



**HAL**  
open science

## Machines dynamo-électriques à courants continus

A. Potier

► **To cite this version:**

A. Potier. Machines dynamo-électriques à courants continus. J. Phys. Theor. Appl., 1882, 1 (1), pp.389-416. 10.1051/jphystap:018820010038900 . jpa-00237979

**HAL Id: jpa-00237979**

**<https://hal.science/jpa-00237979>**

Submitted on 4 Feb 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES A COURANTS CONTINUS;**

PAR M. A. POTIER.

L'Exposition d'électricité présentait, avec des types déjà anciens, quelques formes nouvelles, qu'il a paru intéressant de faire connaître aux lecteurs du Journal. L'extrême obligeance de M. Niaudet, de la rédaction et de l'administration du journal *l'Électricien*, nous a permis d'enrichir de gravures la description, nécessairement aride, des types principaux de machines à courants continus.

Toutes les machines utilisées aujourd'hui pour la production des courants électriques sont fondées sur l'induction; c'est-à-dire que les courants y sont engendrés par le déplacement d'un conducteur dans un champ magnétique ou par la variation d'intensité de ce champ.

## I. — ANCIENNES MACHINES.

La première machine de Pixii et ses dérivés directs, Saxton, Clarke, Nollet, Holmes, utilisent les courants qui se produisent dans une hélice entourant un noyau de fer doux, dont le magnétisme est excité dans un sens, puis renversé un grand nombre de fois par minute; on produit ainsi un très grand nombre de courants alternatifs, qu'un commutateur peut redresser s'il est nécessaire. Aujourd'hui encore la machine de l'Alliance fonctionne ainsi; les changements de magnétisme sont produits en faisant passer successivement les noyaux devant une série de pôles d'aimants alternés <sup>(1)</sup>.

M. Wilde a montré que l'on pouvait augmenter la production de ces machines, en substituant aux aimants permanents des électro-aimants qui sont beaucoup plus puissants, de sorte que ses machines se composent en réalité de deux machines distinctes :

---

(<sup>1</sup>) Un progrès important pour les machines de faible force avait été néanmoins réalisé par MM. Siemens et Halske (1854) par la construction de l'*armature* de Siemens; le fer doux, de forme cylindrique, y tourne sur son axe même et est garni de fil dans deux rainures longitudinales.

*J. de Phys.*, 2<sup>e</sup> série, t. I. (Septembre 1882.)

l'une, *excitatrice*, doit fournir le courant qui produit l'aimantation des électro-aimants, l'autre fournit le courant véritablement utilisé; dans ces machines le courant des électro-aimants, provenant d'une machine à courants alternatifs redressés, est naturellement très variable d'intensité à chaque instant.

Peu de temps après l'introduction de cette idée fondamentale, MM. Varley, W. Siemens et Wheatstone proposèrent presque simultanément de se servir du courant même de la machine pour exciter les électro-aimants; le magnétisme rémanent de ceux-ci suffit pour produire un courant, très faible d'abord, qui parcourt le fil des électro-aimants, les renforce, et se renforce par conséquent lui-même indéfiniment, ou plutôt jusqu'à ce que les électro-aimants soient saturés: la machine peut donc être simplifiée.

Pendant la première disposition, avec machine excitatrice séparée, est encore usitée, soit pour l'éclairage, soit pour la galvanoplastie; dans un grand nombre de cas, il y a avantage à séparer l'excitatrice de la machine qui produit le courant utilisé; on transforme ainsi la machine dynamo-électrique en une sorte de machine magnéto-électrique, les électro-aimants ayant un magnétisme invariable, quel que soit le courant produit; par conséquent la force électromotrice totale devient indépendante des variations de la résistance extérieure, et la dépense inévitable d'énergie qu'entraîne le maintien du magnétisme des électro-aimants peut être réduite au strict nécessaire; enfin le renversement du courant principal, toujours à craindre, est sans influence sur le sens du magnétisme des électro-aimants.

Cette première machine de M. Wilde, qui date de 1866, a été la première machine vraiment industrielle, et a été employée par son auteur à la galvanoplastie. Elle fut suivie des machines Siemens, et en 1867 l'armée prussienne était pourvue d'une machine dynamo-électrique manœuvrée à la main par 40 hommes; de son côté Ladd avait également construit sur le même principe, et toujours en employant l'armature de Siemens, une machine dynamo-électrique puissante.

A cette époque il semblait qu'il n'y eût plus de grands progrès à faire, et aucun n'a été réalisé depuis, en utilisant le même principe, l'induction dans un fil par le changement du magnétisme dans le fer qu'il entoure.

Sous ces formes dérivées plus ou moins directes de la machine de Clarke, les machines ne produisent pas de courants réellement continus; ils sont naturellement alternatifs et, si on les redresse avec un commutateur, leur intensité varie, très rapidement il est vrai, d'un certain maximum à zéro; de plus on n'obtient de courants un peu énergiques qu'à condition de multiplier les changements de sens de l'aimantation un grand nombre de fois par minute : il en résulte un échauffement très notable du fer, assez fort pour détruire l'isolant du fil enroulé autour de ce noyau; inconvénient pratique bien plus grave que la perte théorique qui résulte de la transformation en chaleur d'une partie du travail moteur.

Tout récemment seulement M. von Hefner-Alteneck est arrivé, par une combinaison ingénieuse de commutateurs, à associer des bobines dépourvues de noyaux de fer doux, et soumises au même mode d'induction que les bobines de la machine de Clarke. Cette machine sera décrite plus loin.

## II. — MACHINES MODERNES.

D'un autre côté, des tentatives furent faites pour produire sans redressement des courants méritant le nom de *continus*. Le D<sup>r</sup> Werner Siemens a exposé, sous le nom de *machine-assiette* ou *teller-maschine*, un essai tenté par lui en 1853; de petits électro-aimants étaient fixés sur le bord d'un cône plat, roulant sur un plan où étaient disposés radialement des aimants permanents; les électro-aimants forment deux séries où les courants induits sont de sens contraire et les prises de courant se font dans le circuit commun formé de tous ces fils, précisément aux deux points où le courant change de sens, disposition qui se retrouve dans les machines suivantes: cette machine fort petite, destinée à fournir des courants continus à la télégraphie, resta à l'état de modèle.

Plus tard M. Pacinotti fit paraître, dans le *Nuovo Cimento* de juin 1864, la description d'un moteur électromagnétique fort intéressant; cette description a été reproduite dans le tome X de la première série de ce Journal, p. 461.

La description publiée dans le *Nuovo Cimento* n'attira pas l'attention à cette époque, et pas plus en Italie qu'ailleurs on ne

songea à utiliser le principe en vue d'une production industrielle de l'électricité (1).

### *Machines Gramme.*

En 1869, M. Gramme réinventa l'anneau de M. Pacinotti, en partant de considérations toutes différentes; il se proposait d'utiliser les courants se produisant dans une hélice que l'on fait mouvoir parallèlement à la longueur d'un aimant qui en occupe l'axe, courants qui restent de même sens tant qu'on n'atteint pas une des lignes neutres de l'aimant. La suppression des parties saillantes de l'anneau Pacinotti, par suite le remplissage presque complet du champ magnétique par le fil conducteur, la substitution d'un faisceau de fil de fer à l'anneau de fer doux, puis l'introduction du collecteur, formé de secteurs épais de cuivre séparés par un isolant et groupés en un cylindre solide sur lequel s'appuie une paire de balais, enfin la disposition éminemment pratique des électro-aimants, devenus partie intégrante du bâti de la machine, sont autant de traits distinctifs de la machine Gramme; le collecteur et le bâti transformés en électro-aimants à points consécutifs sont de tels avantages pratiques, que toutes les machines à courant continu les ont empruntés (sauf toutefois la machine Brush, dont le collecteur est un simple redresseur de courants). A partir de ce mo-

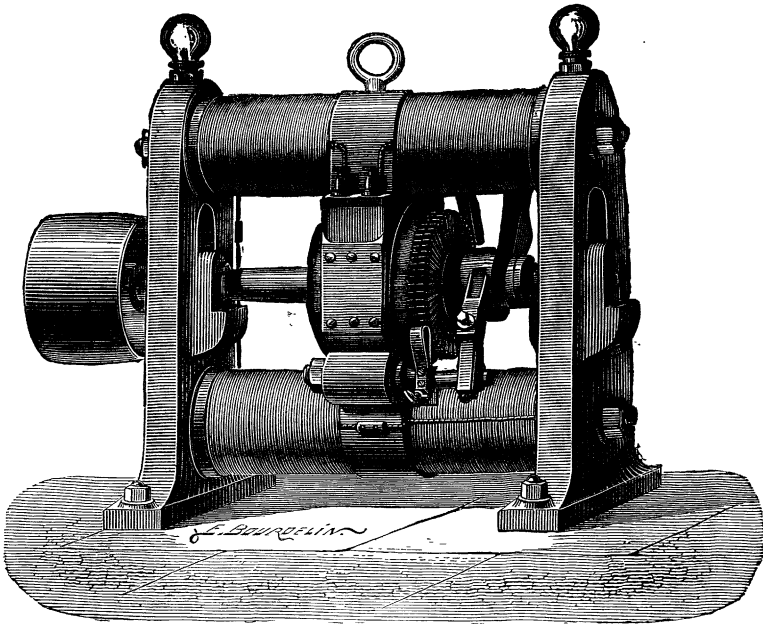
---

(1) Indépendamment de la machine décrite dans le *Nuovo Cimento*, M. Pacinotti a exposé deux autres modèles, l'un très analogue à la machine Siemens, l'autre d'un enroulement nouveau. Supposons qu'un fil parte du centre d'une circonférence, en suivant un rayon, puis, arrivé à la circonférence, la suive sur près de 180°, retourne au centre, le dépasse de la longueur du rayon, suive de nouveau la circonférence sur près de 180° et ainsi de suite, de manière à former une série de D disposés un peu en avance les uns sur les autres. Lorsque la barre verticale du D a tourné de 360°, on soude les deux extrémités libres; on obtient ainsi un conducteur fermé sur lui-même, qui peut être divisé en segments dont les extrémités sont rattachées aux touches d'un collecteur, dont les parties diamétralement opposées serviront de prises de courants; la rotation d'un pareil disque en face des pôles épanouis d'un électro-aimant en fer à cheval, ou mieux entre les pôles de deux électro-aimants opposés, produit un courant assez fort: M. Pacinotti indique qu'avec une dépense d'environ 1 cheval il a obtenu un petit arc et fait rougir un fil de fer de 0<sup>mm</sup>,6 de diamètre et 0<sup>m</sup>,25 de long. Cette disposition permet de remplir complètement le champ de fil, mais n'utilise que les portions radiales de celui-ci, et encore les parties voisines du centre ont-elles peu d'effet.

ment l'usage des machines dynamo-électriques se répandit rapidement.

La Société Gramme exposait, à titre de document historique, les diverses formes données à cette machine depuis la machine présentée en 1869 à l'Académie des Sciences, et qui pouvait être excitée soit par des aimants permanents, soit par des électro-aimants, jusqu'au type si connu aujourd'hui et si répandu sous le nom de *type d'atelier*, figuré ci-dessous (*fig. 1*).

Fig. 1.



Machine Gramme normale pour la lumière.

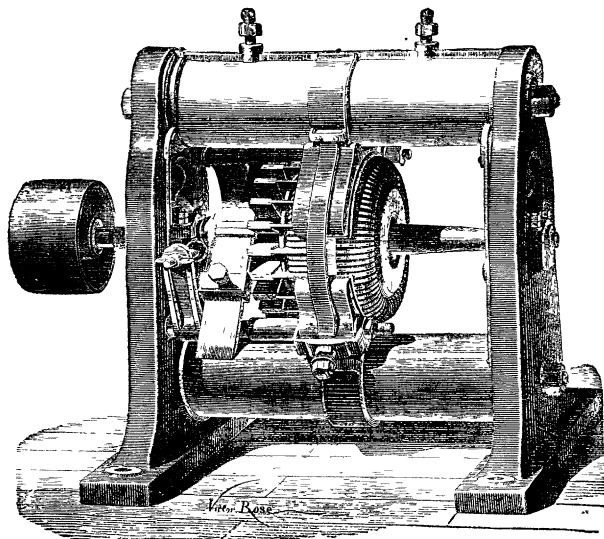
M. Breguet a rendu populaire une machine Gramme, de laboratoire, à aimant permanent Jamin, avec laquelle un homme produit aisément une force électromotrice de 12 à 15 volts environ à la vitesse normale.

Dans d'autres types, et spécialement dans ceux des machines destinées à la transmission de la force, M. Gramme établit quatre champs magnétiques, de polarités alternées, au lieu de deux autour

del'anneau : il faut alors quatre balais ; tout le système est renfermé dans un bâti de fonte de forme octogonale ; la machine est compacte et les organes délicats protégés.

Les premières machines industrielles de M. Gramme avaient été utilisées dans les ateliers de MM. Christoffe et C<sup>ie</sup>, pour l'argenteure, dès 1872 ; depuis cette époque les piles ont été supprimées, et un dépôt de 600<sup>sr</sup> d'argent à l'heure, pour  $\frac{2}{3}$  de cheval, est obtenu d'une manière courante. Les machines (*fig. 2*) sont pourvues

Fig. 2.

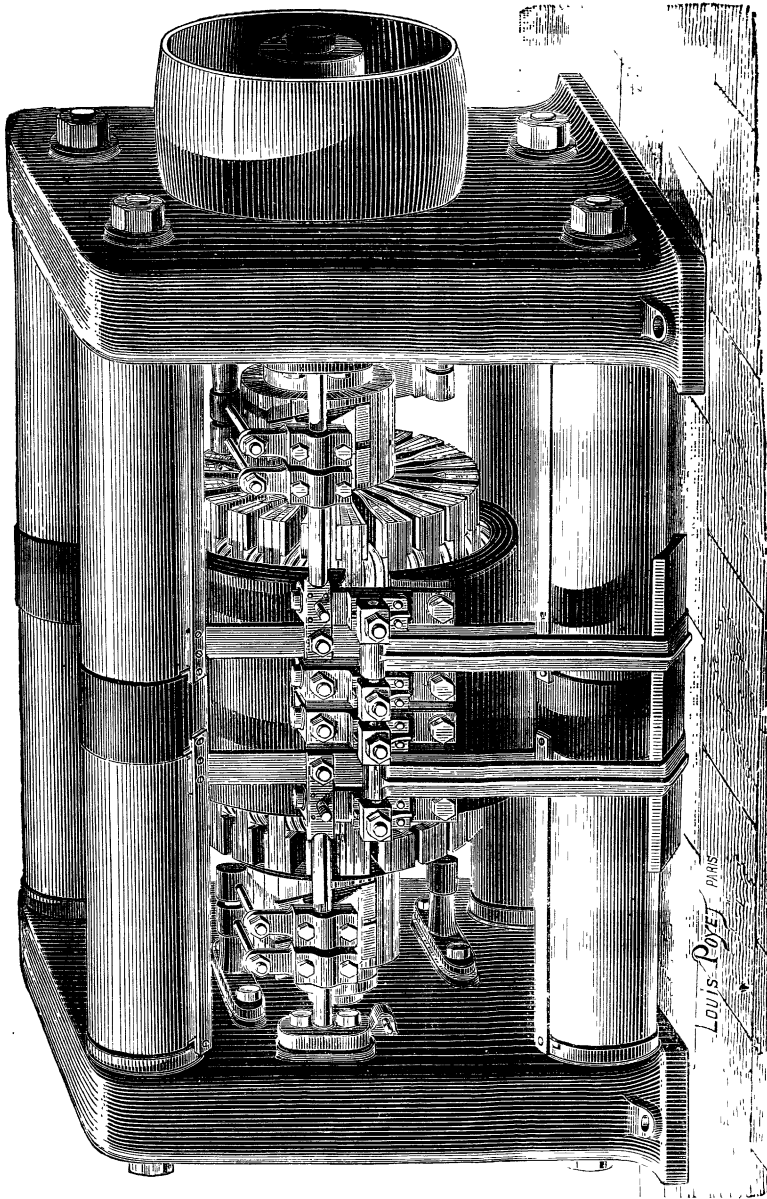


Machine Gramme pour électrochimie, petite échelle.

d'un brise-courant qui ouvre le circuit dès que l'intensité du courant tombe au-dessous d'une certaine valeur ; celui-ci ne peut donc se renverser, ni induire dans les électro-aimants un magnétisme inverse, dont le résidu suffirait pour déterminer le renversement du courant, dans le cas d'arrêt suivi de remise en marche de la machine motrice : l'effet de la polarisation des électrodes est ainsi annulé.

M. Gramme a été plus loin encore et a construit pour la *Nord-Deutsche Affinerie*, à Hambourg, pour MM. Oeschger et Mesdach,

Fig. 3.



Grande machine à galvanoplastie employée par Wohlneil, de Hambourg.



en France, des machines destinées à l'affinage du cuivre ; dans cette opération le cuivre impur est plongé dans un bain de sulfate de cuivre, et le courant le transporte au pôle négatif ; la polarisation de ces bains, causée uniquement par les impuretés du cuivre, est très faible : une très faible force électromotrice suffit donc, mais il est important que la résistance soit excessivement faible ; l'anneau induit se compose de 40 segments, divisés en 2 séries correspondant à deux commutateurs, situés de part et d'autre de l'anneau. Chacun de ces segments se compose de deux spires, formées de sept bandes de cuivre, de 0<sup>m</sup>,010 de largeur et de 0<sup>m</sup>,0028 d'épaisseur. La résistance de l'anneau est de 4 dix-millièmes de ohm, ou de 1 dix-millième, suivant que ces deux moitiés sont associées en série ou en quantité ; celle des feuilles de cuivre qui entourent les noyaux de fer doux des électro-aimants est de 11 dix-millièmes de ohm, ou de 2,8, suivant leur mode d'association ; les quatre balais de la machine ont chacun une surface de contact de 0<sup>m</sup>9,0024 ; le poids du cuivre de la machine est de 735<sup>kg</sup>, et le poids total 3500 ; la force électromotrice est de 4 ou de 8 volts, suivant l'accouplement, avec une vitesse de 500 tours par minute (diamètre de l'anneau : 0<sup>m</sup>,365).

#### *Machines Siemens.*

La maison Siemens ne pouvait rester à l'écart du grand mouvement qui suivit l'apparition de la machine Grammc. Son éminent ingénieur, M. von Hefner-Alteneck, produisait en 1873 une machine dont l'induit est formé d'une carcasse cylindrique en fer, enveloppée extérieurement de fils de cuivre, en forme de pelote allongée ; toutes les parties du fil parallèles à l'axe sont directement soumises à l'action des pôles magnétiques ; ce fil est divisé en segments dont les extrémités sont reliées à des plaques formant secteurs d'un disque circulaire, normal à l'axe, sur lequel appuient deux petits galets qui prennent le courant ; à l'intérieur de la carcasse mobile se trouvait un cylindre de fer doux ; cette carcasse était maintenue à ses deux extrémités par deux disques portant en leur centre des portées creuses frottant sur axe fixe ; à l'un des disques était fixée une poulie transmettant le mouvement. Les électro-aimants, disposés de part et d'autre de la machine, ont leurs

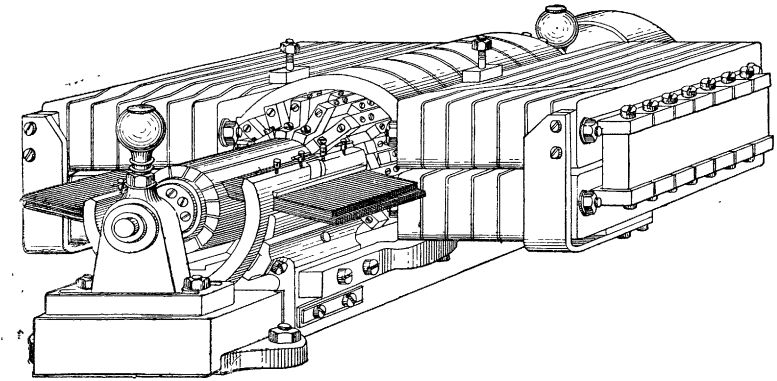
pôles de même nom reliés par des barres méplates de fer forgé, courbées en arc de cercle, embrassant de près, sur les  $\frac{2}{3}$  de sa circonférence et sur toute sa longueur, la surface cylindrique de la pelote de fil de cuivre. Avec cette disposition, la pelote tourne successivement dans deux champs magnétiques d'une grande intensité, constitués chacun par les armatures de fer des électro-aimants et la partie voisine du cylindre de fer doux qui prend une polarité opposée à celle de l'armature; mais on ne tarda pas à reconnaître : 1° que la complication introduite par l'immobilité du cylindre intérieur n'était pas compensée par l'avantage théorique de laisser immobile le fer chargé de magnétisme; que d'ailleurs cette pièce était le siège de courants d'induction fort nuisibles; 2° que le mode de collection par galets roulant sur les secteurs était inférieur de beaucoup au collecteur Gramme. M. von Hefner-Alteneck solidarisa alors le fer doux intérieur avec la pelote, puis employa le collecteur Gramme et le mode d'attache des extrémités de chaque segment à la touche correspondante du collecteur; l'enroulement du fil reste donc la disposition caractéristique de ces machines : c'est celui qui sera désigné sous le nom d'*enroulement Siemens*; la disposition des quatre barres d'électro-aimants réunies des deux côtés de la pelote par des barres de fer méplat et courbées donne un air de famille à toutes les machines de puissance différente construites par les maisons Siemens et Halske, de Berlin, Siemens brothers, de Londres, et Siemens frères, de Paris.

Là aussi nous rencontrons, à côté des machines destinées à la transmission de la force, à fil fin et grande résistance, à *haute tension*, des machines de *quantité* où le circuit induit a une section de 0<sup>m</sup>9,0013 et une résistance de 7 dix-millièmes d'ohm; chacune de ces machines, employées dans les usines d'Oker (Communauté Hüttenant) à l'affinage du cuivre, traite par jour (dans douze bains) 300<sup>kg</sup> de métal (*fig. 4*).

Les machines Gramme et Siemens constituent d'excellents types, déjà entrés largement dans la pratique industrielle, mais ce ne sont pas des machines théoriquement parfaites, et il n'est pas interdit d'espérer des résultats meilleurs encore; l'exposition de la maison Siemens et Halske montrait à titre d'essai deux machines d'un genre absolument nouveau, dues au docteur Werner Siemens.

Dans la machine *unipolaire*, on fait tourner entre un cylindre creux de fer doux, qui constitue le pôle épanoui d'un électro-aimant, et une branche d'un fer à cheval de polarité opposée qui en est l'axe, un cylindre de cuivre, dans lequel se produisent des courants faciles à recueillir par des frotteurs appropriés placés aux deux extrémités du cylindre; mais, même en donnant au pôle la forme d'un tube de 1<sup>m</sup>,16 de long, de 0<sup>m</sup>,16 de diamètre extérieur et de 0<sup>m</sup>,9 de diamètre intérieur, la force électromotrice, avec une vitesse de 7 à 800 tours et un courant excitateur fort intense (jusqu'à 130 ampères), atteignait à peine trois quarts de volt.

Fig. 4.



Dans un autre modèle de machine, le même fil, qui produit l'excitation des aimants inducteurs est en même temps induit par eux; l'aimant est un cylindre creux de fer doux, fendu sur un tiers environ de sa circonférence, et le fil est enroulé parallèlement aux génératrices et suivant le mode Gramme, formant un solénoïde à axe curviligne, dont la section est très allongée suivant la direction de ces génératrices; il est divisé en segments, dont les points de jonction répondent aux touches d'un commutateur. Les cadres qui portent ces segments sont fixes et le cylindre de fer tourne; les faces polaires sont les faces parallèles aux génératrices qui limitent la fente; sa rotation excite dans le fil des courants qui excitent à leur tour son magnétisme.

Ces modèles, qui demanderaient de grandes modifications pour

être transformés en machines industrielles, n'étaient exposés qu'à titre d'essai.

*Machines diverses.*

Les deux types Gramme, Siemens ont été modifiés par un grand nombre de constructeurs; ce sont ces modifications qui vont être décrites.

Il a été exposé au nom de M. Edison un ensemble complet d'éclairage électrique, comprenant le moteur à vapeur, la machine dynamo-électrique, la distribution et enfin les lampes décrites dans ce Journal (p. 129 de ce Volume).

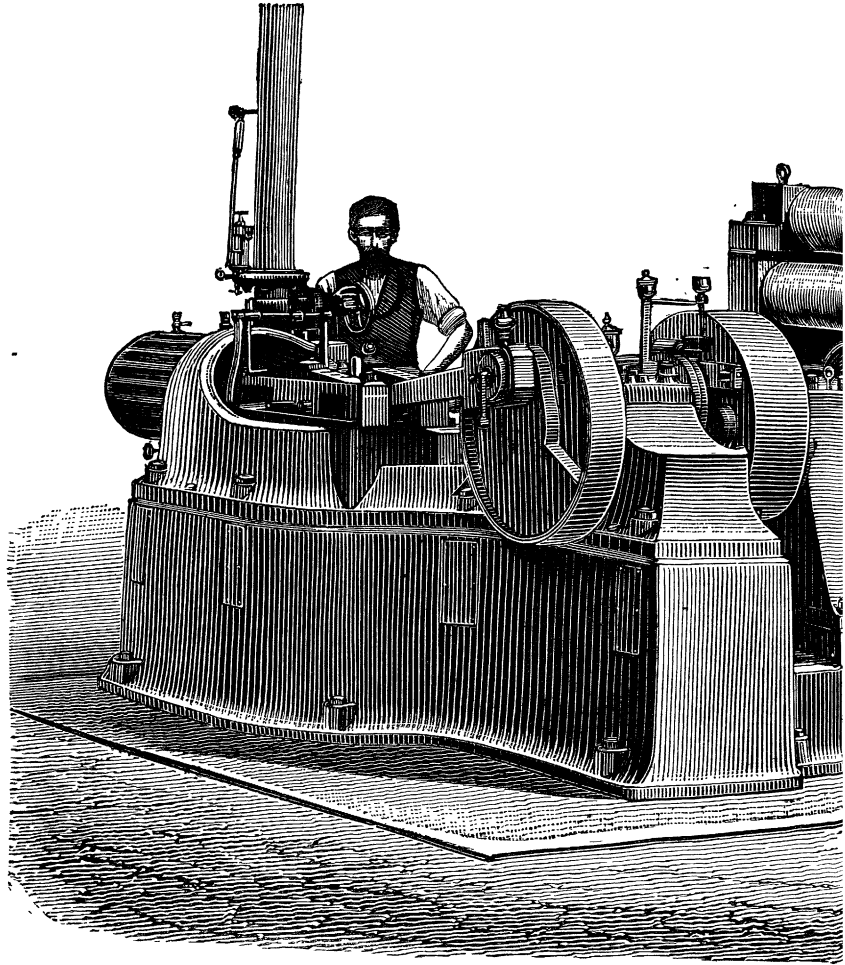
Le moteur est une machine à simple effet qui a marché à une vitesse atteignant 375 tours par minute, dont l'arbre est attelé sur l'axe même de la bobine induite (*fig. 5*); un régulateur à ressorts agit sur l'excentrique commandant l'échappement, en modifiant son calage suivant que la machine s'accélère ou se ralentit; l'ouverture du régulateur reste fixe pour une vitesse déterminée de la machine, qui doit être réglée d'après le nombre des lampes à entretenir.

La machine dynamo-électrique peut être considérée comme une machine du type Von Hefner-Alteneck à courants continus, mais ses dimensions et quelques détails de construction l'en différencient nettement.

La bobine induite est formée de 138 barres de cuivre disposées régulièrement suivant les génératrices d'un cylindre de 0<sup>m</sup>,67 de diamètre, renfermant l'armature de fer doux; mais aux bouts de fil inutiles à la production de l'électricité, qui forment les deux parties hémisphériques de la bobine allemande, M. Edison a substitué des disques très minces de cuivre, qui sont empilés sur les bases du cylindre de 1<sup>m</sup>,20 de longueur dont il vient d'être parlé; ces disques sont isolés les uns des autres par des feuilles de mica et réunissent l'extrémité d'une barre à celle presque diamétralement opposée qui lui succède dans le circuit; le même isolant sépare ces barres de l'armature interne. Le commutateur, semblable aux commutateurs Gramme ordinaires, porte 69 segments; le courant est pris par des balais en fil de cuivre.

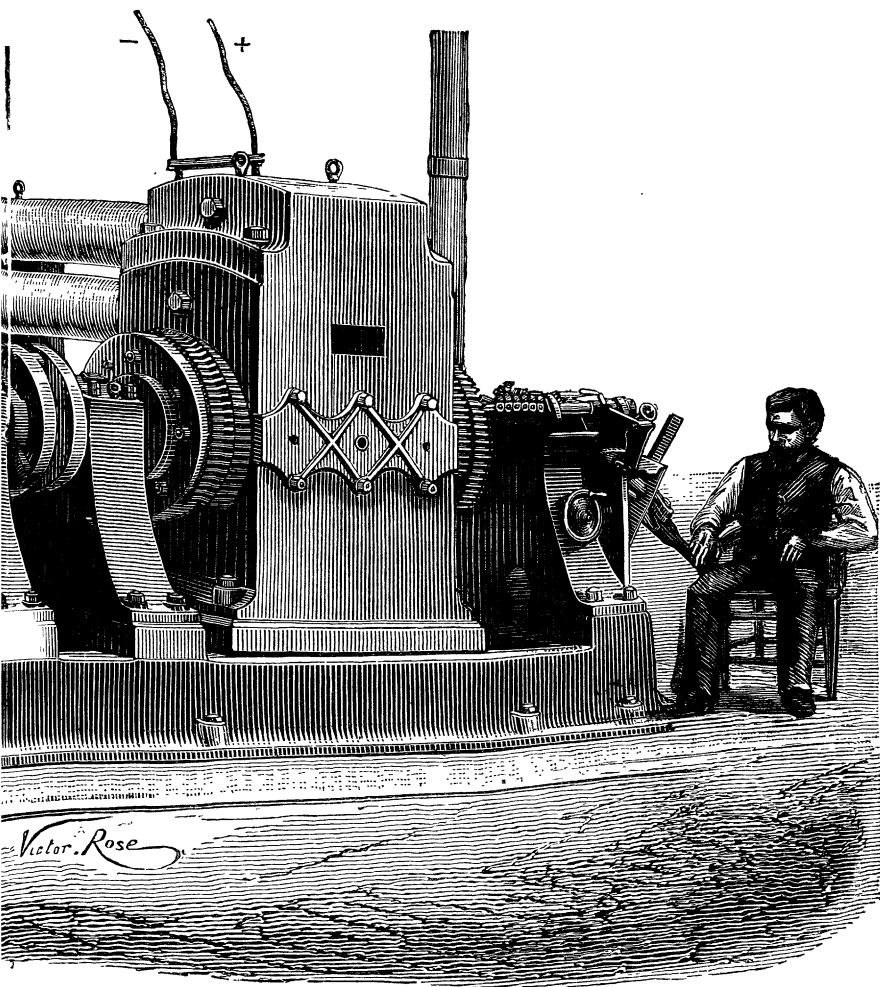
Les électro-aimants inducteurs et leurs pôles épanouis sont pro-

portionnés à la grandeur de l'induit. Ces pôles sont au nombre de deux ; sur la masse du pôle supérieur sont implantés, horizontale-



ment et perpendiculairement à l'axe de la machine, cinq cylindres de fer portant les spirales magnétisantes ; le pôle inférieur, relié magnétiquement au bâti de la machine, porte trois cylindres sem-

blables, et les extrémités opposées aux pôles de ces huit cylindres sont fixées à une culasse commune.



Ces électro-aimants sont placés en dérivation sur le courant principal et forment deux circuits de quatre électro-aimants assemblés en série; la résistance de chacun d'eux est de  $3^{\text{ohms}},35$ , ce qui

correspond pour leur ensemble, étant donné le mode d'accouplement, une résistance de  $6^{\text{ohms}}$ , 7, tandis que le circuit induit a une résistance de  $0^{\text{ohms}}$ , 009; de plus on peut introduire, au moyen d'un rhéostat, une résistance extérieure dans le circuit des électro-aimants; on peut ainsi régler le magnétisme de l'inducteur, sans augmenter d'une manière appréciable la résistance du circuit général.

Le courant produit est lancé dans deux conducteurs de très grande section, entre le potentiel desquels règne une différence très sensiblement constante et égale à la force électromotrice de la machine; on peut imaginer que chaque lampe soit placée dans un circuit aboutissant aux deux bornes de la machine; les lampes étant sensiblement identiques, si ces circuits sont également résistants, l'intensité du courant sera la même dans chaque lampe. On réalise très sensiblement cette condition en donnant aux groupes de deux conducteurs sur lesquels doivent s'embrancher les lampes une section proportionnelle à leur longueur et au nombre de lampes à desservir, chaque lampe ayant une résistance de 140 ohms, considérable par rapport à celle du circuit proprement dit.

Dans les conditions où les lampes se trouvaient placées, une différence de potentiel de 106 volts en moyenne aux deux bornes y occasionnait un courant de  $0^{\text{amp}}$ , 76 et donnait une lumière estimée à 16 candles, soit une carcel type et demi environ, en consommant un travail de  $\frac{1}{10}$  de cheval. La différence de potentiel aux deux bornes de la machine était de 110 volts. La machine motrice demandait, dit-on, 125 chevaux de force pour alimenter 1000 lampes et produire, par conséquent, avec cette force électromotrice, un courant de 760 ampères, dont l'intensité justifie la grande section des barres constituant l'anneau induit.

La marche de la machine est réglée par un homme qui observe une lampe au photomètre et fait modifier en conséquence l'ouverture du régulateur, ou la résistance de l'inducteur, suivant les circonstances.

A côté de cette puissante machine, M. Edison en exposait une autre, dont voici les éléments principaux et qui est dite de 52 volts, et destinée à entretenir des lampes petit modèle équivalant à 1 carcel. Les électro-aimants sont ici verticaux; l'armature a 150 barres, d'où 75 touches au commutateur; la résistance de l'induit était

de  $0^{\text{ohms}},02$ ; celle du circuit inducteur,  $56$  ohms; la résistance des conducteurs étant de  $0^{\text{ohms}},36$ , la vitesse de la machine de  $1250$  tours par minute, elle doit, en dépensant  $11^{\text{ch}},11$ , alimenter  $200$  lampes de  $70$  ohms de résistance, entre les extrémités desquelles doit exister une différence de  $52$  volts.

D'autres machines américaines ont fonctionné à l'Exposition, sous les noms de *machines Weston et Maxim*. La première est une machine à lumière, dont l'aspect est celui des machines Gramme, pour la disposition de l'électro-aimant à points consécutifs, formé par quatre barres horizontales réunies à leurs extrémités par deux culasses et portant en leur milieu les pôles épanouis, tandis que la bobine induite porte l'enroulement Siemens. Les lames du collecteur sont légèrement obliques, avec calage mobile. Les pôles épanouis sont refendus perpendiculairement à l'axe de la machine et présentent ainsi une série de languettes; l'armature de l'induit se compose d'une série de disques en fer ( $36$ ) enfilés sur l'axe, découpés en forme de roue dentée à  $16$  dents, et séparés par des intervalles égaux à leur épaisseur; ces dispositions assurent une ventilation énergique.

Dans le système Maxim, les machines dynamo-électriques ont l'aspect des machines Siemens, mais l'enroulement est celui de Gramme; à l'Exposition, comme à Londres, une des machines servait d'excitatrice aux autres et portait un régulateur spécial, réglant automatiquement le courant de l'excitatrice<sup>(1)</sup>; dans ce but, un électro-aimant à fil fin, placé en dérivation sur le circuit des lampes, agit sur une armature portant un cliquet à deux dents opposées; ce cliquet reçoit de l'arbre de la machine un mouvement de va-et-vient; il est suspendu entre deux roues dentées qu'il n'actionne pas tant que le courant a sa force normale; si celle-ci augmente ou diminue, le cliquet agit sur l'une ou l'autre des roues dentées et fait alors tourner dans un sens ou dans l'autre le porte-balais, et rapproche ou éloigne les balais des points neutres. Les touches du commutateur sont en forme de V obtus, pour assurer le

---

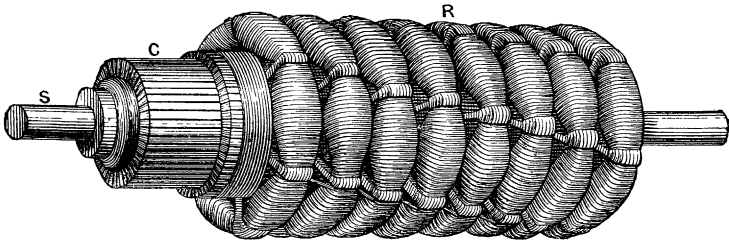
(1) Un autre essai de réglage automatique se trouvait représenté à l'Exposition. M. Chamerois a proposé de régler l'intensité du champ magnétique en écartant les armatures de l'anneau induit; celles-ci sont éloignées par un électro-aimant puissant traversé par le courant général.



contact sur deux touches au moins. Ce régulateur est complété par un électro-aimant de sûreté, au moyen duquel on place immédiatement en dérivation l'inducteur de la machine excitatrice quand le courant général dépasse une certaine limite.

M. Burgin a modifié l'anneau de la machine Gramme, en distribuant le fil induit sur une série d'anneaux parallèles entre eux et montés sur le même axe (*fig. 6*); on peut dès lors, avec un même

Fig. 6.



diamètre, augmenter la longueur du fil induit, tout en diminuant le nombre des couches qui composent chaque anneau; le système devient plus facile à refroidir; chaque anneau consiste en un cadre hexagonal de fil de fer, sur les côtés duquel s'enroule le fil induit, tandis que les sommets sont à découvert, le contour extérieur étant approximativement circulaire. L'espace paraît moins bien utilisé que dans la machine Gramme, et la grande étendue angulaire de chaque segment n'est pas un avantage.

Dans la machine exposée, il n'y avait que 5 couches de fil au milieu des côtés des 8 anneaux; les 48 segments ainsi obtenus ont leurs extrémités réunies comme dans la machine Gramme; chaque anneau est calé en avance de  $\frac{1}{18}$  de tour sur le précédent, et le fil, après avoir contourné un côté du premier anneau, passe au second, puis au troisième, et ainsi de suite jusqu'au huitième, avant d'entourer le second segment du premier anneau; chacun des 48 segments a sa lame dans le commutateur, pour lequel M. Crompton, qui emploie la machine Burgin en Angleterre (notamment à la gare de King's Cross), fait usage de bronze phosphoreux.

L'armature de l'anneau pèse  $11^{\text{kg}}$ , représentant  $720^{\text{m}}$  de fil de  $1^{\text{mm}}$ , 5 de diamètre, ou une résistance intérieure de  $1^{\text{ohm}}$ , 6. La vitesse variant de 1500 à 1600 tours, la force électromotrice

varie de 195 à 206 volts. La vitesse de 1600 tours correspond à une vitesse linéaire de 12<sup>m</sup> par seconde. Les électro-aimants sont venus de fonte avec leur culasse; les pôles épanouis ont 0<sup>m</sup>,5 d'épaisseur; le fil inducteur, de 3<sup>mm</sup>,5 de diamètre, pèse 60<sup>ks</sup> et sa résistance est de 1<sup>ohm</sup>,2; il sont excités par une machine spéciale, ou mis dans le circuit de l'anneau induit sans dérivation.

D'après des expériences faites par M. Hagenbach, cette machine, tournant à 1675 tours par minute, aurait donné, avec 3 lampes à arc dans le circuit, un courant de 20<sup>amp</sup>,5, la lampe équivalant à 2720 bougies (1) dans une expérience, à 4206 dans une autre, et les intensités étant prises horizontalement, avec un travail de 1<sup>ch</sup>,65 à 1<sup>ch</sup>,84 par lampe, mesuré au dynamomètre de transmission. Dans l'installation de King's Cross, les 5 générateurs Burgin sont excités par 2 machines Gramme produisant un courant de 12<sup>amp</sup>, et la force motrice employée est de 29 chevaux.

Dans ces conditions, et avec la vitesse de 1500 tours, la force électromotrice est suffisante pour entretenir trois arcs sur chaque circuit.

M. Crompton estime que les 29 chevaux sont répartis ainsi : 18 chevaux pour 4 circuits de 3 lampes en série; 6 pour un circuit de 2 lampes plus fortes, et 1 $\frac{1}{4}$  pour 5 lampes Swan; le reste, soit 3 $\frac{1}{4}$ , serait pris par les transmissions et l'excitatrice.

On a reproché à l'anneau type de la machine de Gramme d'être inutile à la production de l'électricité dans toute sa partie interne. Deux solutions ont été proposées pour remédier à cet inconvénient : l'une, par M. le professeur Golfarelli, consiste à changer la forme des masses appliquées aux extrémités de la bobine inductrice; on y ajoute une saillie embrassant l'anneau et dirigée vers l'axe de la machine; l'anneau est ainsi plus complètement enveloppé par les pôles épanouis qui agissent sur les côtés, mais il n'est pas certain que le magnétisme de l'anneau de fer doux, qui est toujours complètement utilisé dans la machine Gramme, en soit augmenté.

L'autre disposition adoptée par M. Jurgensen, de Copenhague, sur les conseils de M. le professeur Lorentz, consiste

---

(1) Il s'agit de la bougie de paraffine, type allemand, dont 9,6 valent la lampe Carcel normale.

à placer à l'intérieur de l'anneau Gramme, très allongé dans le sens de l'axe du cylindre, un puissant électro-aimant fixe, placé dans le même circuit que l'électro-aimant extérieur.

Sans aller aussi loin, nous devons rappeler que le Dr Werner Siemens avait tenté de rendre également fixe la masse de fer doux qu'entoure la bobine de ses machines pour se mettre à l'abri de la production de chaleur résultant d'un changement fréquent dans le sens de l'aimantation, mais avait dû y renoncer, la complication mécanique n'étant pas compensée par l'accroissement de rendement. L'accroissement du champ magnétique dans lequel se meut l'anneau Jurgensen (formé de 24 anneaux de fer doux séparés par les isolants) n'est pas douteux, à courant égal parcourant les inducteurs. Dans le type exposé, la résistance de l'induit était de  $\frac{1}{4}$  d'ohm, et celle des électro-aimants de  $\frac{1}{5}$ ; l'anneau induit porte 450<sup>m</sup> de fil de 0<sup>m</sup>,0035, et les électro-aimants, 350<sup>m</sup> de fil de 0<sup>m</sup>,005.

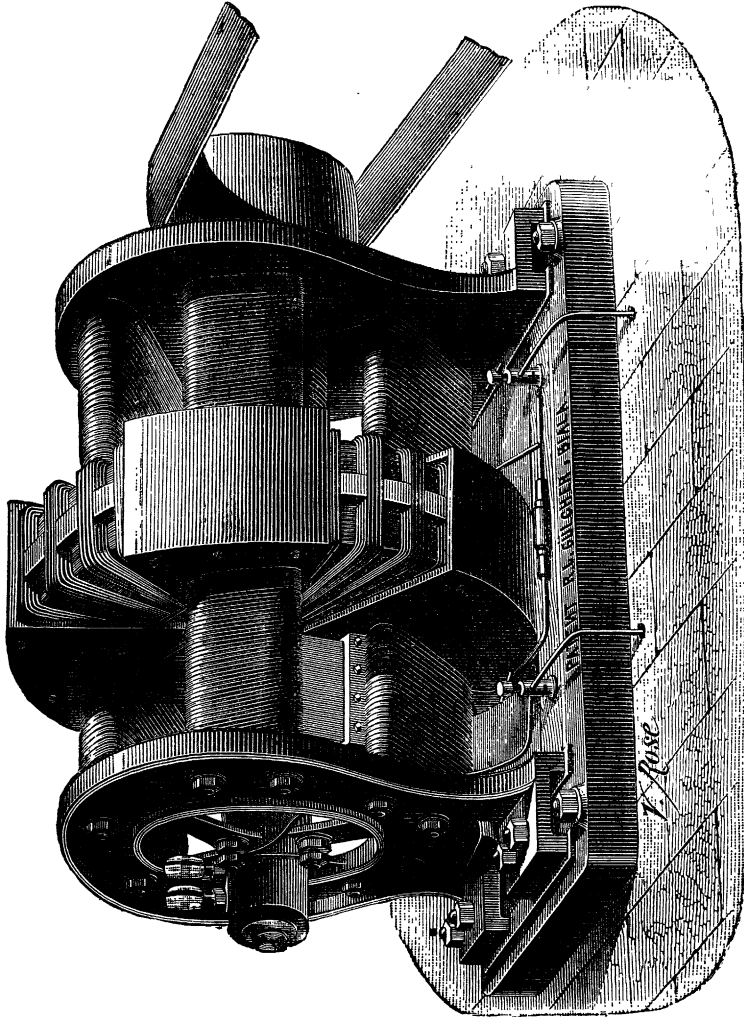
Le cylindre creux, formé de l'assemblage des anneaux de fer doux et du fil enroulé, est fixé à ses deux extrémités à deux disques, dont l'un est monté sur l'arbre de la machine, tandis que l'autre, percé en son centre, laisse passer l'axe du noyau de fer doux de l'électro-aimant, et tourne dans un coussinet porté par le bâti. Ces disques sont percés d'ouvertures assurant la libre circulation de l'air. Les difficultés de construction que présente cette machine ont paru très heureusement surmontées; l'augmentation de *puissance* à vitesse égale, évidente *a priori*, puisque le magnétisme du fer doux de l'anneau est plus grand, a été vérifiée par l'expérience.

La machine exposée était la seconde construite sur ce modèle; celui-ci n'a donc pas subi l'épreuve de la pratique.

Nous devons encore citer la machine Gülcher; quatre électro-aimants excitateurs sont en jeu, disposés en deux circuits égaux, formant dérivation sur le circuit général de la machine, chaque électro-aimant étant parcouru par la moitié du courant total; l'anneau est très allongé dans le sens du rayon et forme plutôt un disque percé; les pôles des électro-aimants sont disposés des deux côtés du disque et réunis par une pièce en forme d'U, de sorte qu'une faible longueur (seulement égale dans sa région centrale à l'épaisseur du disque) est seule en dehors du champ magnétique

intense formé par l'anneau cunéiforme et les électro-aimants. L'enroulement est nécessairement discontinu sur la surface externe

Fig. 7.

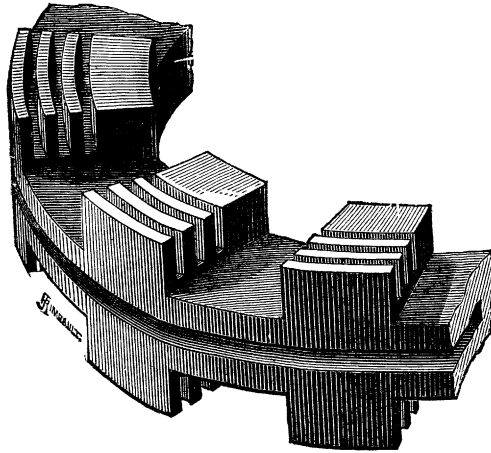


du disque, et les segments sont maintenus séparés par de petites cales en bois, comme dans l'anneau Pacinotti.

La résistance de cette machine (qui a quatre balais) est indiquée de  $0^{\text{ohm}}, 127$ ; d'après le constructeur, en tournant à la vitesse de 650 tours par minute, et en consommant un travail de 10 chevaux on obtiendrait une lumière de 6000 bougies (?).

A l'Exposition, cette machine faisait fonctionner douze régulateurs Gülcher, donnant un très petit arc, et placés tous en dérivation; la distribution était telle que les courants envoyés dans les divers régulateurs étaient rigoureusement égaux : à cet effet, le fil partant de la borne positive ayant une section de 12, par exemple, se divise en arrivant à la première lampe; un fil de section 1 l'en sépare, le fil de section 2 va à la deuxième lampe, où

Fig. 8.



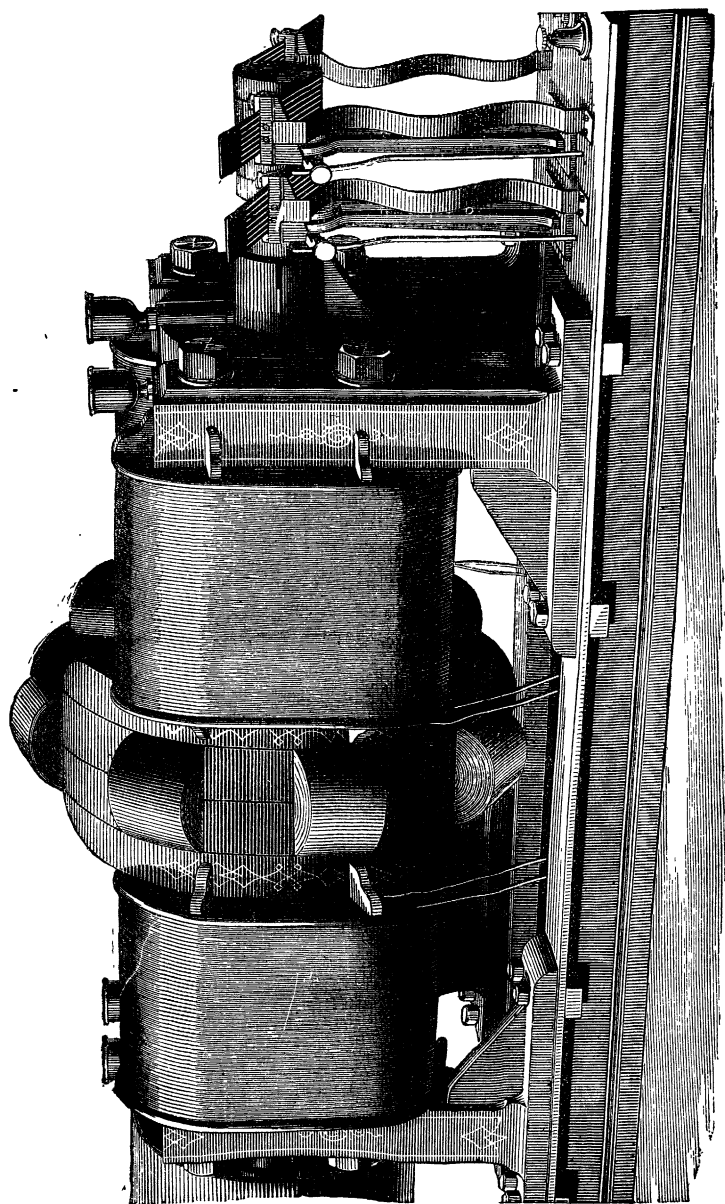
il laisse de même un fil de section 1 qui le traverse, et va rejoindre le fil de la première. Après avoir traversé la douzième lampe, le fil, réduit à la section 1, reprend successivement les fils qui sortent des autres lampes, et sa section devient 2, 3, 4 et enfin 12; cela revient à placer chaque lampe dans un circuit de section 1, aboutissant directement aux deux bornes.

La machine Brush (*fig. 9*) constitue un type tout à fait spécial; l'aspect extérieur de l'anneau se rapproche du type Pacinoti, encore est-il bien moins couvert. L'anneau (*fig. 8*) est en fonte, profondément excavé par une rainure normale à l'axe, découpé dans le sens du

rayon par huit encoches destinées à loger les bobines, et les saillants qui séparent ces encoches sont à leur tour excavés de profonds sillons concentriques. Les deux faces de l'anneau sont dressées avec soin, et le fil induit est enroulé dans ces encoches, chaque spire étant composée de deux parties rectilignes dirigées suivant le rayon, et de deux demi-cercles qui les réunissent; l'ensemble des parties rectilignes remplit les encoches et affleure exactement des deux côtés de l'anneau le plan suivant lequel celui-ci a été dressé; l'anneau tourne entre les pôles des deux paires d'électro-aimants latéraux à pôles épanouis et à surface plane; mais le mode d'assemblage est tout à fait spécial; les bobines diamétralement opposées sont réunies par leurs extrémités internes et leurs extrémités externes traversent l'arbre de la machine et viennent aboutir aux deux segments d'un commutateur. Chaque paire de bobines, tournant devant les électro-aimants, constitue une machine à courants alternatifs, le sens du courant changeant lorsque l'une des bobines quitte le champ placé entre deux pôles nord pour arriver dans la région influencée par les deux pôles sud de l'autre paire d'électro-aimants, et ces courants alternatifs sont redressés par le commutateur, où ils sont pris par des balais à bande de cuivre communiquant avec les bornes. Ce commutateur porte en outre deux petits segments isolés des autres et diamétralement opposés; lorsque les balais portent sur ces segments, détachés en quelque sorte du commutateur, la paire de bobines correspondante est isolée; à ce moment elle doit être dans la région voisine du point où le courant se renverse et la force électromotrice qu'elle engendre nulle ou très faible.

Il y a autant de commutateurs que de paires de bobines, mais les balais portent à la fois sur les commutateurs des deux paires à angle droit, et si le nombre des bobines croît au-dessus de huit, comme dans la machine à 40 lumières, qui en a 12, les balais porteront à la fois sur 3 commutateurs. Désignons pour un instant par les chiffres 1 et 2 les supports communiquant avec les deux balais de la première paire, par 3 et 4 ceux qui communiquent avec la seconde, le trajet du courant sera celui-ci: de 1 par le circuit extérieur à 4, par deux ou trois bobines à la borne 3, par les électro-aimants à la borne 2, et par les dernières bobines à la borne 1; les aimants peuvent être shuntés en introduisant entre

Fig. 9.



les bornes 2 et 3 un rhéostat automatique, qui limite le courant dans les aimants (le nombre de tours de la machine étant fixé par le régulateur du moteur à vapeur, le courant induit est par là même réglé à une intensité constante); ainsi les électro-aimants sont en tension dans le circuit, et les bobines réparties dans deux dérivations; il importe d'empêcher des courants dérivés de passer d'une paire de bobines dans l'autre, comme cela arriverait si les forces électromotrices de ces paires, associées en dérivation, étaient différentes tandis que leurs extrémités sont au même potentiel; la mise hors circuit de l'une d'elles est donc nécessaire, quand une paire a une force électromotrice presque nulle et que l'autre est à son maximum. Le régulateur auquel il a été fait allusion est un rhéostat composé de prismes de charbon superposés et qu'un électro-aimant puissant comprime d'autant plus qu'il est plus énergique, ou que le courant général est plus fort; un accroissement de ce dernier diminue donc la résistance du shunt 2, 3, et par suite l'intensité du courant des inducteurs.

Ce type de machines développe des forces électromotrices inusitées jusqu'ici pour les courants continus et peut alimenter un grand nombre de lampes sur un seul circuit, en même temps que supporter des résistances considérables; ainsi une machine a alimenté 40 lampes sur un circuit de 80<sup>ohms</sup> équivalant à 32<sup>km</sup> de câble de fil de cuivre à sept brins; lors des essais d'éclairage à l'Opéra, cette machine produisait une force électromotrice supérieure à 2000 volts, avec une vitesse de 700 tours environ.

#### *Machines dérivées du principe de Clarke.*

La Société Lyonnaise de constructions mécaniques et de lumière électrique expose la machine à courants continus que M. Lontin a imaginée pour l'excitation de ses machines à courants alternatifs. L'induit est composé de bobines dont les noyaux sont implantés comme des rayons autour d'un disque en fer; ces noyaux sont légèrement coniques, leur base la plus large étant à l'extérieur, afin de s'opposer à la tendance des hélices à être projetées par la force centrifuge: ces hélices sont toutes réunies en série, et tout le système tourne entre les pôles d'un électro-aimant, monté en série sur le circuit; on peut associer autant de disques porte-



pignons qu'on le juge utile. Le collecteur est semblable à celui de Gramme; les balais sont remplacés par des prismes en alliage métallique dit *antifriction*, qu'un poids presse contre le collecteur; il est nécessaire qu'un filet d'eau tombe sur les parties frottantes pour éviter l'échauffement et entraîner les parcelles d'alliage. Les pôles des électro-aimants sont munis de pièces mobiles que l'on peut rapprocher ou éloigner de la circonférence décrite par les noyaux des bobines induites pour régler l'intensité du courant. Dans son ensemble, cette machine, dont la ligne neutre passe par les pôles des électro-aimants, doit être rapprochée de la machine construite par M. Niaudet en 1872, et de la machine de Clarke; on peut dire que c'est une machine de Clarke, dans laquelle le nombre des bobines est multiplié; chaque bobine n'est activée réellement que pendant un temps très court et est tout le temps résistante; étant admis le principe de la machine, il y aurait tout avantage, sans augmenter le poids de la partie mobile, à augmenter le nombre des aimants et des prises du courant.

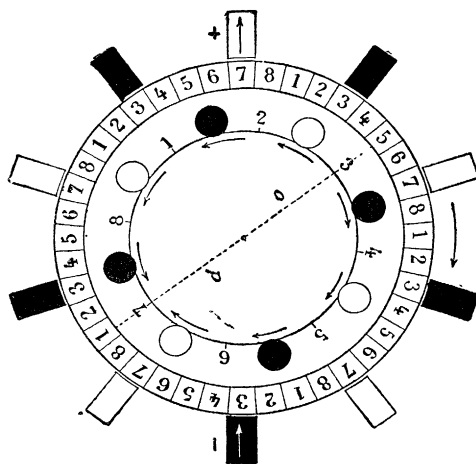
Sur le même principe, M. Cance a construit une machine où il a évité avec soin les courants d'induction, dits de Foucault, et amélioré les conditions magnétiques en substituant aux noyaux pleins des groupes de fil de fer; la machine est disposée de manière à réduire au minimum la distance des pôles inducteurs et induits.

Dans sa nouvelle machine à courants continus exposée par MM. Siemens et Halske, M. von Hefner Alteneck a cherché à tirer parti de tous les courants qu'il était possible de produire en multipliant le nombre des électro-aimants inducteurs, et il a renoncé complètement, comme dans sa machine à courants alternatifs, aux noyaux de fer doux dont les désaimantations rapides introduisent toujours des perturbations et des pertes de travail correspondant à leur échauffement.

L'aspect extérieur est le même que celui de la machine à courants alternatifs, mais le nombre des bobines est différent de celui des champs magnétiques; le diagramme ci-dessous s'applique à une machine à 8 bobines et 10 champs. Les cercles noirs et blancs indiquent, pour les bobines des enroulements opposés, pour les aimants des champs opposés; pour la clarté de la figure, on a placé sur deux cercles concentriques, au lieu d'un cercle unique,

les axes des champs et des bobines. Lorsque deux bobines situées aux extrémités d'un même diamètre arrivent sur le diamètre de deux champs opposés, les six autres bobines sont dans des positions différentes : le maximum d'intensité se produit successivement et non simultanément dans chaque paire. Le fil qui entoure les bobines forme un circuit continu, fermé sur lui-même, et passe en sens inverse sur deux bobines consécutives, de sorte que les courants excités dans ces bobines s'ajoutent lorsqu'elles s'approchent de champs magnétiques inverses.

Fig. 10.



Le commutateur, qui a la forme du commutateur Gramme, comprend 40 lames isolées les unes des autres et de l'axe; elles sont réparties en 8 groupes de 5, comme l'indique le diagramme; toutes les lames du même groupe, portant le même numéro, sont reliées entre elles et au point de jonction de deux bobines consécutives par des pièces métalliques; des balais ou ressorts collecteurs recueillent le courant en deux points diamétralement opposés.

Quelle que soit la position du système mobile des bobines et du commutateur, il existe toujours un diamètre  $op$ , tel que d'un côté toutes les bobines s'approchent d'un champ de même couleur qu'elles et sont le siège de forces électromotrices de même sens, tandis que de l'autre côté elles s'éloignent des champs de même

couleur et sont le siège de forces électromotrices de sens opposé ; la ligne 3-7 est donc une véritable ligne neutre, comme celle des machines Pacinotti et Gramme ; elle est seulement mobile dans l'espace, mais les communications sont telles que le point de jonction des bobines qui est le plus proche de cette ligne neutre est en connexion avec le collecteur.

En supprimant le fer doux dans les bobines induites, M. von Hefner-Alteneck a eu en vue de supprimer la perte d'énergie résultant des inversions multipliées du magnétisme, auxquelles auraient été soumis les noyaux dans sa machine ; mais il a en même temps diminué dans un rapport considérable la force électromotrice que produit une longueur donnée de fil : pour obtenir la même intensité, il faut donc des machines plus volumineuses et plus lourdes, d'où un accroissement de résistances passives, qui compense l'avantage théorique résultant de la suppression du fer.

Dans les limites pratiques de vitesse, la suppression du fer ne paraît pas économique dans les machines à courants alternatifs ; d'après les résultats donnés par l'auteur lui-même, il semble en être ainsi pour la machine à courants continus ; la machine alimentant 4 foyers de 700 bougies (lumière horizontale) consommerait 7 chevaux-vapeur.

C'est encore à ce groupe que l'on doit joindre la machine actuelle de M. Wilde, lorsqu'elle est munie d'un redresseur de courants, et telle qu'elle est employée comme excitatrice par la Compagnie *l'Alliance* ; on doit seulement mentionner dans ce redresseur de courant la forme ondulée donnée à la ligne de séparation des segments, d'où résulte que, pendant une courte période et dans le voisinage de la ligne neutre, la bobine induite se trouve en court circuit, comme l'électro-aimant qu'elle doit exciter. M. Wilde, en imaginant cette disposition, a insisté sur les avantages qu'elle présenterait pour l'excitation des électro-aimants.

#### *Considérations générales.*

Dans les machines qui viennent d'être passées en revue, le travail transmis est employé : 1° à vaincre les résistances passives, frottements sur les axes ; 2° à la production de courants. La première partie n'est qu'une faible fraction, probablement un vingtième

au plus du travail dépensé. Quant aux courants produits, ils ne sont pas tous utilisés; les pièces métalliques en mouvement dans le champ magnétique intense de ces machines sont le siège de courants d'induction analogues à ceux qui se développent dans la célèbre expérience de Foucault. On diminue leur effet nuisible en choisissant convenablement la forme des pièces mobiles; on y parvient dans les machines Gramme et Siemens en employant pour former le noyau intérieur de l'armature un faisceau de fils de fer isolés; dans la machine Brush, malgré les rainures et sillons de l'anneau de fonte, l'effet nuisible de ces courants est très marqué: la nature du métal employé, fonte au lieu de fer doux, augmente notablement l'énergie consommée dans les aimantations et désaimantations de cet anneau. Ces considérations théoriques ont été justifiées par l'expérience; en mesurant d'une part le travail transmis à la machine, en calculant de l'autre, par la formule de Joule, l'énergie consommée par le passage du courant dans le circuit total, on est arrivé à des rendements dépassant 90 pour 100 pour les types Gramme et Siemens, inférieurs à 80 pour 100 pour les machines Brush.

Ces chiffres sont probablement inférieurs à la vérité, car les résistances des circuits et des machines ont été mesurées à froid, et sont, par conséquent, inférieures aux résistances réelles en marche.

Mais cette perte n'est qu'une partie de la différence entre le travail utilisable et le travail dépensé. On peut considérer comme rendement de la machine le rapport entre la force électromotrice  $E$  disponible en marche aux deux bornes, et la force électromotrice totale: la différence de ces deux quantités est le produit  $RI$  de l'intensité du courant par la résistance du fil entrant dans la construction de la machine. Dans des expériences faites sur divers types de machines, le rapport de  $RI$  à  $E + RI$  a varié de 0,33 à 0,10, mais suivant une loi régulière; il croît avec l'intensité depuis la valeur 0,10, correspondant à des courants de 9 à 10 ampères, suffisants pour entretenir des foyers de 30 à 40 carrels, jusqu'à 0,33 pour des courants de plus de 100 ampères, destinés aux puissants foyers de phare. Ces résultats ont été obtenus dans le service normal des machines et changeraient notablement si l'on modifiait la vitesse ou le travail qu'on leur demande; il fait ressortir l'incon-

vénient des grandes intensités; on ne pourrait diminuer cette perte qu'à condition d'exagérer et la vitesse et la section des fils, ce qui augmenterait beaucoup le poids et le prix des machines; car il est clair que pour une intensité donnée cette perte est en raison inverse du poids du cuivre enroulé, toutes choses égales d'ailleurs.

M. Siemens a montré que ces grandes intensités, en dehors de l'échauffement des fils, avaient un autre inconvénient, c'est de diminuer le magnétisme utile de l'anneau ou de la carcasse qui porte l'induit; ce fer doux subit, en effet, deux influences, l'une des pôles des électro-aimants inducteurs, l'autre du courant induit lui-même; la première produisant, dans l'anneau Gramme par exemple, une aimantation transversale, la seconde une aimantation longitudinale; le rapport de ces aimantations ou, si l'on aime mieux, la direction des lignes du champ, varie avec l'intensité et se rapproche de la ligne perpendiculaire à la ligne des pôles de l'aimant inducteur, d'où un déplacement de la ligne neutre, et l'obligation de caler les balais plus ou moins obliquement; mais en même temps, et bien avant que l'anneau puisse être considéré comme saturé, les lignes de force sont coupées de plus en plus obliquement par les fils induits sans que l'augmentation de l'intensité compense l'accroissement de l'obliquité; de sorte que le magnétisme utile de l'anneau, après avoir passé par un maximum, diminue ensuite, quand l'intensité du courant augmente. Il est clair qu'une excitation en dérivation ne changerait pas ces conditions fâcheuses, puisque dans l'un et l'autre cas une plus grande dépense est demandée pour l'entretien d'un magnétisme efficace moins intense.

---