

Dans le groupement en série, les électromoteurs sont reliés à la suite les uns des autres de manière que le pôle + de chacun d'eux soit relié au pôle — de l'électromoteur voisin (fig. 412). Dans la chaîne ainsi formée, il

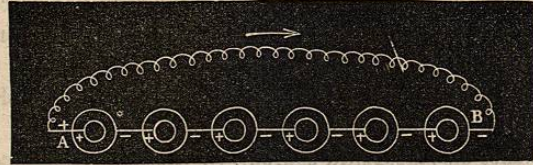


Fig. 412.

y a donc un pôle + à une extrémité et un pôle — à l'extrémité opposée.

L'électricité dont le déplacement dans le circuit constitue le courant a à traverser tous les électromoteurs à la suite les uns des autres : la résistance de cette série est donc égale à  $n\pi$ .

Mais, d'autre part, les effets des divers électromoteurs s'ajoutent en tant que production de différence de potentiel puisque chacun d'eux maintient une différence de potentiel constante, de telle sorte que la différence totale de potentiel entre les pôles extrêmes est égale à  $ne$ .

Dès lors, en appliquant les formules générales, il vient :

$$I = \frac{ne}{R + n\pi} \quad \varepsilon = \frac{neR}{R + n\pi} \quad W = \frac{n^2 e^2 R}{(R + n\pi)^2}$$

La comparaison que nous avons déjà faite s'applique encore ici. Il faut supposer que l'on a étagé plusieurs pompes au-dessus les unes des autres; chacune d'elles pouvant produire une certaine différence de niveau, la différence totale qu'on peut obtenir est d'autant plus grande qu'on emploie un plus grand nombre de pompes. Mais, d'autre part, l'eau traversant successivement toutes les pompes, le frottement qu'elle éprouve et qu'on peut assimiler à la résistance croît dans le même rapport.

866. — Le groupement parallèle des électromoteurs consiste à réunir ensemble tous les pôles + des électromoteurs d'une part, et d'autre part, tous les pôles —.

Comme pour tous les électromoteurs, que nous supposons identiques, il existait entre leurs deux pôles une même différence de potentiel, le mode de réunion ne modifiera rien à cet élément, et la FEM du système entier sera toujours  $e$  comme pour un seul électromoteur.

Mais, d'autre part, le courant passera à la fois dans tous ces électromoteurs et, comme dans le cas des dérivations, la résistance de l'ensemble sera donnée par la formule  $\frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} + \frac{1}{R''}}$  qui, dans le cas actuel,

devient  $\frac{1}{\frac{1}{n} + \frac{1}{\pi}}$  puisque toutes les résistances sont égales à  $\pi$ .

L'application des formules générales donne alors

$$I = \frac{e}{R + \frac{\pi}{n}} \quad \varepsilon = \frac{eR}{R + \frac{\pi}{n}} \quad W = \frac{e^2 R}{\left(R + \frac{\pi}{n}\right)^2}$$

ce qui peut s'écrire :

$$I = \frac{ne}{nR + \pi} \quad \varepsilon = \frac{neR}{nR + \pi} \quad W = \frac{n^2 e^2 R}{(nR + \pi)^2}$$

La comparaison avec le mouvement des liquides s'applique également bien : les pompes sont placées à côté les unes des autres prenant l'eau à un même réservoir; naturellement, on pourra élever plus d'eau, mais on ne pourra atteindre une plus grande hauteur; la différence de niveau restera la même que s'il n'y avait qu'une seule pompe.

867. — Les formules précédentes conduisent à des résultats importants qu'il est nécessaire de signaler.

Dans tous les cas, on voit que  $e$  est au numérateur. On en conclut, ce qui était évident *a priori*, qu'il y a tout intérêt à ce que la FEM des électromoteurs employés soit la plus grande possible.

De même,  $\pi$  étant partout en dénominateur, il y a toujours intérêt à ce que cette quantité soit la plus faible possible : les électromoteurs devront toujours avoir la moindre résistance possible. Ce résultat était assez facile à prévoir, et il n'y aurait pas lieu d'y insister si, par suite d'une erreur d'interprétation, plusieurs auteurs n'avaient énoncé, en ce qui concerne surtout les piles médicales, une opinion contraire, opinion absolument erronée ainsi que le prouvent les formules.

Pour nous rendre compte de l'influence du nombre des électromoteurs, prenons les formules sous la forme suivante :

Groupement en série :

$$I = \frac{e}{\frac{R}{n} + \pi} \quad \varepsilon = \frac{eR}{\frac{R}{n} + \pi} \quad W = \frac{e^2 R}{\left(\frac{R}{n} + \pi\right)^2}$$

Groupement parallèle :

$$I = \frac{e}{R + \frac{\pi}{n}} \quad \varepsilon = \frac{eR}{R + \frac{\pi}{n}} \quad W = \frac{e^2 R}{\left(R + \frac{\pi}{n}\right)^2}$$

On voit que, dans tous les cas, quand  $n$  croît, le dénominateur diminue et que, par suite, chacune des quantités  $I$ ,  $E$  et  $R$  augmente : il y a donc toujours intérêt à augmenter le nombre des électromoteurs employés.

Mais on peut reconnaître que l'augmentation de  $n$ , nombre des électromoteurs, n'a pas toujours la même influence et qu'il y a des cas dans lesquels le gain qui en résulterait ne serait pas en rapport avec l'augmentation du nombre des électromoteurs.



868. — Examinons la question en comparant dans chaque cas l'effet produit par  $n$  électromoteurs à l'effet produit par 1 électromoteur : c'est-à-dire en étudiant les rapports

$$\frac{I_n}{I_1}, \frac{E_n}{E_1} \text{ et } \frac{W_n}{W_1}.$$

1° *Grouperment en série.* La détermination des rapports que nous indiquons donne immédiatement

$$\frac{I_n}{I_1} = \frac{E_n}{E_1} = \frac{n(R + \pi)}{R + n\pi} \quad \frac{W_n}{W_1} = \frac{n^2(R + \pi)^2}{(R + n\pi)^2} = \left[ \frac{n(R + \pi)}{R + n\pi} \right]^2.$$

Il suffit donc d'étudier le rapport  $\frac{n(R + \pi)}{R + n\pi}$ . Or on peut écrire identiquement

$$\frac{n(R + \pi)}{R + n\pi} = n - \frac{n\pi(n-1)}{R + n\pi}.$$

On voit que le rapport considéré est toujours plus petit que  $n$  : le gain n'est donc jamais proportionnel au nombre des éléments, mais il s'en rapprochera d'autant plus que le 2° terme sera plus petit, que le facteur  $\frac{\pi}{R + n\pi}$  sera plus faible. Ce facteur peut s'écrire  $\frac{1}{\frac{R}{\pi} + n}$ ;

il sera très petit et pourra être négligé si  $\frac{R}{\pi}$  est très grand, c'est-à-dire si la résistance du conducteur intermédiaire est très grande par rapport à celle d'un des électromoteurs. Dans ce cas on aurait  $\frac{n(R + \pi)}{R + n\pi} = n$ , et le gain que l'on ferait en prenant  $n$  électromoteurs au lieu de 1 serait proportionnel à ce nombre  $n$ .

2° *Grouperment parallèle.* Les formules précédemment indiquées donnent immédiatement

$$\frac{I_n}{I_1} = \frac{E_n}{E_1} = \frac{n(R + \pi)}{nR + \pi} \quad \frac{W_n}{W_1} = \frac{n^2(R + \pi)^2}{(nR + \pi)^2} = \left[ \frac{n(R + \pi)}{nR + \pi} \right]^2.$$

Il suffit donc d'étudier le rapport  $\frac{n(R + \pi)}{nR + \pi}$ . On peut l'écrire identiquement :

$$\frac{n(R + \pi)}{nR + \pi} = n - \frac{nR(n-1)}{nR + \pi}.$$

La forme donnée à la valeur du rapport  $\frac{n(R + \pi)}{nR + \pi}$  montre que celui-ci est toujours inférieur à  $n$  : le gain n'est jamais proportionnel au nombre

des électromoteurs, mais il s'en rapprochera d'autant plus que le 2° terme sera plus petit, que le facteur  $\frac{R}{nR + \pi}$  sera moindre. Ce facteur peut s'écrire  $\frac{1}{n + \frac{\pi}{R}}$ ; il sera très petit et pourra être négligé si  $\frac{\pi}{R}$  est très grand,

c'est-à-dire si la résistance d'un électromoteur est très grande par rapport à la résistance intermédiaire. Dans ce cas, il restera  $\frac{n(R + \pi)}{nR + \pi} = n$ , et le gain que l'on fait en prenant  $n$  électromoteurs est sensiblement proportionnel à ce nombre.

869. — On peut enfin chercher immédiatement pour quelles conditions il serait également avantageux de grouper les électromoteurs en série ou parallèlement. En nous reportant aux formules précédentes, on voit que, pour obtenir la même intensité, il faut que l'on ait

$$\frac{ne}{R + n\pi} = \frac{ne}{R + \pi} \quad \text{ou } R + n\pi = nR + \pi.$$

Cette condition est la même d'ailleurs pour l'égalité de la différence de potentiel et de l'énergie disponible. Mais cette condition revient à  $R = \pi$ . Donc les résultats obtenus en groupant  $n$  électromoteurs en série ou parallèlement sont les mêmes quand la résistance intermédiaire est égale à celle d'un électromoteur.

Cette condition précise dès lors le mode de groupement qu'il convient de donner à un certain nombre d'électromoteurs pour obtenir les meilleurs effets possibles. Il faut avoir recours au groupement en série si la résistance intermédiaire est plus grande que la résistance d'un électromoteur; dans le cas contraire, il faut avoir recours au groupement parallèle.

870. — Nous venons d'examiner l'influence des électromoteurs et de leur mode de groupement quand le conducteur intermédiaire est déterminé. On peut inversement chercher l'influence de ce conducteur quand les électromoteurs sont donnés.

Pour l'intensité, quel que soit le mode de groupement, l'intensité augmente quand la résistance diminue puisque la quantité  $R$  entre en dénominateur dans les formules.

Pour la différence de potentiel on a, suivant le mode de groupement, les formules suivantes :

$$\varepsilon = \frac{neR}{R + n\pi} = \frac{ne}{1 + \frac{n\pi}{R}} \quad \varepsilon = \frac{neR}{nR + \pi} = \frac{ne}{n + \frac{\pi}{R}}.$$

L'influence de  $R$  est la même dans l'un et l'autre cas; quand  $R$  croît, la valeur de la fraction croît également. La différence de potentiel entre



les deux pôles est donc d'autant plus grande que la résistance intermédiaire est plus grande.

Étudions enfin l'énergie disponible; on a les formules suivantes, suivant le mode de groupement

$$W = \frac{n^2 e^2 R}{(R + n\pi)^2} \quad W = \frac{n^2 e^2 R}{(nR + \pi)^2}$$

La discussion de ces formules montre que, dans l'un et l'autre cas, la valeur de  $W$ , nulle pour  $R = 0$ , est aussi nulle pour une valeur infinie de  $R$ . On voit donc que  $W$ , partant de zéro, commence par croître, passe par un maximum et décroît ensuite jusqu'à zéro. En faisant le calcul, on trouve que, dans les deux cas, le maximum a lieu lorsque la résistance du conducteur intermédiaire est égale à la résistance fournie par les électromoteurs dans le groupement adopté.

Ce résultat, très net, fait connaître la valeur qu'il faut donner au conducteur intermédiaire pour avoir le maximum d'énergie disponible quand on a un nombre déterminé d'électromoteurs groupés d'une façon également déterminée.

Il est évident qu'on ne saurait appliquer les résultats obtenus dans ce cas à celui où le conducteur étant donné, on cherche quel groupement d'électromoteurs il convient d'appliquer et à quelles conditions ceux-ci doivent satisfaire. Cette erreur a été commise cependant, et c'est sur elle que se sont basés les auteurs qui ont énoncé la nécessité de donner une grande résistance aux piles médicales. Le point de départ étant faux, la conséquence est absurde, et il n'y aurait pas lieu d'insister, si cette opinion ne figurait encore dans certains ouvrages spéciaux.

871. **Groupement en opposition.** — Les groupements que nous venons d'étudier ne sont pas les seuls suivant lesquels on puisse ranger  $n$  électromoteurs : c'est ainsi qu'on peut les monter en *batteries de séries* ou en *séries de batteries* (fig. 413); des raisonnements analogues à ceux qui précèdent conduiraient à des formules du même genre. Mais nous ne nous y arrêtons pas et nous nous bornerons à étudier le groupement par *opposition*.

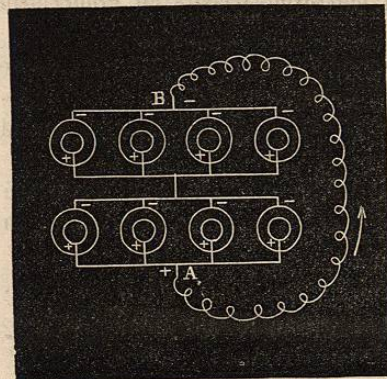


Fig. 413.

Dans ce mode de groupement, les électromoteurs sont réunis par leurs pôles de manière à former une chaîne, mais leur orientation peut n'être pas la même : tantôt les pôles qu'on réunit sont de même signe, et tantôt ils sont de signes contraires.

Soient  $e_1, e_2, e_3 \dots; \pi_1, \pi_2, \pi_3 \dots$  les FEM et les résistances de tous les électromoteurs orientés de même sens, et soient  $e'_1, e'_2, e'_3 \dots \pi'_1, \pi'_2, \pi'_3 \dots$  les mêmes éléments pour les électromoteurs orientés en sens contraire; soit enfin  $R$  la résistance des conducteurs qui réunit les pôles extrêmes.

D'après le rôle des électromoteurs, on conçoit que si l'on en a deux réunis en sens contraire, leur ensemble sera capable de produire une différence de potentiel égale à la différence de potentiel que peut produire le plus fort électromoteur diminuée de celle que peut produire l'autre. On arriverait à ce résultat aisément par la comparaison avec deux pompes accouplées de manière que, en fonctionnant, l'une produise l'élévation de l'eau et l'autre produise l'abaissement. Le résultat de l'action simultanée de ces deux pompes sera d'élever le liquide à une hauteur seulement égale à la différence entre les hauteurs correspondant à cette élévation et à cet abaissement.

On comprend aisément, de même, que, dans le cas d'un nombre quelconque d'électromoteurs, la FEM dont on disposera en totalité sera la différence entre la somme  $e_1 + e_2 + e_3 \dots$  des FEM de ceux qui agissent dans un sens et la somme  $e'_1 + e'_2 + e'_3 \dots$  des FEM de ceux qui agissent en sens contraire; c'est-à-dire que la FEM efficace sera  $(e_1 + e_2 + e_3 \dots) - (e'_1 + e'_2 + e'_3 \dots)$ .

Quant à la résistance, un électromoteur est toujours traversé et agit de la même façon quel que soit le sens du courant; la résistance totale sera donc dans ce cas  $R + (\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \dots) + (\pi'_1 + \pi'_2 + \dots)$ . En appliquant la règle générale, on a donc pour la valeur de l'intensité  $I$  du courant :

$$I = \frac{(e_1 + e_2 + e_3 + \dots) - (e'_1 + e'_2 + \dots)}{R + (\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 + \dots) + (\pi'_1 + \pi'_2 + \dots)}$$

Il peut arriver que, dans ce cas, il n'y ait pas de courant, que  $I$  soit nul : on en conclut immédiatement que l'on a :

$$e_1 + e_2 + e_3 + \dots = e'_1 + e'_2 + \dots$$

et l'on peut dire :

Lorsque dans un circuit contenant des électromoteurs en opposition, le courant a une intensité nulle, n'existe pas, la somme des FEM agissant dans un sens est égale à la somme des FEM de sens contraire.

Cette remarque a été appliquée à la mesure des FEM.

872. — Il est un cas particulier d'électromoteurs montés en opposition qui présente un certain intérêt, parce qu'il permet de se rendre compte de quelques effets que nous signalerons ultérieurement.

Considérons un certain nombre d'électromoteurs, 8 par exemple, que l'on monte en opposition, 4 dans un sens d'un côté et 4 en sens contraire



de l'autre côté (fig. 414). Si ces électromoteurs sont tous identiques, d'après ce que nous venons de dire, il n'y aura pas de courant dans le circuit qu'ils forment. Mais si l'on réunit par un conducteur les points A

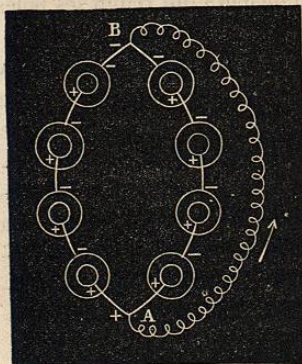


Fig. 414.

et B où se réunissent les deux moitiés opposées du circuit, ce conducteur sera traversé par un courant, quoiqu'il n'en soit pas de même du circuit primitif. On voit, en effet, que, dans ce cas, les électromoteurs, par rapport au conducteur A B, constituent en réalité le groupement parallèle de deux séries de 4 électromoteurs chacune.

Il est même facile de déterminer l'intensité du courant; chaque série a une FEM égale à  $4e$  et il en est de même par suite (867) de leur réunion en groupement parallèle; d'autre part, chaque

série a une résistance  $4\pi$ , mais leur ensemble a seulement une résistance  $\frac{4\pi}{2} = 2\pi$ . Si R est la résistance du conducteur A B, la résistance totale est  $R + 2\pi$ , et l'on a :

$$I = \frac{4e}{R + 2\pi}$$

#### CHAPITRE IV

##### EFFETS DES DÉCHARGES ÉLECTRIQUES

**873. Effets des décharges électriques.** — Les généralités qui précèdent montrent quelle est d'une manière générale la nature des phénomènes qui accompagnent les mouvements de l'électricité, mouvements que nous considérons comme en étant la cause; nous avons vu, également d'une manière générale, sur quels principes on peut se baser pour mesurer les éléments qui caractérisent, qui définissent ces mouvements. Ces notions étaient indispensables pour l'étude des effets produits, et pour la détermination des relations qui existent entre ces effets et la cause hypothétique à laquelle nous les attribuons : c'est cette étude que nous allons faire dans l'ordre même où nous avons présenté les diverses sortes de mouvements de l'électricité qui peuvent se produire. Il nous restera, à ce point de vue, à traiter la question des mouvements alternatifs et oscillatoires que nous rejetons à la fin de ce livre, parce que leur pro-

duction même ne peut se comprendre, dans la plupart des cas, que par la description des appareils qui les fournissent. Il nous restera également à faire connaître les moyens pratiques d'effectuer les mesures dont nous avons indiqué seulement les principes, ce qui suffit pour admettre qu'elles puissent avoir lieu.

**874. Effets de l'étincelle.** — Nous avons indiqué dans quelles conditions générales l'étincelle électrique prend naissance : examinons maintenant de plus près les questions qui s'y rapportent.

Pour qu'une étincelle éclate entre deux corps, il faut qu'il existe entre les points où se manifestent les tensions une différence de potentiel qui varie avec la distance, mais qui, dans tous les cas, est considérable : par exemple, pour obtenir une étincelle de 1 centimètre, il faut avoir des tensions correspondant à une différence de potentiel de 30 000 volts environ; mais la différence de potentiel nécessaire croît un peu moins rapidement que la distance.

La forme de l'étincelle dépend de la distance des conducteurs : elle est rectiligne et large pour de petites distances; si l'on augmente la distance, elle devient grêle, présente une forme en zigzag. Des différences du même ordre correspondent aux variations de quantité d'électricité mise en mouvement, à la capacité des corps entre lesquels l'étincelle éclate. Elle présente une intensité lumineuse plus vive lorsqu'elle est courte et large, et le bruit qu'elle produit est aussi plus intense. Sa couleur dépend du gaz dans lequel elle se produit et aussi de la nature des corps entre lesquels elle éclate.

La durée de l'étincelle est très courte. Wheatstone a cherché à l'évaluer en faisant éclater des étincelles dans le voisinage d'un disque sur lequel étaient tracés des rayons très serrés et qui tournait très rapidement. A cause de la persistance des impressions sur la rétine, ces traits devaient paraître avoir une largeur égale au déplacement qu'ils subissaient pendant le temps pendant lequel ils étaient éclairés par l'étincelle; Wheatstone n'observa pas que, d'une manière appréciable, les traits parussent plus larges que si le disque était au repos : de la discussion des conditions de l'expérience, il conclut que la durée de l'étincelle n'atteint pas un millionième de seconde.

**875.** — D'une manière générale, les effets de l'étincelle dépendent de la quantité d'électricité mise en jeu; on conçoit qu'il y aura avantage pour leur production à se servir de condensateurs; le plus souvent, on fait jaillir l'étincelle en provoquant le rétablissement électrique entre les deux armatures lorsque le condensateur a été chargé. On fait usage à cet effet de l'excitateur à manches de verre dont l'emploi s'explique de lui-même (fig. 415).

Il est à remarquer que, après la décharge du condensateur par la production d'une étincelle, les armatures ne sont pas revenues à l'état