\,\frac{1}{\omega} \quad \text{ou} \quad \omega = \frac{s}{kl} = \frac{1}{R}.$$

La quantité ω qu'on appelle la *section réduite* du conducteur est donc l'inverse de la résistance.

860. — Lorsqu'on place plusieurs conducteurs à la suite, chacun d'eux intervenant par sa résistance R, l'ensemble présente une résistance totale égale à la somme des résistances partielles : c'est ce qu'il est aisé de prévoir, et ce que l'on peut vérifier par l'expérience, en déterminant l'intensité I du courant qui traverse une série de conducteurs de résistances R, R', R'' ; si E est la différence de potentiel, on trouve que l'on a effectivement

$$I = \frac{E}{R + R' + R'' + \ldots}.$$

Il n'en est plus de même si, entre les deux points A et B, on place à côté l'un de l'autre plusieurs conducteurs de résistance R, R', R''... Par analogie avec ce qui se passerait pour des tuyaux par lesquels s'écoulerait un liquide, on est conduit à penser que, dans un temps donné, il passera plus d'électricité que par un seul conducteur, que l'intensité du courant sera plus grande.

Pour simplifier nous pouvons admettre que chaque conducteur soit remplacé par un conducteur de résistance 1 et de longueur 1; les divers conducteurs auraient alors des sections réduites $\frac{1}{R}, \frac{1}{R'}, \frac{1}{R''}$... Il est naturel de penser que tous les conducteurs réduits, qui ne diffèrent que par la section, agiront ensemble comme un conducteur unique qui aurait une section égale à $\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} + \frac{1}{R''} + \ldots$ et qui serait équivalent à l'ensemble des conducteurs donnés. La résistance de ce conducteur serait alors $\dfrac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} + \frac{1}{R''} + \ldots}$ puisque la résistance est l'inverse de la section réduite.

On admet, par analogie avec ce qui se passe pour les liquides, que les quantités qui passent dans ces conducteurs sont proportionnelles à leurs sections réduites.

861. **Dérivation.** — Examinons le cas où l'on aurait entre les points A et B (fig. 411), entre lesquels existe la différence de potentiel E, d'abord

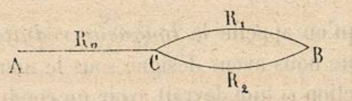

Fig. 411.

un conducteur unique AC de résistance R_0, puis entre C et B deux conducteurs placés en dérivation suivant l'expression consacrée et ayant respectivement des résistances R_1, R_2. Cherchons l'intensité I du courant dans le conducteur AC et i_1, i_2 des courants dans les conducteurs en dérivation.

D'après ce que nous venons de dire, l'ensemble des deux conducteurs R_1 et R_2 a une résistance qui est

$$\frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2},$$

et par suite la résistance totale entre A et B sera

$$R_0 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

D'après la formule générale $I = \frac{E}{R}$ qui lie l'intensité à la différence de potentiel et à la résistance, on a

$$\frac{E}{R_0 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}} = \frac{E\,(R_1 + R_2)}{R_0 R_1 + R_1 R_2 + R_2 R_0}.$$

A cause de la proportionnalité que nous avons signalée on doit avoir

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_2}} = \frac{R_2}{R_1},$$

car les sections réduites sont respectivement $\frac{1}{R_1}$ et $\frac{1}{R_2}$. On tire de là

$$\frac{i_1}{i_1 + i_2} = \frac{\frac{1}{R_1}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2},$$

d'où en remarquant que $i_1 + i_2 = I$ et remplaçant cette quantité par sa valeur

$$i_1 = I\,\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{ER_2}{R_0 R_1 + R_1 R_2 + R_2 R_0},$$

on aurait évidemment de même

$$i_2 = \frac{ER_1}{R_0 R_1 + R_1 R_2 + R_2 R_0}.$$

862. **Répartition du potentiel.** — Dans une conduite parcourue par un courant liquide le débit est partout le même, c'est-à-dire que, dans le même temps, des sections quelconques sont traversées par la même quantité de liquide. Par analogie, nous devons conclure qu'il en est de même pour les courants électriques, c'est-à-dire que l'intensité doit être partout la même : c'est, en effet, ce que montrent toutes les expériences, comme nous le dirons d'ailleurs.

Soient donc E la différence de potentiel qui existe entre deux points A et B et R la résistance du conducteur; soient, de même, E′ et R′ les quantités correspondantes pour deux autres points A′ et B′. Si I est l'intensité, on a :

$$I = \frac{E}{R} \qquad I = \frac{E'}{R'}.$$

On déduit de là

$$\frac{E}{R} = \frac{E'}{R'},$$

c'est-à-dire que dans un conducteur traversé par un courant la différence de potentiel entre deux points est proportionnelle à la résistance du conducteur compris entre ces points.

Ce résultat peut d'ailleurs être vérifié directement à l'aide d'un électromètre quelconque qui permet de déterminer les différences de potentiel.

Il est intéressant de rapprocher ce résultat de celui que nous avons signalé pour les tubes piézométriques dans le cas de l'écoulement de l'eau par une conduite (LXX); on voit que l'analogie que nous avons signalée se poursuit encore dans ce cas.

863. — Un électromoteur produit et maintient une différence de potentiel constante entre ses deux pôles α et β tant que ceux-ci restent isolés; mais ces pôles ne jouent aucun rôle particulier dans le fonctionnement de l'électromoteur et, en réalité, c'est entre deux autres points A et B que se produit l'action qui a pour conséquence la rupture de l'équilibre électrique que traduit la différence de potentiel; seulement les pôles, reliés directement à ces points, prennent respectivement le même potentiel que chacun de ceux-ci tant que l'équilibre subsiste.

Reprenons la comparaison déjà faite (850). Le rôle de l'électromoteur est joué ici par la pompe qui est susceptible de produire et de maintenir une différence de niveau invariable entre les réservoirs A et B; s'il n'y a pas courant, le robinet R étant fermé, s'il y a équilibre, les niveaux α et β dans les tubes piézométriques sont les mêmes que ceux des réservoirs A et B. Supposons que nous ouvrions le robinet R; quoique l'observateur ne voie que les piézomètres, ce n'est pas entre eux qu'a lieu le courant, mais c'est en réalité entre les réservoirs; aussi, bien que dans ceux-ci les niveaux restent invariables, les niveaux changent dans les piézomètres : la différence des niveaux dans ceux-ci est moindre qu'elle n'était précédemment, moindre par conséquent que celle qui subsiste dans les réservoirs.

Ce sont des faits analogues qui se passent dans le cas d'un électromoteur dont on réunit les pôles α et β par un conducteur, dans le cas où on ferme le circuit, suivant l'expression consacrée [1]. L'observateur étudie le courant entre les pôles, mais en réalité il part du point A où le potentiel est maintenu le plus élevé par la FEM, et aboutit au point B où le potentiel est le plus bas. Si E est la différence de potentiel entre A et B (différence qui existait aussi entre α et β quand il n'y avait pas de courant), il y aura entre α et β une moindre différence de potentiel, conformément à ce que nous avons dit (849, 850). Le courant partant de A pour aller à B n'a donc pas seulement à traverser le conducteur interpolaire, mais il a également à parcourir l'électromoteur qui doit, dès lors, intervenir par sa résistance au passage du courant. Si R est la résistance du conducteur interpolaire et π la résistance de l'électromoteur, le courant allant de A à B a donc à vaincre une résistance $R + \pi$.

1. Pour éviter toute confusion, il peut être utile de remarquer que l'effet produit par la *fermeture* du circuit électrique correspond à celui qui se passe pour le liquide quand on *ouvre* le robinet : et que, réciproquement, il y a analogie entre la rupture, l'ouverture du circuit et la fermeture du robinet.

864. **Courant produit par un électromoteur.** — Cette remarque permet de déterminer l'intensité du courant, d'après la formule générale (857), et l'on a

$$I = \frac{E}{R + \pi}.$$

Nous pouvons calculer ε, différence de potentiel entre les pôles, à cause de la relation précédemment indiquée (862) : il vient

$$\frac{\varepsilon}{E} = \frac{R}{R + \pi} \qquad \text{d'où} \qquad \varepsilon = \frac{ER}{R + \pi}.$$

Enfin, comme nous l'avons indiqué, on peut considérer l'énergie disponible par seconde; mais c'est seulement pour la partie interpolaire que cette énergie nous intéresse au point de vue des applications, car c'est là seulement où elle peut être utilisée. Si W représente cette énergie, on a

$$W = \varepsilon I = \frac{E^2 R}{(R + \pi)^2}.$$

Les formules précédentes, qui sont d'un emploi très fréquent, donnent I, ε et W quand on connaît le circuit et l'électromoteur défini par sa FEM, et par sa résistance. Il est donc évident que ces données devront être connues pour tous les électromoteurs que l'on pourra employer. Mais il arrive très souvent que pour obtenir des effets plus puissants on se sert de plusieurs électromoteurs; que deviennent alors les formules?

Nous n'étudierons pas tous les cas, et nous supposerons d'abord que tous les électromoteurs ont même FEM, e, et même résistance π.

865. **Groupement des électromoteurs.** — Etant donnés n électromoteurs, on peut les grouper de diverses façons : les deux principales sont le groupement en *série* et le groupement *parallèle* ou en *batterie*.