

et la glycérine ne peut passer de la partie supérieure à la partie inférieure que par les quatre petites rainures. Dès que le courant est coupé dans l'enroulement, le noyau descend par son poids, la tige de l'armature appuyée sur le piston par son embase, la rondelle se trouve alors à une distance des orifices égale au jeu du piston sur la tige ; les trous étant complètement débouchés, la glycérine passe rapidement de la partie inférieure à la partie supérieure du piston, et l'appareil est de nouveau prêt à fonctionner.

**DISJONCTEUR A ACTION RETARDÉE.** --- Dans ces appareils, on introduit un retard dans le fonctionnement, mais un retard qui n'est pas fixé à l'avance d'une manière *immuable*. Ce retard est d'autant moins grand que l'augmentation d'intensité est *plus forte*. En général, il est obtenu au moyen d'une cataracte mise *directement* sur le noyau du solénoïde.

Un disjoncteur, par exemple, sera réglé pour déclencher à 200 ampères au bout de 10 secondes, cela voudra dire qu'à 190 ampères, la rupture ne se produira jamais et qu'à 200 ampères, elle mettra 10" pour se produire. Si l'intensité monte jusqu'à 250 ampères, le disjoncteur fonctionnera plus rapidement, après 6" par exemple.

Avec les disjoncteurs retardés, la précision est forcément moins grande qu'avec les disjoncteurs temporisés.

D'une façon générale, les disjoncteurs *temporisés* peuvent être réglés pour déclencher avec une intensité très voisine de l'intensité normale, par exemple, 100 ampères de déclenchement pour 90 ampères (intensité normale), et les disjoncteurs *retardés* pour déclencher à une intensité beaucoup plus éloignée de l'intensité normale, 250 amp. pour 150 amp., par exemple.

### Conclusions

Il faut apporter beaucoup de soin dans le choix d'un disjoncteur et celui qui en est chargé doit, non seulement posséder parfaitement les caractéristiques des différents disjoncteurs, mais savoir, exactement, ce qu'il désire réaliser. Dans le cas, par exemple, d'une génératrice chargeant une batterie d'accumulateurs, il faudra protéger la génératrice contre un retour possible de courant ; on pourrait placer un disjoncteur à minima simple sur le circuit de charge, mais nous avons vu que le courant s'inversant brusquement, un tel disjoncteur peut rester enclenché ; on pourrait mettre, également, un disjoncteur à minima et à retour de courant, la génératrice est bien alors protégée contre un retour, mais elle ne l'est pas contre un excès de courant. Dans le cas d'une seule génératrice, on placerait, sur le circuit de celle-ci un disjoncteur à minima et à retour. Si on avait plusieurs génératrices en parallèle, par économie, on mettrait un maxima sur chacune d'elles, et un minima polarisé sur le circuit de charge de la batterie.

Chaque cas nécessite donc une étude spéciale ; étude rapidement faite, d'ailleurs, avec un peu de méthode et d'expérience.

Nous n'avons pas la prétention d'avoir étudié tous les cas qui peuvent se présenter dans la pratique, non... loin de là, mais nous serions heureux d'avoir fait œuvre utile envers nos camarades, actuellement, à l'École ou dans la carrière industrielle, en leur donnant une idée générale de ces appareils.

Notre but serait complètement atteint, si leur attention était portée vers des publications de ce genre, publications qui seraient insérées dans les bulletins des Sociétés d'Anciens Elèves de l'Institut ou des Arts et Métiers, ces Notes seraient certainement lues avec plaisir et elles enrichiraient la litté-

rature technique française, si *pauvre* sur l'appareillage électrique.

Nous ne saurions terminer sans remercier Messieurs BARBILLON et BERGEON, les distingués Directeur et Sous-Directeur, de l'Institut Electrotechnique de Grenoble, qui ont bien voulu lire et revoir notre travail et à qui nous devons cette représentation graphique éveillée en nous par celle qu'ils savent employer dans les cours qu'ils professent à nos jeunes camarades.

V. SYLVESTRE.  
Ingénieur I.-E.-G.

## APPLICATIONS DE L'ÉLECTRICITÉ

### EMPLOI DES LAMPES A VAPEUR DE MERCURE

comme redresseurs de courants alternatifs

#### GÉNÉRALITÉS

La lampe à vapeur de mercure à cathode mercurielle et à anode constituée par du fer ou du graphite ne peut se laisser traverser par le courant électrique que dans un seul sens, *de l'anode à la cathode* et, pour faire fonctionner cette lampe sur du courant alternatif, il faut avoir recours à des dispositifs particuliers.

Cette curieuse propriété, qui constitue un des inconvénients de la lampe à mercure dans ses applications à l'éclairage, devient un avantage au point de vue de la transformation possible des courants alternatifs en courant continu.

On sait toute l'importance qu'ont les courants alternatifs dans le transport de l'énergie à grande distance et combien est faible le rendement des appareils utilisés aujourd'hui pour les transformer en courants continus.

Certaines industries ont absolument besoin de ces derniers courants pour effectuer des opérations spéciales (charge des accumulateurs, galvanoplastie, électrochimie) ; il importe donc de posséder des appareils ayant à la fois un grand rendement et un prix de revient peu élevé, avec le minimum d'encombrement.

Or, aujourd'hui, cette transformation s'effectue à l'aide de commutatrices, de permutatrices ou de moteurs-générateurs, et l'installation de ces machines, d'un prix assez élevé, n'est pratique que lorsqu'il s'agit de grandes exploitations. Les soupapes électrolytiques, employées aussi depuis quelques années pour les applications n'exigeant qu'une faible puissance, semblent convenir dans un grand nombre de cas ; mais leur installation est moins simple et moins pratique que celle d'une lampe à mercure qu'il suffit de connecter sur un réseau d'une façon convenable pour résoudre le problème.

C'est à JAMIN et MANEVRIER que l'on doit l'idée première de la transformation possible, sans commutateur, des courants alternatifs en courants continus. Dès 1882, ils purent constater que le courant électrique passe plus facilement à travers un arc lorsqu'il va du gros charbon au petit ou d'une tige de cuivre à la surface d'un bain de mercure. La solution pratique de cette constatation consiste essentiellement à interposer, dans le circuit extérieur d'une dynamo, un arc voltaïque *dissymétrique*, c'est-à-dire formé entre deux électrodes hétérogènes, soit du charbon et du mercure par exemple.

Ces expériences sont restées pendant longtemps sans application industrielle importante et ce n'est que dans ces

toutes dernières années que COOPER HEWITT, inventeur de la lampe à mercure qui porte son nom, put fabriquer un appareil n'offrant que des avantages dans la transformation des courants alternatifs en courants continus. Ayant pu faire passer dans un tube possédant une électrode de mercure un courant de sens déterminé, il essaya de renverser le courant mais ne put réussir, l'électrode qui devait alors servir de cathode n'ayant pas sa surface désagrégée (1). Il en conclut que la lampe à mercure était comparable à une sorte de *soupape* ne laissant passer le flux électrique que dans un sens, à la façon d'une soupape hydraulique qui ne laisse circuler l'eau d'une pompe ou d'un cylindre que dans une seule direction.

**PRINCIPE DU FONCTIONNEMENT**

Pour se rendre compte exactement de la façon dont s'effectue le redressement des courants alternatifs à l'aide de la lampe à mercure, il suffit de considérer (fig. 1) une lampe L,

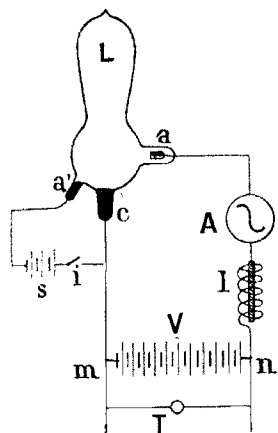


Fig. 1. — Principe théorique d'un convertisseur à mercure.

munie d'une cathode *c* en mercure, d'une anode ordinaire en fer *a* et d'une seconde anode auxiliaire également en fer *a'*. Cette dernière a simplement pour but de servir à l'amorçage de la lampe qui s'effectue à l'aide d'une petite batterie *s*. Lorsqu'on ferme l'interrupteur *i* et qu'on bascule légèrement la lampe, un contact de mercure s'effectue entre les surfaces *a'* et *c*, et quand le tube reprend sa première position, un arc éclate qui illumine le tube et permet à la lampe de fonctionner par le passage du courant entre *a* et *c* seulement.

Si, une fois la lampe ainsi amorcée, on fait agir une génératrice de courants alternatifs *A* entre les électrodes *a* et *c*, la lampe laisse passer le courant entre ces deux points à travers la vapeur de mercure tant qu'il est de même sens, c'est-à-dire pendant la première moitié d'une période, tandis qu'elle s'oppose à son passage pendant la seconde moitié de la période. En fait, si l'on dispose entre les points *m* et *n* une batterie d'accumulateurs *V* ou une lampe à incandescence *T*, ces récepteurs sont continuellement traversés par un courant de même sens, quelle que soit la fréquence du courant alternatif alimentant la lampe. En intercalant en *l* une bobine de self-induction, on atténue très sensiblement les irrégularités de forme du courant.

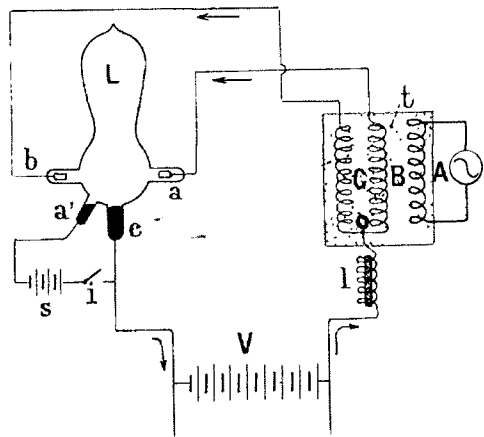


Fig. 2. — Convertisseur à mercure fonctionnant sur courant alternatif simple.

Une soupape électrique ainsi constituée n'utilise que la moitié de chaque période de l'alternateur *A*. Il serait utile cependant de pouvoir utiliser la période complète. Cela est facile ainsi qu'on peut s'en rendre compte à la simple inspection de la figure 2.

L'alternateur *A* est ici connecté à un transformateur *t*, muni de deux circuits secondaires *B* et *C* ayant un même nombre de spires, mais enroulés en sens contraire. La lampe à mercure possède deux anodes *a* et *b* reliées aux deux extrémités de ces circuits secondaires. Entre *a'* et *c* existe toujours la source d'amorçage *s* et, entre la cathode mercurielle *c* et le point *o*, se trouve le récepteur *V* (batterie d'accumulateurs, lampes, etc.), à alimenter par du courant continu. En *l* est la bobine de self.

Dans ces conditions, il est aisé de se rendre compte du fonctionnement d'un tel dispositif :

Pendant la première moitié de la période, celle qui lance dans la bobine secondaire *B* un courant ayant le sens de la flèche, la lampe et par conséquent tout le circuit comprenant le récepteur et la bobine de self, sont traversés par un courant allant de l'anode *a* à la cathode *c*. Pendant la seconde moitié de la période, cette même bobine *B*, étant traversée par un courant de sens contraire à celui qui l'alimentait précédemment, est inactive aux bornes *a* et *c* de la lampe, celle-ci ne pouvant être traversée que par un courant dirigé de *a* vers *c*. Mais comme le même courant induit simultanément *B* et *C* et que la bobine *C* possède un enroulement dirigé en sens inverse de *B*, le changement de sens du courant pendant la seconde moitié de la période amène entre les bornes *b* et *c* de la lampe un courant ayant la même direction que *a c*. De cette façon, chaque période complète du courant sinusoïdal est utilisée et la batterie *V* peut être facilement chargée, comme si on l'avait placée aux bornes d'une dynamo à courant continu.

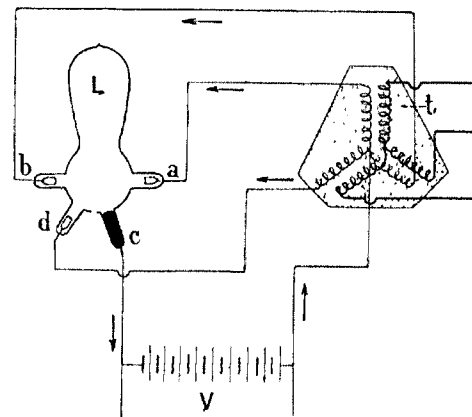


Fig. 3. — Convertisseur à mercure fonctionnant sur courants triphasés.

Au lieu d'une distribution à courants alternatifs simples, on peut aussi bien utiliser une distribution à courants triphasés. La figure 3 montre de quelle façon doivent être faites alors les connexions. Le point neutre de l'alternateur est relié à l'un des pôles du circuit récepteur *V*, tandis que les anodes *a*, *b* et *d* de la lampe *L* sont reliées aux extrémités des circuits générateurs groupés en étoile du transformateur *t*. La cathode *c* est en communication avec le deuxième pôle du récepteur *V*. L'amorçage s'effectue simplement au moyen de la batterie *V*; la bobine de self est ici inutile, les courants débités par les trois phases ne s'annulent jamais simultanément.

**CONSTITUTION DES AMPOULES. — RENDEMENT**

Les ampoules utilisées comme redresseurs sont généralement en cristal et vides de toute trace d'air. Celles que l'on utilise pour les courants alternatifs simples (fig. 4 et 5) possèdent deux électrodes positives *a* et *b* et une électrode en

(1) JAMIN et MANEUVRIER, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, juin 1882.

(2) Maurice LEBLANC, *Bulletin de la Société Internationale des Electriciens*, 3 mai 1905.

mercure *c* ; l'électrode auxiliaire *a'*, également en mercure, est placée à côté de la précédente et sert, comme nous l'avons dit, à l'amorçage du convertisseur. Les électrodes positives *a* et *b* sont généralement constituées par du carbone (graphite), mais on peut aussi les fabriquer en fer ou en tout autre métal ne s'amalgamant pas avec le mercure.

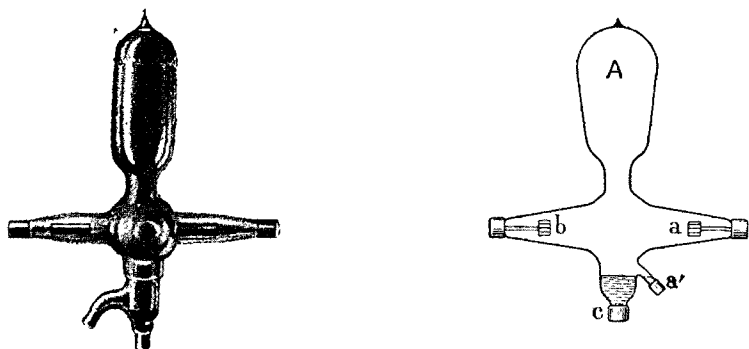


FIG. 4 et 5. — *Convertisseur à mercure (vue extérieure et coupe verticale).*

Le courant arrive aux électrodes au moyen de fils de platine scellés dans le cristal. La capacité du convertisseur dépend de ses dimensions, de sa forme, du volume des électrodes et du diamètre des fils de platine. La forme d'ampoule représentée par la figure 4 concerne les appareils destinés à la transformation de courants dont la tension ne dépasse pas 120 volts.

Quant au mercure qui s'évapore de la cathode pendant le fonctionnement du convertisseur, il se condense sur les parois de l'ampoule et retombe peu à peu à l'état liquide sur la cathode. Cette condensation s'effectuant avec un certain dégagement de chaleur, il faut chercher à la dissiper vers l'extérieur et, par conséquent, proportionner les dimensions de l'ampoule à sa puissance.

Pendant le fonctionnement de l'appareil, il y a en outre une certaine perte d'énergie due à la transformation partielle de l'énergie électrique en énergie calorifique. Le rendement est toutefois très élevé, ainsi que le représente la courbe de la figure 6 qui concerne deux convertisseurs à mercure de 30 ampères montés en parallèle sur une distribution triphasée de trois ponts 320 volts 50 périodes, débitant de 15 à 60 ampères pour la charge d'une batterie d'accumulateurs. On peut remarquer la constance du rendement ; celui-ci atteint 93,3 % au voisinage de 30 ampères et tombe seulement à 86,9 % à la fin de la charge.

Jean ESCARD.  
Ingénieur Electricien.

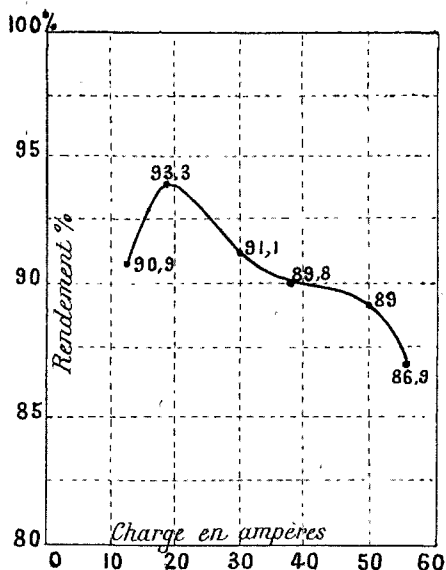


FIG. 6. — *Courbe de rendement d'un convertisseur à mercure : variation avec la charge.*

## TRACTION ÉLECTRIQUE

### L'ÉLECTRIFICATION DES CHEMINS DE FER

Rapport de M. DE VALBREUZE à la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale. — Mars et mai 1911.

Nous avons tenu nos lecteurs au courant des applications de la traction électrique : ils liront maintenant avec intérêt le travail suivant qui donne un aperçu d'ensemble des solutions que cet important problème a reçues, et précise les conditions actuelles d'emploi de l'énergie électrique à la traction sur voies ferrées.

Après un rapide historique, avant d'aborder la description des principales installations, l'auteur indique brièvement quels sont les dispositifs électriques employés pour résoudre les plus importantes des difficultés soulevées par le problème.

#### I. — DIFFÉRENTS DISPOSITIFS EMPLOYÉS POUR LA TRACTION ÉLECTRIQUE

##### 1. — Dispositifs à courant continu à moyenne tension

Le principe des dispositifs employés pour la traction électrique par courant continu sous une tension de 500 à 700 volts est le même que dans les installations de tramways, mais la puissance mise en jeu est infiniment plus considérable.

*Ligne d'alimentation.* — Etant donnée la grande intensité de courant absorbée par les moteurs pour la propulsion d'un train, particulièrement au moment du démarrage, on ne pouvait plus songer à employer un simple fil de trolley aérien, qui ne permet guère de recueillir plus de 400 ampères, sauf dans des cas très particuliers : on dut constituer la ligne d'alimentation par un conducteur de forte section.

Au tunnel de Baltimore, ce conducteur a été d'abord formé de barres de cuivre profilé suspendues à la voûte par l'intermédiaire d'isolateurs. Dans toutes les autres installations, la ligne d'alimentation consiste en un troisième rail, disposé le long de la voie et supporté par des isolateurs. Ce rail a souvent un profil spécial et présente à la partie supérieure une large surface plane : il est fait en acier doux offrant la meilleure conductibilité électrique possible. Des frotteurs à ressorts et en fonte, portés par les automotrices ou les locomotives, appuient fortement sur lui et recueillent le courant nécessaire aux moteurs. Les rails de roulement servent généralement de conducteur de retour. Pour améliorer la conductibilité d'une file de rails (troisième rail ou rails de retour) on double chaque éclisse par des connecteurs en cuivre qui assurent la liaison électrique : il existe de nombreux types de ces « éclissages électriques ». Quand les règlements locaux n'autorisent pas l'emploi des rails de roulement comme conducteur de retour (Angleterre), on place au milieu de la voie un quatrième rail destiné à remplir cet office. Pour protéger le personnel de la voie et des gares contre des contacts intempestifs avec le troisième rail sous tension, on munit souvent ce dernier d'un revêtement en planches supporté par les isolateurs. Enfin, je signalerai la disposition adoptée dans une grande installation américaine (New-York Central and Hartford Railroad) pour éviter que la neige et le givre ne se déposent sur la surface du contact : le troisième rail est retourné et soutenu par des supports en forme de cols de cygne : la liaison électrique est établie entre sa surface inférieure et des frotteurs appropriés.