

L'ÉLECTRICITÉ

A L'EXPOSITION DE PARIS EN 1900

PAR

ARMAND HALLEUX

Ingénieur au Corps des Mines, à Bruxelles
ingénieur-électricien

[6213 : 606(4436)]

Il est intéressant, pensons-nous, de connaître l'orientation actuelle de l'industrie électrique et les tendances générales que montrent dans ce domaine, les compartiments des différents pays.

C'est dans cet esprit qu'est conçue la note qu'on va lire ; nous avons évité les descriptions et essayé de caractériser brièvement les innovations les plus importantes et de donner autant que possible des aperçus généraux.

Génératrices. — Les appareils générateurs de courant constituent la partie la plus importante de l'Exposition. On est frappé de la proportion relativement faible des génératrices à courants *continus*. Il ne semble pas que l'Exposition atteste de nouveaux efforts sérieux pour perfectionner ce genre de machines ; quelques firmes semblent seulement s'être préoccupées du fini et du soin à apporter dans leur construction.

Les induits à tambour dominant ; de même les excitations multipolaires avec dispositifs tendant à annuler les flux transversaux. — La pratique paraît donc consacrer la supériorité des machines multipolaires à tambour, ce qui est naturel, étant donné qu'on ne cherche plus actuellement à créer des dynamos continues à haut voltage et que l'excitation de ces machines est plus économique que celle des bipolaires.

Les machines générant des courants alternatifs sont représentées par des types nombreux et puissants. Sur les 38 groupes électrogènes destinés à la force motrice et à l'éclairage de l'Exposition, correspondant à une puissance totale d'environ 20.300 Kw, on en compte 18 produisant du courant continu, correspondant à une puissance de 8300 Kw et 20, des courants alternatifs généralement triphasés.

On sait l'importance de jour en jour grandissante que les courants alternatifs acquièrent ; une des causes principales de ce fait réside dans les avantages économiques que présente la production de l'énergie électrique en grand et sa distribution à grande distance avec un voltage élevé, puisque, en général, les dépenses de transmission diminuent quand le voltage grandit.

Les machines à courants continus dépassent rarement 500 ou 600 volts ⁽¹⁾, à cause des difficultés d'isolement des sections de l'induit ; avec les courants alternatifs, 10,000 volts peuvent être atteints sans difficultés spéciales.

D'autre part, la facilité avec laquelle on peut transformer les courants alternatifs, sans perte d'énergie importante, permet d'user du moyen précieux d'élever le voltage en ligne dans la transmission. Ainsi, aux chutes du Niagara, les courants alternatifs destinés à l'Union Carbide Co, sont

(1) On en a cependant construit à 3000 et même à 3500 volts.

générés à 2200 volts et peuvent être transformés pour les lignes au moyen de transformateurs statiques, en courants à 11000 ou 22000 volts.

Ajoutons qu'au point de vue de la transmission d'énergie, la tension de 10000 volts a fait ses preuves et que si l'on s'en tient aux installations existantes, notamment en Amérique ⁽¹⁾, on peut dire que les transmissions de 500 à 1000 Kw ⁽²⁾ donnent des résultats satisfaisants quand la distance de transmission n'est pas supérieure à 40 kilomètres. Au delà, bien qu'un certain nombre d'essais aient été concluants, il paraîtrait que pour réussir commercialement, les circonstances locales doivent être favorables.

Les courants alternatifs employés sont mono, bi ou triphasés. A l'Exposition, les triphasés sont le plus représentés (Voltage maximum 5500).

Cette vogue dont jouissent les courants triphasés ⁽³⁾ par rapport aux mono et biphasés se justifie principalement par les considérations suivantes : l'emploi de ces courants conduit à une dépense moindre en fils de transmission ; ils conviennent mieux pour les moteurs que les monophasés puisque les moteurs monophasés synchrones doivent être entraînés avant d'être chargés et qu'une augmentation anormale du couple résistant peut les arrêter, inconvénients que les moteurs triphasés ne présentent pas ; les moteurs triphasés asynchrones peuvent être construits pour démarrer sous un couple dépassant le double du couple normal.

Les types d'alternateurs exposés à Paris indiquent la tendance générale à la construction des machines puissantes à grand diamètre attaquées directement par les moteurs à vapeur, la machine électrique elle-même faisant volant.

⁽¹⁾ *Casier's Magazine*, — Décembre 1899. Louis Bell.

⁽²⁾ Le Kilowatt égale 1,36 cheval-vapeur.

⁽³⁾ Les $\frac{2}{3}$ des installations de transmission et de distribution de force installées ou prévues en Europe dans ces derniers temps sont triphasées.

On supprime ainsi les courroies ou autres transmissions et, du même coup, les pertes d'énergie et de place qu'elles occasionnent; de plus, ces machines, dont le volant inducteur atteint 5 à 6 mètres de diamètre, ont un rendement supérieur aux génératrices moins puissantes; en général, leur vitesse ne dépasse pas 200 tours par minute, ce qui est une vitesse favorable au moteur à vapeur. C'est une tendance qui est rationnelle pour autant que des soins soient apportés dans la construction et une grande précision dans le montage; on ne peut, en effet, augmenter l'entrefer des alternateurs qu'au prix d'une dépense plus grande d'excitation. On s'achemine donc vers les « grosses unités » de puissance, et la limite à atteindre dépend surtout de l'art de la construction mécanique.

Certains reprochent à ces machines d'avoir une moitié placée dans la fosse du volant; on peut cependant parer dans une certaine mesure à cet inconvénient. Les moteurs à vapeur sont généralement à double ou triple expansion; dans ce dernier cas, à 4 cylindres, deux de chaque côté de l'arbre. Cependant, certaines maisons préfèrent les moteurs monocylindriques qui obéissent beaucoup plus rapidement au régulateur que les machines à détentes multiples, ce qui est très important pour le couplage des alternateurs en parallèle. On sait, en effet, qu'une constance aussi grande que possible doit être obtenue dans la fréquence des machines à coupler.

L'excitation des alternateurs est presque partout obtenue au moyen d'une machine à courant continu, multipolaire montée sur l'arbre de la machine: le courant continu circule dans les bobines excitatrices réparties sur la périphérie du volant; dans quelques types ces bobines sont constituées par des spires de fil nu séparées par un isolant.

Les inducteurs ainsi formés tournent dans l'intérieur de l'induit; cependant, nous avons vu un type où c'est l'inverse;

l'inducteur mobile est à l'extérieur monté en porte à faux. Cette disposition qui permet de diminuer le fer de l'induit peut trouver son application dans des cas spéciaux ; elle entraîne dans tous les cas une certaine complication mécanique.

Un type d'excitation très intéressant est celui dû à MM. Hutin et Leblanc ; ce qui le caractérise en principe, c'est que le courant d'excitation est obtenu dans une machine à courant continu qu'on arrive à exciter au moyen des courants alternatifs créés par l'alternateur lui-même.

Cette machine à courant continu est en réalité double. Considérons l'un des induits : il est constitué d'abord par un bobinage qui permet de réaliser un champ tournant soit par du courant mono, bi ou triphasé venu de l'alternateur lui-même avec lequel il a ses circuits en série ; ce champ tourne dans un certain sens et, grâce à des engrenages qui prennent leur mouvement sur l'arbre moteur, on imprime à l'induit une vitesse contraire à celle du champ et égale, de sorte que ce champ devient fixe dans l'espace. Mais l'induit dont nous venons de parler porte un enroulement ordinaire (à courant continu) lequel venant couper le champ fixe, réalisé ainsi que nous l'avons expliqué, génère du courant continu qui se rend à l'excitation. Ce courant est pris par des balais sur un collecteur ordinaire ; afin de permettre le calage de ces balais dans une position fixe, le circuit magnétique du champ rendu fixe est fermé par une carcasse magnétique annulaire ; cette carcasse porte un enroulement où passe le courant continu produit, enroulement qui crée un flux opposé au flux qui provient du champ, de manière à combattre la réaction de l'armature.

Ainsi qu'il est dit plus haut, tout ceci concerne le premier induit ; pour le deuxième, tout se passe de même sauf qu'il est en dérivation aux bornes de l'alternateur ; son courant se joint au courant du premier pour l'excitation de l'alter-

nateur. On réalise ainsi un compoundage permettant que le réglage de l'excitation se fasse automatiquement, quel que soit le débit de l'alternateur et le décalage du courant. On supprime ainsi le rhéostat d'excitation et le réglage de l'excitatrice par un déplacement des balais, ce qui, pensons-nous, constitue des avantages sérieux.

Quant aux induits, le bobinage des triphasés en étoile est fréquent; son avantage bien connu réside en ce que la tension maximum par phase dans la machine étant E par exemple, entre deux fils de ligne elle est $E\sqrt{3}$; on peut ainsi bénéficier du voltage maximum permis en ligne sans que la machine y soit soumise.

Les alternateurs à fer tournant, si l'on juge par le nombre de types représentés à Paris, ne paraissent pas se répandre malgré les avantages qu'ils offrent; une des causes de ce fait trouve peut-être son origine dans les difficultés que présentent, au point de vue magnétique, l'étude et le calcul de telles génératrices.

Nous constatons, quant à la fréquence, que l'accord semble s'établir pour s'arrêter à peu près généralement à 50, chiffre qui correspond aux conditions pratiques requises par les moteurs et qui convient aussi pour l'éclairage.

Nous rappelons que si les fréquences élevées sont plutôt favorables à l'éclairage, il n'en est point de même pour les moteurs, puisqu'elles augmentent les effets de self et nuisent au démarrage.

En ce qui concerne le voltage, les génératrices produisent des courants de 2200 à 5500 volts.

L'amortisseur Hutin et Leblanc qui constitue un des progrès les plus marquants dans la construction électrique des alternateurs, était exposé par la Société Farcot, concessionnaire du brevet.

Cet amortisseur, indépendamment de son action utile sur la réaction magnétique de l'induit, a surtout pour effet de

faciliter le couplage des alternateurs en parallèle, tant au point de vue de la synchronisation initiale que de la stabilité du synchronisme.

L'amortisseur est formé par des tiges en cuivre qui traversent les pôles inducteurs et les espaces interpolaires, parallèlement à l'axe de la machine et qui sont mises en court circuit par des anneaux extérieurs de manière à constituer une cage d'écureuil.

Lorsque les alternateurs tendent à tomber hors de phase, les amortisseurs qui sont comparables aux induits d'un moteur ou d'une génératrice asynchrone réagissent fortement et la différence de vitesse instantanée est limitée à un faible glissement d'un des alternateurs par rapport à l'autre, ce qui permet le rétablissement du synchronisme.

Les amortisseurs employés d'abord à la station d'éclairage de Saint-Ouen ont été appliqués par la suite aux machines du secteur des Champs-Élysées.

Pour terminer ce qui regarde les génératrices électriques, nous pensons qu'il n'est pas dépourvu d'intérêt de savoir dans quelle proportion sont intervenus les exposants des différents pays pour fournir l'énergie électrique nécessaire à la force motrice et à l'éclairage de l'Exposition ; le tableau ci-dessous renseigne sur ce point :

France	8075 kilowatts
Allemagne	4175 "
Angleterre	1900 "
Belgique	1740 "
Autriche	1410 "
Italie	1025 "
Suisse	950 "
Hongrie.	670 "
Pays-Bas	300 "
	<hr/>
	20245 kilowatts

Moteurs électriques. — Nous n'avons pas à signaler de nouveauté essentielle dans leur construction ; les continus multipolaires semblent jouir de la faveur et l'on constate que dans les modèles exposés — la plupart petits — les constructeurs cherchent à augmenter la compacité de la machine ; dans les moteurs à courants alternatifs, nous devons citer les moteurs Boucherot dont les applications deviennent nombreuses à cause de la simplicité de construction de l'induit, lequel est une cage d'écureuil quelle que soit la puissance du moteur, et à cause de la suppression du rhéostat de démarrage servant à introduire des résistances dans l'induit.

Accumulateurs. — Les types nombreux d'accumulateurs et les brevets nombreux auxquels ils donnent lieu tous les jours attestent que l'accumulateur présentant les qualités requises n'est pas encore trouvé. Sans vouloir nous engager dans la fastidieuse description des types, nous croyons intéressant de dire quelques mots d'un accumulateur relativement peu connu, fabriqué par la firme suisse Treibelhorn.

Le premier modèle d'accumulateur Treibelhorn est constitué par un plat en plomb, de forme conique dont le fond porte, des deux côtés (face interne et face externe), des rainures circulaires à bords recourbés dans lesquelles vient se placer le peroxyde ; la matière positive est du côté intérieur : l'acide dilué est versé dans le plat. Le second modèle est un récipient en plomb carré dont le fond solide porte sur chaque face des barres qui renferment la matière active ; ces barres sont amovibles. Le montage des deux modèles est identique ; les auges s'empilent les unes sur les autres, séparées par des billes de verre, mettant ainsi les éléments en tension sans autre connexion.

C'est, comme on le voit, la suppression des vases, des

connexions ; l'accumulateur occupe peu de place et a un bon isolement ; mais le poids de ces éléments est plus élevé que celui des types courants et il y a une difficulté plus grande d'examiner et de renouveler l'acide.

Cet ingénieux système a déjà été soumis à des essais et emplois industriels et il nous paraît avoir des éléments de succès.

Il est certain que le perfectionnement des accumulateurs est une des questions les plus importantes dans le domaine électrique ; l'emploi judicieux de ces appareils conjointement avec les machines génératrices d'une station électrogène peut abaisser dans une proportion notable le prix de revient de l'énergie électrique à distribuer ⁽¹⁾, puisqu'on peut faire travailler les génératrices nuit et jour et obtenir une régularisation complète du voltage de la distribution.

Cependant, à cause de l'orientation actuelle vers les courants alternatifs ⁽²⁾, pour les distributions d'énergie, on peut prédire que l'intérêt qui s'attache, de ce point de vue, à la recherche d'un accumulateur coûtant peu cher et demandant peu de soins disparaîtra bientôt.

Applications de l'électricité. — Dans le domaine des applications de l'électricité, une des questions les plus importantes est la traction électrique ; l'exposition de Paris marque les progrès continus réalisés dans cette voie. En ce qui concerne les tramways électriques avec lesquels les autres moyens de transports actuels de l'espèce ne peuvent plus lutter que dans des cas spéciaux, la question qui paraît à l'ordre du jour est le système de prise de courant dans les

⁽¹⁾ Certains estiment l'économie à 25 %.

⁽²⁾ Lesquels ne permettent pas de charger les accumulateurs ; il y a des systèmes qui sont préconisés mais sur lesquels la pratique ne semble pas s'être prononcée encore d'une manière définitive.

agglomérations qui refusent de laisser installer le réseau de fils nécessaires aux prises par trolleys. Les accumulateurs, disent la majorité des spécialistes en la matière, sont trop lourds, trop coûteux et sont la source de grandes difficultés d'emploi, il est cependant des cas où ils rendent de grands services ; les caniveaux exigent des frais d'établissement très élevés ⁽¹⁾ ; on reproche enfin aux systèmes à contacts superficiels de n'avoir jamais été expérimentés ou de ne justifier que d'un emploi dans des conditions qui ne sont pas normales. Quoi qu'il en soit, c'est à ce dernier système qu'un savant, M. Sylvanus Thompson, prédit le plus grand succès ⁽²⁾.

Un certain nombre de types de locomotives électriques industrielles exposées attestent du développement de ce mode de traction ; généralement, le courant continu avec prise par trolley ou frotteurs est employé ; c'est le système le plus simple.

La traction sur les chemins de fer entre actuellement dans une phase de réalisation pratique par l'emploi des courants alternatifs triphasés. Il est établi que les courants alternatifs seuls peuvent permettre l'exploitation économique de lignes importantes. C'est en Amérique et en Suisse qu'il faut chercher des exemples pouvant guider dans les grandes installations. La ligne de Burgdorf-Thun (Suisse), qui a 40 kilomètres de long, est exploitée par courants triphasés envoyés à 16,000 volts et distribués sur la ligne à 750 volts ; elle a deux conducteurs aériens et les rails servent de troisième.

Bien que les hommes les plus autorisés prévoient une importante évolution dans l'industrie des chemins de fer grâce à l'électricité — que déjà plusieurs sociétés puissantes

⁽¹⁾ 2,5 fois le coût de l'installation par trolley.

⁽²⁾ Session de 1899 de l'*Institution of electrical engineers*.

d'Europe étudient la question — l'expérience acquise et les essais déjà tentés ont besoin d'être complétés.

Si les vitesses de 160 à 240 kilomètres dont on voit la possibilité et les économies considérables de combustible à réaliser par ce mode de traction sont séduisantes, il ne faut pas oublier qu'il est d'autres éléments qui entravent singulièrement son développement.

La traction électrique sur les canaux est une application récente qui est appelée, semble-t-il, à un grand développement. Dans notre pays déjà cette traction s'opère au moyen de courants triphasés sur une section du canal de Charleroi à Bruxelles et s'étendra à toute cette voie navigable. Le « cheval électrique » est muni d'une prise triple de courant qui se meut sur les trois fils de la ligne.

Pour ce qui regarde l'éclairage, l'Exposition de Paris ne consacre pas encore l'infériorité du gaz, ce redoutable concurrent de l'électricité. Les perfectionnements apportés dans ce domaine et notamment dans la construction des lampes électriques ne paraissent pas devoir conduire à un abaissement tel du prix de revient que l'électricité puisse sous ce rapport supporter la comparaison avec les becs à incandescence : elle reste dans beaucoup de cas un éclairage de luxe.

Les lampes à arcs enfermés qui apparaissent en assez grande proportion présentent certains avantages économiques ; elles constituent plutôt un recul quant au pouvoir éclairant relativement à l'énergie dépensée, ainsi qu'il résulte des essais faits de plusieurs côtés. Cependant comme elles n'exigent pas de remplacement des charbons aussi fréquents que les arcs ordinaires, que d'autre part elles fonctionnent sous un voltage plus élevé, elles peuvent rendre des services dans certains cas (éclairage des petits espaces, des magasins, etc.).

Pour terminer cette note, nous rapporterons une impression que beaucoup ont d'ailleurs éprouvée en visitant les installations des nations étrangères invitées par la France à exposer ; c'est la perfection apportée par l'industrie allemande dans les machines qu'elle présente. L'industrie électrique, qui doit être scientifique, se prête plus que toute autre à constater cet esprit de méthode, de spécialisation, d'étude patiente et approfondie que possèdent nos voisins de l'Est et qui est le meilleur élément de succès industriel.
