

a est une constante dépendant de la qualité de l'acier et de la méthode d'aimantation employée. Pour les meilleurs aciers de *Wetteren* d'Haarlem, la valeur de a varie entre 19,5 et 23. Les aciers d'*Alleward* ont aussi une constante très élevée.

Coefficients d'aimantation induite. — Le moment magnétique d'une longue tige placée dans un champ magnétique uniforme est, pour un champ peu intense, proportionnel à sa longueur l , à sa section s , à l'intensité du champ H et à un coefficient numérique k nommé coefficient d'aimantation induite. Pour les corps diamagnétiques, k est négatif. Voici les valeurs moyennes données par Barlow et Plücker pour certains corps :

CORPS MAGNÉTIQUES.		CORPS DIAMAGNÉTIQUES.	
	k.		k.
Fer doux travaillé.	32,8	Eau	— 10,65 $\times 10^{-6}$
Fer fondu	23,0	Acide sulfurique	
Acier doux.	21,6	($d = 1,839$).	— 6,8 $\times 10^{-6}$
— dur.	17,4	Mercure.	— 33,5 $\times 10^{-6}$
Nickel	15,3	Phosphore	— 18,3 $\times 10^{-6}$
Cobalt.	32,8	Bismuth	— 250 $\times 10^{-6}$

Ces coefficients ne sont qu'approchés et changent pour chaque corps avec la valeur absolue de H . Ainsi, par exemple, dans un champ magnétique très faible, le coefficient k est, d'après Weber, 5 fois plus grand pour le nickel que pour le fer.

Sursaturation des aimants. — Un barreau aimanté prend souvent une sursaturation magnétique qu'il perd dans une proportion progressivement décroissante jusqu'au moment où elle atteint sa valeur permanente. Pour des recherches qui exigent la constance d'un aimant, il faut l'aimanter au moins six mois d'avance.

Influence de la température sur le magnétisme. — L'aimantation diminue avec l'augmentation de température et inversement. La diminution devient permanente si la température s'élève trop haut. Un aimant chauffé au rouge cerise perd son magnétisme, un fer doux à la température cerise cesse d'être attiré par un aimant. Pour le nickel, cette température qu'on nomme la *limite magnétique* est d'environ 350°.

Trempe. Acier comprimé. — La force coercitive d'un aimant est d'autant plus grande qu'il est plus fortement trempé. M. Clémandot (1882) donne de la force coercitive à l'acier non trempé en le comprimant à la presse hydraulique. Cette *trempe mécanique* permet cependant à l'acier d'être travaillé à la lime, au burin et au tour, avant ou après l'ai-

mantation, propriété précieuse dans la construction d'un grand nombre d'appareils.

Détermination expérimentale du moment d'inertie d'un barreau aimanté (Gauss). — On fait osciller le barreau ou l'aiguille tout seul, soit t la durée d'oscillation. On suspend ensuite deux poids égaux q à des distances égales a_1 et a_2 du centre ; soient t_1 et t_2 les durées respectives d'oscillations. On a alors :

$$I = \frac{t^2}{t_1^2 - t_2^2} \times 2qt^2.$$

Ramener au repos un aimant qui oscille. — A l'aide d'un petit aimant tenu à la main de façon qu'il repousse l'extrémité la plus voisine de l'aimant qui oscille ; on l'approche brusquement pendant que l'aimant oscillant avance vers l'observateur, au moment où il va passer au zéro. L'aimant s'arrête et au moment où il va osciller en sens inverse, on retire l'aimant tenu à la main. Il suffit pour cela d'un levier d'acier ou d'un tournevis aimanté.

PROCÉDÉS D'AIMANTATION

Tous les anciens procédés d'aimantation : simple touche, double touche, touche séparée, etc., sont aujourd'hui remplacés par d'autres fondés sur les actions des courants. Le plus simple consiste à frotter la pièce à aimanter sur les pôles d'un puissant électro-aimant, ou de faire usage du procédé d'Élias.

Procédé d'Élias. — Consiste à faire aller et venir sur le barreau à aimanter une bobine traversée par un courant. Pour un fer à cheval on emploie deux bobines qu'on fait aller et venir ensemble sur les branches du fer à cheval. Avec des courants intenses, on peut aimanter à saturation en une seule passe. La rapidité des passes n'influe pas sur l'aimantation ; l'influence de leur nombre est d'autant plus grande que le courant est plus faible.

Aimantation d'une aiguille. — Placer l'aiguille sur un aimant en fer à cheval en plaçant l'extrémité dont on veut faire le pôle nord sur le pôle sud de l'aimant et réciproquement, frotter l'aiguille contre le barreau deux ou trois fois dans le sens de sa longueur.

Armature des barreaux aimantés. — Pour conserver l'aimantation des barreaux, il convient de garnir leurs extrémités d'armatures en fer doux, ou de les placer en contact par leurs pôles opposés qui ten-

dent mutuellement à maintenir leur aimantation réciproque, tandis que les pôles de même nom tendent à la détruire. On doit toujours retirer l'armature d'un aimant par *glissement* et non par *arrachement*. Le magnétisme de la terre tend à conserver l'aimantation d'une aiguille librement suspendue.

MAGNÉTISME TERRESTRE

Éléments du magnétisme terrestre au 1^{er} janvier 1879 :

Déclinaison occidentale à Paris (ouest)	16° 56'
Diminution moyenne annuelle	0° 9'
Inclinaison moyenne à Paris	65° 32' 6"
Composante horizontale de la force magnétique terrestre à Paris (en unités C.G.S.)	0,19324
Force totale (en unités C.G.S.)	0,46485

Éléments du magnétisme terrestre à l'Observatoire du parc Saint-Maur le 30 janvier 1883 (Mascart).

Inclinaison	65° 17'
Déclinaison (ouest)	16° 33'
Composante horizontale (en unités C.G.S.)	0,1932
Intensité totale (en unités C.G.S.)	0,4620

ÉLECTRO-AIMANTS

Lois des électro-aimants. — Lorsqu'un électro-aimant est assez éloigné de la *saturation magnétique*, les lois suivantes sont applicables. L'intensité magnétique est proportionnelle à l'intensité du courant d'aimantation, proportionnelle au nombre de tours du fil sur les bobines, indépendante de la grosseur et de la nature du conducteur et du diamètre de la bobine.

Lorsque l'on tient compte de la saturation magnétique, *Müller* donne la règle approximative suivante : L'intensité magnétique d'un électro-aimant m est proportionnelle à l'arc dont la tangente est l'intensité du courant d'aimantation I . Elle tend donc vers une limite finie ;

$$m = A \operatorname{arc} \operatorname{tang} I.$$

Maximum d'attraction (Joule). — Le maximum d'attraction est de 200 livres par pouce carré, soit 14515 grammes par centimètre carré. Ce qui correspond à une intensité d'aimantation $\gamma = 1500$:

$$f = 2\pi S\gamma^2;$$

f attraction maxima, S aire de la surface attirante.

La formule montre que l'attraction d'un électro-aimant ne dépend que du diamètre du noyau; sa longueur n'a d'autre but que d'empêcher les pôles de contrarier leurs actions. Joule a construit de petits électro-aimants qui pouvaient porter jusqu'à 3500 fois leur poids.

Action d'une tige de fer dans un solénoïde. — Une tige de fer introduite dans un solénoïde rend le champ magnétique extérieur environ 33 fois plus intense, en concentrant les lignes de force près des pôles, et permet au courant de produire des effets puissants dans un espace limité. A ce point de vue, l'action est analogue à celle d'une lentille qui concentre un rayon de lumière au point où l'action lumineuse maximum est nécessaire (*Fleeming-Jenkin*).

Formules des électro-aimants avant la saturation magnétique. — Pour les courants relativement faibles et des noyaux de fer dont la longueur est beaucoup plus grande que le diamètre, comme dans les électro-aimants des appareils télégraphiques, on a la relation suivante :

$$M = cnI\sqrt{d};$$

M intensité magnétique ;
 n nombre de tours du fil ;
 I intensité du courant ;
 d diamètre du noyau ;
 c constante.

On doit remarquer que le maximum de M a lieu pour une certaine valeur de n telle que la résistance de l'électro-aimant soit égale à la résistance du reste du circuit. Au point de vue de la conservation de l'énergie, cela revient à dire que l'aimantation est maximum lorsque l'énergie électrique dépensée dans le fil de l'électro-aimant est elle-même maximum. Cette condition fait déjà connaître, dans chaque cas particulier, la valeur de I et la résistance R du fil qui doit être enroulé sur l'électro.

D'après cette seule considération, on serait conduit à augmenter indéfiniment les dimensions du noyau et du fil, puisque M augmente avec d et avec n , à la condition de conserver toujours à R la même valeur, pour maintenir I constant. On lève, en pratique, l'indétermination du problème ainsi posé en se donnant un nouveau facteur, par exemple, le poids de cuivre que l'électro doit recevoir ou, plus simplement, le *volume* réservé au fil sur la bobine. Soit V ce volume déterminé par un espace annulaire cylindrique dont on connaît les dimensions.

Soient s la section du fil, l sa longueur, α sa résistance spécifique.

La condition que la rés. des bobines soit égale à R donne la condition :

$$R = \frac{l\alpha}{s}.$$

Et le volume occupé par le fil (en affectant V d'un coefficient pratique tenant compte de la couverture de soie et des vides entre les spires) :

$$V = ls.$$

De ces deux équations on tire, tous calculs faits :

$$l = \sqrt{\frac{VR}{\alpha}};$$

$$s = \frac{V}{l}.$$

Connaissant la section s du fil, on a son diamètre par la formule :

$$d = \sqrt{\frac{4s}{\pi}}.$$

Pratiquement, ces formules permettent de déterminer la longueur et le diamètre du fil nécessaire pour remplir les bobines d'un électro-aimant dont on a mesuré les dimensions, en se donnant la résistance finale, ce qui est le cas le plus général.

Nous ne connaissons pas de formules simples et pratiques qui permettent de calculer de toutes pièces les dimensions d'un électro-aimant capable de porter un poids donné, ou susceptible de produire un champ magnétique d'intensité donnée.

ÉLECTRO-AIMANTS DES APPAREILS TÉLÉGRAPHIQUES

Le problème posé dans ce cas particulier se simplifie parce que les dimensions de la bobine sont données, ce qui fait disparaître l'indétermination que présente le cas le plus général, et déterminées par des considérations indépendantes de la puissance absolue du champ magnétique à produire. Soient :

A aire de la section faite d'un seul côté de l'axe de la bobine par un plan diamétral perpendiculaire aux spires (en millimètres carrés);

l longueur du tour de fil moyen, en millimètres;

ρ rayon du fil en millimètres;

ϵ épaisseur de la soie en millimètres;

c conductibilité du cuivre (pour le cuivre pur $c = 1$);

r résistance de la bobine en ohms;

t nombre total de tours;

a coefficient dépendant du mode d'enroulement.

Si les spires sont bien superposées, A est supposé divisé en carrés,

et $a = 4$; si les tours d'une spire pénètrent dans les interstices de la précédente, A est divisé en hexagones et $a = 2\sqrt{3} = 3,46$. Si les couches sont séparées par une feuille isolante (papier paraffiné ou feuille mince de gutta-percha), ϵ est augmenté du quart de l'épaisseur de celle-ci.

On a alors :

$$t = \frac{A}{a(\rho + \epsilon)^2},$$

$$r = \frac{tl}{\pi c \rho^2} = \frac{Al}{\pi a c \rho^2 (\rho + \epsilon)^2}.$$

Pour exprimer r en ohms, il faut tenir compte d'un coefficient; tous calculs faits, la formule devient :

$$r = \frac{lt}{194456\rho^2} \times \frac{1}{c}.$$

Chercher la résistance d'une bobine de cadre A construite avec un fil de grosseur donnée. — Supposons une bobine d'électro-aimant d'un récepteur Morse, dont le cadre a 60 mm. de longueur, une épaisseur de 10 mm., et le noyau un diamètre de 10 mm., roulé avec du fil dit n° 32 de la jauge carcasse, pour lequel :

$$2\rho = 0,16 \quad 2(\rho + \epsilon) = 0,20.$$

Épaisseur de la soie $\epsilon = 2$ centièmes de millimètre. Supposons un enroulement tel que $a = 4$:

$$A = 60 \times 10 = 600; \quad l = 20\pi.$$

On a pour le nombre de tours :

$$t = \frac{A}{a(\rho + \epsilon)^2} = \frac{600}{4 \times 0,01} = 15000 \text{ tours,}$$

et pour la résistance r :

$$r = \frac{lt}{194456\rho^2} \times \frac{1}{c} = \frac{600 \times 15000}{194456 \times 0,08^2} \times \frac{1}{c} = 759 \times \frac{1}{c} \text{ ohms.}$$

$$\text{Si } c = 1 \quad r = 759 \text{ ohms,}$$

si $c = 0,90$, conditions ordinaires pratiques des fils du commerce :

$$r = \frac{759}{0,9} = 843 \text{ ohms.}$$

Lorsqu'on connaît les dimensions du cadre, le nombre de tours du fil t ,

la résistance r de la bobine et le diamètre du fil nu 2ρ , on peut calculer la conductibilité du cuivre c et l'épaisseur ε de la soie employée.

Calculer le diamètre 2ρ d'un fil de cuivre de conductibilité c qui, recouvert d'une soie d'épaisseur ε , donne à la bobine une résistance de r ohms.

On pose :

$$b = \sqrt[4]{\frac{Al}{\pi acr}}$$

On calcule b et l'on a :

$$\rho = \sqrt{b^2 + \frac{\varepsilon^2}{4}} - \frac{\varepsilon}{2}$$

Mais ε étant très petit, on peut poser sans erreur sensible pour la pratique :

$$\rho = b - \frac{\varepsilon}{2} \quad \text{ou} \quad 2\rho = 2b - \varepsilon.$$

Gros seur du fil à enrouler sur la bobine d'un électro-aimant ou d'un galvanomètre pour obtenir le maximum d'effet magnétique avec un circuit extérieur donné.

Le calcul montre que le diamètre du fil nu 2ρ doit être tel que la résistance de la bobine r soit à la résistance extérieure R comme le diamètre du fil nu 2ρ est au diamètre du fil recouvert $2(\rho + \varepsilon)$:

$$\frac{r}{R} = \frac{\rho}{\rho + \varepsilon}.$$

Fabrication des bobines des électro-aimants. — Il vaut mieux les construire en buis ou en ébonite qu'en cuivre ou en laiton ; dans ce dernier cas, la bobine doit être fendue ; on a aussi avantage à creuser le noyau d'une rainure de 2 mm. de largeur et 2 mm. de profondeur pour hâter la désaimantation. Pendant l'enroulement, il faut bien isoler les tours de fil et éviter les limailles métalliques qui perceraient la soie. Si l'on fixe un disque au milieu de la bobine et que l'on enroule les deux moitiés du fil, à partir de son milieu, des deux côtés de ce disque comme plan de séparation, les deux extrémités du fil aboutiront à la surface de la bobine, et l'on évitera l'inconvénient qui se produit si souvent lorsqu'on agit autrement, et que l'extrémité du fil terminant la couche intérieure vient à se rompre (*Culley*).

PRODUCTION ET APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

L'emploi de l'électricité et l'utilisation de ses ressources infinies se résument en deux mots : la produire et l'appliquer.

Les appareils employés à la *production* de l'énergie électrique peuvent se diviser en trois classes :

- 1° *Piles hydro-électriques*, qui utilisent les actions *chimiques* ;
- 2° *Piles thermo-électriques*, qui utilisent les actions *thermiques* ;
- 3° *Machines dynamo- et magnéto-électriques*, qui utilisent les actions *mécaniques*.

Les applications que cette énergie électrique reçoit se réduisent toujours à la production d'effets chimiques, thermiques ou mécaniques.

La production de l'énergie électrique n'est donc, en réalité, que la *transformation* d'une énergie en une autre énergie, d'un mode de mouvement en un autre mode de mouvement. Cette réciprocité de cause à effet s'exprime en disant que les producteurs ou générateurs d'électricité sont *réversibles* et *intermutables*¹, c'est-à-dire que chacun d'eux peut produire des actions analogues mais inverses de celles qui lui ont donné naissance, et qu'ils peuvent se substituer l'un à l'autre pour produire les mêmes effets. Par exemple, une machine magnéto-électrique produit un courant lorsqu'on la met en mouvement en dépensant un certain travail extérieur, ou se met en mouvement et produit un certain travail lorsqu'on lui fournit un courant électrique. Cette propriété s'exprime en disant qu'une machine magnéto-électrique est réversible.

Cette machine peut être mise aussi en mouvement par le courant fourni par une pile hydro- ou thermo-électrique, les trois sources d'électricité peuvent se substituer l'une à l'autre ; elles sont intermutables. Les applications de l'électricité peuvent donc se diviser en trois grands groupes caractérisés par la nature des actions produites.

Actions chimiques. — Tous les appareils qui produisent de l'électricité en utilisant l'action chimique sont des piles *hydro-électriques*.

Les actions chimiques produites par les courants s'embrassent sous le titre général d'*électrolyse*. Les applications de l'électrolyse constituent l'électro-métallurgie, qui comprend la galvanoplastie ou électrotypie, les dépôts électro-chimiques (dorure, argenture, nickelage, etc.), et la métallo-chromie, industrie nouvelle appliquée à Nuremberg pour l'ornementation des jouets métalliques. Les *accumulateurs* ne sont pas autre chose que des piles hydro-électriques *réversibles*.

¹ Ce néologisme peut seul rendre l'idée que nous voulons exprimer.

Actions thermiques. — Les appareils qui utilisent la chaleur pour produire de l'énergie électrique sont les piles *thermo-électriques*.

Les actions thermiques produites par les courants ont donné lieu aux applications suivantes : Fusion des métaux (encore peu employée), allumeurs, inflammation des amorces (mines, torpilles), fils de sûreté pour conducteurs de lumière électrique et de force motrice, et lumière électrique.

Actions mécaniques. — Il y a lieu de distinguer ici deux genres d'actions : les unes, restées jusqu'ici presque sans applications et dans lesquelles le magnétisme ne joue aucun rôle, comprennent les machines dites *statiques* ; l'électricité s'y développe sous forme de *charges* produites tantôt par le frottement, tantôt par influence ou *induction électrostatique*. Nous ne pouvons que les mentionner ici.

Les autres, les plus importantes, fondées sur les actions *magnétiques* des courants électriques et l'*induction* proprement dite, ont fourni les applications suivantes : Sonneries, signaux de chemins de fer, horlogerie, télégraphie, téléphonie, régulateurs, générateurs magnéto- et dynamo-électriques, moteurs et transmissions de force à distance, etc.

Actions diverses. — A côté des actions chimiques, thermiques et mécaniques sur lesquelles sont fondées le plus grand nombre des applications de l'électricité s'en trouvent quelques autres dont on ne peut encore que signaler l'existence et l'importance sans leur consacrer une bien grande place dans un Formulaire.

L'*électro-optique*, constituée par les actions réciproques de la lumière et de l'électricité, est une branche presque exclusivement scientifique. Une des parties de cette étude, l'*influence de la lumière sur la résistance électrique de certains corps*, a cependant donné naissance à quelques appareils susceptibles, dans l'avenir, de quelques applications utiles. Nous signalerons, entre autres, le *photophone* de Bell, le *radiophone*, le *télé-radiophone multiple auto-réversible* de M. Mercadier, etc.

L'*électro-physiologie*, et la partie si intéressante de ses applications médicales, constitue encore, malgré son importance, une branche fort peu connue et peu étudiée au point de vue qui nous occupe. On nous permettra donc de renvoyer le lecteur aux traités spéciaux, et de laisser de côté un sujet sur lequel nous n'avons pas une suffisante compétence.

Nous suivrons autant que possible, dans l'étude des applications, les subdivisions que nous venons d'établir, bien que l'intermutabilité et la réversibilité des phénomènes nous obligent à nous écarter quelquefois de cette règle.

PILES HYDRO-ÉLECTRIQUES

Nous en ferons trois groupes distincts :

Piles à un liquide sans dépolarisant.

Piles à dépolarisant solide ou liquide.

Piles à deux liquides.

PILES A UN LIQUIDE SANS DÉPOLARISANT

Pile de Volta (1800). — lame de zinc, lame de cuivre, acide sulfurique étendu de seize fois son volume d'eau. Le courant est produit par l'oxydation du zinc et sa transformation en sulfate. Elle se polarise rapidement en circuit fermé ; l'hydrogène se fixe sur la lame de cuivre, le sulfate de zinc se décompose et produit dépôt de zinc sur le cuivre. Première forme a été *pile à colonne*, modifiée par *Cruikshank* (1801) sous forme de *pile à auge*, puis *pile à auges séparées* de Volta ; *pile à treuil* due à *Crahay* (1841). La *pile en hélice* a été imaginée en 1821 par *Offershaus* pour diminuer la rés. intérieure de l'élément ; *Wollaston* (1815) augmente la surface du cuivre sans changer celle du zinc ; *Münch* (1841) construit une pile à auges sans séparations entre les éléments ; il s'établit entre les éléments des dérivationes que *Faraday* (1835) corrige en les séparant par des feuilles de papier fort verni. *Pulvermacher* (1857) construit des *chaînes galvaniques* formées de fils de zinc et de cuivre roulés sur des cylindres en bois qui, plongés dans du vinaigre étendu d'eau, s'imprègnent du liquide excitateur.

Amalgamation du zinc. — Empêche la formation de couples locaux dus à l'impureté du zinc. Fait découvert par *Kemp* (1828), appliqué aux piles par *Sturgeon* (1830).

Modifications du liquide excitateur. — Dans le but d'empêcher la polarisation, on a proposé plusieurs liquides excitateurs, sulfate de cuivre, acide chromique, eau oxygénée, sel ammoniac, fleur de soufre, etc. ; toutes ces modifications sont aujourd'hui peu employées.

Modifications de la lame de cuivre. — Pour diminuer la polarisation, *Poggendorff* (1840) :

1° Chauffe le cuivre à l'air jusqu'à ce que les couleurs qui se forment d'abord aient disparu ; 2° Plonge le cuivre dans l'acide azotique et le lave à l'eau ; 3° Recouvre le cuivre d'un dépôt de cuivre pulvérulent par la pile.

Page (1852) perce le cuivre de trous et le recouvre galvaniquement de cuivre rugueux.

Walker (1859) recouvre la lame de cuivre galvaniquement en laissant la solution s'épuiser presque complètement, ou compose cette lame d'une toile métallique de cuivre.

Piles à charbon positif. — Le *charbon de cornue* a été employé dans les piles à un liquide par *de Leuchtenberg* (1845); par *Stöhrer* (1849) avec une solution d'alun. On tend à lui substituer aujourd'hui les agglomérés de charbon.

Smée (1840). — lame de cuivre est remplacée par du platine platiné ou mieux argent platiné. La f. e. m. = 0,47 volt environ. Sert à la galvanoplastie.

Walker (1859). — Charbon platiné. Meilleur marché que la précédente; f. e. m. = 0,66 volt.

Maiche (1879). — Charbon platiné en fragments baignant seulement *en partie* dans la solution. Crayons de zinc dans du mercure. Solution acidulée sulfurique, saturée de sel marin ou de sel ammoniac. $E = 1,25$ volt avec le sel marin. Faible débit; grande résistance intérieure.

Piles à fer positif. — *Sturgeon* (1840) emploie de la fonte avec eau acidulée sulfurique au huitième en volume; *Münnich* (1849), le fer amalgamé; *Callan* (1855), vase en fonte aplati, acide chlorhydrique pur ou peu étendu.

PILES A UN LIQUIDE A DÉPOLARISANT SOLIDE

Warren de la Rue (1868). — Zinc non amalgamé, chlorhydrate d'ammoniaque, argent entouré de chlorure d'argent. $E = 1,03$ volt.

Skrivanow (1883). — Le modèle de poche est constitué par une lame de zinc et par du chlorure d'argent enveloppé de papier parcheminé plongeant dans une solution formée de 75 parties de potasse caustique et 100 parties d'eau. L'élément pesant 100 grammes a une f. e. m. de 1,45 à 1,50 volt. Il peut débiter un ampère pendant une heure. Il faut renouveler le liquide potassique au bout de ce temps et remplacer le chlorure d'argent après deux ou trois renouvellements du liquide potassique. (*D. Monnier.*)

Gaiffe. — Zinc non amalgamé, argent entouré de chlorure d'argent, solution de chlorure de zinc à 5 pour 100. F. e. m. : 1,02 volt. Employée comme étalon par la méthode du condensateur ou avec l'électromètre.

Marié-Davy (1859). — Zinc amalgamé, eau acidulée, charbon et pâte de sulfate de mercure. $E = 1,52$ volt.

Leclanché (1868). — Zinc amalgamé, chlorhydrate d'ammoniaque, charbon entouré de peroxyde de manganèse. $E = 1,48$ volt, lorsqu'elle n'est pas polarisée.

ÉLÉMENTS A VASE POREUX.

	PETIT MODÈLE.	MOYEN MODÈLE.	GRAND MODÈLE (ÉLÉMENT DISQUE)
Diamètre du vase poreux en centi- mètres	5,5	6,5	8
Hauteur	12,0	14,0	14,0
Résistance intérieure en ohms (moyenne)	9 à 10	5 à 6	4
Travail chimique annuel en gram- mes de cuivre	40	60 à 70	100 à 125
Travail chimique annuel en cou- lombs	60 000	100 000	150 000

Éléments Leclanché à plaques agglomérées mobiles (1878). — Le dépolarisant se compose d'une ou plusieurs plaques agglomérées maintenues autour du charbon par des jarretières en caoutchouc. La pile est plus commode, plus économique et moins résistante $E = 1,48$ volt.

- Élément n° 2 à une plaque $r = 1,5$ ohm.
- n° 1 à deux plaques $r = 1,1$ —
- *disque* à trois plaques $r = 0,6$ —

Agglomérés. — Ils sont formés d'une pâte composée de 40 parties de bioxyde de manganèse, 52 de charbon, 5 de gomme-laque et 3 de bisulfate de potasse, et comprimés à 300 atmosphères à la temp. de 100° C. Le bisulfate de potasse a été supprimé dans les nouveaux agglomérés.

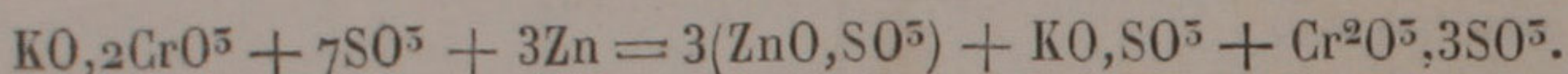
Pile à oxyde de cuivre de MM. de Lalande et Chaperon (1882). — Zinc; solution de potasse caustique à 30 ou 40 pour 100; bioxyde de cuivre en contact avec lame de fer ou de cuivre comme dépolarisant. F. e. m. de 0,8 à 0,9 volt suivant les conditions du travail extérieur. Ne consomme pratiquement rien en circuit ouvert. L'élément hermétique petit modèle peut fournir 40 000 coulombs et débiter 0,1 à 0,2 ampère. L'élément à spirale 200 000 coulombs et 0,5 ampère. L'élément à auge petit modèle peut fournir 500 000 coulombs et débiter 1,5 ampère. L'élément à auge grand modèle peut donner 1 000 000 de coulombs et débiter de 6 à 8 ampères. Pour empêcher la carbonatation de la potasse, les éléments à auge sont recouverts d'une couche de pétrole lourd.

PILES A UN LIQUIDE A DÉPOLARISANT LIQUIDE

Le type de ces piles est la pile au *bichromate de potasse* de *Poggendorff*. Les constructeurs ont modifié à l'infini les formes, les dimensions, la composition du liquide, etc., pour obtenir certains effets particuliers.

Formule de Poggendorff (1842). — 100 gr. de bichromate de potasse dissous dans 1 litre d'eau bouillante avec 50 grammes d'acide sulfurique.

Formule de Delaurier (1870). — Eau 200 gr. ; bichromate de potasse 18,4 gr. ; acide sulfurique 42,8 gr. Cette formule est celle qui est donnée par les équivalents chimiques :



On obtient finalement une dissolution de sulfate de zinc et un alun de chrome.

Sel Dronier. — Mélange composé de un tiers de bichromate de potasse et deux tiers de bisulfate de potasse. Ce mélange dissous dans l'eau fournit directement le liquide excitateur.

Dispositions particulières de la pile Poggendorff — Pour les expériences de courte durée, M. *Grenet* lui a donné la forme d'une bouteille dans laquelle on fait plonger le zinc au moment de l'expérience. MM. *Trouvé*, *Gaiffe* et *Ducretet* établissent les éléments sur des *treuils* qui permettent de les plonger dans le liquide ou de les en retirer à volonté.

Élément Trouvé (1875). — Un zinc et deux charbons, surface active : 15 cm. de côté.

Pendant le coup de fouet (au début) : $E = 2$ volts ; $r = 0,0016$ ohm.

Après le coup de fouet : $E = 1,9$ volt ; $r = 0,07$ à $0,08$ ohm.

En court circuit, un élément donne 24 ampères pendant 20 minutes sans polarisation (*d'Arsonval*). Un élément chargé peut fournir 180 000 coulombs avant l'épuisement de la solution.

Élément Tissandier (1882). — Pile à grand débit pouvant fournir 100 ampères sur une rés. extérieure de 0,01 ohm. La solution est ainsi composée :

Eau	100 parties en poids.
Bichromate de potasse	16 —
Acide sulfurique à 66°	37 —

Le bichromate doit être réduit en poudre très fine, en prenant soin de

ne pas respirer les poussières, qui produisent des inflammations dans les muqueuses des narines. On dissout en partie le bichromate dans de l'eau à 40 C. environ, dans une terrine en grès et on ajoute l'acide en agitant énergiquement jusqu'à dissolution complète. Attendre pour s'en servir que la temp. descende à 35° C. A une temp. inférieure à 15° le liquide fonctionne mal. La pile peut fournir plus d'un kgm. d'énergie électrique disponible par kgm. de poids pendant 2 à 3 heures, et un travail mécanique effectif de plus d'un cheval-vapeur pendant le même temps sous un poids de 200 kg. environ (24 éléments en tension sur une machine dynamo-électrique Siemens).

PILES A DEUX LIQUIDES

Becquerel (1829). — Zinc, azotate de zinc, baudruche, cuivre et azotate de cuivre.

Daniell (1836). — Zinc, eau acidulée, baudruche ou vase poreux, cuivre, solution saturée de sulfate de cuivre. Elle dépense même en circuit ouvert. On entretient la saturation en ajoutant du sulfate de cuivre. La solution dans laquelle baigne le zinc peut être de l'eau pure, de l'eau salée ou une dissolution de sulfate de zinc avec ce dernier liquide et du zinc amalgamé $E = 1,079$ volt. La pile Daniell a reçu un grand nombre de modifications. En voici quelques-unes.

Pile à auge. — Éléments aplatis disposés dans une boîte unique.

Eisenlohr (1849) remplace l'eau acidulée sulfurique par une solution de tartre (bitartrate de soude).

Pile à sable (1863). — Due à Minotto. Le vase poreux est remplacé par une couche de sable, le cuivre à la partie inférieure, le zinc à la partie supérieure.

Pile sans diaphragme ou à gravité. — La séparation des deux liquides s'opère par leur différence de densités, sans vase poreux. On l'attribue en Allemagne à *Meidinger* (1859) et en France à *Callaud* (1861). Elle est aussi connue sous ces deux noms.

Sir W. Thomson (1872) emploie des éléments horizontaux à grande surface, zinc en forme de grille garnie de papier parcheminé à sa partie inférieure. Les éléments ont ainsi peu de rés. intérieure.

E. Reynier (1880). — Zinc amalgamé, solution de soude caustique, 300 p. de soude dans 1000 p. d'eau; cuivre, solution de sulfate de cuivre, acidulée par du bisulfate de soude ou de l'acide sulfurique. Les deux dissolutions sont rendues plus conductrices par des additions de divers sels alcalins.

Vase poreux en papier parcheminé, sans collage ni couture.

F. e. m. = 1,5 volt. Rés. d'un couple de 3 litres, monté avec un vase poreux en papier doublé : 0,075 ohm.

E. Reynier (1881). — Vase extérieur en cuivre, de forme aplatie, formant électrode positive ; le fond est garni d'un plancher de bois. Zinc cloisonné. On ne renouvelle que la solution de sulfate de cuivre ; le sulfate de zinc s'exosmose de lui-même à travers le cloisonnement.

Grove (1839). — Zinc, eau acidulée, vase poreux, platine, acide azotique. $E = 1,96$ volt. On augmente la surface du platine en repliant la feuille en forme d'S (*Poggendorff*, 1849).

Callan (1847) remplace la lame de platine par du plomb platiné et l'acide azotique par un mélange de 4 parties d'acide sulfurique concentré, 2 d'acide azotique et 2 d'une solution saturée d'azotate de potasse.

Bunsen (1840). — Remplace le platine par du charbon artificiel moulé en forme de cylindre creux. $E = 1,9$ volt.

Archereau (1842). — Imagine de mettre bloc de charbon au centre et zinc extérieur.

Pile Bunsen (*d'Arsonval*). — Zinc amalgamé dans une solution d'acide sulfurique au vingtième en volume. Dans le vase poreux, plaque de charbon et acide nitrique ordinaire du commerce de 36° à 40° Baumé.

L'élément de 20 cm. de hauteur a une rés. intérieure de 0,08 à 0,11 d'ohm. La f. e. m. = 1,8 volt. Lorsque l'acide nitrique marque 30° la pile s'affaiblit rapidement. Lorsque l'acide nitrique marque de 36° à 32° Baumé, l'élément Bunsen brûle 1,30 gm. de zinc par ampère et par heure (la loi de Faraday indique 1,295). L'acide azotique à 36° Baumé renferme 45 % d'acide azotique anhydre, il peut servir jusqu'à 28° Baumé, on n'utilise dans ces conditions que 130 gm. par kg. d'acide, le poids d'acide dépensé est au moins le décuple de celui du zinc brûlé.

Liquide dépolarisant d'Arsonval (au lieu et place de l'acide azotique, 1879).

Acide nitrique	1 partie.
— chlorhydrique	1 —
Eau	2 —

S'emploie avec des piles à écoulement, zinc dans le vase poreux, pôle positif formé par une couronne de crayons de charbon de 1 cm. de diamètre. Le courant est constant, la résistance intérieure réduite au minimum, et la surface de dépolarisation très grande. Un élément de 20 cm. de hauteur donne jusqu'à 40 ampères en court circuit.

Charbons des piles Bunsen. — Les charbons Carré sont supérieurs aux charbons de cornue, ils sont très conducteurs, et leur densité empêche les acides de grimper et de ronger les attaches par capillarité. On évite complètement cet inconvénient par le procédé suivant : la tête du charbon est plongée pendant quelques minutes dans de la paraffine bouillante; après refroidissement, elle est recouverte de cuivre par la galvanoplastie, et enfin immergée dans l'alliage d'imprimerie fondu. On assure ainsi des contacts parfaits et indestructibles (*d'Arsonval*).

Pile zinc-charbon d'Arsonval. — Elle diffère de l'élément Bunsen par la composition des liquides :

Liquide baignant le zinc ou excitateur.

Eau	20 volumes.
SO ⁴ H à l'huile (voy. aux recettes.)	1 —
HCl ordinaire	1 —

Liquide baignant le charbon ou dépolarisant.

Acide azotique ordinaire	1 volume.
— chlorhydrique ordinaire	1 —
Eau acidulée au $\frac{1}{20}$ par SO ³	2

L'élément ne se polarise pas en court circuit; sa f. e. m. atteint 2,2 volts.

Couples à électrode négative cloisonnée (*E. Reynier*). — Dans la plupart des combinaisons voltaïques à deux liquides, l'électrode négative plonge dans une solution d'un sel dont la base est le métal de cette électrode.

L'électrode négative étant *cloisonnée*, c'est-à-dire garnie d'une couverture serrée, perméable et peu attaquable par les liquides de la pile, on peut constituer un couple constant en plongeant simplement dans le liquide dépolarisateur une électrode positive à l'état ordinaire, à côté de l'électrode négative *cloisonnée*.

La petite quantité de liquide emprisonnée par le *cloisonnement* sur l'électrode négative est bientôt chargée d'un sel à base de ce métal; le couple fonctionne alors comme un couple à deux liquides, l'excès de sel étant éliminé à mesure de sa production, à travers le cloisonnement, par une action d'osmose dont le courant électrique règle automatiquement l'intensité.

L'emploi des électrodes négatives cloisonnées, qui procure des couples constants en réduisant le service de la pile au renouvellement d'un seul liquide, a été appliqué avec succès à la combinaison zinc, sulfate de zinc-

cuiivre, sulfate de cuiivre. La pile se compose simplement d'un vase de cuiivre et d'un zinc cloisonné (En *remplaçant* le sulfate de cuiivre par le « vert-de-gris des doreurs », la pile devient la plus économique qu'on connaisse).

Forces électromotrices de quelques combinaisons voltaïques, à électrode négative cloisonnée (E. Reynier) :

	NEUF. — volt.	POLARISÉ. — volt.
Zinc ordinaire cloisonné, cuiivre nu, eau acidulée sulfurique	0,848	0,441
Zinc ordinaire cloisonné, fer nu, eau acidulée sulfurique ¹	0,401	0,409
Zinc amalgamé cloisonné, fer nu, eau acidulée sulfurique	0,466	0,466
Zinc amalgamé cloisonné, fer nu, solution de bisulfate de soude, à 200 pour 1000.	0,504	0,509

J'ai cherché à appliquer le cloisonnement aux piles à bichromate ; mais aucune cloison souple ne résiste à l'action destructive du mélange chromique.

Les combinaisons voltaïques à cloisonnement qui m'ont donné de bons résultats sont : zinc cloisonné, cuiivre, eau acidulée ; zinc cloisonné, fer, eau acidulée ; zinc cloisonné, cuiivre, sulfate de cuiivre ou *vert-de-gris des doreurs* (Voy. la cinquième partie).

Modifications des piles Grove et Bunsen. — On a essayé, sans grand succès jusqu'ici, de remplacer le zinc des piles Grove et Bunsen. M. *Rousse* a proposé le plomb ou le fer attaqué par l'acide azotique. M. *Maiche* (1864), un cylindre de tôle attaqué par de l'eau renfermant un centième d'acide azotique, etc. On a cherché aussi à remplacer le platine par du fer passif (*Hawkins* 1840 ; *Schönbein* 1842) : il faut acide azotique concentré ou eau régale.

On a cherché à remplacer le *dépolarisant* (acide azotique) par d'autres corps : chromate de potasse, *Bunsen* (1843) ; chlorate de potasse, *Leeson* (1843) ; l'acide chromique, l'acide chlorique, le perchlorure de fer, l'acide picrique, etc., etc.

Pile Marié-Davy. — Pile Bunsen dans laquelle l'acide azotique est remplacé par une pâte de sulfate de protoxyde de mercure ($\text{Hg}^2\text{O}, \text{SO}^5$) tassée autour du charbon. $E = 1,2$ volt. Convient pour des services inter-

¹ *Remarque.* — Le couple zinc, fer, eau acidulée est tout à fait constant.

mittents et demande des vases très poreux, liqueurs peu chargées, très résistantes.

Duchemin (1865). — Zinc dans solution de sel marin, acide azotique remplacé par une solution de perchlorure de fer. On régénère la solution en faisant passer un courant de chlore. $E = 1,54$ volt.

Delaurier (1870). — Acide azotique remplacé par :

Acide chromique (4 éq.)	25,14	parties.
Sulfate de protoxyde de fer (1 éq.)	25,00	—
Acide sulfurique anglais	30,62	—
Eau.	60,00	—

L'hydrogène est absorbé et il se produit un mélange de sulfate de protoxyde de fer et de sulfate de sesquioxyde de chrome.

Bichromate de potasse. — Liquide dépolarisant composé de 100 parties d'eau, 25 d'acide sulfurique et 12 de bichromate : vase poreux, zinc amalgamé, eau acidulée sulfurique au douzième en poids. $E = 2,03$ pendant les premiers instants. Dans la pile *Fuller*, le zinc central plonge dans du mercure pour rester amalgamé. $E = 2$ volts.

Dans l'élément *Cloris Baudet* (1879), l'inventeur a disposé une provision d'acide sulfurique et de bichromate de potasse dans le vase extérieur où se trouve le charbon pour maintenir la richesse du liquide dépolarisant. $E = 2$ volts : $r = 0,22$ à $0,3$ ohm pour le modèle de 20 cm.

Dans la pile *Higgins*, le zinc parfaitement amalgamé plonge dans une dissolution d'acide sulfurique au trentième en volume, la plaque de charbon dans une solution chromique renfermant 45 parties d'eau, 15 d'acide sulfurique et 5 de bichromate de potasse (en poids) $E = 2,2$ volts. L'élément de 15 cm. de hauteur a une rés. intérieure $r = 0,4$ à $0,5$ ohm.

Pile au bichromate de potasse d'Arsonval. — Vase poreux plein de fragments de charbon de cornue concassé, inutile d'aciduler le liquide dans lequel baigne le zinc. Le liquide dépolarisant est formé de :

Eau saturée à froid de bichromate de potasse	1	volume.
Acide chlorhydrique ordinaire.	1	—

Le liquide doit s'écouler d'une façon continue ; l'élément ne dégage aucune odeur et est toujours prêt à servir.

Pile Niaudet au chlorure de chaux (1879). — lame de zinc plongeant dans eau salée à 24 0/0 ; lame de charbon dans le vase poreux avec des fragments de charbon et de chlorure de chaux (le dépolarisant est l'acide hypochloreux).

F. e. m. initiale = 1,65 volt; après plusieurs mois d'abandon : $E = 1,5$ volt. ; r du modèle courant = 5 ohms. Avantage de ne consommer qu'en circuit fermé, mais odeur désagréable oblige à fermer hermétiquement les éléments.

Circulation, agitation et insufflation. — Constituent trois excellents moyens pour faire dégager l'hydrogène des plaques de charbon et pour amener de l'oxygène au contact de ces plaques. L'agitation a été préconisée et employée par MM. *Chutaux, Camacho*, etc. ; l'insufflation par M. *Grenet*.

Piles thermo-chimiques. — Le courant est produit par l'oxydation du charbon à une haute température sous l'action de l'azotate de potasse ou de soude. Expérience fondamentale due à *Becquerel* (1855), répétée par M. *Jablochkoff* (1877), et reprise par le *Dr Brard* (1882). Ce dernier a créé une véritable *briquette électrogène* qui produit un courant électrique par sa propre combustion, mais ce nouveau générateur électrique n'étant pas encore entré dans la pratique, nous ne pouvons que le signaler.

Forces électromotrices des piles à un liquide sans dépolarisant (Réduites en volts d'après *Poggendorff* et *E. Becquerel*) ;

		En circuit ouvert.	Après la polarisation.
Cuivre, eau acidulée sulfurique, zinc ordinaire.		0,81	»
Argent, — — — — —		1,03	»
Cuivre, — — — — —	zinc amalgamé.	0,94	0,44
Argent, — — — — —		1,24	0,52
Platine, — — — — —		1,44	0,65

FORCE ÉLECTROMOTRICE DE L'ÉLÉMENT DE GROVE (*Poggendorff*).

LIQUIDE BAIGNANT LE ZINC.	LIQUIDE BAIGNANT LE PLATINE.	FORCE ÉLECTROMOTRICE EN VOLTS.
Acide sulfurique :		
Densité . . . = 1,136	Acide azotique fumant :	1,955
— . . . = 1,136	Acide azotique: $d = 1,33$	1,809
— . . . = 1,060	— . . . = 1,33	1,730
— . . . = 1,136	— . . . = 1,19	1,681
— . . . = 1,060	— . . . = 1,19	1,631
Solution de sulfate de zinc.	— . . . = 1,33	1,673
— de sel commun. .	— . . . = 1,33	1,905

FORCES ÉLECTROMOTRICES D'AMALGAMES DE POTASSIUM ET DE ZINC
(Les amalgames étaient renfermés dans des vases poreux.) (*Wheatstone.*)

AMALGAME.	SOLUTION.	POLE POSITIF.	FORCE ÉLECTROMOTRICE.
POTASSIUM.	Sulfate de zinc.	Zinc.	1,043
	Sulfate de cuivre.	Cuivre.	1,122
	Chlorure de platine.	Platine.	2,482
	Acide sulfurique.	Peroxyde de plomb.	3,525
	Acide sulfurique.	Peroxyde de manganèse.	2,921
ZINC	Sulfate de cuivre.	Cuivre.	1,079
	Azotate de cuivre.	Cuivre.	1,043
	Chlorure de platine.	Platine.	1,438
	Acide sulfurique.	Peroxyde de plomb.	2,446
	Acide sulfurique.	Peroxyde de manganèse.	1,942

Force électromotrice des éléments au métallodion (1883). — M. Aron a donné le nom de métallodion à un mélange formé de collodion et d'un métal ou de son oxyde, et qu'on vient appliquer ensuite sur une lame de platine ou un crayon de charbon. Le métallodion fournit, suivant les cas, le métal attaqué ou l'oxygène. Une pile formée de zinc, eau acidulée sulfurique et métallodion d'oxyde puce de plomb préparé par M. E. O'Keenan a une f. e. m. de 2,2 volts.

Forces électromotrices des piles à un seul électrolyte (*E. Reynier*). — La force électromotrice de ces couples est très variable : elle diminue par la fermeture du circuit et augmente par le repos de la pile ; pour une même combinaison voltaïque, elle paraît plus élevée avec une électrode positive dont la surface est très grande relativement à celle de l'électrode négative. Aussi les f. e. m. *apparentes* changent-elles avec la construction de la pile, les circonstances des expériences et les méthodes de mesure employées.

Parmi toutes les valeurs que peut prendre la f. e. m. d'un couple, il y en a deux qu'il faut connaître : la plus grande et la plus petite. M. Reynier a mesuré ces deux valeurs extrêmes, au moyen de deux modèles de pile spécialement agencés dans ce but, qu'il a appelés *pile à maxima* et *pile à minima* ; la première a son électrode positive 300 fois plus grande que la négative ; dans la seconde, c'est au contraire l'électrode positive qui est très petite : on mesure sa f. e. m. après une longue fermeture en court circuit. Voici les chiffres obtenus pour quelques combinaisons voltaïques :

DÉSIGNATION DES PILES.			FORCES ÉLECTROMOTRICES EN VOLTS.		
LIQUIDES.	ÉLECTRODE NÉGATIVE.	ÉLECTRODE POSITIVE.	Maxima.	Minima.	
<i>Eau acidulée sulfurique.</i>	Zinc rond.	Platine.	»	0,5	
	Zinc amalg.	—	»	0,561	
	Zinc ordin.	Argent.	»	<0,098	
	Zinc amalg.	—	»	0,108	
	Zinc ordin.	Charbon.	1,22	0,04	
	Zinc amalg.	—	1,26	0,226	
	Eau 1000 vol.	Zinc ordin.	Plomb.	0,55	0,144
	Acide sulfurique monohydraté. 2 —	Zinc amalg.	—	0,684	0,152
		Zinc ordin.	Cuivre.	0,94	0,194
		Zinc amalg.	—	1,072	0,272
		Zinc ordin.	Fer.	0,429	0,309
		Zinc amalg.	—	0,476	0,323
		Zinc amalg.	Zinc ordin.	»	0,09
		Fer.	Cuivre.	0,50	»
<i>Solution de chlorure de sodium.</i>		Zinc ordin.	Platine.	»	0,034
	—	Charbon.	1,08	<0,040	
	—	Argent.	»	0,043	
	—	Cuivre.	0,78	0,025	
	Zinc amalg.	—	0,82	»	
	Zinc ordin.	Fer.	0,378	0,046	
	Eau 1000 gr.	Zinc amalg.	—	0,469	»
	Chlorure de so- dium 250 —	Zinc ordin.	Plomb.	0,503	0,044
		Zinc amalg.	—	0,52	»
		Fer.	Cuivre.	0,26	»
Plomb.		—	0,26	»	
<i>Chlorure de zinc.</i>	Zinc ordin.	Cuivre.	0,85	»	
	Zinc amalg.	—	0,86	»	
<i>Sulfate de zinc.</i>	Zinc ordin.	Cuivre.	0,998	»	
	Zinc amalg.	—	1,04	»	
<i>Soude à la chaux.</i>	Zinc ordin.	Cuivre.	1,06	»	
	Zinc amalg.	—	1,09	»	

Forces électromotrices de quelques combinaisons voltaïques à 2 liquides (E. Reynier) :

	volts
<i>Étalon Daniell.</i> — Zinc ordinaire, sulfate de zinc $d = 1,09$.	
Cuivre, sulfate de cuivre $d = 1,16$	1,068
Le même avec une très faible addition d'acide sulfurique dans le sulfate de cuivre.	0,993
Le même avec une très faible addition d'acide sulfurique dans les deux liquides	0,929
Le même avec une faible addition d'acide tartrique dans le sulfate de cuivre.	1,015
Zinc ordinaire, potasse à la chaux, solution 30 %/0. Cuivre, sulfate de cuivre $d = 1,16$	1,511
Zinc ordinaire. Soude à la chaux, solution 50 %/0. Cuivre, sulfate de cuivre $d = 1,16$	1,555
Zinc ordinaire, solution de soude et de potasse (potasse 175, soude 250, eau 1000). Cuivre, sulfate de cuivre $d = 1,16$.	1,661
Zinc ordinaire, solution de soude (formule Reynier). Cuivre, solution de sulfate de cuivre (formule Reynier)	1,473
Zinc amalgamé, solution de soude (formule Reynier). Cuivre, solution de sulfate de cuivre (formule Reynier).	1,500
Fer, sulfate de fer du commerce $d = 1,20$. Cuivre, sulfate de cuivre $d = 1,16$	0,711

Forces électromotrices théoriques. — Calculées par les équivalents électro-chimiques :

Élément Smée.	0,886 volt.
— Daniell	1,156 —
— Grove.	1,991 —

L'observation directe donne des chiffres un peu inférieurs, à cause des actions secondaires dont chaque élément est le siège.

Conditions théoriques d'une pile parfaite. — Voici les qualités qu'une telle pile devrait présenter :

- 1° Grande force électromotrice.
- 2° Résistance intérieure faible et constante.
- 3° Force électromotrice constante, quel que soit le débit de la pile.
- 4° Substances consommées d'un prix peu élevé.
- 5° Action chimique toujours proportionnelle au débit, et, par suite, pas de dépense lorsque la pile est en circuit ouvert.
- 6° Dispositions pratiques telles qu'on puisse facilement surveiller l'état de la pile et ajouter de nouveaux produits lorsque cela est nécessaire.

Aucune pile ne réalise toutes ces conditions à la fois; dans chaque cas,

il faut choisir l'élément qui possède le mieux les qualités requises par l'application qu'on a en vue.

CONSTANTES ET TRAVAIL DE QUELQUES PILES CONNUES ¹ (E. Reynier).

ÉLÉMENTS	E.	r.	TRAVAIL PAR SECONDE	
			Kgm.	Calories (g.-d.).
Bunsen rond, hauteur 0 ^m ,20	1,90	0,24	0,384	0,888
Ruhmkorff, hauteur 0 ^m ,20	1,90	0,06	1,536	3,555
W. Thomson, 12 d. q.	1,06	0,20	0,143	0,331
Carré, hauteur 0 ^m ,60	1,06	0,12	0,238	0,551
Reynier, modèle rectangulaire de 3 litres, vases poreux en papier- parchemin, deux doubles.	1,50	0,075	0,765	1,770
Tommasi, zinc, eau, acide sulfu- rique au $\frac{1}{20}$, charbon, mélange nitrique.	1,77	0,20	0,399	0,924

Défauts des piles. — Lorsqu'une pile ou une batterie ne donnent pas les effets qu'on en attend, il faut l'attribuer à l'une des causes suivantes : 1° solutions épuisées, par exemple, sulfate de cuivre de la pile Daniell usé et liquide décoloré ; 2° mauvais contacts entre les électrodes et les prises de courant, pinces oxydées, mal serrées, etc. ; 3° éléments vides en totalité ou en partie ; 4° des filaments constitués par des dépôts métalliques établissant de courts circuits entre les électrodes à l'intérieur de la pile. Les secousses imprimées aux piles augmentent temporairement leur f. e. m. en faisant dégager les gaz qui recouvrent les électrodes. Les fils flottants et les électrodes brisées produisent aussi, par l'agitation, des faux contacts qui font varier brusquement le courant fourni par une pile (*Fleeming-Jenkin*).

Choix des piles suivant les applications. — La liste suivante pourra servir d'indication dans les cas ordinaires de la pratique.

¹ Les constantes ont été mesurées sur des couples *neufs*, et le travail en a été déduit par le calcul ; dès qu'on ferme le circuit, ces valeurs varient d'une manière défavorable, dans tous les couples réputés constants (voy. page 190).

Dépôts électro-chimiques. — Daniell, Smée, Bunsen, au bichromate, Slater de Lalande.

Dorure. — Daniell, Smée.

Argenture. — Daniell, Smée, Bunsen, Slater.

Lumière électrique. — Bunsen, au bichromate (Grenet, Cloris Baudet), Tommasi, Carré, Reynier, de Lalande. Accumulateurs.

Bobines d'induction. — Bichromate à un liquide, Bunsen.

Expériences de cours et de laboratoire. — Pile au bichromate, modèle bouteille, ou modèle à treuil. Accumulateurs. Leclanché à grande surface.

Piles médicales. — Trouvé, Onimus, Seure, Leclanché, au bichlorure de mercure, au chlorure d'argent.

Grandes lignes télégraphiques. — Daniell, Callaud, Meidinger, Fuller, Leclanché, de Lalande.

Sonneries et usages domestiques. — Leclanché, sulfate de mercure, sulfate de plomb, Maiche.

Téléphonie. — Leclanché, de Lalande.

Torpilles. — Leclanché, au bichromate (modèle spécial).

Mesures électriques. — Leclanché, au bichromate, Daniell. Etalons.

Étalons. — Voy. aux appareils de mesure (page 59).

ACCUMULATEURS OU PILES SECONDAIRES

Toute pile dans laquelle l'action chimique qui produit le courant ne donne pas naissance à des produits volatils est *théoriquement* réversible et pourrait constituer un *accumulateur*, en la faisant traverser par un courant de sens inverse à celui qu'elle produit elle-même. Ce courant ramènerait les corps à leur état primitif, la pile serait alors susceptible de fournir une nouvelle somme d'énergie électrique, on la régénérerait de nouveau et ainsi de suite indéfiniment. *Pratiquement*, le plomb seul se prête aisément aux effets de cette nature, à ces charges et décharges excessives, comme l'a montré, le premier, *M. Gaston Planté* en 1860.

Accumulateur ou Couple secondaire de M. Gaston Planté (1860). — Deux lames de plomb roulées en spirale, séparées électriquement et plongeant dans de l'eau acidulée au 1/10 (en volume) par de l'acide sulfurique.

Formation. — Opération préalable qui consiste à peroxyder le plus profondément possible la lame de plomb positive et à transformer la lame négative, sur la plus grande épaisseur possible, en plomb réduit spongieux ou cristallin. On y parvient en changeant, par intervalles, le sens du courant primaire agissant sur le couple secondaire. Pour rendre la formation plus rapide, *M. Planté* a proposé récemment de chauffer les bains de

formation, ou, plus simplement, de décaper profondément les lames en les plongeant de vingt-quatre à quarante-huit heures dans un bain d'acide azotique étendu de la moitié de son volume d'eau. L'attaque de l'acide donne aux plaques une certaine *porosité* qui facilite l'action ultérieure du courant.

Force électromotrice. — Pendant les premiers instants, sitôt après l'action du courant primaire, elle est égale à 2,53 volts. Deux minutes après, elle descend à 2,10 volts; pendant les deux tiers de la décharge elle est égale à 1,85 volt. M. Planté explique l'excès de f. e. m. des premiers instants par la formation de composés suroxygénés ou surhydrogénés liquides ou gazeux formés autour des électrodes et qui tendent à se décomposer ou à se détacher très promptement. Cette action s'ajoute à l'action normale qui reste sensiblement constante pendant les deux tiers de la décharge.

Résistance intérieure. — Un couple de 50 décimètres carrés de surface totale, dont les lames sont distantes de 5 millimètres, a une résistance de 0,04 à 0,06 ohm, suivant le degré de formation.

Quantité totale d'électricité emmagasinée. — Couple bien formé, renfermant 1500 grammes de plomb, dépose 18 grammes de cuivre dans un voltamètre à sulfate de cuivre, jusqu'à épuisement complet, ce qui correspond à 54540 coulombs, soit 36360 coulombs par kilogramme de plomb. La pile rend pendant la décharge de 89 à 90 0/0 de la *quantité* d'électricité qui l'a traversée pendant la charge lorsqu'on fait suivre les deux opérations sans intervalle. Dans des expériences récentes (1883), M. Planté a pu déposer jusqu'à 19 grammes de cuivre par kg. de plomb.

Décharge utilisable. — On peut utiliser les deux tiers environ de la décharge sans que la f. e. m. s'abaisse au-dessous de 1,8 volt, soit 24240 coulombs. L'énergie totale fournie est de 4500 kilogrammètres, soit 3000 kgm. par kg. de plomb.

Plusieurs modifications ont été apportées à l'accumulateur de M. Planté pour augmenter la surface active sans augmenter le poids (lames gaufrées de MM. de Kabath, de Pezzer, de Meritens, etc.). Nous n'avons aucun chiffre sur la puissance de ces appareils.

Accumulateur de M. C. Faure (1881). — Lames de plomb plates ou contournées en spirale, recouvertes de minium maintenu contre les plaques à l'aide de papier-parchemin et de feutre. Les expériences faites en janvier 1882 par la Commission de l'exposition d'électricité ont donné les résultats suivants :

35 éléments ronds pesant chacun *brut* 43,7 kg., électrodes recouvertes de minium à raison de 10 kg. par mètre carré. Liquide : eau acidulée sulfurique au dixième en poids. Les accumulateurs chargés en tension pendant vingt-deux heures quarante-cinq minutes avec un courant variant entre

44 et 6,36 ampères et un potentiel moyen de 91 volts ont reçu 694500 coulombs. La charge a été faite par une machine Siemens excitée en dérivation (*shunt-dynamo*).

Le travail fourni se décompose ainsi :

Travail de charge effectif	6 382 100 kgm.
Excitation	1 883 600 —
Échauffement de l'anneau	269 800 —
Résistances passives	1 034 500 —
Travail total fourni	9 570 000 —

La décharge s'est faite en dix heures trente-neuf minutes avec un courant moyen de 16,2 ampères et 61,5 volts de différence de potentiel aux bornes sur 12 lampes Maxim en dérivation. On en a retiré 619 600 coulombs ; la perte a été de 74 900 coulombs, soit environ 10 pour 100. Le travail électrique extérieur ou disponible a été de 3 809 000 kgm., soit 40 pour 100 du travail total et 60 pour 100 du travail emmagasiné.

Les types construits en Angleterre varient depuis 28 jusqu'à 45 éléments par tonne. La charge des premiers demande 32 ampères pendant douze heures, celle des seconds 20 ampères pendant douze heures. Même courant pour la décharge, mais on peut le doubler en diminuant proportionnellement la durée de la décharge. On peut même aller beaucoup au delà pendant quelques instants pour les coups de collier.

Accumulateurs Faure-Sellon-Volckmar (1882). — Sans feutre, plaques percées de trous ou quadrillage en plomb fondu dans lesquels on comprime du minium, du plomb réduit ou un sel de plomb. Les lames réduites durent indéfiniment, les lames oxydées sont rongées après quelques mois de service continu.

Un accumulateur composé de 43 lames et pesant 140 kg. peut fournir 120 ampères pendant six heures, un autre modèle de 53 lames et de 170 kg. fait fondre un fil de cuivre de 5 mm. de diamètre et de 30 cm. de longueur. Le courant varie dans ce cas entre 400 et 500 ampères.

Accumulateurs au cuivre (*E. Reynier*). — Positif : plomb peroxydé ; négatif : plomb cuivré ; liquide : eau acidulée sulfurique tenant en dissolution du sulfate de cuivre. $E = 1,68$ volt à 0,85 volt suivant les circonstances. La chute du potentiel utilisable est inférieure à 1,3 volt.

Accumulateurs au zinc (*E. Reynier*). — Positif : plomb peroxydé ; négatif : plomb amalgamé et zingué ; liquide : eau acidulée sulfurique à demi saturée de blanc de zinc. $E = 2,36$ volts.

Puissance d'emmagasinement et de débit des accumulateurs. — Il convient, pour avoir un bon *rendement* des accumu-

lateurs, de ne pas dépasser un débit de un demi-ampère par kilogramme de poids total; lorsqu'on cherche au contraire un *débit rapide*, on peut aller jusqu'à 4, 5 et 6 ampères par kilogramme. A ce point de vue, les petits couples de M. Planté à lames de plomb minces sont les plus puissants. La puissance d'emmagasinement augmente au contraire avec les dimensions et varie actuellement entre 2000 et 4000 kgm. d'énergie électrique disponible par kg., soit de 70 à 150 kg. d'accumulateurs par cheval-heure. La théorie indique que ce poids pourra être de beaucoup diminué, mais aucune expérience authentique n'a donné de chiffres plus favorables que ceux cités ci-dessus. Pour ne pas chauffer les accumulateurs et dépenser inutilement du travail, le courant de charge ne doit pas dépasser un demi-ampère par kg. d'accumulateurs pour les grands modèles, et 2 à 3 ampères par kg. pour les petits. La durée de la charge en secondes est déterminée par le rapport de la capacité totale de l'accumulateur exprimée en coulombs au courant de charge exprimé en ampères. Toutes choses égales d'ailleurs, la durée de la décharge est proportionnelle au poids de l'élément. On peut compter sur 6 à 8 ampères-heure par kg. de poids de plaques.

CALCUL DES DÉPÔTS ÉLECTRO-CHIMIQUES

Lorsque 1 coulomb d'électricité traverse une cuve électrolytique, il libère :

$$0,0105 \text{ milligrammes d'hydrogène}^1.$$

Soit e l'équivalent chimique d'un corps rapporté à l'hydrogène, la quantité z de ce corps libérée par 1 coulomb d'électricité sera :

$$z = 0,0105 e \text{ mg.},$$

z est l'équivalent électro-chimique du corps considéré.

Un courant d'intensité I (en ampères) déposera *par seconde* un poids P :

$$P = zI = 0,0105 eI \text{ milligrammes.}$$

Un courant d'intensité I (en ampères) déposera *par heure* un poids P' :

$$P' = 3600 zI = 37,8 eI \text{ mg.}$$

Un *ampère-heure* (3600 coulombs) libère :

$$37,8 \text{ milligrammes d'hydrogène.}$$

$$37,8 e \text{ milligrammes d'un corps donné.}$$

¹ M. Kohlrausch a trouvé par expérience 0,010521.

M. Mascart

—

0,010415.

NOM DES CORPS	POIDS ATOMIQUE.	ÉQUIVALENT CHIMIQUE <i>e.</i>	ÉQUIVALENT ÉLECTRO-CHIMIQUE EN MILLIGRAMMES PAR COULOMB <i>z.</i>	NOMBRE DE COULOMBS NÉCESSAIRE POUR LIBÉRER UN GRAMME.	POIDS LIBÉRÉ PAR UN AMPÈRE-HEURE EN GRAMMES.
<i>Corps électropositifs.</i>					
Hydrogène	1	1	0,010384	96293,00	0,03738
Potassium	39,04	39,04	0,40539	2467,50	1,45950
Sodium	22,99	22,99	0,23873	4188,90	0,85942
Aluminium	27,3	9,1	0,09449	10583,00	0,34018
Magnésium	23,94	11,97	0,12430	8040,00	0,44747
Or	196,2	65,4	0,67911	1473,50	2,44480
Argent	107,66	107,66	1,11800	894,41	4,02500
Cuivre (cuprique)	63	31,5	0,32709	3058,60	1,17700
— (cupreux)	63	63	0,65419	1525,30	2,35500
Mercure (mercurique)	199,8	99,9	1,03740	963,99	3,73450
— (mercureux)	199,8	199,8	2,07470	481,99	7,46900
Étain (stannique)	117,8	29,45	0,30581	3270,00	1,10090
— (stanneux)	117,8	58,9	0,61162	1635,00	2,20180
Fer (ferrique)	55,9	18,64	0,19356	5166,40	0,69681
— (ferreux)	55,9	27,95	0,29035	3445,50	1,04480
Nickel	58,6	29,3	0,30425	3286,80	1,09530
Zinc	64,9	32,45	0,33696	2967,1	1,21330
Plomb	206,4	103,2	1,07160	933,26	3,85780
<i>Corps électronégatifs.</i>					
Oxygène	15,96	7,98	0,08286	»	»
Chlore	35,37	35,37	0,36728	»	»
Iode	126,53	126,53	1,3130	»	»
Brome	79,75	79,75	0,82812	»	»
Azote	14,01	4,67	0,04840	»	»

Ces formules permettent de calculer le dépôt que peut produire un courant donné ou, inversement, de calculer l'intensité du courant nécessaire pour produire un dépôt de poids donné dans un temps donné.

Calcul de la force électromotrice de polarisation d'un électrolyte. — La force électromotrice de polarisation d'un électrolyte donne la mesure du travail électro-chimique accompli par le courant électrique opérant la décomposition de cet électrolyte.

Le principe de la conservation de l'énergie permet de calculer, dans chaque cas, la valeur en volts de cette f. e. m. de polarisation en établissant l'équation de l'équivalence entre le travail effectué par le courant pour vaincre cette force de polarisation et la quantité de chaleur que le métal libéré dégage lorsqu'il se recombine pour former le composé de l'électrolyte primitif.

Soient E la f. e. m. de polarisation (en volts) d'un électrolyte et Q le nombre de coulombs qui le traverse. Le travail électro-chimique de décomposition aura pour valeur :

$$\frac{QE}{9,81} \text{ kgm.} \quad (\alpha)$$

Si z est l'équivalent électro-chimique (voy. p. 197) du corps libéré, le poids total libéré par Q coulombs d'électricité sera égal à Qz .

Soient H la quantité de chaleur en calories (g.-d.) dégagée par 1 gramme du corps libéré par l'électrolyse, pour passer à l'état de la combinaison chimique de l'électrolyte, la chaleur dégagée par le poids Qz de métal sera égale à QzH . Et comme l'équivalent mécanique de la chaleur est 0,424 kgm. par calorie (g.-d.), la chaleur dégagée exprimée en kgm. aura pour valeur :

$$0,424 QzH \text{ kgm.} \quad (\beta)$$

En égalant (α) et (β) , on a, après simplifications :

$$E = 4,16 zH.$$

On peut aussi calculer les f. e. m. par les calories rapportées à l'équivalent en grammes. Si la chaleur développée par la combinaison de 1 équivalent (en grammes) H_e est exprimée en calories (g.-d.), on a :

$$E = 0,0000434 H_e \text{ volts.}$$

Si, prenant les chiffres de M. Berthelot, la chaleur développée par l'équivalent en grammes est exprimée en calories (kg.-d.), on a :

$$E = 0,0434 H_e \text{ volts.}$$

1 volt correspond à 23000 calories (g.-d.).

1 volt correspond à 23 calories (kg.-d.).

Électrolyse de l'eau. — En appliquant la formule ci-dessus, se rappelant que la chaleur dégagée par l'oxydation de un gramme d'hydrogène est de 34450 calories (g.-d.), et que l'équivalent électro-chimique de l'hydrogène est 0,0000105, on a :

$$E = 4,16 \times 0,0000105 \times 34450 = 1,5 \text{ volt.}$$

La f. e. m. de polarisation dans l'électrolyse de l'eau est donc de 1 volt et demi. On s'explique ainsi pourquoi un élément Daniell ne peut pas décomposer l'eau ; il en faut au moins deux en tension.

La formule de M. d'Arsonval : $E = 0,0434 H_e$ volts conduirait aux mêmes résultats.

Calcul de la force électromotrice des piles. — La formule $E = 4,16 zH$ permet de calculer facilement la f. e. m. d'une combinaison voltaïque donnée, lorsqu'on connaît la nature des réactions qui s'y produisent, et la quantité de chaleur dégagée ou absorbée par chacune d'elles.

Application à la pile Daniell. — Dans la pile Daniell il se produit deux actions distinctes : 1° la dissolution du zinc dans l'acide sulfurique ; 2° le dépôt de cuivre par la décomposition du sulfate de cuivre :

1° La chaleur *dégagée* par gramme de zinc dissous, H_1 , est égale, d'après *Julius Thomsen*, à 1670 calories ; $z_1 = 0,0003412$, on a alors pour E_1 :

$$E_1 = 4,16 \times 0,0003412 \times 1670 = 2,36 \text{ volts ;}$$

2° La chaleur *absorbée* par le dépôt de cuivre H_2 est égale à 881 calories par gramme ; $z_2 = 0,0003307$:

$$E_2 = 4,16 \times 0,0003307 \times 881 = 1,21 \text{ volt.}$$

La force électromotrice de la pile Daniell est égale à la *différence* des deux actions, c'est-à-dire à $2,36 - 1,21 = 1,15$ volt.

Ce chiffre théorique se rapproche du chiffre pratique accepté : $E = 1,079$ volt.

Électrolyse sans polarisation. — Dans les électrolytes à électrode soluble, lorsque le bain est un sel métallique *pur*, il n'y a pas de polarisation, le travail électro-chimique du courant se réduit à un simple *transport* d'une lame sur l'autre, travail qui n'absorbe qu'une faible quantité d'énergie électrique¹. La dépense d'énergie dans la cuve se réduit

¹ M. *Lossier* calcule l'énergie absorbée par le *transport* dont nous parlons en considérant ce transport comme un effet d'*induction* produit par le mouvement des molécules polarisées au sein du liquide.

alors à l'échauffement dû au passage du courant et se calcule simplement par la loi de Ohm. Elle a pour valeur :

$$W = \frac{RI^2}{9,81} \text{ kgm. par seconde.}$$

R étant la rés. du bain en ohms et I l'intensité du courant en ampères.

En pratique, les bains ne sont jamais parfaitement purs, et il s'y produit toujours une certaine polarisation dont on doit tenir compte.

ÉLECTRO-MÉTALLURGIE

On comprend sous ce titre l'ensemble des opérations qui permettent d'effectuer des dépôts métalliques par voie électrolytique. Le nom de *galvanoplastie* est réservé aux dépôts dont l'épaisseur est telle que la couche déposée fait corps par elle-même, et peut se séparer de l'objet qui lui a servi de moule ou de support, tout en conservant ses formes et ses dimensions. On ne fait presque exclusivement que de la galvanoplastie de cuivre, les dépôts *adhérents* de ce métal constituent le *cuivrage*.

GALVANOPLASTIE

Galvanoplastie du cuivre. — Quelle que soit l'opération qu'on ait en vue, moulage, métallisation, électrotypie, etc., le bain est toujours le même ; voici comment on le prépare :

Bain. — On place dans un vase une certaine quantité d'eau, à laquelle on ajoute, par petites quantités à la fois et en agitant constamment, 8 à 10 pour 100 en volume d'acide sulfurique ; on fait ensuite dissoudre dans cette eau acidulée autant de sulfate de cuivre qu'elle en peut prendre à la température ordinaire, en agitant. Le bain saturé doit avoir une densité de 1,21 ; il s'emploie toujours à froid et doit être maintenu saturé par l'addition de cristaux ou l'emploi d'anodes convenables. Il doit être mis dans des vases en grès, porcelaine, verre, faïence dure ou gutta-percha ; pour les grands bains, faire usage de cuves en bois recouvertes intérieurement d'une couche mince de gutta-percha, de glu marine ou de feuilles de plomb verni. Ne jamais doubler les cuves de fer, de zinc ou d'étain.

Moules. — Le corps le plus anciennement employé est le plâtre, mais comme il est poreux, il faut l'imperméabiliser, ce qui complique son emploi. On moule aujourd'hui à la stéarine, à la cire, à la glu marine, à la gélatine, à la gutta-percha et aux alliages fusibles.

Le moulage s'opère à la presse, au contre-moule, au four ou par affaissement, à la main ou au pétrissage, et par coulage. Lorsque les moules sont creux, on dispose à l'intérieur une carcasse métallique en fils de platine

reliée à l'anode, qui sert à répartir le courant et à égaliser le dépôt; ces fils sont entourés d'une spirale de caoutchouc pour empêcher tout contact entre la paroi du moule et l'anode. M. Gaston Planté a substitué des fils de plomb aux fils de platine employés avant lui, et réalisé ainsi une économie importante.

En recouvrant plusieurs pièces à la fois, il est prudent de relier chacune d'elles au pôle négatif par un fil de fer ou de plomb, de grosseur appropriée à la pièce; ce fil fond s'il se produit un contact intérieur dans la pièce correspondante et retire ainsi automatiquement cette pièce du circuit. On métallise les moules à l'aide de plombagine pure, de plombagine dorée ou argentée; on doit froter le moule avec une brosse dite d'*horloger* ou une brosse à reluire; la cire demande des pinceaux très doux. On métallise aussi par voie humide (solution d'azotate d'argent étendue sur l'objet à 2 ou 3 reprises et réduite par la vapeur d'une solution concentrée de phosphore dans le sulfure de carbone). La voie humide convient aux pièces délicates et fouillées, dentelles, fleurs, feuilles, mousse, lichens, insectes, etc. On peut, sans métallisation, reproduire un camée en agate en l'entourant simplement d'un fil de cuivre et le portant au bain.

Conduite générale des bains et des courants. — Lorsque la solution est trop faible et le courant trop puissant, le dépôt est *noir*; lorsque la solution est trop concentrée et le courant trop faible, le dépôt est *cristallin*. On obtient un dépôt convenable et un métal flexible nommé par Smée *réguline* en se plaçant dans des conditions moyennes. Les stratifications du liquide et la circulation qui se produit à l'intérieur du bain, par la décomposition de l'anode et le dépôt sur la cathode, produisent des longues lignes verticales semblables à des points d'exclamation. Il faut agiter les pièces le plus possible pour conserver le bain bien homogène. Les bains de grand volume sont avantageux à ce point de vue. Une grande distance entre les anodes et les cathodes produit un dépôt plus régulier; elle est nécessaire surtout pour les petits objets, mais elle fait perdre sur la rapidité du dépôt ou demande une source électrique plus puissante. Le même bain peut servir à plusieurs objets reliés chacun à une source électrique distincte, à la condition d'employer une seule anode reliée à tous les pôles positifs des différentes sources. La surface de l'anode doit être, en général, égale à la surface de la cathode; une anode trop petite appauvrit la solution, une anode trop grande l'enrichit; l'expérience indique dans chaque cas si l'on a intérêt à produire l'un ou l'autre effet.

Clichés de cuivre ou électrotypes (*Stæsser*). — Moulage à la cire. Durée moyenne de l'opération galvanique: vingt-quatre heures. L'épaisseur moyenne est de 3 dixièmes de millimètre; elle correspond à une couche de 25 grammes par décimètre carré, soit un dépôt d'environ

1 gramme par heure et par décimètre carré. On peut doubler l'intensité du courant et produire un dépôt de même épaisseur en douze heures sans changer la qualité. La durée du travail de vingt-quatre heures est commode pour la préparation des moules pendant la journée et la mise au bain le soir.

Densité du courant (*Sprague*). — Le meilleur bain pour tous les objets non attaqués par l'acide est :

Solution saturée de sulfate de cuivre 3 volumes.
Solution d'acide sulfurique au dixième en volume. 1 —

La *densité* du courant, c'est-à-dire l'intensité par unité de surface d'électrode, peut varier entre certaines limites qui dépendent de la rapidité du travail et de la nature du dépôt à obtenir. Nous prendrons comme unité pratique de densité celle d'un ampère par décimètre carré. Un courant d'un ampère dépose 1,19 gramme de cuivre par heure. Voici les résultats des expériences de M. Sprague :

NUMÉRO DES EXPÉRIENCES.	POIDS DÉPOSÉ EN GRAMMES PAR HEURE ET PAR DÉCIMÈTRE CARRÉ.	INTENSITÉ DU COURANT EN AMPÈRES PAR DÉCIMÈTRE CARRÉ.	NATURE DU DÉPÔT.
	0,1	0,085	Excellente couche.
2	0,4	0,342	Bon cuivre tenace.
3	3,0	2,6	Magnifique dépôt.
4	12,0	10,2	Très bon.
5	50,0	42,7	Sablonneux sur les bords.
6	124,0	106,0	Mauvais sur tout le contour.

DÉPÔTS ADHÉRENTS

Les dépôts adhérents s'obtiennent aujourd'hui sur et avec tous les métaux. Nous ne nous occuperons ici que des plus importants, qui sont : le cuivrage, le laitonisage, la dorure, l'argenture et le nickelage. Tous ces dépôts ne s'obtiennent qu'après une série d'opérations qui constituent le *décapage*, et ont pour but de préparer la surface métallique à recevoir l'action électro-chimique et à assurer une adhérence aussi parfaite que possible entre les deux métaux ou alliages, opérations sur lesquelles on trouvera quelques indications dans la cinquième partie.

Cuivrage. — Le cuivrage s'opère toujours par un sel double, à froid

ou à chaud, dans un bain dont la composition varie avec la nature des corps à cuivrer. Nous donnerons ci-dessous les formules recommandées par un praticien très estimé, M. *Roseleur*, tout en faisant observer que ces formules varient à l'infini avec les auteurs.

On fait dissoudre l'acétate de cuivre dans 5 litres d'eau, l'ammoniaque et les autres corps dans les autres 20 litres. On mélange et il doit se produire décoloration; dans le cas contraire, ajouter du cyanure jusqu'à décoloration et un peu en excès. Les bains les plus vieux marchent le mieux. Agiter les objets le plus possible. Quand le bain est trop vieux, on le *remonte* en ajoutant de l'acétate de cuivre et du cyanure de potassium par poids égaux.

BAINS DE CUIVRAGE (*Roseleur*)

(Les poids exprimés en grammes se rapportent à un volume de 25 litres d'eau.)

	FER ET ACIER.		ÉTAIN FONTE ET ZINC.	MENS OBJETS DE ZINC.
	A froid.	A chaud.		
Bisulfite de soude	500	200	300	100
Cyanure de potassium	500	700	500	700
Carbonate de soude	1000	500	»	»
Acétate de cuivre	475	500	350	450
Ammoniaque	350	300	200	150

Laitonisation ou cuivrage jaune. — A chaud (50° à 60°) pour le fil de fer ou de zinc en bottes et l'*or faux*, à froid pour les autres articles.

Fer, fonte et acier. — Dissoudre dans 8 litres d'eau douce :

Bisulfite de soude	200 grammes.
Cyanure de potassium à 70 %	500 —
Carbonate de soude	1000 —

Et, d'autre part, dans 2 litres d'eau :

Acétate de cuivre	125 grammes.
Protochlorure de zinc neutre	100 —

Ajouter la seconde liqueur à la première. Éviter l'ammoniaque.

Zinc. — Dissoudre dans 20 litres d'eau :

Bisulfite de soude	700 grammes.
Cyanure de potassium à 70 %	1000 —

Et, d'autre part, dans 5 litres d'eau :

Acétate de cuivre	350 grammes.
Protochlorure de zinc.	350 —
Ammoniaque.	400 —

Ajouter la seconde liqueur à la première. Filtrer.

Employer anode de laiton; mettre plus de zinc pour verdier le dépôt et plus de cuivre pour le rougir. Courant trop faible produit un dépôt rouge, courant trop fort donne un dépôt blanc ou blanc bleuâtre. On remédie en variant la pile et en employant anodes de cuivre ou de zinc. La densité du bain peut varier sans inconvénient de 5⁰ à 12⁰ Baumé.

Dorure (Roseleur). — A chaud pour les menus objets, à froid pour les grandes pièces.

Bain au cyanure double d'or et de potassium, à froid :

Eau distillée.	10 litres.
Cyanure de potassium <i>pur</i>	200 grammes.
Or vierge.	100 —

L'or vierge transformé en chlorure est dissous dans 2 litres d'eau, le cyanure dans 8 litres d'eau, on mélange les deux solutions qui se décolorent et on fait bouillir pendant une demi-heure. On entretient la richesse du bain, suivant les besoins, en ajoutant parties égales de cyanure de potassium pur et de chlorure d'or, quelques grammes à la fois. Si le bain est trop riche en or, le dépôt est noirâtre ou rouge foncé, s'il y a trop de cyanure, la dorure est lente et le dépôt gris. L'anode doit plonger *entièrement* dans le bain, suspendue à des fils de platine, et retirée dès que le bain ne fonctionne plus.

Dorure à chaud. — Pour le zinc, l'étain, le plomb, l'antimoine et les alliages de ces métaux, il vaut mieux les recouvrir d'un cuivrage préalable. Voici les formules pour les autres métaux, pour 10 litres d'eau distillée :

	ARGENT, CUIVRE, ET ALLIAGES RICHES EN CUIVRE.	FONTE, FER ACIER.
	— Grammes.	— Grammes.
Phosphate de soude cristallisé.	600	500
Bisulfite de soude.	100	125
Cyanure de potassium <i>pur</i>	10	5
Or vierge transformé en chlorure.	10	10

Dissoudre à chaud le phosphate de soude dans 8 litres d'eau, laisser refroidir le chlorure d'or dans 1 litre d'eau, mélanger peu à peu la seconde solution à la première; dissoudre le cyanure et le bisulfite dans 1 litre d'eau et mélanger cette dernière solution aux deux autres.

La température du bain peut varier entre 50° et 80° C. Il suffit de quelques minutes pour produire la dorure et lui donner une épaisseur convenable. On emploie une anode en platine, l'anode peu enfoncée dans le bain donne dorure pâle; très enfoncée, elle donne dorure rouge. On peut remonter le bain par additions successives de chlorure d'or et de cyanure de potassium, mais après long usage, il fournit dorure rouge ou verte, suivant qu'il a servi à dorer beaucoup de cuivre ou beaucoup d'argent. Il est préférable de renouveler le bain au lieu de l'enrichir.

Dorure verte, blanche, rouge et rose. — On obtient ces différentes couleurs par des mélanges de bains combinés avec des courants plus ou moins intenses. On obtient le *vert* en ajoutant au bain d'or une solution très étendue d'azotate d'argent, le *rouge* avec un bain de cuivre, le *rose* par un mélange de bains d'argent, d'or et de cuivre.

Rapidité du dépôt (Delval). — Dans un bain renfermant 1 gr. d'or par litre, on peut déposer environ 30 centigrammes par heure et par décimètre carré, mais ce chiffre moyen peut varier beaucoup sans inconvénient.

Argenture. — Pour les amateurs, il suffit de faire un bain renfermant 10 gr. d'argent par litre, en pesant 150 gr. d'azotate d'argent, ce qui correspond à 100 gr. d'argent vierge, en faisant dissoudre dans 10 litres d'eau et en ajoutant 250 gr. de cyanure de potassium *pur*. Agiter jusqu'à dissolution complète et filtrer.

On argente à *froid*, en général, sauf les objets de petites dimensions. Le fer, l'acier, le zinc, le plomb et l'étain, préalablement cuivrés, s'argentent mieux à *chaud*. Les objets décapés sont passés à l'azotate de bioxyde de mercure et agités constamment dans le bain. Lorsque le courant est trop intense, les pièces grisonnent, noircissent et laissent dégager des gaz. Employer anode de platine ou anode d'argent dans les bains à froid. Les bains vieux sont préférables aux bains neufs. On vieillit artificiellement les bains en ajoutant 1 à 2 millièmes d'ammoniaque liquide. On remonte les bains d'argent en ajoutant parties égales de sel d'argent et de cyanure de potassium. Si l'anode noircit, le bain est pauvre en cyanure, le dépôt est trop lent; si elle blanchit il y a trop de cyanure, le dépôt est rapide mais n'adhère pas. La marche est normale et régulière lorsque l'anode grisonne par le passage du courant et reblanchit lorsque celui-ci est interrompu. La densité du bain peut varier sans inconvénient entre 5° et 15° Baumé.

Argenture des couverts d'argent (Roseleur). — Voici l'ensemble des opérations :

1° Faire bouillir pendant quelques instants dans une solution de 1 kg. de potasse caustique dans 10 litres d'eau et laver à l'eau fraîche;

2° Dérocher dans de l'eau acidulée au dixième en poids d'acide sulfurique et rincer.

3° Passer pendant quelques secondes dans le mélange suivant :

Acide azotique jaune à 36°	10 kilogrammes.
Sel de cuisine	200 grammes.
Suie grasse calcinée	200 —

Laver vivement et à grande eau.

4° Passer vivement dans le mélange suivant, fait la veille au moins :

Acide azotique jaune à 36°	10 litres.
Acide sulfurique à 66°	10 —
Sel de cuisine	400 grammes.

Laver rapidement à l'eau bien propre.

5° Passer les pièces jusqu'à ce qu'elles soient bien blanches (quelques secondes suffisent) dans le mélange suivant :

Eau	10 litres.
Azotate de bioxyde de mercure	100 grammes.
Acide sulfurique, en quantité juste nécessaire pour dissoudre le bioxyde.	

Laver à l'eau fraîche.

6° Porter au bain, employer courant faible, après dépôt suffisant, arrêter le courant quelques minutes *avant* de sortir les pièces, retirer du bain, laver à l'eau fraîche, puis à une légère eau seconde d'acide sulfurique, gratte-bosser et brunir s'il y a lieu. Le poids d'argent déposé est de 72, 84 ou 100 grammes par douzaine de couverts. L'opération dure quatre heures, mais on a avantage à marcher plus lentement au point de vue de la qualité du dépôt.

DENSITÉ DU COURANT DANS L'ARGENTURE (*Christofle*)

DÉPÔT PAR HEURE ET PAR MÈTRE CARRÉ EN GRAMMES.	NATURE DU DÉPÔT.	INTENSITÉ DU COURANT EN AMPÈRES PAR MÈTRE CARRÉ.
140	Piqûres.	35
200	Bon dépôt.	50
220	Dépôt grenu.	55

M. Delval indique comme moyenne pour un bain renfermant 30 grammes d'argent par litre, un dépôt de 2 grammes par heure et par décimètre carré, ce qui correspond bien aux chiffres ci-dessus.

Nickelage (A. Gaiffe). — Le nickel s'applique surtout sur le cuivre, le bronze, le maillechort, le fer, la fonte et l'acier.

Dégraissage et décapage des pièces (voy. 5^e partie).

Pile. — La plus commode pour les amateurs est la pile-bouteille au bichromate. On règle le courant en enfouçant plus ou moins le zinc.

Bain. — Faire dissoudre à saturation dans de l'eau distillée chaude du sulfate double de nickel et d'ammoniaque exempt d'oxydes de métaux alcalins et alcalino-terreux. La dissolution se compose en poids de :

Sulfate double de nickel et d'ammoniaque	1 partie.
Eau distillée	10 —

Filtrer après refroidissement.

Cuve et mise au bain. — La meilleure cuve est une cuve en verre, en porcelaine ou en grès, ou caisse revêtue intérieurement d'un mastic imperméable. Employer une plaque de nickel comme anode soluble et suspendre les pièces à des crochets de cuivre nickelé. Les pièces préparées sont plongées pendant un instant dans un bain de même composition que celui qui a servi à les décaper, lavées rapidement à l'eau ordinaire, puis à l'eau distillée. On les porte alors *rapidement* au bain, on les immerge et on les accroche aussitôt.

Rapidité du dépôt. — M. Delval indique comme moyenne pour un bain renfermant 10 grammes de nickel par litre, un dépôt de 1,8 gr. par heure et par décimètre carré. Il ne faut pas s'éloigner sensiblement de ce chiffre pour obtenir un bon dépôt, avec un bain présentant cette richesse.

Conduite du courant et durée de l'opération. — Si le courant est trop intense, le nickel se dépose sous forme de poudre noire ou grise. Une heure ou deux suffisent pour une couche moyenne, cinq ou six heures pour une couche très épaisse.

Au sortir du bain, laver dans l'eau ordinaire et sécher dans de la sciure de bois chaude.

Polissage des pièces. — Les frotter par un rapide mouvement de va-et-vient sur une mèche de lisière de drap enduite préalablement d'une bouillie claire de poudre à polir et d'eau, accrochée à un clou et tendue de la main gauche ; les parties creuses avec des tampons de drap fixés au bout de bâtonnets. Les objets polis sont lavés à l'eau pour enlever les traces de bouillie et les poils de laine, puis séchés dans de la sciure de bois. Pour obtenir un beau poli, les pièces doivent avoir été parfaitement polies elles-mêmes *avant* le nickelage.

THERMO-ÉLECTRICITÉ

Les phénomènes électriques produits par les actions calorifiques constituent la *thermo-électricité* et se nomment phénomènes *thermo-électriques*.

Lorsqu'on chauffe la soudure de deux métaux dissemblables, cette soudure est le siège d'une f. e. m. qu'on nomme *force thermo-électromotrice*, fait découvert en 1821 par *Seebeck*. Cette f. e. m. est constante tant que la température est constante; elle est, entre de certaines limites, et pour chaque paire de métaux, proportionnelle à l'excès de température de la soudure sur le reste du circuit.

La force thermo-électromotrice totale développée dans un circuit est la somme algébrique de toutes les f. e. m. développées aux différentes soudures. Le pouvoir thermo-électrique de deux métaux est la grandeur de la force thermo-électrique pour une différence de 1° C. entre les soudures.

La table ci-dessous donne la valeur en microvolts par degré centigrade des pouvoirs thermo-électriques des différents métaux, le plomb étant pris pour étalon. Le bismuth étant le métal le plus thermo-positif et l'antimoine le métal le plus thermo-négatif, le courant produit par cette f. e. m. sera dirigé du bismuth à l'antimoine à travers la soudure, et de l'antimoine au bismuth à travers le circuit extérieur.

TABLE DES POUVOIRS THERMO-ÉLECTRIQUES DES MÉTAUX

PAR RAPPORT AU PLOMB, A UNE TEMPÉRATURE MOYENNE DE 20° C. (*Matthiessen*)

(Les forces électromotrices sont exprimées en microvolts par degré centigrade.)

<p>Bismuth du commerce en fil + 97,0</p> <p>Bismuth pur en fil + 89,0</p> <p>Bismuth cristallisé direction de l'axe + 65,0</p> <p>Bismuth cristallisé, direction normale à l'axe . . + 45,0</p> <p>Cobalt. + 22,0</p> <p>Argent allemand. + 11,75</p> <p>Mercure + 0,418</p> <p>PLOMB. 0</p> <p>Étain. — 0,1</p> <p>Cuivre du commerce. . . — 0,1</p> <p>Platine — 0,9</p> <p>Or — 1,2</p>	<p>Antimoine pur en fil. . . — 2,8</p> <p>Argent pur. — 3,0</p> <p>Zinc pur. — 3,7</p> <p>Cuivre galvanoplastique. . — 3,8</p> <p>Antimoine du commerce en fil — 6,0</p> <p>Arsenic. — 13,56</p> <p>Fer, fil de piano. — 17,50</p> <p>Antimoine cristallisé, direction de l'axe — 22,60</p> <p>Antimoine cristallisé, direction normale à l'axe. — 26,40</p> <p>Phosphore rouge. — 29,70</p> <p>Tellure. — 502,00</p> <p>Sélénium. — 807,00</p>
--	---

L'impureté des métaux influe beaucoup sur leur force thermo-électromotrice; certains alliages et certains sulfures, la galène par exemple, ont une force thermo-électrique très grande.

Inversion thermo-électrique. — Point neutre. — Le pouvoir thermo-électrique des métaux est fonction de la température moyenne des soudures ainsi que de leur différence de temp. La figure ci-dessous est un diagramme qui permet de bien saisir les variations

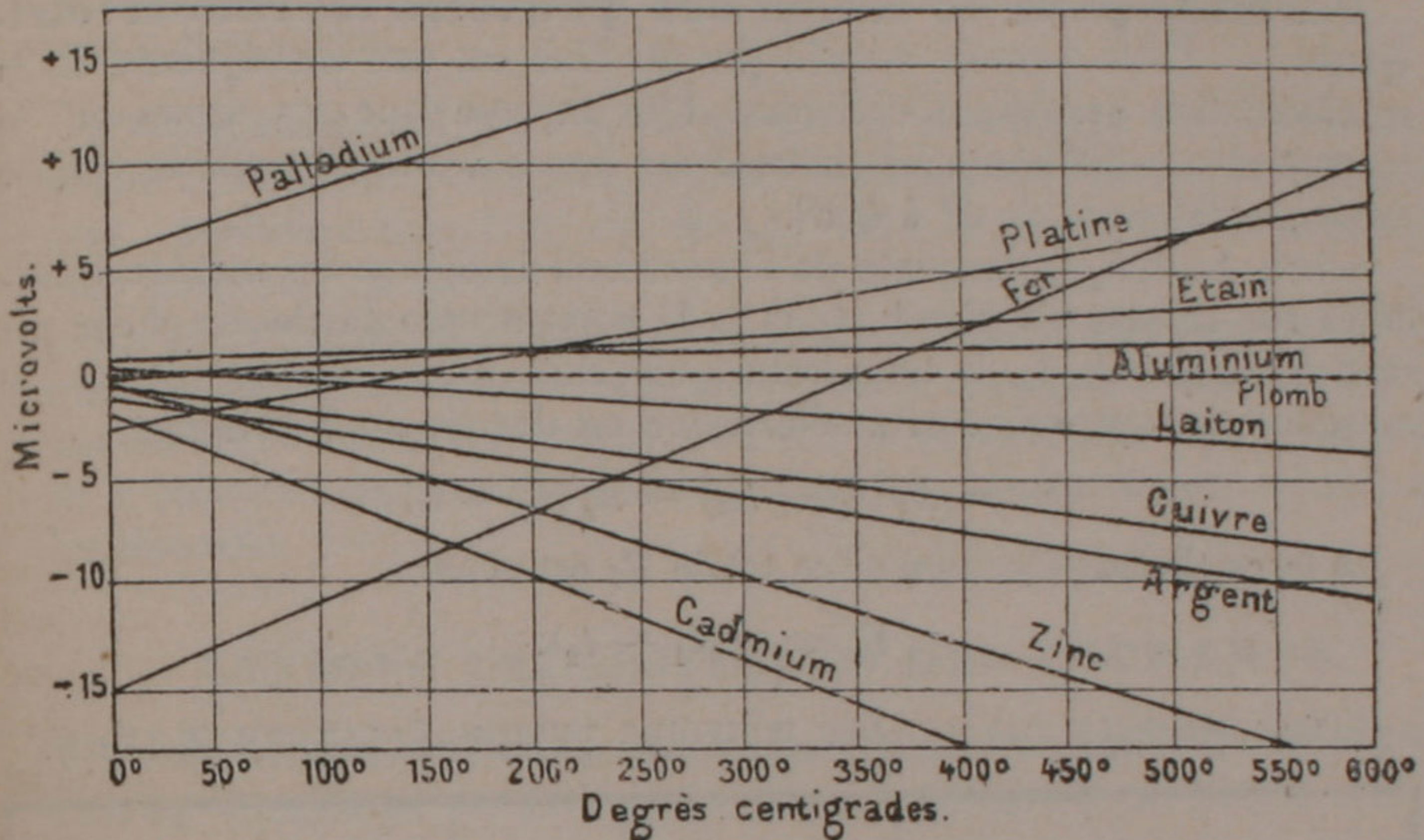


Diagramme des pouvoirs thermo-électriques.

de ce pouvoir thermo-électrique. Les abscisses représentent les températures moyennes en degrés C., et les ordonnées les f. e. m. en microvolts. La distance entre deux lignes de deux métaux donnés à une température moyenne donnée fait connaître le pouvoir thermo-électrique des deux métaux à cette température moyenne. Ces lignes sont tracées par rapport au plomb pris comme étalon. Le point où les lignes de deux métaux se coupent est le *point neutre*, parce qu'à la température correspondante les pouvoirs thermo-électriques sont égaux.

En deçà et au delà du point neutre, les forces thermo-électromotrices changent de signe, le point neutre est aussi le *point d'inversion*. M. Tait a trouvé que de 0° à 300° C. ces lignes sont sensiblement droites, ce qui permet de ramener le calcul des forces thermo-électromotrices à celui d'aires de triangles ou de trapèzes. Soient m la distance (en microvolts) qui sépare les lignes de deux métaux à la température moyenne, $t_1 - t_2$ la différence de température en degrés centigrades; la f. e. m. du couple est alors : $m (t_1 - t_2)$. Il en résulte que si la température moyenne est celle du point neutre ou d'inversion, il n'y aura pas de courant produit, parce que m est nul, ce qui permet de déterminer exactement le point

neutre des différents métaux. Il ne suffit donc pas de maintenir une *grande* différence de temps entre les soudures pour avoir une grande f. e. m., il faut encore faire un choix judicieux des métaux et de la température moyenne pour s'éloigner le plus possible du point neutre.

Formule pour le calcul des pouvoirs thermo-électriques. — Cette formule donnée par *M. Tait* est une conséquence de la représentation graphique ci-dessus. Elle suppose que les lignes qui se rapportent aux différents métaux sont des lignes droites, hypothèse vérifiée expérimentalement de 0° à 400° .

Soient k_1 et k_2 la tangente de l'inclinaison de chacun des métaux considérés par rapport au plomb, t_1 et t_2 le point neutre de chacun d'eux par rapport au plomb, t_m la température moyenne des soudures. L'ordonnée moyenne m ou pouvoir thermo-électrique est donnée par la formule :

$$m = k_1 (t_1 - t_m) - k_2 (t_2 - t_m).$$

La force thermo-électromotrice totale E_t est alors :

$$E_t = m (t_1 - t_2).$$

TABLE POUR LE CALCUL DES POUVOIRS THERMO-ÉLECTRIQUES (*Tait*).

MÉTAUX.	POINT NEUTRE PAR RAPPORT AU PLOMB EN DEGRÉS CENTIGRADES.	TANGENTE DE L'ANGLE AVEC LE PLOMB k .
Cadmium.	— 69	— 0,0364
Zinc.	— 32	— 0,0289
Argent.	— 115	— 0,0146
Cuivre.	— 68	— 0,0124
Laiton.	+ 27	— 0,0056
Plomb.	»	»
Aluminium.	— 113	+ 0,0026
Étain.	+ 45	+ 0,0067
Maillechort.	— 314	+ 0,0251
Palladium.	— 181	+ 0,0311
Fer.	+ 357	+ 0,0420

Pile bismuth-cuivre (*Gaugain*). — A servi d'étalon dans les mesures de f. e. m. Une des soudures est à 0° , l'autre à 100° :

$$E_t = \frac{1}{482,6} \text{ volt}$$

Pile Noé. — Un des métaux est du maillechort, l'autre métal un alliage d'antimoine et de zinc. Chaque élément développe en marche normale une f. e. m. de $\frac{1}{16}$ de volt et a une rés. de $\frac{1}{40}$ d'ohm. La pile de 20 éléments en tension a donc une f. e. m. de 1,25 volt et une rés. intérieure de 0,5 ohm.

Pile Clamond. — Fer et alliage de bismuth et d'antimoine avec soudure autogène. Une pile de 6000 éléments en tension, chauffée au coke, produisait une f. e. m. de 109 volts et présentait une résistance intérieure de 15,5 ohms.

Les piles thermo-électriques n'ont guère été appliquées jusqu'ici qu'aux mesures de faibles différences de température et comme étalons de f. e. m. Les meilleures ne transforment jusqu'ici en énergie électrique que moins de 1 pour 100 de l'énergie calorifique qui leur est fournie par le foyer qui les alimente.

ACTIONS CALORIFIQUES DES COURANTS

Lorsqu'un courant traverse un conducteur, il l'échauffe. La quantité de chaleur dégagée par le passage du courant est donnée par la formule :

$$H = \frac{RI^2t}{gA}$$

H Quantité de chaleur produite en calories (g.-d.).

R Résistance du conducteur en ohms.

I Intensité du courant en ampères.

t Temps de passage du courant en secondes.

A Équivalent mécanique de la chaleur :

$$H = \frac{RI^2t}{4,16} \text{ calories (g.-d.).}$$

Limite inférieure du diamètre des fils. — Elle dépend de la conductibilité du fil, de sa forme, des facilités de refroidissement qui lui sont offertes et du but poursuivi dans son emploi.

Les conducteurs en fil de platine pour allumoirs et petites lampes à incandescence doivent rougir mais ne pas fondre. Les fils de sûreté des conducteurs de lumière électrique doivent fondre et couper automatiquement le circuit dès que l'intensité du courant sur chaque branchement devient double ou triple de celle pour laquelle ils ont été établis normalement. Les fils de machines et les conducteurs recouverts ne doivent jamais atteindre la température à laquelle leur isolement serait compromis. On

peut, dans les machines dont le fil ne dépasse pas 2 mm. de diamètre, faire passer 5 à 6 ampères par mm. carré et 3 ampères seulement par mm. carré pour le fil de 5 mm. Pour les conducteurs en cuivre *sous plomb* dont le refroidissement est difficile, il ne faut pas dépasser 2 ampères par mm. carré pour une conductibilité de 80 à 90 % et des courants inférieurs à 20 ampères. Pour les conducteurs de lumière électrique, *sir W. Thomson*, indique le chiffre de 60 ampères par centimètre carré.

Perte d'énergie dans un conducteur. — Chaleur dégagée. — Se calcule par la formule ci-contre. Dans tous les transports d'énergie à distance, on a intérêt à diminuer cette perte en réduisant le plus possible la résistance des conducteurs. Nous donnons dans le tableau ci-dessous, pour des courants de 1 à 100 ampères et une résistance de un ohm, en calories (g.-d.), kilogrammètres par seconde et chevaux-vapeur, la valeur de l'énergie qui apparaît dans le fil sous forme de chaleur.

INTENSITÉ DU COURANT EN AMPÈRES.	CALORIES (G.-D.) PAR SECONDE.	KILOGRAMMÈTRES PAR SECONDE.	CHEVAUX-VAPEUR.
1	0,24	0,102	0,013
2	0,96	0,408	0,054
5	6,01	2,548	0,034
10	24,03	10,2	0,134
20	96,12	40,8	0,536
30	216,20	91,7	1,223
40	384,48	163,1	2,144
50	601,0	255,0	3,400
60	865,0	367,0	4,892
70	1177,0	499,0	6,653
80	1538,0	652,0	8,576
90	1948,0	826,0	11,007
100	2403,0	1019,0	13,590

Ce tableau permet, lorsqu'on connaît le courant et la perte d'énergie à laquelle on veut consentir par échauffement du conducteur, de calculer sa résistance et, par suite, son diamètre.

Échauffement d'un conducteur traversé par un courant (*G. Forbes*). — Soient I l'intensité du courant qui échauffe un conducteur à une certaine température, D le diamètre du conducteur. Pour un échauffement égal d'un autre conducteur placé dans les mêmes

conditions, on doit faire varier I et D de manière à satisfaire à la relation :

$$\frac{I}{D^2} = a,$$

a étant une constante qui dépend du degré d'échauffement du fil.

Échauffement de bobines égales roulées de fils de diamètres différents (*G. Forbes*). — La longueur du fil roulé sur des bobines égales est inversement proportionnelle au carré du diamètre du fil et la rés. inversement proportionnelle à la quatrième puissance de ce diamètre. A échauffement égal, l'intensité du courant I et le diamètre du fil D doivent satisfaire à la relation :

$$\frac{I}{D^2} = a,$$

a étant une constante qui dépend du degré d'échauffement du fil.

Échauffement de deux bobines semblables par le passage d'un courant (*G. Forbes*). — Soit I l'intensité du courant qui traverse une bobine donnée et l'élève à une certaine température ; I' l'intensité du courant qui traverse une seconde bobine semblable, dont les dimensions linéaires sont n fois celles de la première et le diamètre du fil n fois celui du fil de la première. Pour un même échauffement, on a la relation :

$$I' = n^{\frac{3}{2}} I.$$

L'expérience a confirmé cette loi déduite de l'égalité entre la chaleur dégagée par le courant et la chaleur perdue par la bobine.

LUMIÈRE ÉLECTRIQUE

L'énergie électrique employée dans les foyers de lumière électrique étant aujourd'hui presque exclusivement fournie par des machines magnéto- et dynamo-électriques, nous ne pourrions nous occuper utilement de cette importante application des actions calorifiques des courants qu'après avoir parlé des générateurs mécaniques d'électricité (voy. page 242).

GÉNÉRATEURS MÉCANIQUES D'ÉLECTRICITÉ

Nous ne nous occuperons pas ici des appareils fondés sur les actions *électrostatiques*. Tous les générateurs mécaniques d'électricité fondés sur les actions *électro-magnétiques* sont constitués par deux systèmes, l'inducteur et l'induit. L'*inducteur* produit le champ magnétique ou galvanique nécessaire au développement du courant qui prend naissance dans l'*induit*

et porte le nom de *courant d'induction*. Tout déplacement relatif de l'induit et du champ magnétique développe un courant d'induction. Dans *toutes* les machines magnéto- et dynamo-électriques, ce déplacement relatif est produit par un mouvement mécanique : l'énergie électrique développée est équivalente au travail dépensé dans ce mouvement. Les bobines d'induction, par exemple, constituent des appareils dans lesquels le déplacement relatif du champ et de l'induit se produit sans mouvement mécanique. Elles jouent alors le rôle de *transformateurs* et ne constituent pas des générateurs mécaniques d'électricité, bien que leur principe soit commun.

Travail dépensé. — Le travail dépensé par un générateur mécanique d'électricité se mesure, soit par un dynamomètre de transmission, soit par des diagrammes pris sur le moteur, en tenant compte de la perte de travail propre aux frottements du moteur lui-même. C'est le travail dépensé par un générateur mécanique d'électricité qui sert à calculer ou à choisir le moteur qui doit l'actionner. La puissance des générateurs électriques varie depuis quelques centièmes de kilogrammètre jusqu'à 400 chevaux.

Énergie électrique totale produite. — Soit E la f. e. m. développée par un générateur et I l'intensité du courant dans les conditions normales de fonctionnement. L'énergie électrique totale W_t fournie par le générateur est égale à :

$$W_t = \frac{EI}{9,81} \text{ kgm. par seconde,}$$

ou

$$W_t = \frac{EI}{736} \text{ chevaux-vapeur} = \frac{EI}{746} \text{ horse-power.}$$

La différence entre l'énergie électrique totale produite et le travail dépensé représente les pertes dues aux frottements, aux résistances passives et aux réactions secondaires complexes qui se produisent dans les inducteurs et les induits du générateur.

Énergie électrique disponible. — Soient E_d la différence de potentiel *aux bornes* de la machine, c'est-à-dire entre les points de départ du circuit extérieur, et I l'intensité du courant dans ce circuit extérieur. L'énergie électrique disponible W_d a pour valeur :

$$W_d = \frac{E_d I}{9,81} \text{ kgm. par seconde;}$$

$$W = \frac{E_d I}{736} \text{ chevaux-vapeur.}$$

Échauffement de la machine. — La différence entre W_t et W_d représente, en kgm. ou en chevaux-vapeur, le travail transformé en chaleur dans la machine ou son échauffement. C'est un travail perdu; on a donc intérêt à le diminuer le plus possible, ce qui se fait en réduisant la rés. intérieure de la machine par rapport à la rés. du circuit extérieur. Lorsque la rés. intérieure R_i de la machine est connue, on calcule son échauffement par la formule :

$$\text{Échauffement} = \frac{R_i I^2}{9,81} \text{ kgm. par seconde.}$$

On a sa valeur en calories (kg.-d.), en divisant par 424.

Relation entre les résistances extérieure et intérieure. — En désignant par R_e la rés. extérieure pour un fonctionnement normal et R_i la rés. intérieure, on a :

$$R_e = \frac{R_i}{3} \text{ ou } \frac{R_i}{2},$$

lorsque les machines sont dans de mauvaises conditions de travail;

$$R_e = \text{de } 10 \text{ à } 40 R_i ,$$

lorsque les machines sont dans de bonnes conditions de travail.

Classification. — Les caractères principaux des générateurs électriques qui peuvent servir de base à une classification sont : *a*, la nature des courants produits; *b*, la nature de l'inducteur; *c*, la forme de l'induit. A côté de ces caractères principaux s'en trouvent d'autres secondaires tels que : nature de la partie mobile, puissance de la machine, présence ou absence de fer dans l'induit, etc. Nous nous occuperons seulement des premiers.

a. NATURE DES COURANTS PRODUITS. — Les courants induits sont toujours alternatifs par leur nature¹; certaines machines les redressent, d'autres, caractérisées par un collecteur, les rendent sensiblement continus; de là trois classes de machines caractérisées par les courants qu'elles produisent.

1° *Machines à courants alternatifs.* — Les courants produits sont recueillis tels que les bobines induites les développent et se trouvent ainsi renversés jusqu'à 30 000 fois par minute.

2° *Machines à courants redressés.* — Un *commutateur* redresse les courants développés dans l'induit chaque fois qu'ils changent de signe;

¹ Excepté dans les machines dites, fort improprement, *unipolaires*, qui ne sont pas encore entrées dans la pratique.

le courant passe donc par zéro à chaque commutation. Le type est la machine de Siemens à bobine en double T.

3° *Machines à courant continu.* — Les induits fractionnés sont reliés à un *collecteur* qui produit des commutations partielles très nombreuses ; l'allure du courant est sinusoïdale et se rapproche d'autant plus d'une ligne droite que le fractionnement de l'induit ou des induits est plus grand, on peut le considérer comme *pratiquement* continu. Un téléphone branché sur la machine indique cependant, par ses vibrations, l'allure variable du courant. Les seules machines fournissant un véritable courant continu sont les machines dites *unipolaires*. Comme elles ne sont pas encore entrées dans la pratique courante, nous ne pouvons que les mentionner.

b. NATURE DE L'INDUCTEUR. — Ce caractère permet de diviser les machines en deux classes :

1° *Machines magnéto-électriques.* — L'inducteur est un *aimant*.

2° *Machines dynamo-électriques.* — L'inducteur est un *électro-aimant*.

c. FORME DE L'INDUIT. — Ce caractère est surtout important dans les machines à courant continu. On distingue les formes suivantes :

1° *Anneau* : Pacinotti, Gramme, Schuckert, Brush, etc.

2° *Tambour* : Siemens, Edison, etc.

3° *Pôle* : Lontin, Niaudet, Wallace-Farmer, etc.

4° *Disque* : Machine dite *Arago*, Ferranti-Thomson.

L'induit s'appelle, suivant sa forme, bobine, armature, anneau, tambour, etc.

Modes d'excitation des machines dynamo-électriques. —

Exciter une machine, c'est lui fournir l'énergie électrique nécessaire au maintien du magnétisme de ses inducteurs. Voici les moyens employés jusqu'à présent :

Excitation séparée. — Alimenter les inducteurs par un courant distinct fourni par une machine spéciale qui prend le nom d'*excitatrice*, eu égard à ses fonctions. Une excitatrice peut exciter plusieurs machines à la fois, ce qui crée une certaine solidarité entre leurs champs magnétiques et, par suite, leur production et leur puissance.

Excitation en circuit. — Le courant même fourni par la machine traverse les inducteurs et maintient leur magnétisme. On les désigne sous le nom de *Séries-dynamo*.

Excitation en dérivation. — Les inducteurs sont branchés sur les balais, le courant produit par l'induit se partage entre le circuit extérieur et les inducteurs (indiquée par Wheatstone). On désigne souvent les machines ainsi excitées sous le nom de *Shunt-dynamo*.

Excitation en double circuit. — Indiquée pour la première fois par M. Brush. Les inducteurs sont roulés de deux fils, l'un recevant le cou-

rant d'une excitatrice séparée ou établi en dérivation sur les balais, l'autre dans le circuit général. Appliquée par M. Marcel Deprez à son système de distribution. Permet de proportionner, dans une certaine mesure, la production d'énergie électrique à la consommation dans le circuit extérieur, sans modifier l'allure. On peut en imaginer un grand nombre de variétés.

Qualités des machines. — Dans les conditions normales de fonctionnement, une machine développe une force électromotrice E et fournit un courant d'intensité I .

Une expression déplorable, mais consacrée par l'usage, fait qu'on a souvent divisé les machines en deux classes dont la distinction est absolument fictive et illusoire : on nomme encore quelquefois machines de *tension* celles dans lesquelles E est très grand, et machines de *quantité* celles dans lesquelles I est très grand. En réalité, on construit aujourd'hui des machines qui occupent toute l'échelle des tensions depuis une fraction de volt jusqu'à plus de 3000 volts, et toute l'échelle des intensités depuis quelques milli-ampères jusqu'à 3000 ampères et plus ; ces qualifications n'ont donc plus aucune signification précise.

Inducteurs. — Les inducteurs doivent être aussi puissants et aussi massifs que possible, pour maintenir la constance du champ magnétique malgré la rotation de l'induit et ne pas atteindre trop tôt la saturation magnétique ; les inducteurs doivent être en fer aussi doux que possible, parce que le point de saturation est plus éloigné ; les pièces polaires doivent être aussi rapprochées de l'induit que le permet la construction de la machine ; éviter les pointes et les arêtes ; une armature en fer intérieure dans l'induit est favorable en ce sens qu'elle concentre le champ magnétique, mais elle présente des difficultés de construction lorsqu'on veut la maintenir immobile et ne pas perdre le travail dû à ses changements rapides de magnétisation lorsqu'on la fait tourner avec l'induit, comme dans l'anneau Gramme, par exemple ; éviter que le bâti en fonte de la machine ne trouble la distribution du champ magnétique en établissant une sorte de *court-circuit* magnétique entre les pôles.

Induits. — L'armature tournante doit être en fer aussi doux que possible et fractionnée en lames, fils, etc., séparés par un vernis, du papier d'amiante ou des feuilles minces de mica, pour s'opposer au développement des courants de Foucault. On doit aussi, pour éviter l'échauffement, empêcher les changements brusques de polarité de l'armature ; choisir l'enroulement de manière à réduire au minimum les parties du fil non soumises à l'action directe et utile du champ magnétique ; choisir le fil le plus conducteur possible (au moins 96 pour 100 de conductibilité) ; lorsque l'armature comporte des pôles, le fil doit être roulé le plus près possible de

ces pôles, parce que c'est là où les variations sont le plus sensibles; l'induit doit être facilement ventilé et les bobines parfaitement isolées avec des corps peu fusibles comme l'amiante, le mica, etc.

Conditions à réaliser dans une machine puissante. —

Le courant développé dans un conducteur qui traverse un champ magnétique est d'autant plus grand que ce conducteur traverse un plus grand nombre de lignes de force par unité de temps. Il en résulte comme conséquences que, pour faire une machine puissante, il faut : 1° donner au conducteur une grande vitesse de translation ; 2° le déplacer dans un champ magnétique intense ; 3° lui faire faire le plus grand nombre de tours possible sur l'armature, et 4° diminuer le plus possible sa résistance électrique. La première condition est limitée par des considérations mécaniques ; on dépasse rarement en pratique 20 à 25 mètres par seconde pour la partie moyenne de l'armature. La deuxième condition explique l'emploi des machines dynamo-électriques qui fournissent un champ magnétique intense, et qui, à vitesse égale, demandent un moins grand nombre de tours de fil sur la bobine que les machines magnéto-électriques pour développer la même f. e. m. On peut ainsi augmenter la grosseur du fil et diminuer sa longueur ainsi que la rés. intérieure de la machine. Le bénéfice réalisé compense, et au delà, la dépense supplémentaire d'énergie que cause l'excitation. La troisième condition indique qu'il faut faire un nombre de tours de fil d'autant plus grand que la f. e. m. doit être plus grande, ce qui oblige à diminuer le diamètre du fil pour le faire tenir dans le même espace. Ce n'est donc pas *parce que* les machines ont une grande résistance, comme on le dit encore quelquefois, qu'elles ont une grande f. e. m., mais parce qu'il est impossible de mettre un grand nombre de tours de fil dans un espace donné sans prendre du fil fin, et présentant par suite une grande rés. Si la grande rés. était une condition nécessaire et suffisante, on construirait les bobines en maillechort ou en platine, tandis qu'on choisit toujours le cuivre le plus conducteur. La quatrième condition à remplir justifie d'ailleurs ce choix, car la loi de Ohm montre que l'intensité du courant diminue quand la rés. totale du circuit augmente.

Influence de la grosseur du fil. — Toutes choses égales d'ailleurs, la f. e. m. d'une machine n'augmente pas proportionnellement à la réduction de section du fil, comme l'admettent certains auteurs. Si une machine donnée développe par exemple 200 volts avec un fil de 2 mm., elle n'en développera pas pour cela 800 avec un fil de 1 mm. ; cela tient à ce que l'épaisseur de l'isolant est d'autant plus grande par rapport au diamètre que le fil est plus fin, la seconde machine ne renfermera donc pas 4 fois plus de tours que la première, tant sur l'armature que sur les inducteurs, la f. e. m. diminuera donc pour cette double cause, car le champ magné-

tique sera moins intense et le nombre de tours de fil sur l'armature moins grand que ne l'exige la proportionnalité théorique.

L'insuffisance des inducteurs diminue la force électromotrice d'une machine donnée à mesure que l'intensité du courant fourni augmente. Ce fait résulte des réactions réciproques des champs magnétique et galvanique.

Un champ magnétique coûte d'autant moins cher à produire que les électro-aimants sont de dimensions plus considérables (*Edison*). C'est là une conséquence des lois générales des électro-aimants.

Influence de la vitesse sur le travail absorbé. — Pour un champ magnétique constant, le travail absorbé est sensiblement proportionnel au carré de la vitesse de rotation, et la f. e. m. proportionnelle à la vitesse, lorsque le circuit extérieur reste constant. Pour les machines dynamo-électriques excitées en circuit ou en dérivation, le phénomène est beaucoup plus complexe, à cause du renforcement progressif du champ avec l'augmentation de l'intensité.

Caractéristique (*Marcel Deprez*). — Courbe fournie par la relation entre la f. e. m. d'une machine dynamo-électrique donnée tournant à une vitesse donnée et l'intensité du courant qu'elle produit lorsqu'on fait varier la résistance du circuit. Pour la construire, on excite séparément les inducteurs, à chaque intensité I correspond une f. e. m. E ; on porte les intensités en *abscisses* et les f. e. m. en *ordonnées*. M. Cabanellas a fait remarquer avec raison que la courbe tracée par cette méthode est fautive dans tous les cas où le champ magnétique est modifié par le champ électrique. La courbe ainsi obtenue varie avec les dimensions de la machine et les rapports de ses diverses parties; elle affecte en général la forme parabolique, et n'est que très rarement assimilable à une ligne droite.

Calage des balais dans les machines à collecteur (*A. Breguet*). — Dans les machines magnéto-électriques ou à excitation séparée, fonctionnant comme générateurs d'électricité, les balais doivent être calés avec une avance angulaire qui augmente avec la vitesse de rotation.

Pour les machines excitées en circuit, le calage des balais ne demande que peu d'avance tant que les inducteurs n'atteignent pas le point de saturation; lorsque la saturation est atteinte, surtout avec des inducteurs trop faibles, l'avance peut atteindre jusqu'à 70° .

Pour les machines dynamo-électriques fonctionnant comme *moteurs*, le calage doit être fait en sens inverse du mouvement de rotation; l'angle de calage doit être d'autant plus grand que le champ magnétique est plus faible et le courant plus intense.

Ces faits sont des conséquences de l'influence réciproque des champs magnétique et galvanique de l'inducteur et de l'induit.

Rôle et influence de l'anneau de fer dans les machines Gramme (A. Breguet). — 1° Le retard à l'aimantation et à la désaimantation oblige à déplacer les frotteurs, dans le sens de la rotation, d'un angle qui ne dépasse pas 10^0 pour les plus grandes vitesses. 2° La présence de l'anneau exalte l'intensité du champ, réduit la déformation, et par suite le décalage des balais dans une grande proportion.

L'armature en fer doux de la machine Gramme renforce le champ magnétique dans la région où se meuvent les fils du circuit mobile et soustrait les fils internes des spires de la bobine à l'action normale des lignes de force du champ, action qui développerait une f. e. m. opposée à celle des fils externes. Elle agit donc comme un véritable *écran magnétique*.

Grosueur des fils des machines dynamo-électriques. —

Dans les machines Gramme construites par MM. Sautter et Lemonnier, en tenant compte de la combinaison des circuits inducteurs, on trouve les relations suivantes :

ÉLÉMENTS.	DÉSIGNATION DES TYPES.				
	M.	AG.	CT.	CQ.	DQ.
<i>Induit.</i>					
Diamètre du fil en millimètres.	1,2	1,8	2,8	3,65	4,3
Intensité du courant fourni.	13,5	24,5	48,0	65,	70,0
Intensité du courant qui traverse réellement le fil.	6,75	12,25	24,0	32,5	35,0
Section en millimètres carrés.	1,13	2,54	6,16	10,46	14,52
Intensité par millimètre carré.	6,0	4,8	3,9	3,1	2,4
<i>Inducteurs.</i>					
Diamètre du fil.	1,8	3,4	3,4	3,4	3,8
Section en millimètres carrés.	2,54	9,08	9,08	9,08	11,34
Intensité du courant qui les traverse.	6,75	12,25	48,0	65,0	17,5
Intensité par millimètre carré.	2,6	1,3	5,3	7,2	1,6

Pour les induits, la loi est très nette; il faut faire passer d'autant moins d'ampères par millimètre carré de section que le fil est plus gros, à cause des facilités moins grandes de refroidissement. Pour les inducteurs, les chiffres sont très variables avec le couplage.

ÉPAISSEUR DE LA COUVERTURE DE COTON DES FILS DES DYNAMOS
(Uppenborn).

DIAMÈTRE DES FILS NUS. d .	DIAMÈTRE DES FILS COUVERTS $d + 2 \delta$.	ÉPAISSEUR DE LA COUVERTURE. 2δ .
millimètres.	millimètres.	millimètres.
1 et au-dessus.	1,5	0,5
2.	2,6	0,6
3.	3,6	0,6
4.	4,7	0,7
5.	5,8	0,8
6.	6,9	0,9
7.	7,9	0,9
8.	9,0	1,0
9.	10,1	1,1
10.	11,1	1,1

Ces chiffres correspondent aux résultats donnés par la formule :

$$2\delta = 0,43 + 0,07d,$$

en arrondissant les dixièmes de millimètre.

Entretien des balais et collecteurs. — Les balais doivent être serrés modérément et calés sur le diamètre de commutation qui donne le moins d'étincelles ; on doit les avancer légèrement au fur et à mesure de leur usure. Si les étincelles viennent à souder quelques fils, il faut passer les balais à la meule jusqu'à ce que tous les fils soient dégagés. Lorsqu'ils se détachent et se hérissent, on doit les redresser avec une pince plate. Il est bon de les nettoyer à l'alcool de temps en temps. On peut aussi graisser le collecteur avec un linge *très légèrement* imbibé d'huile, mais il faut éviter de l'encrasser. On le frotte quelquefois avec du mercure, mais c'est une mauvaise méthode. On doit égaliser le collecteur de temps en temps en le frottant avec du papier émeri. Éviter de rompre le circuit en écartant les balais lorsque la machine est en marche. La machine doit toujours *tirer* sur les balais ; c'est là un moyen pratique de déterminer le sens de la rotation.

Conditions de fonctionnement des machines. — Nous ne pouvons donner ici la description des différentes machines magnéto- et dynamo-électriques employées aujourd'hui dans l'industrie. Nous nous contenterons d'indiquer les conditions de fonctionnement des plus employées, ou du moins de celles dont il nous a été possible de connaître les éléments,

en laissant toute la responsabilité de ces chiffres aux inventeurs ou aux expérimentateurs.

MACHINES A COURANT CONTINU

Machine Gramme, type A (Maison *Breguet*). — Excitée en circuit (séries-dynamo).

Résistance de l'anneau à froid.	0,47 ohm.
— des inducteurs à froid.	0,67 —
— totale à froid.	1,14 —
— — à chaud.	1,20 —
Vitesse normale.	900 tours par minute.
Intensité du courant.	25 à 30 ampères.
Force électromotrice.	80 volts.
Différence de potentiel aux bornes.	55 —
Saturation des inducteurs.	18 ampères.

Machine Heinrichs. — Dynamo-électrique, anneau Gramme en forme d'U. Les expériences sur le type à 3 lampes en circuit (arc avec charbons de 13 mm.) ont donné les résultats suivants (*Kempe, Preece et Stroh*):

Résistance totale de la machine.	1,83 ohm.
Résistance de l'anneau.	0,85 —
Force électromotrice.	130 à 150 volts.
Intensité du courant.	33 à 38 ampères.
Nombre de tours par minute.	850 tours.
Diamètre moyen de l'anneau.	20 centimètres.

Machine Gülcher. — Type alimentant six lampes à arc montées en dérivation à la vitesse de 640 tours; inducteurs dans le circuit :

	A froid (16° C.).	A chaud après plusieurs heures (31° C.).
Résistance des inducteurs	0,126	0,129
— de l'anneau.	0,133	0,136
Résistance totale.	0,259	0,265
Différence de potentiel aux bornes		60 volts.
— aux balais.		70,22 —
Intensité du courant total		80 ampères.
Travail absorbé par le générateur	2,91 chevaux-vapeur.	
— par le circuit extérieur.	7,34	—
— par les frottements	0,51	—
Travail total absorbé	10,76	—

La machine transforme 68,2 pour 100 du travail total qui lui est fourni en énergie électrique disponible dans le circuit extérieur et produit 75 bees Carcel par cheval-vapeur sous un angle d'environ 35° (*Gülcher*).

MACHINES SCHUCKERT (F. Henrion. Nancy).

NOM DU TYPE.	INTENSITÉ DU COURANT EN AMPÈRES.	VOLTS AUX BORNES.	NOMBRE DE TOURS PAR MINUTE.	PUISSANCE ABSORBÉ EN CHEVAUX- VAPEUR.
MONOPHOTES :				
EL _{1/2}	12	50	1400	1,5
EL ₁	20	50	1100	2,5
EL ₂	35	50	850	3
EL ₃	50	50	800	6
EL ₄	80	50	700	10
POLYPHOTES ET TRANSMISSION DE FORCE.				
TL _{1/2} 2 lampes. . .	8	100	1400	2
TL ₁ 3 —	8	150	1200	2,5
TL ₂ 4 —	8	200	1100	3,5
TL _{2a} 6 —	8	300	1000	5
TL ₃ 8 —	8	400	900	6,5
TL ₄ 10 —	8	500	850	8
TL ₅ 20 —	8	1000	620	15
INCANDESCENCE (compound-dynamos)				
JL _{1/2} 10 lampes . .	7,5	110	1400	2
JL ₁ 20 —	15	110	1200	3
JL ₂ 30 —	22,5	110	1100	4,5
JL _{2a} 40 —	30	110	1000	6
JL ₃ 50 —	36	110	900	6,5
JL ₄ 90 —	67,5	110	800	13
JL ₅ 120 —	90	110	750	16
JL _{5a} 180 —	135	110	650	23
JL ₆ 250 —	190	110	550	36
JL ₇ 500 —	380	110	450	70

(Les foyers polyphotes sont de 1000 bougies allemandes et les foyers à incandescence de 16 bougies).

Les machines Schuckert à nickelage (*shunt-dynamos*) donnent 4-8 volts aux bornes et fournissent de 190 à 250 ampères, en absorbant de 1 cheval à 4,5 chevaux. Les machines à cuivrage donnent 2,6 volts aux bornes et fournissent de 150 à 650 ampères, en absorbant la même force motrice.

La machine de 250 ampères peut déposer 275 gr. de nickel par heure sur une surface de 6,50 m². La machine à cuivrage de 350 ampères dépose 400-1200 gr. de cuivre par heure sur une surface de 400-1200 décimètres carrés en disposant trois bains en dérivation.

Machines Siemens. — Les machines construites à Londres le sont conformément au tableau ci-dessous :

CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT DES MACHINES SIEMENS (1883)

TYPE DE LA MACHINE.	Nombre de lampes à incandescence de 45 volts et 1,54 ampère.	NOMBRE DE WATTS			Nombre total de watts développés.	Pour cent utilisable dans le circuit extérieur.	Poids total du cuivre sur la machine en kilogrammes.	Nombre de watts disponibles dans le circuit extérieur par kilogramme de cuivre sur la machine.	Vitesse moyenne à la circonférence, en mètres par seconde.
		dans la bobine.	dans les inducteurs.	dans le circuit extérieur.					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
SD 5 . . .	12	12	248	796	1 164	68,0	19,50	41,0	9,50
SD 7 . . .	25×2	308	370	3 316	3 994	83,0	51,25	64,0	13,75
—	40	328	233	2 653	3 214	82,0	64,0	41,0	10,75
SD 2 . . .	30×2	536	319	3 980	4 835	82,0	119,0	33,4	9,25
—	60	526	326	3 980	4 832	82,0	118,5	33,5	9,50
SD 1 . . .	60×2	803	532	7 959	9 294	85,0	264,0	30,1	10,25
—	50×3	615	1200	9 949	11 764	84,5	274,0	37,7	13,00
DS D 00 . .	150×2	2080	2562	19 890	24 532	91,7	389,0	51,0	10,75
B 1	400	1654	2665	26 532	30 851	86,0	368,0	72,0	13,75
W 5	60	193	456	3 979	4 868	81,7	103,0	38,5	18,25
D 5	»	97	143	»	»	»	»	«	7,75
W 6	90	335	595	5 969	7 240	82,0	141,0	42,5	20,50
D 6	»	121	220	»	»	»	»	»	8,15
W 2	120	630	633	7 959	9 523	83,5	163,0	49,0	22,00
D 6	»	107	194	»	»	»	»	»	9,25
W 1	200	1357	1257	13 266	16 034	82,7	237,0	56,0	24,00
D 7	»	110	94	»	»	»	»	»	10,75
W 5	400	1034	1496	24 030	26 777	90,0	227,0	106,0	28,90
D 7	»	117	100	»	»	»	»	»	11,15
W 0	500	1357	2375	33 165	37 46	88,0	384,0	86,5	32,50
D 2	»	177	206	»	»	»	»	»	9,50

Machines Siemens à courant continu. — Conditions normales de fonctionnement : *G. Boistel* (1883).

TYPE	NOMBRE DE TOURS.	VOLTS.	AMPÈRES.
D ⁰	750	95	108
D ¹	450	84	70
D ⁵	1200	50	22
D ⁶	1100	67	20
D ⁷ A	1250	129	20
D ⁷ B	1000	62	37
D ⁸ A	800	336	8,8
D ⁸ B	1000	224	20
D ⁸ C	650	78	37

Machines Edison. — A courant continu, excitées en dérivation donnent 110 volts aux bornes et une intensité de courant proportionnelle au nombre de lampes A toujours disposées en dérivation, à raison de 0,75 ampère par lampe. Elles se construisent à Paris (1882) d'après les types suivants :

TYPE.	NOMBRE DE LAMPES A.	POIDS DE L'ARMATURE.	POIDS DES ÉLECTROS.	POIDS TOTAL.	LARGEUR DE LA POULIE.	DIAMÈTRE DE LA POULIE.	NOMBRE DE TOURS.	RÉSISTANCE DE L'ARMATURE.	RÉSISTANCE DES ÉLECTROS.	TRAVAIL EN CHEVAUX SUR LA POULIE.
E	15	108,84	226,75	335,5	76,2	127	2200	0,36	90	3
Z	60	136,05	859,38	1233	152,4	254	1200	0,138	38	10
L	150	226,75	1673,41	2580	228,6	355	900	0,071	19	18
K	250	317,45	2428,49	3814	»	»	900	0,032	13	35
C	1200	6031,55	13151,00	28707	»	»	350	0,0038	25	125

Machine Edison (1884). — Modèle alimentant 1000 lampes du type dit de 16 bougies ou type A.

Induit. — 108 barres de cuivre, 2000 disques de fer formant le

noyau. Diamètre : 71 centimètres, longueur : 4^m,50, vitesse à la circonférence : 41^m,30 par seconde. Résistance de l'armature : 0,0005 ohm.

Inducteur. — 12 barres de fer de 2^m,40 de long et 12 bobines en deux circuits parallèles, dont la résistance est de 21 ohms, montées en dérivation sur les balais. Le moteur est de 130 chevaux nominaux.

Machine Edison-Hopkinson (1883). — Caractérisée par un raccourcissement des inducteurs et des changements dans les dimensions relatives des différents organes. Les deux inducteurs montés en série présentent une résistance totale de 36,5 ohms à froid et de 37 ohms à chaud. La bobine a 0,026 ohm de rés. à froid et 0,0325 ohm à chaud ; son diamètre est de 22,5 cm. sans le fil, et de 26,3 cm. avec le fil. La longueur moyenne de la bobine est de 108 centimètres.

Le tableau ci-dessous résume les principaux résultats obtenus par M. J. Sprague avec cette machine dans 3 expériences. Le coefficient de transformation est le rapport du travail absorbé au travail transformé en énergie électrique. Le rendement commercial est le rapport du travail absorbé à l'énergie électrique disponible dans le circuit extérieur. La machine peut alimenter environ 10 lampes B par cheval de travail absorbé.

ÉLÉMENTS.	1.	2.	3.
Nombre de tours par minute	1081	1157	1179
Nombre de lampes Edison B alimentées.	199	199	237
Intensité du courant en ampères :			
dans les inducteurs.	2,68	2,92	2,95
dans la bobine	112,6	123,1	144,6
totale.	115,24	126	147,6
Force électromotrice en volts.	103	112,1	114,1
Différence de potentiel aux bornes	99,3	108	109,3
Énergie électrique en chevaux-vapeur :			
dans les inducteurs.	0,36	0,42	0,43
dans la bobine	0,58	0,69	0,95
dans les lampes.	14,97	17,81	21,18
totale	15,91	18,92	22,56
Travail absorbé	16,63	20,12	23,79
— total fourni	17,34	20,88	24,56
Coefficient de transformation.	95,7	94	94,8
Rendement commercial.	85	85	86

Machine Bürgin. — 48 bobines de fil de 48 pieds de long chacune, fil recouvert de coton de 0,065 de pouce de diamètre. Résistance intérieure de

balai à balai : 1,6 ohm. Inducteur : 1,2 ohm, fil de 0,141 pouce de diamètre. A 1500 tours la f. e. m. est de 195 volts. La vitesse du cercle moyen est de 2550 pieds par minute (Mesures anglaises).

ÉLÉMENTS.	16 DÉRIVATIONS DE 3 LAMPES EN SÉRIE.	15 DÉRIVATIONS DE 2 LAMPES EN SÉRIE.	20 DÉRIVATIONS D'UNE SEULE LAMPE.
Vitesse de la machine.	1540 à 1560	1260 à 1275	1290 à 1340
Force électromotrice (volts).	186	135	138
Intensité du courant (am- pères).	15	13,26	20,21
Travail moteur (au dia- gramme).	5,05	4,05	5,22
Travail dépensé en chevaux.	3,67	2,67	3,84
Énergie électrique produite (en chevaux).	3,30	2,40	3,70
Travail intérieur (°/o).	23	28	42
Pertes dans les conducteurs.	16	19	29
Énergie utilisée dans les lampes	60	52	29
Travail total dans le circuit extérieur.	76	69	58
Nombre de lampes par che- val	13,1	11,3	5,2

Machine Brush, type de 16 lampes à arc (1879) (Brush).

Vitesse moyenne en tours par minute	770	
Force électromotrice.	839	volts.
Intensité du courant fourni.	10,04	ampères.
Résistance de la machine de borne à borne.	10,55	ohms.
— du circuit extérieur	72,96	—
— totale	83,51	—
Puissance totale dépensé	15,48	horse-power.
Puissance utilisée sur la machine.	13,78	—
Énergie électrique produite.	11,28	—

On retrouve dans le circuit extérieur 87 pour 100 de l'énergie électrique totale produite par la machine; la machine transforme en énergie électrique 81,89 pour 100 du travail absorbé. Les lampes fonctionnent avec 45 volts de différence de potentiel aux bornes; l'électro-aimant de réglage établi en dérivation absorbe environ $\frac{4}{100}$ du courant. (Le diamètre des charbons et la puissance lumineuse n'ont pas été donnés par les expérimentateurs.)

Machine Elphinstone-Vincent (1882). — Induit sans fer, rés. de l'induit : 0,0374 ohm ; les inducteurs forment deux circuits séparés de 8,5 ohms chacun, ils sont toujours excités en dérivation, et groupés, soit en quantité ($R = 4,25$ ohms), soit en tension ($R = 17$ ohms), par la manœuvre d'un commutateur.

A 868 tours, inducteurs en quantité ($R = 4,25$), la machine fournit, sur une résistance extérieure de 0,4 ohm, un courant de 180 ampères et 72 volts aux bornes. A 855 tours elle alimente 144 dérivation de 2 lampes Swan en tension ($i = 1,32$ ampère), type de 20 candles. Avec les inducteurs en tension ($R = 17$ ohms) et une vitesse de 1050 tours, elle alimente 152 lampes Swan en 76 dérivation de deux lampes en tension.

MACHINES A COURANTS ALTERNATIFS

Machine Ferranti-Thomson (1882) (*Phillips*). — Courants alternatifs, induit mobile sans fer, tournant à 1900 tours.

Résistance des inducteurs	2,5 ohms.
— de l'excitatrice	0,5 —
— totale de l'excitation.	3,0 —
Courant d'excitation.	22,5 ampères.
Intensité du courant utile	156 —
Force électromotrice totale.	125 volts.
Résistance de l'induit	0,0265 ohm.
— extérieure.	0,7735 —
— totale.	0,8 —
Énergie électrique totale fournie par la machine.	1947 kgm. par seconde.
Énergie électrique dépensée par l'excitation.	152 —
— totale.	2099 —
— disponible dans le circuit extérieur.	1874 —
Rendement électrique	0,89

La machine pèse en tout 550 kilogrammes et entretient 300 lampes Swan, dont les constantes sont : 41 volts et 1,3 ampère, montées en 100 dérivation de trois lampes en tension.

Machine Ferranti. — *Type de 1000 lampes* (1883).

L'essai a porté sur 840 lampes Swan de 0,63 ampères montées en dérivation.

Vitesse de la machine en tours par minute	1400
Résistance réduite des 840 lampes.	0,179 ohm.
— de la machine à froid.	0,005 —
Intensité totale.	529 ampères.
Différence de potentiel aux bornes des lampes.	95 volts.
Travail absorbé.	82,4 chevaux-vapeur.

Rapport du circuit extérieur à la résistance intérieure	35,8
Résistance de l'excitatrice	2,75 ohms.
— des inducteurs de la machine	7,57 —
Courant d'excitation	22,7 ampères.
Nombre de lampes de 20 candles alimentées par cheval mécanique absorbé	10,2

Machines Siemens à courants alternatifs. — Aux vitesses normales de fonctionnement, avec l'excitation convenable à chaque type, chaque bobine induite peut développer 50 volts de f. e. m. et fournir un courant de 12 ampères. La puissance de chaque machine dépend du nombre de bobines, et les qualités du courant fourni du couplage de ces bobines en un ou plusieurs circuits, en dérivation ou en tension, etc.

La machine Siemens W² alimentant 12 foyers à arc disposés en 3 circuits de 4 lampes en tension a fourni les résultats suivants à la commission de l'Exposition d'électricité de 1881 :

	Génératrice W ²	Excitatrice D ⁶
Nombre de tours par minute	620	1230
Travail dépensé en chevaux	13,79	2,60
Intensité du courant en ampères,	12,8	16
Diamètre du fil des inducteurs en mm	3,5	3,5
Diamètre du fil des induits en mm.	2,5	2
Chute de potentiel dans l'arc	55 volts.	
Travail électrique des arcs	11,31 chevaux-vapeur.	
Travail électrique total	15,26 —	

La machine transforme en électricité 93 % du travail mécanique ; on retrouve dans le circuit extérieur, sous forme d'énergie électrique disponible, 69 % du travail mécanique dépensé et 74 % de l'énergie électrique totale produite. Avec des crayons de charbon de 10 mm., chaque foyer produit 39 becs Carcel (intensité moyenne sphérique), soit 33 becs par cheval mécanique, 41,4 becs par cheval électrique et 3,66 becs par ampère.

Machine Méritens (1880). — Machine magnéto-électrique à cinq disques et 16 bobines sur chaque disque. Chacun des disques alimente une lampe Berjot avec crayons de 20 mm. Les 16 bobines sont groupées en quatre groupes en quantité de 4 bobines en tension.

RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES DE LA COMMISSION D'ÉLECTRICITÉ DE 1881

Nombre de tours par minute	874
Travail moteur total	12,28 chevaux-vapeur.
— à circuit ouvert	4,55 —
Travail total des arcs	8,40 —
Résistance de chaque disque	0,18 ohm

Intensité du courant.	35,8 ampères
Différence de potentiel aux bornes du foyer.	36,0 volts

La machine transforme en énergie électrique 85 % du travail mécanique dépensé ; et rend 68 % du travail dépensé en énergie électrique disponible dans le circuit extérieur. Elle produit 5 foyers dont l'intensité lumineuse moyenne sphérique est de 150 becs Carcel par foyer, soit 60 becs par cheval d'énergie électrique ou cheval d'arc, et 3,6 becs Carcel par ampère.

Mesure de l'intensité du courant et de la force électromotrice des machines à courants alternatifs. — Le procédé le plus élégant et le plus précis pour déterminer les conditions de fonctionnement des machines à courants alternatifs, consiste à faire usage de l'électromètre à quadrants de M. Mascart, par une méthode idiostatique due à M. Joubert (1880).

Soient A le potentiel d'une paire de quadrants, B le potentiel de l'autre paire ; on relie l'aiguille à la paire de quadrants A. En appelant d la déviation, k une constante dépendant de l'appareil et de l'écartement de la suspension bifilaire, la formule générale donne :

$$d = \frac{k}{2} (A - B)^2.$$

Détermination de la constante k . — On met chacune des paires de quadrants respectivement en communication avec les deux pôles d'une pile formée de n éléments de f. e. m. e , bien isolés (éléments Daniell de f. e. m. connue) montés en tension ; on lit la déviation produite et l'on en déduit :

$$k = \frac{2d}{n^2 e^2}.$$

En exprimant e en volts, l'appareil donne les valeurs de $(A - B)$ en volts et les valeurs de I en ampères.

Détermination de l'intensité. — On intercale dans le circuit à mesurer une résistance connue R (en ohms) disposée de façon à ne pas produire de self-induction (fil rectiligne, charbons, fil roulé en double, etc.), et on relie les deux paires de quadrants aux extrémités de cette résistance qui prennent les potentiels de ces deux points et font dévier l'aiguille d'une quantité

$$d = \frac{k}{2} (A - B)^2.$$

A et B étant les potentiels respectifs aux extrémités de la résistance R .

En appliquant la loi de Ohm, on a pour l'intensité I :

$$I = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{2d}{k}}$$

En posant $\sqrt{\frac{2d}{k}} = a$, la formule devient :

$$I = \frac{a \sqrt{d}}{R}$$

La déviation est indépendante du signe de la différence de potentiel. Avec des courants alternatifs dont la période est petite par rapport à la durée des oscillations de l'aiguille, celle-ci, toujours entraînée dans le même sens, prend une déviation fixe proportionnelle à la moyenne des valeurs successives du carré de $(A - B)$. C'est donc l'intensité *moyenne* que fournit la méthode, c'est aussi celle que fourniraient l'électro-dynamomètre ou les méthodes calorimétriques.

Détermination de la différence de potentiel aux bornes de la machine, des lampes et autres appareils qui utilisent le courant. — L'appareil donne encore la valeur *moyenne* de la différence de potentiel $(A - B)$ entre les différents points du circuit. Soit d' la déviation obtenue lorsque les quadrants sont reliés à deux points donnés, la formule devient :

$$(A - B) = \sqrt{\frac{2d'}{k}}$$

L'électromètre est le seul appareil actuellement connu permettant de mesurer directement la différence de potentiel moyenne entre les différents points d'un circuit traversé par des courants alternatifs.

Détermination de l'énergie absorbée. — On mesure l'intensité I en ampères et la différence de potentiel entre deux points donnés du circuit en volts, on a alors pour l'énergie consommée W :

$$W = \frac{EI}{9,81} \text{ kgm. par seconde.}$$

Si d est la déviation de l'électromètre branché aux extrémités de la résistance connue R , et d' la déviation entre les deux points de consommation, on a :

$$W = \frac{a^2}{9,81R} \sqrt{dd'} \text{ kgm. par seconde,}$$

M. *Joubert* fait remarquer que, dans le cas des courants alternatifs, le calcul qui précède donne la valeur de l'expression :

$$\frac{1}{Rt} \sqrt{\int (A - B)^2 dt \times \int (A' - B')^2 dt}$$

t étant un temps quelconque, suffisamment grand par rapport à la durée d'une période, tandis que l'expression vraie du travail est :

$$W = \frac{1}{Rt} \int (A - B) (A' - B') dt.$$

En pratique, les deux intégrales ne diffèrent pas d'une manière sensible.

Voici une méthode due à M. *Potier* (1881), qui donne la valeur exacte du travail, tout en ne demandant que deux déterminations.

Mesure directe de l'énergie dépensée entre deux points donnés d'un circuit. — Soient A et B les potentiels aux deux extrémités d'une résistance connue R intercalée dans le circuit et n'ayant pas de self-induction, A', B', les potentiels des deux points entre lesquels se produit la consommation d'énergie à mesurer.

On isole l'aiguille des quadrants et on établit la communication des quadrants avec A et B. On met l'aiguille en communication avec A', on observe la déviation d . La formule générale de l'électromètre donne :

$$d = k (A - B) \left(A' - \frac{A + B}{2} \right).$$

On met l'aiguille en communication avec B', on observe d' :

$$d' = k (A - B) \left(B' - \frac{A + B}{2} \right)$$

d'où :

$$d - d' = k (A - B) (A' - B')$$

$$d - d' = kRIE = kRW$$

$$W = \frac{d - d'}{kR} = \frac{a^2}{2R} (d - d').$$

On détermine a par la méthode de M. *Joubert* avec une pile de n éléments, on mesure R en ohms, et la formule donne :

$$W = \frac{a^2}{2R} (d - d') \times \frac{1}{9,81} \text{ kgm. par seconde.}$$

La méthode est rigoureuse et applicable aussi bien à une résistance inerte qu'à une lampe, un moteur électrique, etc.

MOTEURS ÉLECTRIQUES

Tout appareil capable de transformer l'énergie électrique en travail mécanique est un *moteur électrique*. Les télégraphes, les horloges électriques, etc., sont aussi, en principe, des moteurs électriques, mais on réserve plus spécialement ce nom aux appareils qui effectuent cette transformation d'une manière *continue*, dans le but de produire, non pas des signaux acoustiques, optiques ou enregistrés, mais un travail mécanique constant.

Tout générateur mécanique d'électricité à courants alternatifs, redressés ou continus, est susceptible, par réversibilité, de constituer un moteur électrique, mais, en pratique, on ne fait usage que des machines à courants redressés ou à courant continu.

Moteurs à courants redressés. — Leur simplicité de construction et leur bon marché relatif leur créent une supériorité économique sur les moteurs à courant continu, surtout pour les petites forces. Il en existe un grand nombre de variétés, dans lesquelles on retrouve toujours la bobine de Siemens en double T tournant dans un champ magnétique constitué par un aimant ou un électro-aimant. Les plus connus sont ceux de MM. *Marcel Deprez, Trouvé, Griscom, Cloris Baudet, Mercier*, etc. L'inversion de polarité dans la bobine doit s'effectuer deux fois par tour, on a intérêt à diminuer l'inertie magnétique en réduisant le plus possible les dimensions de la bobine; c'est pour cela, comme l'a montré M. Marcel Deprez, que le rendement des moteurs à *petite bobine* est bien supérieur à celui des appareils, aujourd'hui abandonnés, de Froment, Page, Larmenjeat, etc., dans lesquels les inversions de polarité ou les aimantations et désaimantations se produisaient sur de *grandes* masses magnétiques. Dans quelques modèles récents, on a supprimé complètement les masses magnétiques dans les parties, fixes ou mobiles, soumises aux inversions de courant, mais nous n'avons encore aucun chiffre sur ces petits moteurs, parmi lesquels nous citerons celui de *M. Bürgin* (1881) et celui de *M. Jablochhoff* (1882).

Moteurs à courant continu. — Dès qu'il s'agit de produire un travail un peu important, on fait usage de machines à courant continu: les plus employées à cet effet sont celles de Gramme et de Siemens, modifiées dans leurs formes et dans la grosseur du fil qui recouvre les inducteurs et la bobine pour les approprier à la nature des courants qui doivent les alimenter.

Énergie électrique absorbée par un moteur W_e . — Elle

est égale au produit de l'intensité du courant qui le traverse par la différence de potentiel aux bornes :

$$W_e = \frac{EI}{9,81} \text{ kgm. par seconde.}$$

Travail électrique produit par un moteur. — Il est égal au produit de l'intensité I du courant qui le traverse par la force contre-électromotrice E' que le moteur développe.

Échauffement du moteur. — Il est égal à la différence entre l'énergie électrique qu'il absorbe et l'énergie qu'il transforme en travail électrique. Lorsqu'on connaît la résistance intérieure et l'intensité du courant, on a :

$$\text{Échauffement du moteur} = \frac{RI^2}{9,81} \text{ kgm. par seconde.}$$

Travail mécanique d'un moteur. — Travail effectif disponible mesuré au frein. Il est toujours inférieur au travail électrique.

Moteur Deprez (1879). — Bobine à double T de Siemens tournant entre les branches d'un aimant en U.

Expériences de M. d'Arsonval. — Bobine de 35 mm. de long, 30 mm. de diamètre, fil de 1 mm., poids de l'aimant 1700 grammes.

NOMBRE D'ÉLÉMENTS BUNSEN.	4	5	6
Nombre de tours par minute.	140	205	»
Travail par minute en kgm.	35	51	60
Intensité du courant I	4,1	4,41	5
Différence de potentiel aux bornes E . . .	4,05	5,1	6
Énergie dépensée par minute.	79	135	180
Travail par gr. de zinc brûlé en kgm. . .	107	134	100

La combustion de 1 gramme de zinc dans la pile produit 1,2 calorie (kg. d.) ou 510 kgm. Le moteur transforme en travail mécanique jusqu'à 26 o/o de l'énergie calorifique produite par l'action chimique de la pile.

Moteur Trouvé. — Bobine Siemens à faces légèrement excentrées avec inducteur en circuit.

Modèle à 1 bobine. — Poids 3300 grammes. Travail au frein 3,75 kgm. $I = 20$ ampères avec 6 éléments au bichromate en tension.

Avec 6 Bunsen en tension, le moteur consomme 24 grammes par heure et par élément, soit 144 grammes pour la pile entière. Le travail produit est 13500 kilogrammètres par heure.

Travail produit par gramme de zinc consommé : 93 kilogrammètres.

Machine Gramme à aimants permanents, modèle de laboratoire (*d'Arsonval*). — L'aimant primitif trop faible a été remplacé par un faisceau des machines de l'Alliance. Voici les résultats des deux expériences les plus caractéristiques.

NOMBRE D'ÉLÉMENTS BUNSEN.	4	6
Travail par minute en kgm.	60	100
Intensité du courant I.	3,3	3,4
Différence de potentiel aux bornes E.	4,95	7,5
Énergie électrique fournie au moteur par seconde	1,63	2,59
Rendement du moteur.	0,61	0,64
Travail produit par gramme de zinc en kgm.	225	250

On retrouve en travail sur le moteur 50 0/0 de l'énergie calorifique produite par l'action chimique de la pile. Une machine de Gramme de plus grand modèle a fourni avec 8 éléments Bunsen, 12 volts aux bornes, et un courant de 1,72 ampère, un travail effectif de 92 kgm. par minute et jusqu'à 368 kgm. par gramme de zinc dissous, soit 73 0/0 de l'énergie calorifique totale. Le moteur a transformé en travail 75 0/0 de l'énergie qui lui a été effectivement fournie de borne à borne.

Moteur actionné par une pile. — Voici une règle pratique pour placer l'ensemble dans les conditions de travail maximum. On cale le moteur et on mesure l'intensité du courant; on laisse alors tourner le moteur jusqu'à ce que l'intensité diminue de moitié, et on maintient la vitesse correspondant à cette nouvelle intensité. Le travail produit est alors maximum et le rendement égal à 50 pour 100. En laissant tourner le moteur plus vite, on augmente le rendement et on diminue le travail produit par unité de temps. Pour une même quantité de travail produite par seconde à différentes allures, l'allure la plus rapide correspond toujours au meilleur rendement électrique.

Moteurs Gramme et Siemens. — Le rendement des moteurs électriques diminue avec la quantité de travail qu'on leur fait produire par unité de temps.

C'est ce qui résulte d'expériences faites à Grenoble en 1883 par une commission chargée d'étudier les appareils de distribution de M. Deprez.

Il suffit de jeter un coup d'œil sur les chiffres du tableau ci-contre pour voir que ces moteurs fonctionnaient avec des intensités de courant et des forces électromotrices bien inférieures à celles qui correspondent à leur allure normale.

Cinq machines (deux Gramme et trois Siemens) ont fonctionné à une pression constante de 39 volts dans les conditions suivantes :

ÉLÉMENTS.	MACHINES GRAMME		MACHINES SIEMENS		
	1.	2.	3.	4.	5.
Résistance intér. en ohms..	1,25	1,09	0,622	1,307	0,615
Intensité du courant en ampères.	9,7	11,3	18	19	19,3
Énergie électrique fournie en kgm. par seconde. . .	38	44	70	74	75,3
Travail mécanique recueilli.	18	19,5	40	39	35,3
Rendement.	0,47	0,44	0,57	0,53	0,50

Moteurs de MM. Ayrton et Perry (1883), — Ces petits moteurs établis pour fournir environ 0,3 cheval-vapeur (de 22 à 25 kilogrammètres par seconde), sont établis sur trois types d'un poids uniforme de 16 kilogrammes et fonctionnent avec une différence de potentiel aux bornes de 25,50 ou 100 volts. Voici les principales conditions de fonctionnement de ces trois types :

	TYPE DE 25 VOLTS.	TYPE DE 50 VOLTS.	TYPE DE 100 VOLTS.
Tours par minute	1800	2000	2100
Volts aux bornes.	23	48	98
Courant en ampères	25	14,2	6,1
Travail disponible en chevaux-vapeur.	0,30	0,33	0,35
Rendement	0,39	0,36	0,38

TRANSMISSION DE FORCE A DISTANCE

Fondée sur le principe de la *réversibilité*.

Le courant produit par la *génératrice* actionne la *réceptrice* ou *moteur*.

Cas théorique. — Soient :

E la force électromotrice développée par la génératrice (volts);

E' la force contre-électromotrice développée par la réceptrice (volts);

I l'intensité du courant (ampères);

R la résistance intérieure de la génératrice (ohms);

R' la résistance intérieure de la réceptrice (ohms);

R'' la résistance de la ligne (ohms).

Lorsque l'isolement de la ligne est parfait, on a :

$$I = \frac{E - E'}{R + R' + R''};$$

W travail dépensé par la génératrice (transformé en énergie électrique):

$$W = \frac{EI}{9,81} \text{ kgm. par seconde};$$

W' travail électrique produit par la réceptrice :

$$W' = \frac{E'I}{9,81} \text{ kgm. par seconde.}$$

W'' énergie électrique dépensée par l'échauffement du circuit (machines et ligne) :

$$W'' = \frac{I^2 (R + R' + R'')}{9,81} \text{ kgm. par seconde.}$$

$$\text{Rendement électrique} = \frac{W'}{W} = \frac{E'}{E}.$$

Le rendement est indépendant des résistances et, par suite, de la distance des deux machines, dans le cas d'un isolement parfait de la ligne.

Travail produit maximum. — Le travail produit étant proportionnel à $E'I$, suit toutes les variations de ces deux facteurs. Toutes choses égales d'ailleurs, il diminue lorsque R'' augmente, c'est-à-dire qu'il diminue lorsque la distance augmente. La distance influence sur le travail produit et non pas sur le rendement. Le travail produit est maximum lorsque

$$E' = \frac{E}{2}.$$

Le rendement électrique correspondant est de 50 pour 100.

Lorsque E' augmente, le rendement augmente de 0,50 à 1, mais le travail produit diminue. A la limite théorique, lorsque $E' = E$, le rendement = 1 et le travail produit = 0.

Le travail produit diminuant à mesure que la résistance totale augmente, pour transporter une quantité de travail donnée, sans changer le rendement théorique, on est obligé, à mesure que la résistance augmente, d'augmenter les f. e. m. E et E' et de diminuer l'intensité du courant I . Les trois équations qui donnent W , W' et W'' permettent de calculer les valeurs théoriques de I , E et E' lorsqu'on se fixe le travail à transporter,

le travail à dépenser et la perte à laquelle on veut consentir par échauffement du circuit, la rés. de la ligne étant imposée par les conditions de distance et d'économie d'établissement.

Limite théorique du travail transmis sur une ligne de résistance donnée. — On peut théoriquement transporter une quantité indéfinie de travail sur une ligne de distance quelconque en prenant des f. e. m. suffisamment élevées. En pratique, on est très rapidement limité par le danger que présentent les tensions élevées et l'influence nuisible des dérivations qui augmente très rapidement avec ces tensions. Si, par exemple, on s'impose la condition de ne pas dépasser à la génératrice une f. e. m. de 3000 volts, et qu'on accepte sur la ligne une perte d'énergie par échauffement égale à 20 % du travail dépensé, un calcul très simple fait connaître la limite théorique du travail qu'on peut transporter, celle de l'intensité du courant et celle du travail recueilli en supposant un rendement final de 50 %. Les résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous :

LIMITES THÉORIQUES DU TRANSPORT DE LA FORCE A DISTANCE ($E = 3000$ volts. Echauffement de la ligne = 0,20 du travail dépensé par la génératrice. — Pertes par dérivation = 0).

Résistance de la ligne en ohms.	Intensité du courant maximum en ampères.	Travail maximum transformé en énergie électrique par la génératrice en chevaux.	Travail recueilli sur la réceptrice en chevaux pour un rendement de 0,50.	Perte d'énergie par la résistance du conducteur en chevaux.
5	120	480	240	96
10	60	240	120	48
20	30	120	60	24
50	12	48	24	9,6
100	6	24	12	4,8
200	3	12	6	2,4
500	1,2	4,8	2,4	1,2
1000	0,6	2,4	1,2	0,48

Cas pratique. — En pratique, le travail dépensé est toujours plus grand et le travail recueilli toujours plus petit que les valeurs respectives données par les formules, à cause des frottements, actions secondaires, pertes par dérivations, etc.; aussi convient-il de modifier les formules en les

affectant de coefficients pratiques encore inconnus pour la plupart. Il n'est donc pas étonnant que les mesures directes soient considérablement en désaccord avec les indications de la théorie.

Rendement. — Il n'est pas de mot qui prête plus à interprétations diverses que le mot *rendement* appliqué aux expériences électriques, sans autre qualificatif. Sa signification mécanique exacte est : *Rapport entre le travail produit et le travail dépensé par une machine*, mais en électricité, eu égard à la multiplicité des effets que peut produire le courant, il reçoit une foule d'acceptions. Pour éviter toute confusion, il convient de faire toujours suivre le mot *rendement* de certains noms ou adjectifs qui le définissent exactement.

Rendement électrique d'un générateur. — Rapport entre le travail mécanique dépensé et l'énergie électrique totale fournie, c'est-à-dire entre le travail dépensé et la somme de travail qu'il transforme en énergie électrique.

Rendement électrique disponible. — Rapport entre le travail mécanique dépensé et l'énergie électrique disponible entre les bornes du générateur dans le circuit extérieur.

Rendement mécanique d'un moteur électrique. — Rapport entre l'énergie électrique qui lui est fournie de borne à borne et le travail mécanique qu'il produit, mesuré au frein.

Rendement électrique d'une transmission de force. — Rapport entre le travail transformé en énergie électrique par le générateur et l'énergie électrique transformée en travail dans le moteur. Lorsqu'il n'y a pas de pertes par dérivations, le rendement électrique est égal au rapport $\frac{E'}{E}$.

Rendement mécanique ou industriel d'une transmission de force à distance. — Rapport entre le travail recueilli au frein sur le moteur et le travail dépensé au dynamomètre sur la machine génératrice. C'est toujours de ce rendement dont on veut implicitement parler lorsqu'on discute le *rendement*, sans épithète.

Expériences de M. Marcel Deprez. — *Entre Miesbach et Munich (1882).* — Deux machines Gramme type A à fil fin, reliées par une double ligne télégraphique aérienne formée d'un fil de fer de 4,5 mm. de diamètre. Diamètre du fil des machines : 0,4 mm.

Résistance de la ligne	950,2	ohms.
— de la génératrice.	453,1	—
— de la réceptrice	453,4	—
Intensité du courant à la génératrice	0,519	ampère.
Différence de potentiel aux bornes de la ré- ceptrice	850	volts.

Travail électrique disponible à la réceptrice	0,433 cheval-vapeur.
— de la génératrice (<i>calculé</i>).	1,13 —
Travail effectif recueilli	0,25 —
Rendement électrique (<i>calculé</i>).	38,9 pour 100
Rendement mécanique (<i>calculé</i>).	22,1 —

Expériences du chemin de fer du Nord (1883). — Une machine Marcel Deprez à double anneau Gramme comme génératrice, une machine Gramme type D comme réceptrice. Diamètre du fil : 1 mm. (Le couplage des machines disposées côte à côte rend l'influence des dérivations favorable, au lieu de la rendre nuisible, comme dans le cas ordinaire où les machines sont placées à chaque bout de la double ligne). La ligne est constituée par un fil télégraphique de 4 mm. de diamètre, de 17 kilomètres de longueur, et de 160 ohms de résistance.

Résistance de la génératrice.	56 ohms.
— réceptrice	83 —

Voici les résultats moyens de deux séries d'expériences faites par MM. Tresca, Hopkinson et Cornu :

	1 ^{re} série.	2 ^e série.
Intensité du courant en ampères.	2,559	2,687

Génératrice :

Force motrice dépensée au dynamomètre	6,21	10,40
Nombre de tours par minute.	590	814
Différence de potentiel aux bornes.	1290	1865
Énergie électrique produite.	4,42	6,81

Réceptrice :

	1 ^{re} série.	2 ^e série.
Nombre de tours par minute.	365,8	595
Différence de potentiel aux bornes.	908	1485
Énergie électrique fournie à la réceptrice	3,12	5,42
Travail mécanique produit (mesuré au frein).	2,03	3,30
Rendement mécanique industriel	0,326	0,317

Entre Vizille et Grenoble (1883). — Génératrice : Machine à deux anneaux Gramme couplés en tension (type Marcel Deprez n° 10) disposés sur le même axe, inducteurs formés de deux électro-aimants en U.

Réceptrice : Machine Gramme, type D, transformée.

Distance de transport : 14 kilomètres. Ligne aérienne formée de deux fils (aller et retour), en bronze silicieux de deux millimètres de diamètre.

Résistance de la ligne.	167 ohms.
---------------------------------	-----------

Résistance de la génératrice :

Inducteur	20,1	} 56,7 ohms.
Anneaux $2 \times 18,3$	36,6	

Résistance de la réceptrice :

Inducteurs	61,0	} 97,0 —
Anneaux	36,0	

ÉLÉMENTS.	EXPÉRIENCES	
	D 2.	N 1.
Tours par minute de la génératrice	995	1140
— de la réceptrice	618	875
Travail moteur sur l'arbre du frein (en chevaux-vapeur)	16,28	16,90
Travail moteur brut	12,61	11,56
Travail transmission déduite	12,27	11,18
Travail reçu au frein	6,33	6,97
Rendement mécanique	51,6	62,3
Intensité moyenne du courant (en ampères)	3,46	2,85
Force électromotrice de la génératrice E	2848	3146
— de la réceptrice e	1737	2231
Rendement électrique $\frac{e}{E}$	60,9	7,8

Pertes par dérivation sur la ligne. Des expériences faites à l'aide de voltamètres à azotate d'argent sur la ligne en bronze silicieux posée provisoirement et tout nouvellement, ont donné les résultats suivants :

ÉLÉMENTS.	EXPÉRIENCES	
	1.	2.
Force électromotrice de la génératrice (en volts)	2808	3128
Différence de potentiel aux bornes (id.)	2627	2934
Intensité du courant à Vizille (en ampères)	3,268	3,514
— à Grenoble (id.)	3,099	3,282
Perte pour 100	5,1	6,6

LUMIÈRE ÉLECTRIQUE

La *lumière électrique* est une application directe de la chaleur produite par les courants. On utilise et on concentre cette chaleur dans le plus petit espace possible pour élever le plus possible la température et rendre le corps lumineux. Suivant la nature du conducteur traversé et rendu lumineux par le courant, on distingue trois grands moyens de produire pratiquement la lumière électrique :

1° *Air raréfié* rendu lumineux par le passage du courant, ou *effluve* ;

2° *Arc voltaïque* formé par le passage d'un courant électrique dans de l'air porté à une haute température ; cet air chauffe des crayons de charbon ou des matières réfractaires *par contact direct* et les rend incandescentes ;

3° *Incandescence*. Matière solide, charbon en général, portée directement à une température élevée par le passage du courant.

Nous nous occuperons seulement ici de l'arc voltaïque et de l'incandescence, la lumière produite par l'effluve n'ayant pas encore reçu jusqu'ici d'application dans la pratique.

ARC VOLTAÏQUE

Le plus souvent, pour ne pas dire toujours, l'arc voltaïque est produit entre deux crayons de charbon artificiel aggloméré. La lumière est due, non pas à l'*arc* proprement dit, mais à l'*incandescence* des charbons portés à une haute température par le passage du courant.

La combustion des charbons produit leur usure et il convient, pour maintenir la fixité de la lumière et empêcher l'extinction, de maintenir les charbons à une distance convenable, soit à la main, soit à l'aide de *régulateurs* qui produisent le rapprochement d'une manière automatique plus ou moins parfaite, plus ou moins simple, plus ou moins économique.

Classification et principes des régulateurs électriques.

— On dit qu'un régulateur est *monophote* lorsque son système de réglage est tel qu'il ne permet de placer qu'un seul foyer sur une source électrique donnée, pile ou machine ; il est *polyphote* lorsqu'on peut en placer plusieurs, soit en tension, soit en dérivation, soit en plusieurs groupes, suivant la qualité et la puissance des machines qui les alimentent. Le plus souvent le réglage est fondé sur des actions électro-magnétiques, et se produit :

1° *Par l'intensité*. — Le mécanisme tend à maintenir l'intensité du courant constante ;

2° *Par dérivation*. — L'électro-aimant de réglage roulé de fil fin est

établi en dérivation sur les bornes de la lampe et tend à maintenir constante la différence de potentiel entre ces deux points;

3° *Par action différentielle.* — Le réglage tend à maintenir un certain équilibre entre les deux facteurs de la circulation électrique, intensité du courant et différence de potentiel aux bornes, et agit dès que l'un ou l'autre de ces éléments tend à s'affaiblir ou à devenir trop prédominant;

4° *Régulateurs divers.* — Il existe enfin un certain nombre d'appareils fondés sur des actions différentes et d'une classification difficile. Dans les uns, on rajuste les charbons à intervalles de temps réguliers, une minute ou une demi-minute (*Brockie*); d'autres maintiennent une distance géométriquement constante, soit par l'usure même (*Rapieff*, lampe-soleil), soit en disposant les charbons parallèlement (bougies électriques), soit en utilisant la chaleur de l'arc lui-même pour produire le rapprochement au moment voulu (*Solignac*), etc.

Quant aux dispositions mécaniques, elles varient à l'infini, et la fécondité des inventeurs sur ce point est inépuisable. Engrenages, cordelettes, ressorts, poids moteurs, eau, mercure, air comprimé, électro-aimants de toute sorte, solénoïdes, électros à double fil, embrayages, freins mécaniques et magnétiques, etc., ont été employés ou proposés; une classification basée sur ces caractères ne présenterait donc aucun intérêt scientifique ni pratique.

Courants alternatifs et courant continu. — Lorsqu'on alimente un régulateur par des courants alternatifs, l'usure des charbons est la même si les charbons sont horizontaux; s'ils sont verticaux, le charbon supérieur s'use un peu plus vite que le charbon inférieur, dans le rapport de 108 à 100 environ, pour des charbons de même qualité et de même diamètre. Avec un courant continu, le charbon positif, qui se place en général à la partie supérieure, s'use environ deux fois plus vite que le charbon négatif et se creuse en forme de cratère. Lorsqu'on veut maintenir le point lumineux fixe dans l'espace, on doit donc tenir compte de l'usure si différente suivant la nature des courants employés.

Résistance de l'arc voltaïque. — La plus grande incertitude règne encore sur la valeur *exacte* de la résistance de l'arc voltaïque, à cause de l'ignorance dans laquelle on se trouve relativement à la *vraie* valeur de la force contre-électromotrice développée dans l'arc par le passage du courant. Nous ne donnerons donc **AUCUN** chiffre en présence des opinions contradictoires. Ces chiffres sont d'ailleurs *absolument inutiles* dans le calcul, car il suffit de connaître l'intensité du courant et la différence du potentiel aux bornes d'une lampe à arc donné pour calculer sa dépense en énergie électrique et les conditions que doit remplir la machine destinée à l'alimenter.

Énergie électrique absorbée par un foyer de lumière électrique. — Soient I l'intensité du courant (en ampères) nécessaire au bon fonctionnement d'une lampe électrique quelconque, arc, bougie, incandescence, etc., et E la différence de potentiel (en volts) aux bornes de la lampe. L'énergie électrique W absorbée par le foyer lumineux sera :

$$W = \frac{EI}{9,81} \text{ kgm. par seconde.}$$

En divisant la valeur de W par la puissance lumineuse L en becs Carcel, on aura le prix de l'unité de lumière en kilogrammètres d'énergie électrique.

En divisant la puissance lumineuse L par W , on aura au contraire le nombre d'unités de lumière que peut fournir un kilogrammètre d'énergie électrique. L'un ou l'autre de ces deux nombres caractérisent la valeur *absolue* d'un foyer électrique donné par rapport à la quantité d'énergie électrique qu'il consomme. Il va sans dire que le nombre d'unités de lumière par kilogrammètre de travail effectif fourni au générateur électrique est toujours inférieur au chiffre donné par la formule ci-dessus, car il comprend forcément le coefficient de rendement propre à la machine, la perte due à la résistance des conducteurs, et d'autres causes de perte indépendantes du foyer électrique proprement dit.

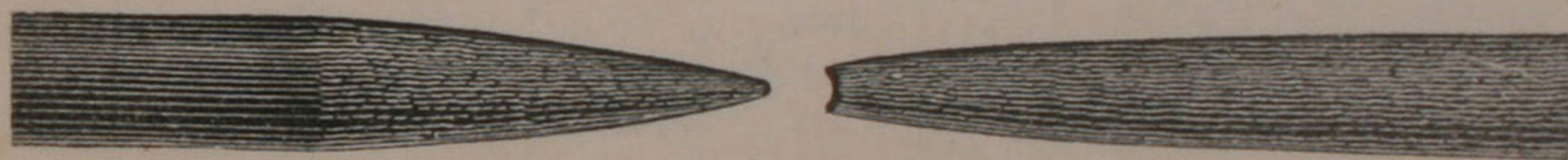
Charbons nus et métallisés (*E. Reynier*). — Expériences faites aux ateliers Sautter et Lemonnier avec une machine Gramme type A. Charbons Carré homogènes et d'une même fournée. Mesures photométriques prises en projetant la lumière en avant à l'aide d'une taille oblique, disposition reconnue par M. Lemonnier comme suffisante dans la pratique courante.

Cependant, lorsqu'on fait varier les sections des rhéophores et l'état de leurs surfaces, ce procédé pourrait être insuffisant. Aussi les évaluations photométriques inscrites sur le tableau (page 245) doivent-elles être considérées comme de simples renseignements, en attendant qu'il soit fait des mesures moins arbitraires.

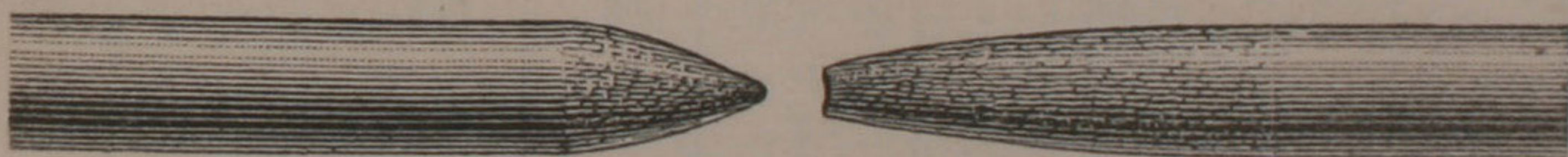
Le métal superficiel était peu adhérent ; il se détachait parfois par écailles. En améliorant les procédés de galvanisation, on parviendra certainement à obtenir un dépôt métallique très adhérent. Au positif, la taille est bonne avec le cuivre, et excellente avec le nickel. Au négatif, la taille, qui est un peu trop longue avec le charbon nu, a paru un peu trop courte avec les charbons métallisés. De plus, le métal reste parfois autour du charbon à la partie taillée, formant une gaine saillante nuisible. On éviterait sans doute cet inconvénient en métallisant le négatif avec du laiton.

DIMENSIONS.	ÉTAT DE LA SURFACE.	LONGUEUR DÉPENSÉE EN 1 HEURE.			LONGUEUR DE LA TAILLE.		PHOTOMÈTRE.
		Positif.	Négatif.	Total.	Positif.	Négatif.	
$d = 7 \text{ mm.}$ $s = 0^{\text{eq}},3846.$	Nue	166	68	234	53	23	947
	Cuivrée noircie.	146	40	186	24	10	?
	Nickelée noircie.	106	38	144	12	7	947
$d = 9 \text{ mm.}$ $s = 0^{\text{eq}},6358.$	Nue	104	50	154	45	22	528
	Cuivrée noircie.	98	34	132	27	7	553
	Nickelée noircie.	68	36	104	21	7,5	516

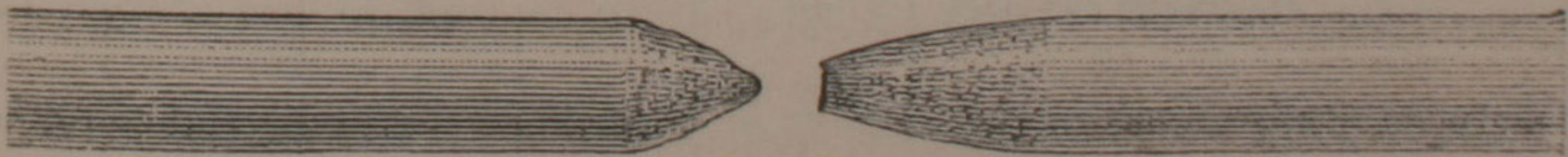
Remarques. — Indépendamment de l'amélioration apportée à la taille du positif, le nickel a prolongé de 50 pour 100 la durée du charbon de 9 mm. et de 62 o/o la durée du charbon de 7 mm. Le charbon cuivré



1. Taille des charbons nus.



2. Taille des charbons cuivrés.



3. Taille des charbons nickelés.

Expériences de M. E. Reynier sur la taille des charbons nus et métallisés.

a une durée intermédiaire entre le nu et le nickelé. A sections égales, la

INDICATIONS.	FORMULES.	I. GRAMME. I lampe.	II. JURGENSEN. I lampe.	III. MAXIM. I lampe.	IV. SIEMENS. I lampe.
Vitesse de la machine généra- trice.	T. par min.	475	800	1017	737
Travail moteur effectif.	T. chev.	16,13	21,68	4,07	4,44
Rés. de la machine en ohms . . .	»	0,33	0,45	0,70	0,66
Rés. du circuit sans les lampes.	»	0,10	0,82	0,25	0,13
Rés. totale	R ohms	0,43	1,27	0,95	0,78
Intensité du courant en amp. . .	I amp.	109,2	90	33	35
Chute de potentiel à la lampe en volts.	E volts.	53,0	58	53	53
Travail du circuit total.	$\frac{RI^2}{75 g}$	6,97	13,99	1,41	1,29
Travail d'une lampe.	$\frac{EI}{75 g}$	7,87	7,09	2,37	2,52
Travail des lampes	t chevaux	7,87	6,97	2,31	2,52
Travail électrique total.	T'	14,84	20,96	3,72	3,81
Force électromotrice moyenne.	nE + RI	102	172	84	80
Diamètre des charbons.	mm.	20	23	12	18
Intensité lumineuse horizontale	carcels	952	607	246	210
— — maximum..	id.	1960	»	465	805
— — moyenne sphérique.	l	966	688	239	306
— totale, moyenne sphé- rique.	L = nl	966	688	239	306
Rendement mécanique total . . .	$\frac{T'}{T}$	0,92	0,97	0,91	0,86
— — des arcs.	$\frac{t}{T}$	0,43	0,32	0,57	0,57
— — électrique des arcs.	$\frac{t}{T'}$	0,53	0,33	0,62	0,66
Carcels par cheval mécanique..	$\frac{L}{T}$	60,0	31,7	58,7	68,9
— — — électrique. . .	$\frac{L}{T'}$	65,1	32,8	64,2	80,3
— — — d'arc.	$\frac{L}{t}$	128,8	98,7	103,5	121,4
— — — par ampère.	$\frac{l}{I}$	8,85	7,64	7,24	8,74

V. SIEMENS. 2 lampes.	VI. BURGIN. 3 lampes.	VII. GRAMME. 3 lampes.	VIII. GRAMME. 5 lampes.	IX. SIEMENS. 5 lampes.	X. WESTON. 10 lampes.	XI. BRUSH. 16 lampes.	XII. BRUSH. 40 lampes.	XIII. BRUSH. 38 lampes.
1330	1535	1695	1496	826	1003	770	700	705
5,31	5,32	8,11	8,00	5,05	13,01	13,39	29,96	33,35
1,68	2,80	0,52	4,57	7,05	1,88	10,55	22,38	22,38
0,13	1,50	1,25	0,62	4,50	1,50	2,56	2,60	7,90
1,81	4,30	1,77	5,19	11,55	3,38	13,11	24,98	30,28
26,2	18,5	19,0	15,3	10,00	23	10	9,5	9,5
44,5	41	53	49,8	47,4	32	44,3	44,3	44,3
1,69	2,00	0,87	1,65	1,57	2,43	1,79	3,07	3,72
1,59	1,02	1,369	1,04	0,64	1,00	0,60	0,57	0,57
3,18	3,08	4,11	5,20	3,20	10,00	9,60	21,88	20,79
4,87	5,08	4,98	6,85	4,77	12,43	11,39	24,95	24,51
136	203	193	328	353	398	840	2009	1971
14	13	14	12	10	9 et 10	11	11	11
142	50	155	112	67	92	37	63	63
537	227	357	184	72	154	76	78	78
205	82	167	102	52	85	38	39	39
410	246	501	510	260	850	608	1560	1482
0,92	0,95	0,62	0,86	0,94	0,95	0,85	0,83	0,73
0,60	0,58	0,51	0,65	0,63	0,77	0,72	0,73	0,62
0,65	0,61	0,83	0,76	0,67	0,80	0,84	0,87	0,85
77,2	46,2	61,8	63,8	51,5	65,3	45,4	52,1	44,4
84,2	48,4	100,4	74,5	54,6	68,4	53,4	62,6	60,5
129,3	79,9	121,6	98,1	81,3	85,0	63,3	71,7	71,4
7,82	4,43	8,79	6,67	5,20	3,70	3,80	4,11	4,11

métallisation paraît ne pas modifier le rendement lumineux. Mais la section plus ou moins grande semble avoir une influence très sensible sur le pouvoir éclairant. Ainsi, les charbons de 7 mm. ont fourni des évaluations photométriques très supérieures à celles des charbons de 9 mm.

PROJECTEURS ET MACHINES GRAMME DE LA MARINE
(Sautter et Lemonnier).

	M.	AG.	CT.	CQ.	DQ.
Désignation nominale en becs.	200	600	1600	2500	4000
Vitesse en tours par minute.	1600	820	675	1380	495
Longueur moyenne de l'arc en mm.	3	4	4	4,5	6
Intensité du courant en ampères.	13,5	24,5	48	65	70
Diamètre des charbons en mm.	9	3	18	18	20
Nombre de becs Carcel moyens	226	490	1015	1241	2198
Nombre de becs, lampe inclinée (utilisés dans le projecteur).	625	1200	2500	3300	6000
Travail absorbé en chevaux-vapeur.	1,25	2,75	5,25	8	12
Poids de la machine en kilogrammes.	73	185	390	390	1000

Le type M est employé sur les canots à vapeur. — Le type AG sur les avisos. — Le type CT sur les cuirassés. — Les types CQ et DQ pour la défense des côtes.

CHARBONS. — Les charbons trop minces donnent beaucoup de lumière, mais brûlent trop vite; les charbons trop gros donnent des cratères profonds, la lumière s'enfouit et diminue. La métallisation augmente la durée.

Régulateur Abdank-Abakanowicz (1882). — Différentiel à courant continu. Charbons Siemens, à mèche, nus. Positif 12 mm.; négatif 10 mm. Courant normal : 10,5 ampères. Différence de potentiel aux bornes : 42 à 44 volts.

Lampe Gülcher (1884). — Pour un courant moyen de 15 ampères l'intensité lumineuse est de 113 becs Carcel dans le plan horizontal et de 136 becs sous un angle de 34° , le positif étant à la partie supérieure.

Expériences de l'Exposition d'électricité de 1881. — La Commission, composée de MM. Allard, Joubert, F. Le Blanc, Potier et Tresca, s'est servie, pour exprimer les éléments mesurés, de quelques

termes dont nous devons donner les définitions pour faciliter l'intelligence des tableaux.

Cheval électrique, cheval d'arc. — Énergie électrique produite par une machine, ou énergie électrique consommée par une machine, calculée par les f. e. m., les résistances et les intensités, exprimée en chevaux-vapeur de 75 kgm. par seconde.

Rendement mécanique total. — Rapport entre le travail électrique total et le travail moteur effectif, déduction faite de celui qui est employé pour la transmission mécanique.

Rendement mécanique des arcs. — Rapport entre l'énergie électrique consommée dans les arcs et le travail moteur effectif.

Rendement électrique des arcs. — Rapport entre le travail électrique des arcs et le travail électrique total.

Les résultats obtenus par la Commission de l'Exposition d'électricité sur les machines et les lampes à courant continu sont inscrits dans le tableau des pages 246 et 247.

BOUGIES ÉLECTRIQUES

La première bougie a été inventée par M. *Paul Jablochhoff* en 1876. Deux crayons de charbon séparés par un isolant ou *colombin*. La bougie exige, pour maintenir l'usure égale des deux charbons, l'emploi de courants alternatifs. D'autres inventeurs, *Wilde* (1879), *Jamin* (1879), *Debrun* (1880), ont construit des bougies sans colombin à rallumage automatique dont l'usage ne s'est pas répandu. La seule bougie employée aujourd'hui presque exclusivement est la bougie *Jablochhoff*.

Bougies Jablochhoff. — Bougies de 4 millimètres (*J. Joubert*)

Intensité du courant.	8 à 9 ampères.
Chute de potentiel à la base de la bougie.	42 à 43 volts.
Énergie électrique dépensée.	34 à 39 kgm. par seconde.

Pour une installation, on compte 1 cheval-vapeur effectif par foyer.

L'intensité lumineuse de face étant égale à l'unité, celle de côté est 0,57.

L'intensité lumineuse moyenne = 0,90 de l'intensité maximum.

Les expériences faites avec 4 bougies brûlant à la fois, deux de face, deux de côté, ont donné les résultats suivants :

Lumière nue.	37,5 becs Carcel par bougie.
Intensité lumineuse de face	45,0 —
— moyenne.	41,0 —
Avec globe opale ordinaire.	22,5 becs ou 0,575 de l'intensité moyenne.
Avec globe clair	27,5 à 30 becs, soit de 0,67 à 0,75 de l'intensité moyenne.

BOUGIES ÉLECTRIQUES

(Expériences de la Commission de l'Exposition d'électricité de 1881.)

ÉLÉMENTS.	BOUGIES DEBRUN.	BOUGIES JABLOCHKOFF. Machine Gramme.	BOUGIES JABLOCHKOFF. Machine Méritens.	BOUGIES JAMIN. — 32	BOUGIES JAMIN. — 48	BOUGIES JAMIN. — 60
Intensité lumineuse, moyenne sphérique	27,4	20,2	23,7	16,0	17,4	9,4
Intensité du courant en ampères.	10,0	7,5	8,5	6,1	5,1	3,5
Différence de potentiel en volts.	50,0	43,0	42,0	77,0	69,0	74,0
Énergie électrique absorbée en kgm.	65,0	32,5	32,4	47,0	35,7	25,3
Carrels par cheval d'arc.	31,6	46,3	51,6	25,3	36,4	27,3
Carrels par ampère	2,74	2,69	2,79	2,69	3,41	2,69

Lampe-soleil (1881). — Courants alternatifs. Arc et incandescence. Lumière jaune et projetée dans une seule direction. Consommation de charbon très lente, de 7 à 10 mm. par heure et par charbon. Charbon en forme de segment. Les foyers de 70 becs Carcel (dans la direction de l'intensité lumineuse maximum) exigent des courants de 4 à 6 ampères, les lampes de 600 becs marchent avec 23 ampères. La différence de potentiel aux bornes n'a pas été donnée par les expérimentateurs, MM. *Bède, Desguin, Dumont, Rousseau* et *Wauters*, mais les expériences montrent que la puissance lumineuse et le courant diminuent rapidement, de plus de 50 % après une heure d'allumage.

INCANDESCENCE

La lumière par *incandescence* est produite par l'échauffement d'un corps réfractaire traversé par un courant électrique. On a essayé, sans grand succès jusqu'ici, d'appliquer le platine, le platine iridié et l'iridium à la production de l'éclairage par incandescence; l'inconvénient capital de l'emploi de ces corps est le suivant: si la temp. est peu élevée, le pouvoir lumineux est faible et le rendement médiocre; si l'on se place dans de

meilleures conditions de rendement, la moindre augmentation insolite du courant produit la fusion du corps incandescent et éteint la lampe. La seule application pratique est le platine incandescent dans les *polyscopes* de M. G. Trouvé. On fait aujourd'hui exclusivement usage du *charbon*.

Les lampes à incandescence de charbon se divisent en deux classes :

1° *Lampes à l'air libre*, dans lesquelles le charbon se consume lentement et se renouvelle automatiquement.

2° *Lampes en vase clos*, dans lesquelles un filament de charbon soustrait à l'action de l'air et porté à l'incandescence par le passage du courant produit indéfiniment de la lumière jusqu'à sa rupture. La durée du filament, ou *vie de la lampe*, dépasse souvent 2000 heures d'éclairage total ; une bonne fabrication peut garantir dès à présent une vie moyenne de 1000 heures.

INCANDESCENCE A L'AIR LIBRE

Lampe Reynier (1878). — Charbon Carré de 2,5 mm. de diamètre :

Longueur de la partie incandescente	13 m m.
Intensité du courant	27 ampères.
Résistance de la lampe	0,2 ohm.
Différence de potentiel aux bornes	5,4 volts.
Énergie électrique dépensée	14,86 kgm. par seconde.
Intensité lumineuse maximum, dans une zone située à 15° au-dessus de l'horizontale	12 becs Carcel.

Lampe Werdermann (1880). — (*Cabanellas*). Crayon de charbon de 4,5 mm. de diamètre.

Intensité du courant	50,5 ampères.
Différence de potentiel aux bornes	6,75 volts.
Énergie électrique dépensée	34,00 kgm. par seconde.
Lumière horizontale (moyenne)	34,00 becs Carcel.
Énergie dépensée par bec Carcel	1,00 kgm.
Nombre de becs Carcel par cheval d'énergie électrique	75

INCANDESCENCE EN VASE CLOS

De nombreux systèmes de lampes à incandescence en vase clos sont aujourd'hui en exploitation. Nous ne parlerons que des principaux.

Lampe Edison. — Filament de bambou, carbonisé, replié en forme d'U et renfermé dans un globe où l'air est raréfié à près d'un millionième d'atmosphère.

Lampe Swan. — Filament formé par un fil de coton trempé dans l'acide sulfurique, carbonisé, replié en forme de boucle, renfermé dans une atmosphère d'air raréfié.

Lampe Maxim. — Filament de carton Bristol, carbonisé, découpé en forme d'M, renfermé dans un globe où se trouve une atmosphère raréfiée de gazoline.

Lampe Lane-Fox. — Filament de chiendent carbonisé, dans une atmosphère d'air raréfié.

LAMPES EDISON

ÉLÉMENTS.	MODÈLE DE 1880 ¹ .	MODÈLES DE 1882 ² .	
		A	B
Résistance à chaud en ohms.	74,50	140	70
Intensité du courant en ampères. . .	1,08	0,75	0,75
Différence de potentiel aux bornes.	80,50	100	50
Puissance lumineuse en candles. . .	10	16	8
Énergie électrique dépensée en kgm. par seconde	8,27	7,5	3,8
Nombre de lampes par cheval d'énergie électrique	9	10	20
Nombre de candles par cheval. . . .	120	160	160

¹ *Henry Morton* (mesures faites au Stevens Institute de Hoboken).

² *R. V. Picou* (chiffres moyens).

Dans les installations, on compte environ 8 lampes A ou 16 lampes B modèle 1882 par cheval mécanique effectif fourni à la machine génératrice.

LAMPES A INCANDESCENCE

(Expériences de la Commission de l'Exposition d'électricité de 1881.)

ÉLÉMENTS.	MAXIM.	EDISON.	LANE-FOX.	SWAN.
Résistance à chaud en ohms.	43	130	28	31
Intensité du courant en am- pères.	1,74	0,70	1,77	1,55
Différence de potentiel aux bornes en volts.	75	91	50	48
Énergie électrique absorbée en kgm.	13,28	6,50	8,95	7,62
Intensité moyenne sphérique.	2,80	1,57	1,64	2,19
Carcels par cheval électrique.	15,89	18,12	13,74	21,55

Lampes à incandescence Siemens et Halske (1883). — Toutes les lampes construites par la maison Siemens et Halske fonctionnent avec une différence de potentiel aux bornes égale à 105 volts. Elles sont construites sur trois types. Pour faciliter la comparaison, nous avons mis en regard les éléments de fonctionnement de la lampe Edison, type A.

ÉLÉMENTS DE FONCTIONNEMENT.	NOUVELLES LAMPES SIEMENS ET HALSKE.			LAMPE EDISON.
	Type II.	Type IV.	Type VI.	Type A.
Bougies normales.	12,00	16,00	25,00	16,00
Volts.	100,00	100,00	100,00	100,4
Ampères.	0,41	0,55	0,80	0,71
Ohms (à chaud).	244,00	182,00	125,00	141,00
Watts	40,50	55,00	80,00	71,3
Bougies normales par che- val d'énergie électrique dans la lampe.	210,08	206,00	221,00	159,0

Lampes à grande résistance. — Pour réduire la perte par échauffement des conducteurs, et augmenter le nombre de lampes alimentées par une canalisation d'une section donnée sans changer le couplage des lampes *en dérivation*, couplage qui assure leur indépendance, on établit aujourd'hui des lampes à grande résistance dont voici un type à titre d'exemple :

Lampe Swan (1883).

Résistance à froid.	292 ohms.
— à chaud.	150,8 —
Intensité du courant.	0,63 ampère.
Différence de potentiel aux bornes	95 volts.
Intensité lumineuse	20,9 caudles.
Puissance absorbée par lampe.	7 kgm. par seconde.
Nombre de lampes par cheval d'énergie électrique.	10,5 lampes.
Nombre de candles par cheval d'énergie électrique.	220 candles.

Lampes à faible résistance. — Pour les éclairages domesti-ques, les bijoux, etc., on construit aujourd'hui des lampes à faible résis-tance qui ne demandent que quelques volts de force électromotrice et

peuvent fonctionner avec deux accumulateurs seulement en tension, soit 3 volts aux bornes environ, et un courant de 1,5 ampère. La puissance lumineuse varie entre 1 et 2 candles. D'autres types fonctionnent avec 4, 6, 8, 10, 12 volts et demandent un nombre d'éléments correspondant.

Lampes Gérard (1884). — Filament constitué par deux crayons minces de charbon aggloméré obtenus à la filière. Elles exigent environ deux ampères et de f. é. m. variant entre 46 et 50 volts suivant la puissance lumineuse à obtenir. Elles consomment environ 2 à 2,5 watts par candle, soit environ 1 cheval-vapeur d'énergie électrique, pour 300 à 350 candles. Avec des charbons plus gros montés en quantité, M. Gérard obtient des lampes à incandescence de 800 à 1000 candles, pouvant remplacer un foyer à arc assez puissant.

Lampe Boston ou Bernstein (1883). — Le filament est constitué par un tube de soie tissée à minces parois, carbonisé sur un lit de graphite.

Le type dit de 50 bougies donne normalement 60 bougies allemandes. Il fonctionne avec un courant de 5,4 ampères et 28 volts aux bornes. La dépense d'énergie est de 15 kilogrammètres par seconde, soit 292 bougies par cheval électrique.

Le type de 90 bougies demande 8,5 ampères et 34 volts aux bornes, soit 29 kgm. par seconde.

La même lampe a pu être poussée sans brûler jusqu'à 11,8 ampères et 46 volts aux bornes, absorbant ainsi 54 kgm. par seconde et produisant 460 bougies.

Petites lampes. — Les lampes à incandescence employées dans les bijoux électriques sont remarquables par leurs petites dimensions et le peu d'énergie qu'elles dépensent pour fournir une quantité de lumière difficile à mesurer, mais qu'on peut estimer comme équivalente à celle d'une bougie de l'Étoile.

Il suffit de 3,7 volts aux attaches et d'un courant de 1,7 ampères, soit environ 0,6 kgm. par seconde pour faire fonctionner le plus petit type (12 mm. de longueur et 6 mm. de diamètre).

Le type au dessus, de la grosseur d'une petite noisette, produit de 2 à 3 bougies avec 4,2 volts aux attaches et un courant de 1,5 ampère. Nous ne connaissons pas la durée des lampes soumises à ce régime qu'on peut cependant considérer comme excessif, car la puissance lumineuse de ces petites lampes par rapport à leur dépense d'énergie, étant au moins égale à celle des lampes du plus grand modèle, il est bien évident qu'elles sont un peu *poussées* et doivent, par suite, durer moins longtemps.

TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE

La *télégraphie* embrasse l'ensemble des moyens qui permettent de transmettre la pensée à distance. Un système télégraphique comprend toujours au moins quatre éléments : 1° le générateur électrique ; 2° le transmetteur ; 3° la ligne ; 4° le récepteur.

Nous ne dirons rien ici du générateur électrique, qui est presque toujours, jusqu'à présent du moins, une pile hydro-électrique. Les seuls éléments dont on fasse usage aujourd'hui en télégraphie sont : la pile *Daniell*, la pile *Gallaud* et ses nombreuses variétés, la pile *Leclanché* et la pile au bichromate de potasse (*Fuller, Higgins, etc.*). Le transmetteur et le récepteur sont solidaires ; ils s'étudient ensemble sous le nom d'*appareils de transmission*. Enfin la ligne, ou plutôt les lignes télégraphiques, que nous allons examiner, se subdivisent, suivant leur nature, en lignes aériennes, lignes souterraines et lignes sous-marines.

LIGNES AÉRIENNES

Conducteurs. — L'emploi du *fer galvanisé* est général. En Allemagne, on enduit quelquefois le fil d'huile de lin. En Angleterre, aux points soumis aux émanations dangereuses, on plonge le fil galvanisé dans un mélange de goudron et de bitume, et on le recouvre d'une double couche de fil goudronné. En Amérique, on fait aussi usage du *Compound-wire*, fil d'acier étamé recouvert d'un ruban de cuivre en spirale passé dans un bain d'étain pour souder le cuivre à l'acier ; le fil *Compound* est tenace, léger, résiste aux émanations, mais coûte cher, et le revêtement se détache quelquefois. On emploie enfin depuis 1877, en Amérique, un fil formé d'une âme en acier recouverte de cuivre par voie électrolytique.

Raccordements. — Manchon employé en France, et Joint Britannia dans les autres pays. La soudure coulée dans le manchon en fer se compose de deux parties d'étain et une partie de plomb.

Isolateurs. — L'isolateur en forme de double-cloche est le plus employé. La pâte est à base de kaolin pur, l'isolateur est entièrement émaillé, sauf le bord sur lequel il repose pendant la cuisson, qui est poli avec soin. On fait aussi quelquefois usage d'isolateurs en verre et en ébonite.

Isolement des lignes aériennes (Culley). — Isolement d'une ligne de 448 kilomètres de longueur ; fil de fer de 6 millimètres ; résistance du conducteur : 2260 ohms.

Isolement kilométrique par un temps relative-

ment beau 21 920 000 ohms