

servés près de 40 000 chevaux. La station thermique compensatrice doit se construire à Badalona ;

Enfin la Compagnie Canadienne de Toronto, dite « Barcelonesa Traction Light and Power C<sup>o</sup> ». Elle a racheté la ligne de tramways départementaux de Sarria, ainsi que le contrôle de la Compania Barcelonesa de Electricidad A. E. G. dont la station thermique est capable d'environ 25 000 chevaux, et vient d'annoncer la création de 120 000 chevaux hydrauliques, probablement situés sur l'Ebre et la moyenne Pallaresa, qu'elle fait étudier depuis deux mois.

Les besoins actuels totaux de Barcelone et de la région industrielle qui l'entoure pouvant être évalués à environ 170 000 à 200 000 chevaux simultanés, les projets de ces quatre grandes Compagnies, s'ils sont plus tard exécutés en totalité, augmentés des projets plus réduits d'Orlu, du Pastéral, de Pobla de Ségur, et de Lérida, permettront un accroissement notable de la puissance industrielle de la région.

D'autres chutes de premier ordre, comme certaines chutes du Ségré, les hautes et moyennes chutes du Val d'Aran, les hautes chutes de la haute Esera, et de la Cinca, assureront une réserve de puissance, pour l'électrification des lignes ferrées, et la création de centres d'électrochimie et d'électrométallurgie, au fur et à mesure de la mise en exploitation des routes et des richesses minières des Pyrénées espagnoles.

## ÉLECTRICITÉ

### LA DYNAMO HOMOPOLAIRE DE BARBOUR

L'électrotechnique dont l'origine remonte à un siècle à peine a marché tout d'abord lentement jusqu'au moment où les expériences de Marcel Deprez faites après que le Congrès de 1881 eut doté la nouvelle science de méthodes de mesures exactes, montrèrent que ses applications devenaient innombrables par suite de la commodité qu'offrait l'électricité pour distribuer l'énergie au loin et détailler à l'infini, à peu de frais, les forces les plus considérables.

On sut produire le courant sous deux formes en attelant les génératrices d'énergie aux machines électriques, le courant alternatif et le courant continu. Le second trouva une application immédiate dans la galvanoplastie et l'amplification de cette industrie, le dépôt du cuivre, puis, dans les autres branches de l'électrochimie. On ne put aller bien loin dans son utilisation, car il se prêtait mal au transport aux grandes distances, le collecteur redresseur permanent du courant était une pièce délicate, à laquelle on n'osait demander un trop robuste effort et l'on se limita à de faibles tensions qui rendaient trop onéreuse la construction de longues lignes de transport.

Le courant alternatif, au contraire, grâce au transformateur de Gaulard, trouva rapidement faveur, il permettait sous ses divers modes mono, bi, ou triphasé, de transporter très loin, sous des tensions élevées, l'énergie de façon économique, mais il avait l'inconvénient de ne point se plier aisément aux exigences des moteurs de traction et on dut actionner des dynamos au moyen d'alternateurs.

M. René THURY, véritable champion du courant continu, a fait des merveilles pour adapter celui-ci aux nécessités du transport de la force à grande distance, ses efforts ont abouti aux installations du système série au moyen desquelles il

aborde de sang-froid des courants travaillant sous des tensions supérieures à 100 000 volts avec des machines tournant à 2 500 tours par minute. M. Thury a peu d'imitateurs, et peu nombreuses sont les maisons de construction qui font du courant continu pour les hautes tensions.

Le collecteur, avons-nous dit, est la partie délicate des machines à courant continu, si la commutation n'est point mathématiquement parfaite, le collecteur est le siège d'un dégagement permanent d'étincelles qui en provoque la dégradation. Les machines à courant alternatif n'offrent point cet inconvénient, les frotteurs qui prennent le courant sur les bagues ne se détériorent pas. Si donc on pouvait avoir du courant continu sans être obligé de se servir de collecteur, les machines à courant continu auraient une grande partie des avantages des alternateurs, tout en conservant leur aptitude à l'électrolyse pour laquelle ceux-ci ne peuvent servir.

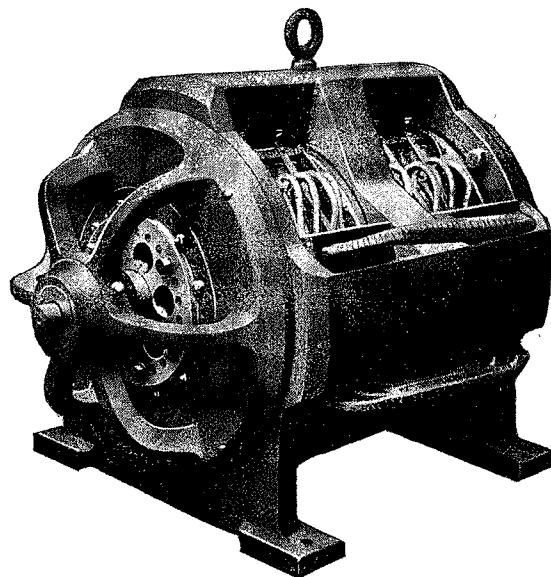


FIG. 1. — *Dynamo homopolaire, 50 kw, 100 volts.*

Or il existe des machines dépourvues de collecteur et donnant néanmoins du courant continu, ce sont les machines homopolaires aussi appelées unipolaires.

Ces machines ont été étudiées avec passion, telles maisons américaines ont dépensé plus de 250 000 dollars pour construire des machines de cette espèce en grandes dimensions et ont abouti à de grands échecs, parce que les ingénieurs qui les construisaient ne pouvaient se défendre de chercher à y adapter les organes qu'ils avaient coutume d'employer dans les dynamos et les alternateurs. Les homopolaires tombèrent dans l'oubli.

Il en subsiste cependant. Les membres du Congrès de la Houille blanche ont vu, en 1902, deux de ces machines à l'usine de La Praz, elle travaillent encore. Ces machines, faites en 1889 pour une autre usine, ne donnèrent pas le résultat désiré, elles furent modifiées et transportées à La Praz où elles firent et font encore un travail très dur. Ces machines sont énormes et tournent à une vitesse relativement faible.

Les turbines à vapeur qui ont pris la place des anciennes machines à piston, exigent des engins tournant à grande vitesse ; nous avons vu qu'en dehors des applications faites par M. Thury, on n'a point jusqu'ici demandé aux machines à courant continu des vitesses comparables à celles des alternateurs à cause des difficultés que présente leur construction.

Ces difficultés se font sentir surtout en ce qui concerne

la commutation et croissent avec la taille des dynamos. Elles sont tellement grandes qu'une excessive habileté dans la détermination de leurs caractéristiques rend seule possible la construction de machines satisfaisantes de force moyenne, tandis que pour des machines de grande puissance on préfère coupler en tandem deux petites machines plutôt qu'en

nouvelle qui semble parfaitement pratique. Une machine spécimen de 50 kilowatts a été présentée par lui à l'exposition électrique ouverte à l'Olympia, le 23 septembre dernier. Les machines homopolaires conviennent plus spécialement aux grandes vitesses et M. Barbour paraît avoir réalisé une machine d'une construction mécanique excellente pouvant

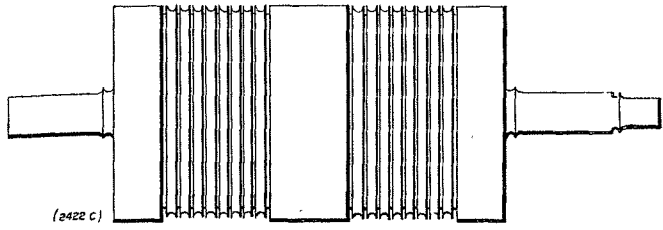


FIG. 2. — Rotor.

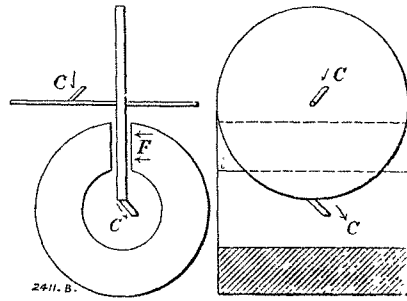


FIG. 3. — Disque de Faraday.

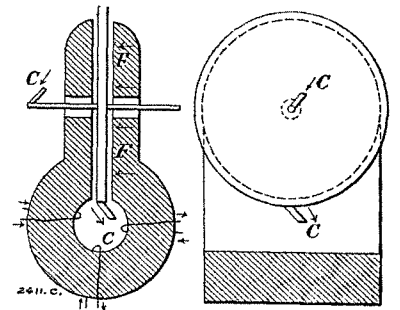


FIG. 4.

faire une seule grosse, ce qui naturellement diminue le rendement et augmente le prix de premier établissement. On ne connaît pas de groupes turbo-dynamos de vraiment grande puissance comparables aux groupes turbo-alternateurs, et il est probable qu'en bien des cas on a eu recours

satisfaire aux desiderata des nombreuses demandes pour des dynamos à courant continu, à grand débit et grande vitesse. Jusqu'à présent le dessin des frotteurs a été l'une des difficultés limitant l'emploi des machines homopolaires ; la modification radicale apportée par M. Barbour est un des traits caractéristiques de sa machine. Quelle que puisse être, sur son dispositif, l'opinion de ceux qui ne l'ont pas expérimenté, il appelle du moins bien plus fortement la considération des ingénieurs que tout autre basé sur un contact à mercure.

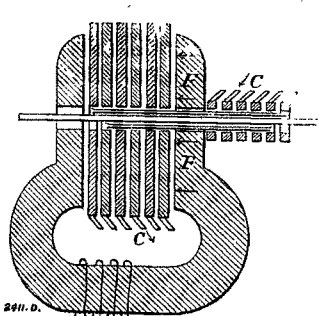


FIG. 5.

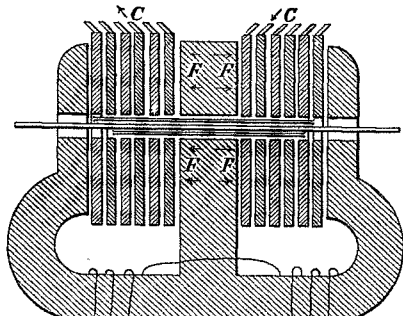


FIG. 6.

à des turbo-alternateurs actionnant des commutatrices, alors qu'on eût trouvé bien des avantages à se servir de turbo-dynamos donnant directement du courant continu si on avait pu obtenir de telles machines de dimensions suffisantes. Ces considérations ont ramené l'attention sur le type

La dynamo présentée à l'exposition de l'Olympia débite 50 kilowatts sous 100 volts à 3 500 tours par minute. Elle est représentée dans les figures 1 et 2. Avant d'en examiner la construction en détail, il sera intéressant de suivre sa genèse, en partant de la machine homopolaire réduite à sa plus simple expression, le disque de Faraday, représenté par la figure 3. Cette machine se compose d'un disque de cuivre tournant dans le champ d'un aimant F, ayant deux frotteurs C C appuyant l'un sur l'arbre, l'autre sur la tranche du disque. Ce type de machine a trouvé une réalisation industrielle dans la construction de certains ampère-heures-mètres. La machine de Faraday, dans sa forme la plus élémentaire est caractérisée par un très bas voltage, pour en

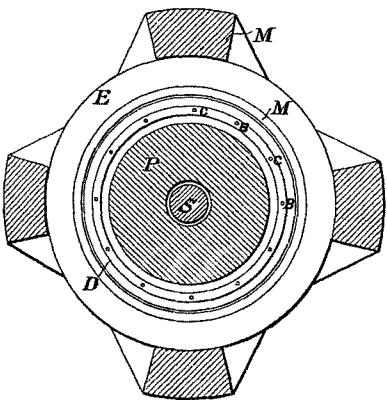


FIG. 8. — Coupe suivant YY.

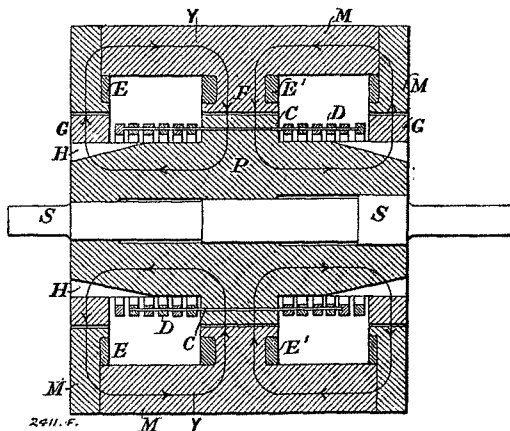


FIG. 7. — Coupe longitudinale de la dynamo.

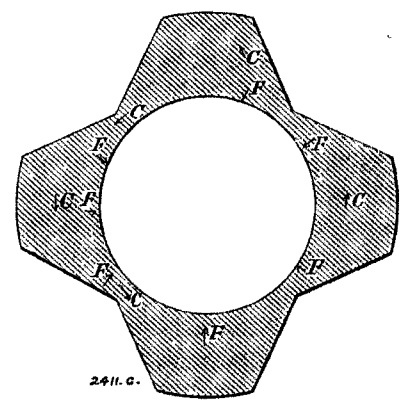


FIG. 9.

« homopolaire » de dynamos. M. Ugrimoff, de Moscou, a étudié une machine dans laquelle le courant est recueilli par un collecteur en mercure. Il n'y a pas lieu d'insister sur les inconvénients qu'offre le mercure dans le cas d'un emploi de ce genre.

M. R.-H. Barbour a étudié une machine d'une disposition

tirer parti, il est nécessaire de placer la surface entière du disque dans le champ magnétique, et en même temps de développer un champ magnétique uniforme afin d'éviter des pertes par les courants de Foucault. La figure 4 représente une machine modifiée dans ce sens, et munie de bobines inductrices au lieu d'un aimant permanent.

Un second pas dans le développement de la machine homopolaire se voit figure 5, on a figuré plusieurs disques montés en série afin d'augmenter le voltage, et disposés pour tourner dans un seul champ afin d'économiser du fer. Cette figure représente schématiquement les traits suivant lesquels a été développé le type homopolaire de dynamo. Electriciquement le dispositif est assez satisfaisant, mais la connexion des frotteurs périphériques avec les centres des disques offre des difficultés mécaniques. L'emploi de deux champs jumelés a apporté une amélioration (voir fig. 6), parce que ainsi on double le voltage sans augmenter le nombre des frotteurs périphériques ; il faut noter que si les dégagements aux extrémités du rotor ne sont pas égaux, il peut y avoir une sérieuse poussée magnétique. La reluctance des machines de ce type n'a pas besoin d'être élevée puisque la densité de courant dans les disques est faible, et ils peuvent être faits en fer. Il faut remarquer que dans ces machines le réel parcours du courant dans le rotor n'a aucune importance. L'étude et l'expérimentation d'une machine construite

bagues collectrices qu'il refroidit efficacement, et sert à souffler tout arc accidentellement formé entre deux d'entre elles.

La différence de voltage entre deux bagues voisines est naturellement petite. La figure 9 montre un détail important de la machine. Elle représente une coupe de la masse formant le pôle médian de la partie fixe de la machine et montre la méthode de rétrécissement des passages par lesquels le flux magnétique, induit par le courant au rotor, est étranglé et, ainsi, empêché de venir contrarier le flux produit par les bobines inductrices. Le circuit du flux produit par le rotor est indiqué par CC et celui du flux inducteur par FF.

Les frotteurs de cette machine, qui donnent toute satisfaction, en sont un des points intéressants. Les bagues collectrices sont creusées en forme de gorge, les frotteurs, qui sont disposés sur la plus grande partie de leur périphérie, sont formés d'âmes très flexibles, en cuivre, enveloppées d'une gaine de maillechort. Cette enveloppe, quoique diminuant légèrement la flexibilité, protège l'âme contre l'usure et

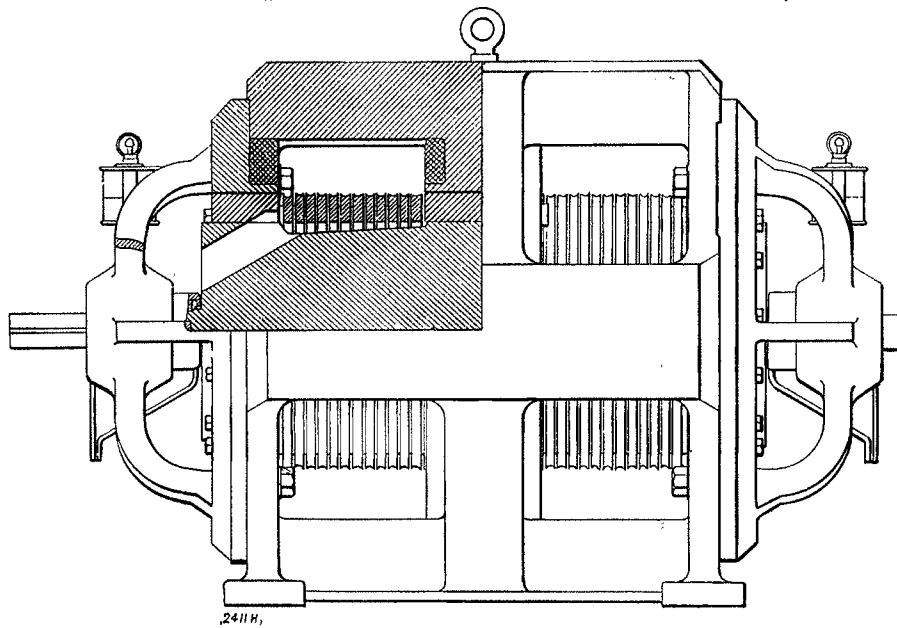


FIG. 10.

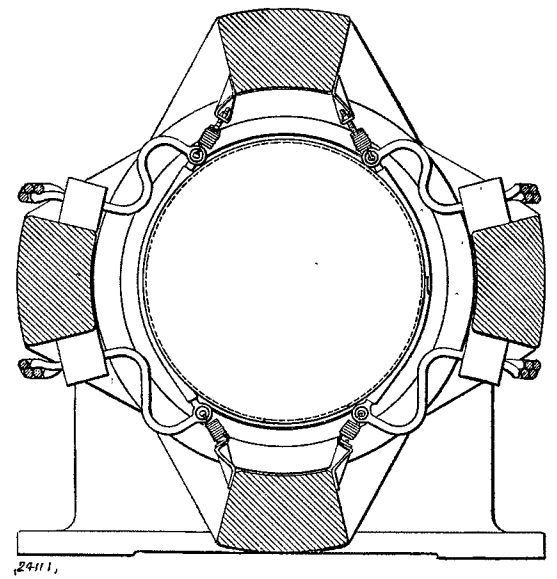


FIG. 11.

sur les principes illustrés par la figure 6, ont conduit M. Barbour au modèle définitif, montré dans ses traits essentiels dans les figures 7 et 8.

Cette machine, que l'on peut considérer comme la réalisation des principes synthésés figure 6, est, en fait, du type à tambour et montre que les machines à disques et à tambour sont identiques au fond. Elle consiste en un solide rotor P et un bâti fixe M. EE<sup>1</sup> sont les inducteurs, CC les conducteurs logés dans des tubes de mica, dans des trous forés dans le rotor, DD sont les bagues collectrices. Les pôles extrêmes du rotor, qui sont nécessairement démontables pour permettre l'ajustage de la machine, sont, dans le modèle exposé, faits de couronnes feuilletées, de même le pôle médian, qui peut cependant ne faire qu'un avec le moyeu du rotor. Les bagues collectrices sont fixées par des boulons traversant le rotor de part en part, parallèlement aux conducteurs et isolées par des tubes de mica. Leur position est figurée en BB (fig. 8). Les conducteurs CC passent aussi dans des tubes de mica, à travers les bagues collectrices, excepté, naturellement, celles auxquelles ils sont reliés. Il y a aussi des isollements en mica entre les bagues collectrices. Plusieurs rainures H (fig. 7) sont creusées dans les extrémités du moyeu du rotor, l'air qui y pénètre est, en raison de la grande vitesse angulaire, éjecté à travers les

donne un contact remarquablement bon. Les frotteurs sont tenus appliqués par des ressorts munis d'écrous de tension et portés par des bras fixés au bâti. Les âmes des frotteurs sont reliées par leurs extrémités au tableau de la machine. Pour avoir un bon contact, il faut que la tension des ressorts

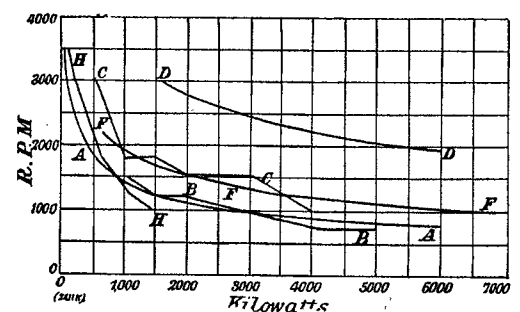


FIG. 12. — R.P.M. = Nombre de tours par minute.

soit faible de sorte qu'il n'y ait pas d'usure ou de perte inutile par friction. Le maillechort a été choisi pour former les enveloppes non comme l'alliage offrant sous certaines conditions la moindre résistance, mais comme celui qui donna les meilleurs et plus constants résultats. On a pris des mesures pour assurer la lubrification des balais.

Voici les constantes de la machine exposée à l'Olympia :

Puissance .....	50 kilowatts.
Voltage .....	100 volts.
Tour par minute .....	3 500
Longueur entre paliers .....	73 cm. 8
Hauteur du bâti .....	70 cm. 6
Largeur du bâti .....	70 centimètres
Diamètre du rotor .....	35 cm. 6
Vitesse tangentielle .....	4 224 m. par min.
Ampères à l'excitation .....	5
Nombre de conducteurs .....	12
Largeur de chaque bague .....	12 mm. 5
Longueur axiale du moyeu .....	150 millimètres.
Longueur des flasques extrêmes .....	87 mm. 5

Deux vues d'après les dessins de construction de la machine sont données, figures 10 et 11, mais la disposition où l'arbre et le rotor forment une seule pièce a été abandonnée, et la machine de l'Olympia n'est point montée ainsi : les vues et celles des figures 7, 8 et 9 montrent tout le détail de construction de la machine.

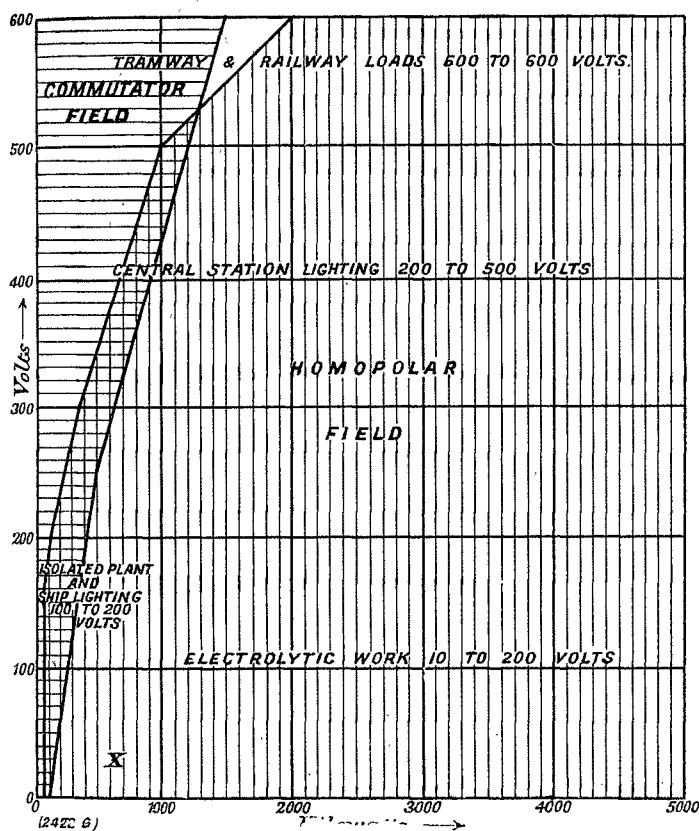


FIG. 13.

Les deux diagrammes (fig. 12 et 13) appellent l'attention. La figure 12 montre la commodité de la machine homopolaire pour le couplage avec une turbine à vapeur. La courbe A montre les vitesses angulaires de machines homopolaires de même vitesse tangentielle et de même construction générale que celle décrite ci-dessus. La courbe H montre les vitesses de groupes turbo-dynamos d'une maison bien connue. La courbe B donne les plus faibles vitesses des turbines normales (à vapeur) d'un constructeur renommé. De leur examen, il ressort qu'au-dessus d'une certaine puissance, les dynamos tournent trop lentement pour les turbines, tandis que les homopolaires vont exactement bien. La courbe F représente les vitesses de machines homopolaires marchant à une vitesse tangentielle supérieure de 25 pour 100 à celle de la machine de l'Olympia. C'est un type parfaitement réalisable. La courbe C a pour but de montrer les vitesses aux-

quelles les constructeurs de turbines à vapeur préfèrent se tenir, la coïncidence de ces courbes est frappante. Je pense, cependant, que, pour la pratique actuelle, M. Barbour a pris la courbe C un peu bas. Cela n'affecte point son argument, puisque la courbe D D montre la limite de vitesse possible de son type de machine, de sorte qu'un léger accroissement de la vitesse, figurée par la courbe F, serait chose facile. On doit rapprocher de ces courbes l'observation que les caractéristiques extérieures des machines homopolaires sont semblables à celles des machines d'autres types. Elles peuvent être à enroulement, série, shunt, ou compoundé de diverses façons, tandis qu'en raison de l'absence de commutation elles peuvent supporter de très fortes surcharges pour de courtes périodes. Le second diagramme (fig. 13) montre l'aptitude de la machine homopolaire et l'étendue du champ de ses applications. Le diagramme se rapporte naturellement aux turbo-groupes. La partie couverte par des lignes horizontales représente le champ ouvert aux machines à collecteur et la partie couverte de lignes verticales, celui ouvert aux machines homopolaires. Les deux champs se pénètrent un peu comme on pouvait s'y attendre, mais le diagramme montre de façon saisissante combien nombreuses peuvent être les applications de la machine homopolaire.

Les machines homopolaires sont excellentes pour les emplois exigeant de très grandes intensités sous de faibles tensions, tels que le dépôt des métaux, l'électrolyse des solutions salines ou des bains en fusion, l'obtention des hautes températures dans les fours à résistance, fours d'affinage des métaux comme celui de Girod, fours de fusion des matières très réfractaires comme le four à verre de Volcker, fours à réchauffer comme celui de Fitz Gérald, fours à distiller les métaux volatils comme le four de Côte et Pierron, fours à cyanamide.

Elles conviennent très bien aussi pour la métallurgie par les fours à arcs, soit celui de Stassano où l'arc est permanent, soit celui d'Héroult, de Keller-Leleux, et tous les fours à carbure de calcium et à ferro-alliages, dans lesquels il peut se produire des alternatives d'arcs et de courts-circuits francs. Il faut alors pouvoir placer les fours assez près des machines pour que la tension ne dépasse pas trop 50 volts, on évite avec elles tous les inconvénients que présente l'emploi des courants alternatifs de grande intensité.

Pour des tensions plus élevées, car on peut parfaitement aller à 200 volts, les rotors des machines homopolaires de M. Barbour sont isolés au mica seul ; au-dessous de 50 volts, ils ne contiennent aucun isolant et offrent ainsi le maximum de sécurité.

Ces machines sont exemptes des défauts qui ont rebuté les constructeurs des premières machines homopolaires, elles constituent des engins pratiques et précieux qui ne sont affectés ni par un court-circuit momentané, ni par la rupture du circuit extérieur ou du circuit d'excitation, accidents si graves pour les dynamos à collecteurs.

F. CHARLES,  
Ingénieur Electrometallurgiste.

## NOTE DE LA RÉDACTION

La Houille Blanche publiera incessamment une série d'études du plus haut intérêt sur *Les Moteurs à collecteurs à courants alternatifs*, par M. BARBILLION, Directeur de l'Institut Electrotechnique de Grenoble, en collaboration avec M. F. CLARET.