

## Conditions d'utilisation des contenus du Conservatoire numérique

1- Le Conservatoire numérique communément appelé le Cnum constitue une base de données, produite par le Conservatoire national des arts et métiers et protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle. La conception graphique du présent site a été réalisée par Eclydre ([www.eclydre.fr](http://www.eclydre.fr)).

2- Les contenus accessibles sur le site du Cnum sont majoritairement des reproductions numériques d'œuvres tombées dans le domaine public, provenant des collections patrimoniales imprimées du Cnam.

Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n° 78-753 du 17 juillet 1978 :

- la réutilisation non commerciale de ces contenus est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur ; la mention de source doit être maintenue ([Cnum - Conservatoire numérique des Arts et Métiers - http://cnum.cnam.fr](http://cnum.cnam.fr))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

3- Certains documents sont soumis à un régime de réutilisation particulier :

- les reproductions de documents protégés par le droit d'auteur, uniquement consultables dans l'enceinte de la bibliothèque centrale du Cnam. Ces reproductions ne peuvent être réutilisées, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

4- Pour obtenir la reproduction numérique d'un document du Cnum en haute définition, contacter [cnum\(at\)cnam.fr](mailto:cnum(at)cnam.fr)

5- L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment possible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

6- Les présentes conditions d'utilisation des contenus du Cnum sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

## NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

NOTICE DE LA GRANDE MONOGRAPHIE	
Auteur(s) ou collectivité(s)	Exposition universelle. 1885. Anvers
Auteur(s)	Exposition universelle. 1885. Anvers
Titre	Exposition universelle d'Anvers, 1885. Comptes rendus des travaux du comité international chargé des essais électriques
Nombre de volumes	2
Permalien	<a href="http://cnum.cnam.fr/redir?4SAR141">http://cnum.cnam.fr/redir?4SAR141</a>
Adresse	Liège : Imprimerie H. Vaillant-Carmanne, 1887 - 1890
Collation	2 vol.
Cote	CNAM-BIB 4 Sar 141
Sujet(s)	Exposition internationale (1885 ; Anvers) Électricité -- Production -- 19e siècle

NOTICE DU VOLUME	
Auteur(s) volume	Exposition universelle. 1885. Anvers
Titre	Exposition universelle d'Anvers, 1885. Comptes rendus des travaux du comité international chargé des essais électriques
Volume	Supplément aux comptes rendus des travaux du premier sous-comité
Adresse	Liège : Imprimerie H. Vaillant-Carmanne, 1890
Collation	1 vol. (226 [i.e. 24] p.) ; 29 cm
Nombre d'images	27
Cote	CNAM-BIB 4 Sar 141 (2)
Sujet(s)	Exposition internationale (1885 ; Anvers) Électricité -- Production -- 19e siècle
Thématique(s)	Énergie Expositions universelles
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	15/12/2020
Date de génération du PDF	15/12/2020
Permalien	<a href="http://cnum.cnam.fr/redir?4SAR141.2">http://cnum.cnam.fr/redir?4SAR141.2</a>

Exposition Universelle d'Anvers  
1885

# COMPTES RENDUS

DES

TRAVAUX DU COMITÉ INTERNATIONAL

CHARGE DES

# ESSAIS ÉLECTRIQUES

SUPPLÉMENT AUX COMPTES RENDUS DES TRAVAUX DU PREMIER SOUS-COMITÉ

LIÉGE

IMPRIMERIE H. VAILLANT-CARMANNE  
RUE SAINT-ADALBERT, 8

1890



# SUPPLÉMENT

AUX

## COMPTES RENDUS DES TRAVAUX DU PREMIER SOUS-COMITÉ

### Compte rendu des essais du transformateur Zipernowsky Déri & Blathy

par M. A. RÖITI, professeur à l'Institut Royal des Hautes Études, à Florence.

Je rappellerai brièvement, quoiqu'elle soit bien connue, la théorie élémentaire des transformateurs, dans laquelle on ne tient compte ni du magnétisme rémanent, ni des courants de Foucault.

On part des équations différentielles :

$$e = Rx + \frac{d(My)}{dt} + \frac{d(Lx)}{dt}$$
$$0 = R'y + \frac{d(Mx)}{dt} + \frac{d(L'y)}{dt}$$

et de l'expression de la force magnétisante :

$$f = 4\pi \frac{m}{l} x + 4\pi \frac{n}{l} y$$

c'est-à-dire de l'intensité du champ produit par le courant primaire  $x$  et par le courant secondaire  $y$ , lorsqu'ils forment respectivement  $m$  et  $n$  spires autour d'un anneau de fer de longueur  $l$  et de section  $a$ .

On a ensuite recours à la relation :

$$\mu = \frac{z}{af}$$

entre la force magnétisante  $f$ , l'induction magnétique totale  $z$  à l'intérieur du fer et la perméabilité magnétique  $\mu$ , pour transformer les équations ci-dessus dans les suivantes :

$$(1) \quad e = Rx + m \frac{dz}{dt}$$

$$(2) \quad 0 = R'y + n \frac{dz}{dt}$$

$$(3) \quad z = \frac{4 \pi a}{l} m \mu x + \frac{4 \pi a}{l} m \mu y$$

de sorte que les trois coefficients d'induction sont liés entre eux par les relations :

$$\frac{M}{m n} = \frac{L}{m^2} = \frac{L'}{n^2} = \frac{4 \pi a}{l} \mu.$$

On suppose en outre que l'aimantation s'écarte assez peu du point d'infexion pour que l'on puisse regarder  $\mu$  comme constante.

Le cas étudié jusqu'à présent est celui dans lequel :

$$(4) \quad z = Z \sin \alpha t, \quad \alpha \text{ étant égal à } \frac{2 \pi}{\tau}$$

et par conséquent :

$$(5) \quad y = Y \sin \left( \alpha t - \frac{\pi}{2} \right) = -\frac{n \alpha Z}{R'} \cos \alpha t$$

$$(6) \quad x = X \sin (\alpha t + \psi)$$

où :

$$\operatorname{tg} \psi = \frac{\alpha n^2}{R'} \frac{4 \pi a \mu}{l} \quad \dots \dots \quad m^2 X^2 = n^2 Y^2 + \frac{l^2 Z^2}{16 \pi^2 a^2 \mu^2}$$

$$(7) \quad e = E \sin (\alpha t + \psi + \varphi).$$

On exprime alors de la manière suivante la puissance fournie au transformateur :

$$V = \frac{1}{\pi} \int_0^{\tau} ex \, dt = \frac{E X}{2} \cos \varphi$$

Mais si l'on observe que par l'équation (3) on a :

$$\sin \psi = \frac{n Y}{m X}$$

et que l'équation (1) donne :

$$\cos (\varphi + \psi) = \frac{R X}{E} \cos \psi$$

$$\sin (\varphi + \psi) = \frac{R X}{E} \sin \psi + \frac{m Y R'}{n E}$$

on obtient, en substituant dans l'expression de  $V$  la valeur de  $\cos \varphi$  déduite de ces trois équations :

$$(8) \quad V = \frac{R X^2}{2} + \frac{R' Y^2}{2},$$

équation qui exprime que la puissance fournie est la somme des énergies thermiques développées pendant l'unité de temps dans les deux circuits.

On aurait pu écrire immédiatement cette équation en s'appuyant sur le principe de la conservation de l'énergie, puisque la théorie élémentaire néglige l'énergie dissipée par suite des courants de Foucault et de l'hystérésis du fer. Nous ferons remarquer de plus que cette équation subsisterait alors même que le courant ne suivrait pas la loi sinusoïdale et que la perméabilité, au lieu d'être constante, serait une fonction monodrome quelconque de la force magnétisante.

Il en résulte que, si l'on néglige l'énergie dissipée par suite des courants de Foucault et de l'hystérésis du fer, la puissance fournie à un transformateur et son rendement peuvent être déterminés expérimentalement par un procédé des plus simples, qui se réduit à mesurer des résistances et à évaluer les moyennes des carrés des intensités des courants primaire et secondaire, ou, suivant l'expression consacrée, les carrés des intensités efficaces de ces courants.

Pour cette dernière détermination, on peut se passer de wattmètres et avoir recours soit à des électrodynamomètres, soit à un electrocalorimètre analogue à celui que j'ai décrit dans un Mémoire de 1885 (1), soit encore à deux voltmètres de Cardew qui seraient mis en dérivation sur deux résistances sans self-induction intercalées dans les deux circuits. Le wattmètre ne serait nécessaire que si l'on voulait tenir compte de l'énergie dissipée, et dans ce cas, il devrait être un instrument de précision, puisque cette énergie est relativement très petite dans les bons transformateurs.

Le wattmètre ordinaire est, comme on sait, un électrodynamomètre dont les deux bobines sont parcourues par des courants distincts : l'un est proportionnel à la différence des potentiels aux bornes de l'appareil à essayer, l'autre à l'intensité du courant qui le parcourt.

Dans le wattmètre n° 15 envoyé à l'essai par la maison Ganz et C<sup>ie</sup>, de Budapest, la bobine fixe a une résistance de 0<sup>ω</sup>,057 et la bobine mobile peut être mise en série avec un rhéostat de maillechort à double enroulement, de manière à former une résistance totale variant par 500<sup>ω</sup> de 500<sup>ω</sup> à 6000<sup>ω</sup>.

Les différentes parties de ce wattmètre ont une self-induction très petite.

Soit  $i$  l'intensité du courant qui parcourt la bobine fixe;  $j$  celle du courant dérivé sur les deux points  $A$ ,  $B$  qui passe par une résistance  $\rho$  dont fait partie la bobine mobile;  $w$  l'angle de torsion qui ramène l'aiguille à zéro. On a :

$$(9) \quad c w = \frac{\rho}{\pi} \int_0^{\pi} i j \, dt.$$

D'autre part, si les deux points  $A$  et  $B$  se trouvent à une différence de potentiels  $e$ , et que de l'un à l'autre il passe un courant d'intensité  $x$ , la puissance fournie à l'appareil placé entre  $A$  et  $B$  pourra s'exprimer par :

$$(10) \quad V = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} e x \, dt.$$

(1) Voir *Lumière électrique*, vol. XVII, p. 493.

Le wattmètre peut être employé de deux façons différentes, représentées par les figures (1) et (2).

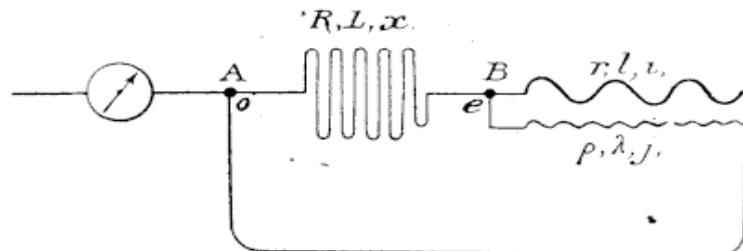


FIG. 1.

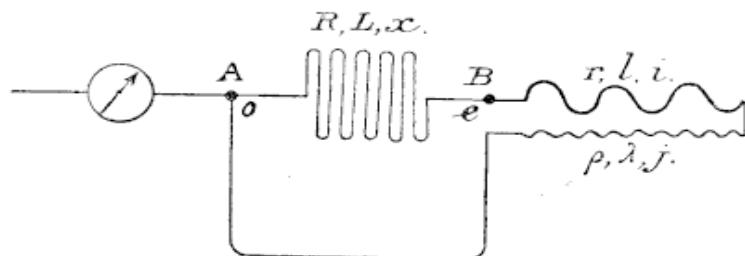


FIG. 2.

Dans la première disposition, le courant  $j$ , qui parcourt la grande résistance  $\rho$ , est une dérivation prise directement aux deux points  $A$  et  $B$ , et le courant  $i$  qui parcourt la bobine de petite résistance  $r$  a la valeur :

$$i = x + j.$$

Dans le second cas, la bobine  $r$  du wattmètre s'ajoute à la résistance  $R$  de l'appareil qui se trouve entre  $A$  et  $B$ , et il en résulte :

$$i = x$$

$j$  est une dérivation prise aux extrémités de  $R + r$ .

S'il s'agissait de courants constants, on aurait évidemment, dans le premier cas :

$$(a_1) \quad cw = \left( 1 + \frac{R}{\rho} \right) V$$

et dans le second :

$$(a_2) \quad cw' = \left( 1 + \frac{r}{R} \right) V$$

Mais pour les courants variables, la question est plus complexe à cause de l'induction.

Supposons que  $A$  et  $B$  soient les serre-fils primaires d'un transformateur, et examinons le cas où l'on pourrait appliquer avec une exactitude suffisante la théorie élémentaire rappelée plus haut.

Avec la disposition de la figure (1) nous pourrons aux équations (1) (2) (3) ajouter l'équation suivante :

$$(3_1) \quad e = \rho j + \lambda \frac{dj}{dt}$$

et poser à la suite de l'équation (7) :

$$(7_1) \quad j = J \sin(\omega t + \psi + \theta)$$

où  $\theta$  indique la différence de phase entre  $x$  et  $j$ .

Alors :

$$(9_1) \quad cw = \frac{\omega}{2} J X \cos \theta + \frac{\omega}{2} J^2$$

$$(10_1) \quad V = \frac{1}{2} E X \cos \varphi$$

et par suite :

$$(x_1) \quad cw = V \left( 1 + \frac{R}{\omega} \right) \frac{\left( 1 + \omega^2 \frac{L}{R} \cdot \frac{L + \lambda}{R + \omega} \right) \left( 1 + \omega^2 \frac{L'^2}{R'^2} \right)}{\left( 1 + \omega^2 \frac{\lambda^2}{\omega^2} \right) \left( 1 + \omega^2 \frac{L L'}{R R'} + \omega^2 \frac{L'^2}{R'^2} \right)}$$

Si le circuit secondaire est ouvert, et que par conséquent  $\frac{L'}{R'} = 0$ , cette équation devient :

$$(3_1) \quad cw = V \left( 1 + \frac{R}{\omega} \right) \frac{1 + \omega^2 \frac{L}{R} \cdot \frac{L + \lambda}{R + \omega}}{1 + \omega^2 \frac{\lambda^2}{\omega^2}}$$

Si  $L = 0$ , c'est-à-dire s'il n'y a aucune self-induction entre  $A$  et  $B$ , la même formule devient :

$$(y_1) \quad cw = V \frac{1 + \frac{R}{\omega}}{1 + \omega^2 \frac{\lambda^2}{\omega^2}}$$

Avec la disposition de la figure (2) il faut substituer à l'équation (3<sub>1</sub>) la suivante :

$$(3_2) \quad \omega j + \lambda \frac{dj}{dt} = e + rx + l \frac{dx}{dt}$$

Alors :

$$(9_2) \quad cw = \frac{\omega}{2} J X \cos \theta$$

et par suite :

$$(x_2) \quad cw = V \frac{1 + \frac{r}{R}}{1 + \frac{\omega^2 \lambda^2}{\omega^2}} \cdot \frac{1 + \omega^2 \frac{\lambda}{\omega} \cdot \frac{L + l}{R + r} + \omega^2 \frac{L'}{R'} \cdot \frac{L}{R + r} + \omega^2 \frac{L'^2}{R'^2} \left( 1 + \omega^2 \frac{\lambda}{\omega} \frac{l}{R + r} \right)}{1 + \omega^2 \frac{L L'}{R R'} + \omega^2 \frac{L'^2}{R'^2}}$$

Si le circuit secondaire est ouvert :

$$(3_2) \quad cw = V \left( 1 + \frac{r}{R} \right) \frac{1 + \omega^2 \frac{\lambda}{\omega} \frac{L + l}{R + r}}{1 + \frac{\omega^2 \lambda^2}{\omega^2}}$$

et si  $L = 0$  :

$$(7_2) \quad cw = V \frac{1 + \frac{r}{R} + \frac{\alpha^2 l \lambda}{R \beta}}{1 + \frac{\alpha^2 \lambda^2}{\beta^2}}.$$

Avant tout on doit rechercher si la self-induction du wattmètre exerce une influence sensible sur les indications de cet instrument. Dans ce but, j'ai

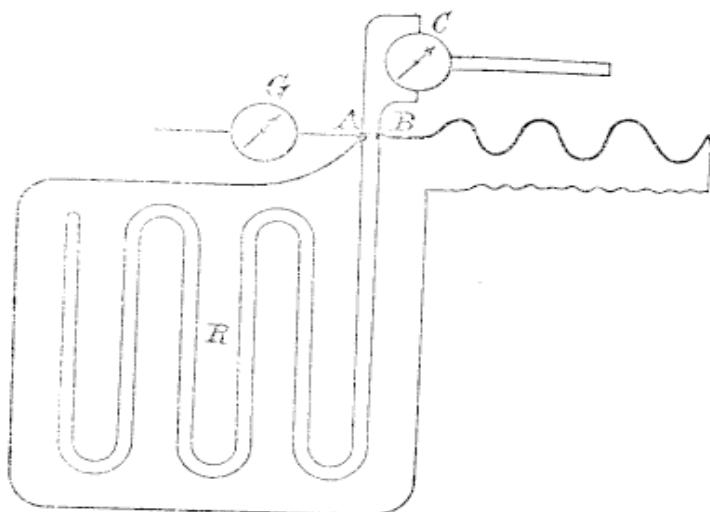


FIG. 3.

relié les deux points  $A$  et  $B$  par un voltmètre de Cardew et par un grand rhéostat placé en dérivation avec lui (fig. 3). Ce rhéostat était formé de deux fils de mallechort tendus parallèlement l'un à côté de l'autre de manière à réduire le plus possible la self-induction. La section des deux fils était assez forte pour que l'échauffement produit par le passage du courant ne donnât pas lieu à une trop grande variation de résistance. Du reste j'ai mesuré directement la résistance  $R$  du faisceau formé

par le voltmètre et par le rhéostat, et je l'ai trouvée comprise entre  $18^{\circ},524$  et  $18^{\circ},617$  selon qu'elle était déterminée à froid ou immédiatement après le passage prolongé du courant maximum appliqué dans le cours des expériences.

Pour tarer le voltmètre, j'envoyais dans le faisceau un courant dont l'intensité y était donnée par un galvanomètre à miroir qui avait été étalonné au moyen de l'électrolyse du sulfate de cuivre, en admettant, avec Kohlrausch, que 1 ampère dépose  $0^{\circ},01968$  de cuivre en une minute.

Afin d'avoir des indications concordantes pour des intensités croissantes aussi bien que pour des intensités décroissantes, il fallait attendre plusieurs minutes entre deux lectures, de manière à permettre au voltmètre d'atteindre son état de régime.

Il est évident que dans ces déterminations préliminaires, le fil fin du wattmètre doit rester interrompu pour que la différence de potentiels  $E$  déduite de l'indication du Cardew soit égale à  $Ri$ . Alors, toutes les fois que le Cardew donnera la même indication, le nombre de watts fourni à ce faisceau sera toujours donné par la formule  $V = \frac{E^2}{R}$ , même s'il y avait entre  $A$  et  $B$  d'autres communications.

Pour étudier le wattmètre, je faisais quatre observations correspondant à une même indication du Cardew ; dans les deux premières, je faisais usage d'un courant continu produit par une batterie d'accumulateurs, en employant les dispositions du wattmètre représentées par les figures (1) et (2) ; dans les deux autres, j'employais

les mêmes dispositions, mais en me servant du courant alternatif produit par une dynamo de la Maison Ganz et C<sup>ie</sup>, qui donnait 101 inversions par seconde. Pour amener le Cardew à donner la même indication dans les quatre observations, je me suis servi d'un rhéostat spécial placé dans le circuit en avant du point *A*. Dans le cas des courants constants, pour éliminer l'action possible du champ magnétique sur la bobine mobile du wattmètre, je faisais passer le courant successivement dans les deux sens ; j'ai du reste reconnu que cette action était insensible.

Soit maintenant *z* le nombre des bobines de  $500 \omega$  qui forment la résistance  $\rho$ , d'où  $\rho = 500 z$ .

En posant  $c = zh$ , les équations (*a*<sub>1</sub>) (*a*<sub>2</sub>) donnent :

$$(a'_1) \quad h = \frac{E^2}{zRw} \left(1 + \frac{R}{\rho}\right)$$

$$(a'_2) \quad h = \frac{E^2}{zRw'} \left(1 + \frac{r}{R}\right)$$

Ces formules servent au calcul de la constante *h* du wattmètre pour les courants constants ; les valeurs moyennes déduites d'un grand nombre d'observations dans lesquelles je faisais varier *z* et *E* sont les suivantes :

Dans la disposition de la figure (1) . . . .  $h = 1,256$

Dans la disposition de la figure (2) . . . .  $h = 1,254$

Moyenne. . . .  $h = 1,255$

Les formules (*a*<sub>1</sub>) (*a*<sub>2</sub>) ne sont pas rigoureusement applicables aux courants alternatifs ; il faudrait leur substituer les équations ( $\gamma$ <sub>1</sub>) ( $\gamma$ <sub>2</sub>) ; cependant j'en ai tiré les valeurs moyennes suivantes :

Dans la disposition de la figure (1) . . . .  $h = 1,256$

Dans la disposition de la figure (2) . . . .  $h = 1,255$

On peut en conclure que dans le wattmètre de Ganz et C<sup>ie</sup>, les quantités  $\frac{\alpha^2 \lambda^2}{\rho}$  et  $\frac{\alpha^2 l \lambda}{R \rho}$  sont tout à fait négligeables, c'est-à-dire que la différence de phase introduite par l'induction dans les courants qui le traversent ne produit aucun effet sensible. Il n'en résulte pas toutefois que cet instrument doive donner des indications exactes dans tous les cas, puisque, dans les vérifications ci-dessus rapportées, la différence de potentiels des deux points *A* et *B* et le courant qui allait de l'un à l'autre de ces points se trouvaient dans la même phase. Il est douteux que le wattmètre puisse encore être employé quand les phases sont différentes, ainsi que cela arrive quand il y a entre *A* et *B* un conducteur ayant une induction considérable ; alors la théorie conduit aux formules ( $\beta$ <sub>1</sub>) ( $\beta$ <sub>2</sub>) qui se rapportent au cas où le circuit secondaire du transformateur est ouvert.

Pour examiner ce cas, le wattmètre fourni par la Maison Ganz et C<sup>ie</sup> n'était pas assez sensible. J'en ai construit un autre, à miroir, dont la bobine mobile avait la même résistance que celle du premier, afin de pouvoir l'employer avec la même boîte de résistances ; j'ai déterminé la constante de ce wattmètre à miroir par le

procédé décrit plus haut, et j'ai ainsi trouvé que si, dans les formules  $(\alpha_1)$   $(\alpha_2)$ , on représente par  $w$  et  $w'$  les déviations observées, en centimètres de l'échelle, on a :

Dans le cas des courants continus, en moyenne . . .  $h = 1,461$   
 Dans le cas des courants alternatifs, en moyenne . . .  $h = 1,488$ .

La différence entre ces deux nombres montre que dans le nouvel instrument la quantité  $\frac{x^2 \lambda^2}{\rho^2}$  qui exprime l'effet de la self-induction de la bobine mobile n'est pas négligeable par rapport à l'unité ; mais comme dans la suite on emploie toujours des courants alternatifs de la même période, on peut adopter la 2<sup>e</sup> valeur pour la constante  $h$ .

Cela fait, j'ai introduit entre  $A$  et  $B$  le fil primaire du transformateur n° 663 fourni par la Maison Ganz et C<sup>ie</sup>, et j'ai appliqué à ses serre-fils secondaires un voltmètre de Cardew ; j'ai conduit l'expérience de manière que l'indication de ce dernier fût la même pour les deux dispositions représentées par les figures (1) et (2), de façon que la puissance fournie au transformateur eût la même valeur dans les deux cas. Or, les indications du voltmètre correspondant à ces deux dispositions ont toujours été inégales, et plus grandes pour la première disposition que pour la seconde, comme du reste on pouvait s'y attendre en comparant entre elles les équations  $(\beta_1)$  et  $(\beta_2)$ .

La quantité  $\frac{x^2 L^2}{R^2}$  est donc loin d'être négligeable par rapport à la quantité  $\frac{x^2 \lambda^2 L}{\rho R}$ .

Il en résulte que l'on ne peut pas employer le wattmètre dans la disposition représentée par la figure (1).

Nous remarquerons toutefois que les deux indications de l'instrument tendent vers l'égalité à mesure que l'on diminue de plus en plus la résistance entre les bornes du fil secondaire. On le voit par le tableau ci-dessous, dans lequel nous avons désigné par  $(Y)$  l'intensité efficace, en ampères, du courant secondaire, donnée par un électro-dynamomètre ; et par  $\frac{W}{W'}$  le rapport entre les deux valeurs que l'on trouve respectivement pour la puissance dans les deux dispositions (1) et (2), en négligeant les corrections dues à l'induction, c'est-à-dire en appliquant les formules en usage dans le cas des courants constants. Il est évident que ce rapport serait égal à l'unité si les effets de l'induction étaient négligeables.

$(Y)$	$\left(\frac{W}{W'}\right)$
0,26	1,401
0,69?	1,316
0,90?	1,275
1,52	1,223
2,19	1,195
3,42	1,137

3,96	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1,120
5,56	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1,099
6,86	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1,075
7,76	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1,077
9,58	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1,068
18,76	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1,034
31,50	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1,014

Il reste maintenant à examiner si le wattmètre donne des résultats suffisamment exacts dans la disposition représentée par la figure (2) c'est-à-dire si la quantité  $\alpha^2 \frac{\lambda}{\rho} \frac{L}{R}$  est négligeable à côté de l'unité.

La détermination de l'excès des indications de l'instrument sur les valeurs réelles de la puissance est difficile, parce qu'elle exige l'emploi d'une méthode donnant très exactement la valeur de cette puissance. J'en ai essayé successivement trois, savoir : la méthode électrométrique, la méthode calorimétrique, et une troisième méthode, fondée sur des mesures de potentiel et de courant, qui découle immédiatement des équations (1) et (2) et qui serait par conséquent théoriquement rigoureuse et indépendante de toute hypothèse.

En effet, de ces équations on tire :

$$\frac{m}{n} R'y = Rx - e$$

D'où, en élevant au carré les deux membres :

$$xe = \frac{Rx^2}{2} + \frac{e^2}{2R} - \frac{m^2}{n^2} \frac{R^2y^2}{2R}.$$

En multipliant cette dernière équation par  $dt$ , en l'intégrant entre les limites 0 et  $\tau$  et en divisant par  $\tau$ , on obtient :

$$V = \frac{R}{2} (X)^2 + \frac{(E)^2}{2R} - \frac{m^2}{n^2} \frac{R^2}{2R} (Y)^2$$

équation dans laquelle  $V$  exprime la puissance fournie au transformateur, ( $X$ ) l'indication d'un électrodynamomètre intercalé dans le circuit primaire, ( $Y$ ) celle d'un second électrodynamomètre intercalé dans le circuit secondaire, ( $E$ ) l'indication d'un voltmètre de Cardew appliqué aux serre-fils primaires.

Comme il est difficile de mesurer la résistance à chaud des lampes sur lesquelles est fermé le circuit secondaire, on peut substituer à  $R'$  ( $Y$ ) la valeur donnée par l'équation suivante :

$$R' (Y) = (\Delta) + S (Y)$$

dans laquelle ( $\Delta$ ) est l'indication d'un voltmètre de Cardew appliquée aux serre-fils secondaires et  $S$  la résistance extérieure du circuit secondaire.

En théorie, cette méthode est tout à fait rigoureuse et indépendante de toute hypothèse relative à la loi d'aimantation du fer et à la loi suivant laquelle les différentes grandeurs électriques varient dans une période. Mais la valeur cherchée

de la puissance est exprimée par des quantités qui sont très grandes relativement à leur différence, de sorte que pour l'évaluer avec une approximation suffisante, il faudrait disposer d'instruments de mesure incomparablement plus précis que ne le sont les voltmètres de Cardew et les électrodynamomètres de Siemens, instruments dont on a lieu d'être très satisfait quand ils donnent avec certitude une approximation de  $\frac{1}{2}\%$ , tandis qu'une erreur de cet ordre de grandeur suffit à conduire à une évaluation de la puissance plus que double de sa valeur réelle.

Parmi les différentes méthodes électrométriques, j'ai essayé celle qui a été déjà adoptée par le Dr Hopkinson dans sa détermination du rendement des transformations de Gaulard et Gibbs; mais j'ai pu me convaincre de la justesse des avertissements donnés par les professeurs Ayrton et Perry (<sup>1</sup>) relativement à l'emploi des électromètres à cadran, de sorte que je dois moi-même reconnaître que cette méthode n'est pas applicable.

Des résultats moins satisfaisants encore ont été tirés d'un travail long, minutieux et très patient exécuté en grande partie par mon assistant M. le Dr Franco Magrini sur l'électromètre inventé par MM. Blondlot et Curie (<sup>2</sup>) et presque en même temps par l'ingénieur Ettore Morelli (<sup>3</sup>). Nous avons modifié la disposition de cet instrument en y apportant des perfectionnements; nous avons ensuite donné à l'équipage mobile la forme cylindrique au lieu de la forme circulaire, en le faisant mouvoir dans un cylindre creux d'acier aimanté ayant le même axe; les indications obtenues, suffisamment exactes pour de petites différences de potentiel, ont été absolument mauvaises dès que la différence de potentiel a dépassé 60 volts.

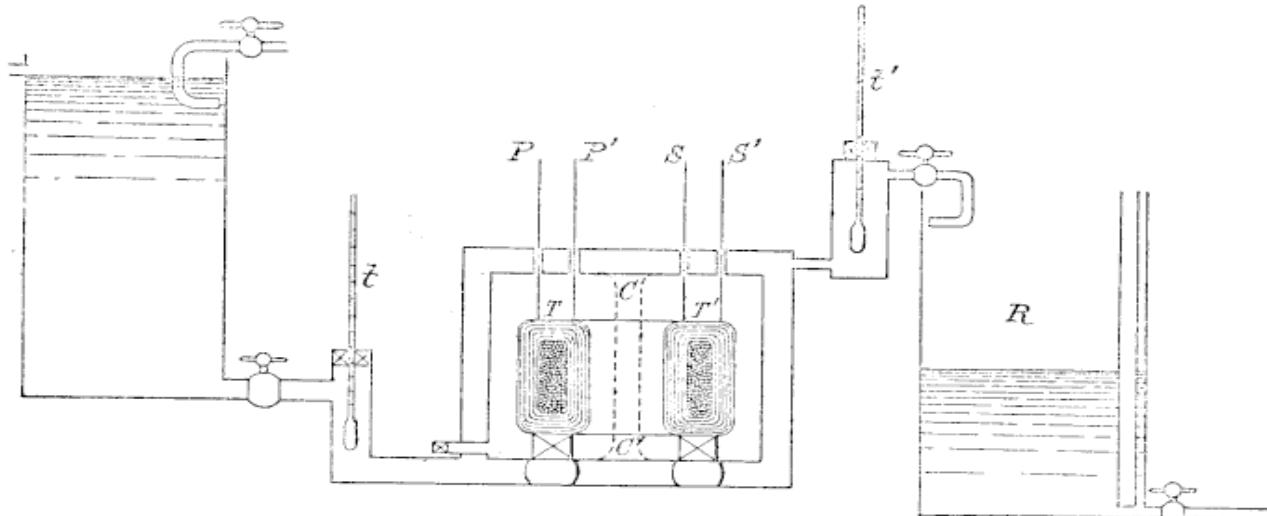


FIG. 4.

(<sup>1</sup>) Testing the Power and Efficiency of Transformers (Proc. of the Society of Telegraph Engineers. Part. 71, févr. 16 th. 1888.)

(<sup>2</sup>) Sur un nouveau wattmètre électrique (Lumière électrique, 1888, t. 39, p. 306).

(<sup>3</sup>) Elettrometro ad anellici (Atti della R. Accademia di Torino, 18 novembre 1888).

Il ne me restait donc d'autre ressource que d'avoir recours à une méthode calorimétrique, et j'ai préféré celle qui a été suivie par les professeurs Ayrton et Perry.

Le transformateur  $T, T'$  (fig. 4) est enfermé dans un récipient cylindrique en laiton; celui-ci est placé dans l'intérieur d'un second récipient également en laiton et repose sur trois disques de porcelaine placés sous les pieds de l'appareil. Les extrémités du fil primaire  $P, P'$  et du fil secondaire  $S, S'$  traversent quatre tubes et sont parfaitement isolés. L'intervalle entre les deux récipients est rempli d'eau qui circule sous pression constante en entrant par la partie inférieure et en sortant par la partie supérieure; elle coule alors dans un réservoir  $R$  jaugé en demi-litres, qui peut être vidé rapidement. Deux thermomètres  $t$  et  $t'$ , divisés en dixièmes de degré, sont placés dans l'eau immédiatement avant l'entrée et après la sortie de celle-ci.

Quand l'état de régime est atteint, on obtient le nombre de watts fournis au transformateur en multipliant le nombre de grammes d'eau qui coule en une seconde par la différence des températures des deux thermomètres, et par l'équivalent mécanique de la petite calorie, c'est-à-dire par 4,187 valeur qui résulte des déterminations de Rowland pour la température de 16° C., égale à peu près à la moyenne des températures indiquées par les deux thermomètres. A ce produit il faut ajouter un nombre de watts exprimant la puissance développée à l'extérieur du calorimètre dans le cas où le circuit secondaire est fermé, soit par un voltmètre, soit par un électrodynamomètre et un certain nombre de lampes.

Je dois déclarer que cette disposition, qui a pu servir à MM. Ayrton et Perry, n'a présenté dans mes expériences qu'une sensibilité tout à fait insuffisante; le thermomètre de sortie ne donnait au bout de plusieurs heures qu'une élévation de température de quelques dixièmes de degré.

Je me suis servi alors de l'artifice suivant: j'ai fait pratiquer des ouvertures circulaires aux centres des deux bases du récipient intérieur, et j'y ai fait souder un tuyau de laiton évasé à ses deux extrémités et représenté sur la figure par les lignes pointillées  $cc'$ ; l'eau circulait par ce tube central aussi bien qu'autour du récipient cylindrique.

Dans cette disposition nouvelle, le récipient formait un conducteur embrassant l'anneau du transformateur, équivalent à une spire unique fermée sur elle-même, et dans laquelle, à cause de sa faible résistance, se développait un courant de Foucault de grande intensité.

Le rendement du transformateur a naturellement diminué alors dans une forte proportion; mais cette circonstance n'avait aucune importance pour le but que je poursuivais, et qui était de mesurer la puissance fournie au primaire et de la comparer avec les indications du wattmètre.

L'appareil ainsi disposé a présenté une sensibilité suffisante; seulement les expériences ont été assez longues; car il fallait attendre plus de quatre heures pour que le régime fût établi.

J'ai fait trois séries d'expériences : dans la première, le circuit secondaire était tout à fait ouvert; dans la seconde, il n'était fermé que par un voltmètre de Cardew dont on avait déterminé les résistances à chaud correspondant à ses diverses indications, dans la troisième série, le courant secondaire après avoir passé par un électrodynamomètre se bifurquait pour aller d'un côté au même voltmètre, et de l'autre à 20 lampes de 50 volts convenablement groupées. On obtenait ainsi le nombre de watts dans le circuit extérieur en multipliant le nombre de volts, indiqué par le Cardew, par le nombre d'ampères que donnait l'électrodynamomètre, et en y ajoutant le produit de la résistance de ce dernier par le carré de l'intensité.

Je ne citerai pas ici toutes les observations faites ; je rapporterai seulement celles qui, dans chaque série, se rapprochent le plus des valeurs moyennes.

PRIMAIRE				SECONDAIRe		Grammes d'eau par seconde	Différence de température	WATTS		C	$\frac{V'}{C}$
Volts	Ampères	Wattmètre		Volts	Ampères			dans le calorimètre	dans le circuit extérieur		
		V	V'								
584	—	4760	4374	—	zéro	25,67	42,85	4381 + zéro = 4381	4381	4,200	
564	2,37	4224	4153	88,7	0,232	25,30	9,91	4050 + 24 = 4074	4074	4,076	
602	4,03	2304	2174	92,9	9,52	21,87	43,30	4218 + 888 = 2106	2106	4,032	

On doit remarquer que les indications données par le calorimètre tendent à fournir des valeurs un peu trop faibles, attendu que l'état de régime est un état limite qui n'est jamais rigoureusement atteint et que les corrections apportées aux lectures pour tenir compte de la chaleur perdue par rayonnement et par convection ont été un peu trop petites ; on ne peut donc compter que sur une approximation tout au plus égale à  $1/2 \%$ . On doit remarquer en outre que les indications fournies par le wattmètre et par le calorimètre deviennent de plus en plus concordantes à mesure que l'on charge davantage le transformateur, et que, dans certaines expériences de la dernière série, où la puissance fournie a été voisine de sa valeur maximum, le rapport de ces indications ne s'écarte presque pas de 1, tout en conservant toujours une valeur supérieure de l'unité.

En tenant compte de ces observations, et en discutant les résultats de ces expériences, j'ai été amené aux conclusions suivantes :

1° Le wattmètre, de même que les autres appareils employés, ne peut pas servir à mesurer la puissance absorbée par un transformateur qui ne travaille pas.

2° Je pense au contraire que, quand le transformateur travaille, le wattmètre, pourvu qu'il soit bien employé, c'est-à-dire inséré entre les deux points de dérivation, peut donner une approximation de 1 à 2 %, c'est-à-dire égale à celle que l'on obtient par l'emploi des voltmètres de Cardew et des électro-dynamomètres usuels.

3<sup>e</sup> Comme les indications des wattmètres sont toujours trop fortes, on n'a pas à craindre qu'ils conduisent à trouver pour le rendement des transformateurs une valeur supérieure à sa valeur réelle.

Après avoir étudié, ainsi que je viens de le rapporter, le wattmètre de la maison Ganz et C<sup>ie</sup>, j'ai procédé à l'essai du transformateur n° 663. Ce transformateur pèse 110<sup>k</sup>, et comme tous les transformateurs construits actuellement par la maison Ganz, il a le fer à l'intérieur. Il porte les indications suivantes :

	Primaire.	Secondaire.
Nombre de spires . . . . .	6	1
Volts . . . . .	641	105
Ampères . . . . .	6,53	38

La résistance intérieure entre les bornes est :

Pour le primaire . . . . . ; . . . . .  $R = 0^{\text{o}},798$

La mesure des différences de potentiels aux bornes du primaire a présenté de graves difficultés ; car les deux voltmètres de Cardew dont je disposais n'alliaient que jusqu'à 120 volts. Le constructeur de l'un de ces Cardew m'ayant fourni, à ma demande, en même temps que l'instrument, une certaine quantité de fil qu'il m'a assuré être identique à celui du voltmètre, j'ai construit au moyen de ce fil un rhéostat dont la résistance mesurée à froid était égale à 5 fois celle du fil du Cardew ; le fil de ce rhéostat était tendu et enfermé dans une caisse de bois.

En plaçant le rhéostat et le Cardew en série dans un même circuit, on réduisait dans le rapport de 1 à 6, la différence de potentiels aux bornes du voltmètre. Toutefois, comme les fils du Cardew et du rhéostat ne se trouvaient pas dans des conditions identiques, il n'est pas certain que parcourus par un même courant ils conservent la même température ; je ne donne donc que sous réserve le nombre de volts ainsi déterminé.

Dans le tableau ci-dessous  $E$  représente la différence de potentiels aux extrémités du circuit formé par le Cardew et le rhéostat,  $X$  l'intensité efficace du courant primaire,  $Y$  l'intensité efficace du courant secondaire,  $\Delta$  la différence de potentiels indiquée par le Cardew intercalé entre les bornes du secondaire ; et par conséquent, si l'on représente par  $b$  la résistance de l'électro-dynamomètre qui mesure l'intensité du courant secondaire, la puissance qui sort du transformateur sera donnée par l'expression :

$$U = \Delta Y + b Y^2.$$

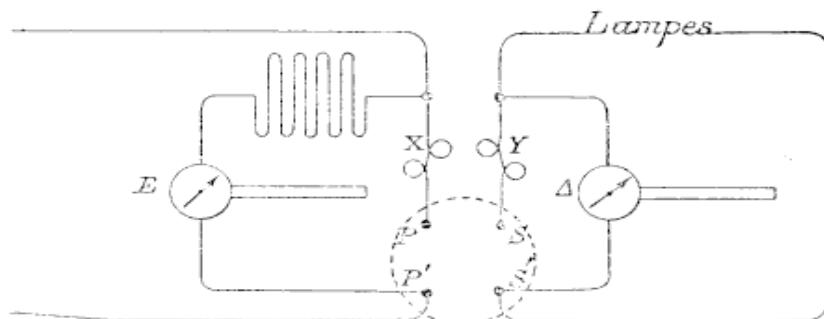


FIG. 5.

Si l'on y ajoute l'énergie thermique  $SY^2 + RX^2$  développée par seconde dans les parties intérieures du circuit secondaire et du primaire, on a pour la puissance totale  $C$  qu'il faudrait fournir au transformateur, abstraction faite des courants de Foucault, et de l'hystérésis du fer :

$$C = \Delta Y + b Y^2 + SY^2 + RX^2.$$

Et dans ce cas le rendement serait donné par le rapport  $\frac{U}{C}$ .

Si d'autre part on représente par  $V'$  le nombre de watts tel qu'on le déduit des indications du wattmètre, ce rendement est donné par  $\frac{U}{V'}$ . Le rapport des deux valeurs ainsi obtenues pour le rendement est évidemment  $\frac{V'}{C}$ ; les valeurs de ce rapport sont inscrites dans la dernière colonne du tableau.

$E$	$X$	$\Delta$	$Y$	$U$	$SY^2$	$RX^2$	$C$	$V'$	$\frac{U}{V'}$	$\frac{V'}{C}$
598	2,10	96,95	9,10	885,2	3,7	3,5	892,4	939,5	0,942	1,053
605	2,30	96,95	10,25	997,5	4,7	4,2	1006,4	1053,1	0,947	1,046
611	3,73	96,95	18,15	1771,6	14,9	11,1	1797,6	1875,2	0,945	1,043
618	4,79	96,95	24,21	2368,3	26,4	18,3	2413,0	2488,3	0,952	1,031
625	5,86	96,95	31,52	3091,7	44,7	27,4	3163,8	3225,1	0,959	1,019
614	5,91	96,95	32,37	3176,1	47,2	27,9	3251,2	3309,2	0,960	1,018
412	3,96	64,0	19,88	1286,5	17,8	12,5	1316,8	1374,3	0,936	1,044
387	4,20	59,3	21,53	1293,4	20,9	14,1	1328,4	1374,3	0,941	1,034
382	4,34	57,1	22,83	1322,4	23,5	15,0	1360,9	1374,3	0,962	1,010
357	4,57	51,0	24,16	1325,7	26,3	16,6	1368,6	1375,7	0,964	1,006
598	5,62	93,5	30,79	2913,2	42,7	25,2	2981,1	3054,0	0,954	1,024
554	6,12	86,6	33,34	2927,2	50,0	29,9	3007,1	3054,0	0,958	1,016
540	6,35	82,4	35,16	2941,7	55,6	32,2	3029,5	3055,4	0,963	1,009
—	6,33	106,0	34,69	3720,5	54,2	32,0	3806,7	3847,6	0,967	1,011
649	6,66	102,1	35,83	3704,4	57,8	35,4	3797,6	3842,2	0,964	1,012
632	6,93	96,9	37,46	3680,3	63,1	38,3	3781,7	3808,4	0,967	1,007
—	6,96	106,6	37,10	4004,4	61,9	38,7	4105,0	4167,3	0,961	1,015

Si l'on pouvait regarder le wattmètre comme exact, il résulterait des nombres consignés dans l'avant-dernière colonne un rendement compris entre 94 et 96 %.; et si l'on observe que le wattmètre donne des indications toujours un peu trop fortes, on est conduit à attribuer au rendement une valeur encore plus considérable.

D'un autre côté, la dernière colonne nous apprend que l'excès des indications du wattmètre sur l'énergie thermique totale développée suivant la loi de Joule, et l'excès des mêmes indications sur celles du calorimètre sont du même ordre de grandeur. On peut en conclure que les courants de Foucault sont très bien éliminés dans le transformateur de Ganz et C°.

Mais on serait conduit aussi à une déduction d'une certaine importance théorique, et qui serait contraire à l'opinion généralement acceptée dans ces derniers temps relativement à l'hystérésis du fer, c'est-à-dire que le travail dépensé dans les renversements de l'aimantation serait négligeable.

On calcule ordinairement ce travail en partant des données déduites des remarquables travaux de Ewing et de Hopkinson, bien que les expériences de ces savants aient été faites dans des conditions tout autres que celles que présente le fonctionnement d'un transformateur. Dans ces expériences, en effet, on part d'une certaine valeur de la force magnétisante que l'on fait varier lentement jusqu'à une seconde valeur, en général de signe contraire, pour la faire revenir lentement à la valeur initiale; tandis que dans les transformateurs les renversements de l'aimantation se suivent très rapidement, et un grand nombre de fois, entre des limites d'autant plus rapprochées, et très voisins au point d'infexion, que le transformateur est plus chargé.— On peut donc supposer qu'il se produit dans ce cas un phénomène analogue à ceux que l'on rencontre dans l'étude de l'élasticité; c'est du reste une question qui mérite d'être examinée d'une manière plus approfondie.

Florence, juillet 1889.



RAPPORT  
SUR  
L'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE DE LA VILLE DE ROME

Par M. A. RÖITI, professeur à l'Institut Royal des Hautes Études, à Florence.

L'installation d'éclairage électrique à Rome a été faite par la Maison Ganz et C<sup>ie</sup> de Buda-Pesth, au moyen du système à courants alternatifs et à transformateurs imaginé par MM. Zipernowsky, Déri et Blathy; elle est exploitée, sous la direction technique de M. le professeur Mengarini, par la Société Anglo-Romaine pour l'éclairage de Rome.

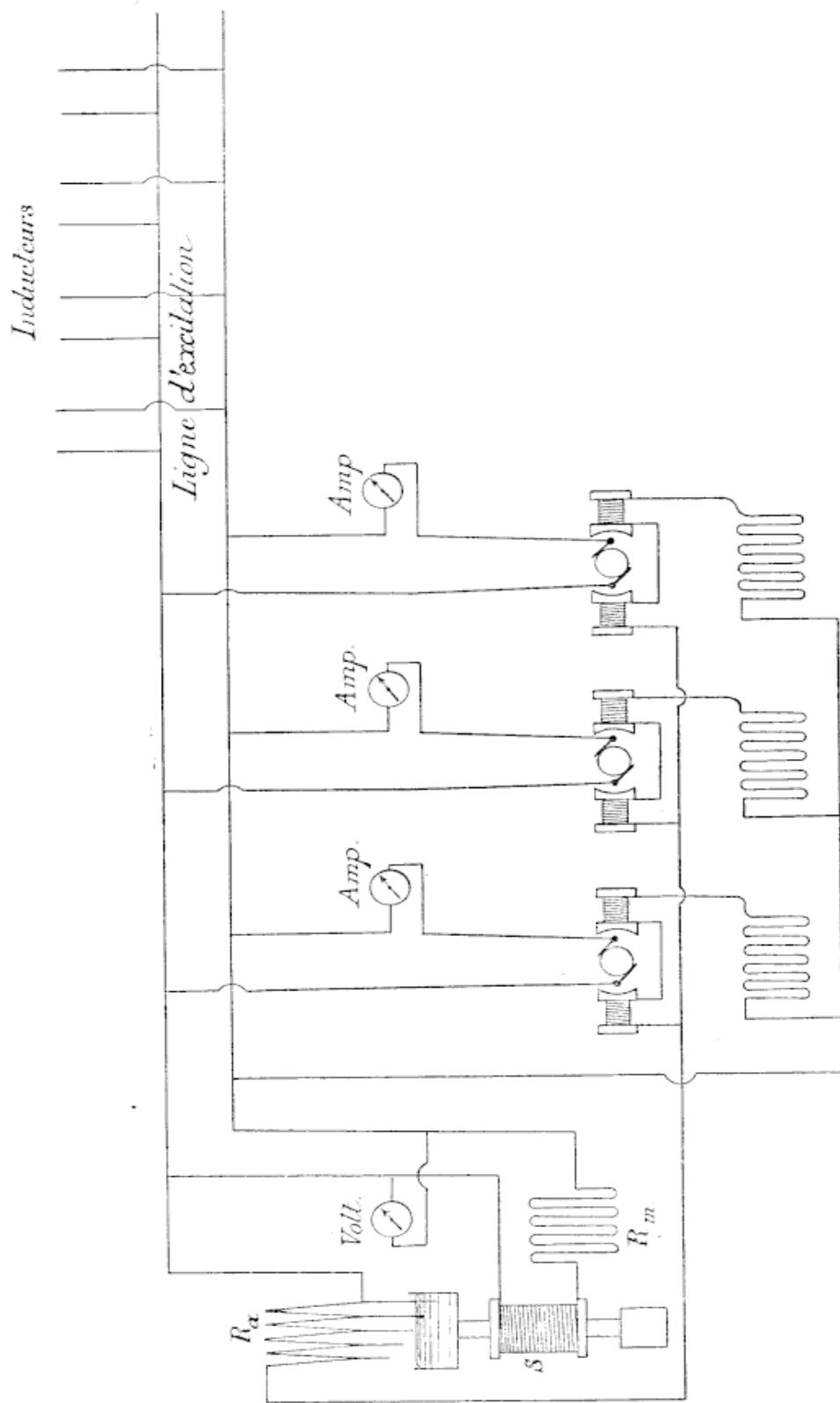
Le potentiel primaire de régime est d'environ 2000 volts, et le rapport de transformation est de 18 à 1.

Au premier juillet 1889 étaient installées 300 lampes à arc de 16 ampères, 14 lampes de 32 ampères, et 6800 lampes à incandescence de différentes intensités, celles-ci équivalent à plus de 7500 lampes Edison, type A. Le total peut être regardé comme représentant 11000 de ces lampes. Pour les alimenter, il y avait deux moteurs de 150 chevaux chacun et deux moteurs de 600 chevaux; on montait en outre deux autres moteurs de 600 chevaux.

Quand l'installation sera complète, elle devra servir à plus de 13000 lampes Edison du type A. L'un des moteurs de 600 chevaux et un autre moteur sont destinés à former la réserve.

Chaque moteur est directement accouplé à une dynamo à courants alternatifs. Aujourd'hui les dynamos fonctionnent presque toujours à excitation indépendante; pour les exciter, il y a trois autres moteurs fournis par Westinghouse, de 40 chevaux, et trois shunt-dynamos excitatrices à 4 pôles et 375 tours par minute. Les trois excitatrices, dont l'une est de réserve, sont disposées en arcs parallèles en faisant communiquer leurs pôles avec deux conducteurs qui forment la *ligne d'excitation*; mais chacune a son ampère-mètre et un rhéostat réglable à la main dans le shunt qui fournit le champ magnétique.

Les trois shunts sont en outre reliés à un rhéostat automatique commun; ce dernier, qui a été inventé par M. Blathy, se compose d'une série de fils R, munis de prolongements de différentes longueurs qui plongent successivement dans une cuvette à mercure à mesure que celle-ci s'élève.



La cuvette est supportée par un noyau de fer contrebalancé par des contrepoids, mobile verticalement dans un solénoïde  $S$  et dont les oscillations sont

convenablement amorties. Le courant qui parcourt le solénoïde est dirigé sur la ligne d'excitation et passe dans un rhéostat réglable à la main  $R_a$  et qu'on appelle *potentiomètre*. Un voltmètre de Hummel donne la différence de potentiels sur la ligne d'excitation, d'où partent les branches en arcs parallèles qui excitent les inducteurs mobiles des dynamos à courants alternatifs. Chacune de ces branches excitatrices a aussi son rhéostat réglable à la main et un rhéostat automatique commandé par les courants alternatifs, ainsi qu'il sera expliqué plus tard.

En attendant qu'on monte les deux autres grandes dynamos qui doivent compléter l'installation, ce qui aura lieu dans le courant de l'automne, il y a aujourd'hui en fonctionnement deux dynamos (A) et (B) de 150 chevaux, une dynamo (c) de 50 chevaux et deux dynamos (I) et (H) de 600 chevaux. Elles sont toutes accouplées directement à leurs moteurs, excepté la petite dynamo (c) à laquelle le mouvement d'un moteur à gaz Otto Lange est transmis par courroie. Les deux premières (A) et (B) ont deux moteurs Sulzer à tiroirs *rider* qui font 250 tours à la minute sous la pression de 7 à 8 atmosphères; les deux autres (I) et (H) ont des moteurs Vanden Kerkhove de Gand qui, sous la même pression, font 125 tours. Les premières ont 20 bobines, les autres en ont 40, de sorte que dans tous les cas le courant a 5000 renversements ou 2500 périodes par minute. Les deux moteurs de 600 chevaux qu'on monte maintenant sont de la Brünner Maschinen Fabrik et actionneront deux dynamos de Ganz et C<sup>ie</sup> qui, pour la première fois, ont non seulement les induits, mais aussi les inducteurs, formés de lames de fer isolées les unes des autres.

On peut appliquer les pôles des dynamos à quatre lignes primaires différentes au moyen d'un commutateur à mercure très ingénieux et très sûr (*brevet Blathy*), qui permet toutes les combinaisons possibles des différentes dynamos avec les différentes lignes primaires.

Trois de ces lignes primaires (*feeders*) sont formées par des conducteurs concentriques de Siemens et Halske [*Patent-Blei-Kabel*] et présentent une section de  $200\text{ mm}^2$ . Elles sont disposées sous terre, dans des boîtes de bois remplies de ciment et parcourent les trois grandes artères de la capitale [Corso, Via Nazionale, Corso Vittorio Emanuele] en ayant jusqu'ici un développement total de 17 kilomètres; le point le plus éloigné à éclairer étant à environ 5 kilomètres de l'usine. Elles sont destinées à recevoir chacune un courant de 160 ampères avec une différence de potentiels d'environ 2000 volts, et par conséquent avec une perte d'environ 13 volts primaires par kilomètre en moyenne. La résistance d'isolement est toujours de quelques centaines de mégohms par kilomètre; elle varie un peu suivant l'état atmosphérique à cause des têtes de lignes qui sont appuyées sur des isoloirs en porcelaine.

La quatrième ligne primaire est à l'intérieur de l'usine et aboutit à un rhéostat de 4000 lampes de 16 bougies, disposées en groupes de 20 en série.

Suivant le brevet de Zipernowsky, Déri et Blathy, les transformateurs sont disposés en parallèles sur chaque ligne primaire, et le réglage consiste à conserver constante la différence de potentiels aux serre-fils de chaque transformateur.

La différence de potentiels serait la même pour tous et égale à celle des pôles de la dynamo si la résistance de la ligne primaire était négligeable. Dans la pratique, elle va successivement en diminuant à mesure que les transformateurs sont plus loin de la dynamo. De plus, il arrive que, quand on maintient constante la différence de potentiels en un point quelconque de la ligne, cette différence varie dans les autres points suivant l'intensité du courant primaire. Si, par exemple, on la maintient constante aux serre-fils d'un transformateur  $T_2$ , elle sera plus grande aux serre-fils d'un transformateur  $T_1$  plus rapproché de la dynamo, et la différence sera donnée par le produit de la résistance de la partie de ligne  $T_1 T_2$  par l'intensité du courant primaire; il s'ensuit que la différence de potentiels aux serre-fils du transformateur  $T_1$  augmentera à mesure que l'on allumera des lampes, tandis que celle d'un troisième transformateur  $T_3$  plus éloigné que  $T_2$  ira en diminuant.

Le problème à résoudre était de maintenir ces fluctuations entre des limites compatibles avec le fonctionnement régulier de l'éclairage.

L'égalité parfaite des différences de potentiels aux bornes des transformateurs disposés le long de la ligne, et par conséquent l'invariabilité de toutes ces différences lorsque l'une d'entre elles est maintenue constante, pourrait être réalisée au moyen d'un artifice imaginé par les ingénieurs de la Maison Ganz et C<sup>ie</sup>. Cet artifice consiste à introduire dans la branche de dérivation du transformateur  $T_n$  qu'on veut régler, une force électromotrice qui varie proportionnellement à l'intensité du courant primaire, et de manière à rester égale au produit de cette intensité par la résistance de la partie de la ligne comprise entre le transformateur  $T_n$  et le transformateur  $T_2$  dont la différence de potentiels aux bornes est maintenue constante. Cette force électromotrice devra naturellement se retrancher de la différence de potentiels qui se trouve sur la ligne au point de dérivation, dans

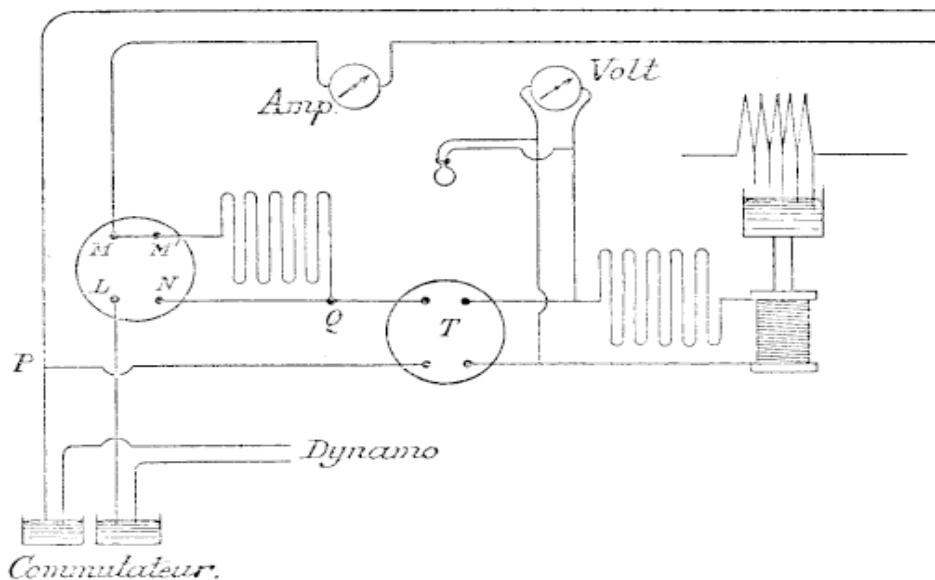


FIG. 7.

le cas où  $T_a$  est plus rapproché de la dynamo que  $T_b$ , et devra s'ajouter dans le cas contraire. La force électromotrice en question est fournie par un petit transformateur subsidiaire auquel on a donné le nom *d'égalisateur*.

Le fil primaire  $ML$  de l'égalisateur est parcouru par le courant d'intensité  $I$ , le secondaire  $M'N$  communique avec le primaire au point  $M$  et est fermé sur une résistance  $r$  par laquelle passe un courant  $i$  proportionnel à  $I$ . Maintenant, si au lieu d'appliquer le transformateur  $T$  aux points  $P, M$  de la ligne, on l'applique au  $P$  et à l'extrémité  $Q$  de cette résistance  $r$ , la différence de potentiels aux serre-fils  $T$  au lieu d'être  $E$  sera  $E - ri$ , et l'on pourra choisir  $r$  de telle sorte que  $ri = RI$ , en représentant par  $R$  la résistance de la partie de ligne comprise entre les deux transformateurs qu'on veut maintenir à la même différence de potentiels.

Dans la pratique, on trouve qu'il est inutile de placer sur la ligne autant de transformateurs qu'il y a de points de dérivation; un seul suffit et on le place dans l'usine, en y ajoutant une résistance  $r$ , telle que le premier transformateur  $T$  de la ligne acquière une différence de potentiels égale à celle du point le plus important de la ligne; soit parce qu'il est le point de part et d'autre duquel les transformateurs sont distribués symétriquement, soit parce que dans le voisinage de ce point ils sont plus nombreux, soit parce qu'il est affecté à un service exigeant une grande régularité.

Le premier transformateur  $T$  est placé dans l'usine et s'appelle *réducteur*; en général il a moins de puissance que les autres parce qu'il ne sert qu'à alimenter une lampe et à indiquer par le voltmètre appliqué à ses serre-fils secondaires si dans le point le plus important de la ligne le potentiel est celui de régime. Des mêmes serre-fils du réducteur part aussi le courant alternatif qui, en passant par un rhéostat réglable à la main, va au solénoïde qui commande le rhéostat automatique pour l'excitation de la dynamo.

Si l'on maintient constant le potentiel du réducteur, celui du point le plus important de la ligne reste aussi constant par suite de l'emploi de l'égalisateur; et si les autres points se ressentent des variations produites dans le courant primaire par suite des variations du nombre des lampes allumées, ces changements de potentiels sont à Rome toujours inférieurs à quatre volts, même dans les points les plus désavantageusement placés, et par conséquent trop faibles pour que le public s'aperçoive des changements d'éclat des lampes. En effet, sur la ligne du Corso, par exemple, l'éclairage fonctionne régulièrement aussi bien à Piazza Venezia qui est un des points les plus rapprochés de la ligne qu'au Théâtre des Variétés in Via Due Macelli qui est un des points les plus éloignés, le point le plus important, qui est maintenu à un potentiel constant, se trouvant entre Montecitorio et Piazza Colonna.

Ordinairement chacune des trois lignes n'a pas sa dynamo spéciale; mais elles forment un faisceau à arcs parallèles. Cependant les conditions spéciales dans lesquelles sont distribuées les lampes à Rome sont telles qu'il suffit de maintenir constant le potentiel dans le point principal de la ligne la plus chargée pour que les fluctuations ne dépassent pas quatre volts en aucun point des deux autres lignes.

Pour contrôler le fonctionnement de l'éclairage, il y a aussi dans l'usine un voltmètre enregistreur de M. Mengarini, qui peut être mis en communication au moyen de trois couples de fils de retour avec trois points intéressants choisis dans chacune des trois lignes primaires. Grâce à cet instrument, il reste une trace continue de l'attention et du zèle du personnel, qui du reste est très bien discipliné, et réduit à peu de personnes, sous la surveillance continue du directeur de l'usine de M. l'ingénieur Emilio de Strens.

Outre l'escouade chargée de la manutention, qui se compose de deux ajusteurs et de six manœuvres, et qui ne travaillent que 12 heures par jour, il y a deux escouades qui se relaient toutes les 24 heures et sont composées chacune d'un électricien, d'un aide électricien, un machiniste, un chef chauffeur et un chauffeur pour chaque générateur de 200 chevaux.

Le matin, quand les moteurs sont arrêtés, on fait le nettoyage, les réparations nécessaires et les vérifications des appareils. A une heure de l'après-midi, en hiver, et à 3 heures en été on donne la pression, et une des machines (A) ou (B) commence à fonctionner à excitation indépendante pour les trois lignes. Quand le soir commence à tomber, ou plus exactement quand la charge de la dynamo se trouve entre 30 et 40 ampères, on substitue à cette dynamo une des dynamos (I) ou (H) de 600 chevaux.

La responsabilité du service incombe à l'électricien qui observe l'ampèremètre Hummel de la dynamo qui doit être remplacée. Le machiniste a déjà donné la vitesse normale à la grande dynamo qui doit entrer en service, mais en laissant ouverte sa branche d'excitation. L'électricien met en communication avec les pôles de cette dynamo la 4<sup>e</sup> ligne primaire, c'est-à-dire la ligne intérieure formée par le rhéostat de 4000 lampes, en introduisant successivement des lampes dans le circuit et en excitant la dynamo de manière à ce qu'elle se trouve dans les mêmes conditions que la dynamo à remplacer, c'est-à-dire qu'elle donne le même courant avec la même différence de potentiels aux bornes.

Un seul voltmètre de Cardew peut être appliqué rapidement aux réducteurs de toutes les dynamos pour en avoir la différence de potentiels aux bornes, aussi bien qu'aux réducteurs des différentes lignes pour avoir le potentiel de leurs points les plus importants. Mais chaque dynamo a son ampèremètre Hummel.

L'électricien saisit l'instant où les indications des deux dynamos sont égales, et alors il change les connexions au moyen du commutateur à mercure, de telle sorte que la ligne intérieure soit reliée à la dynamo qui doit être remplacée et les trois lignes extérieures mises en communication avec la dynamo qui entre en service. On enlève ensuite l'excitation et la vapeur à la première dynamo.

J'ai assisté à cette opération et j'ai constaté qu'elle s'exécute d'une façon irréprochable.

Si l'une des grandes dynamos est près d'atteindre sa charge maximum de 160 ampères, on y ajoute parallèlement, avec des précautions analogues, une seconde dynamo, en saisissant l'instant convenable donné par l'indicateur de phase.

Une autre circonstance qui présente de l'intérêt est celle où un des clients de

quelque importance allume toutes ses lampes à la fois ; parmi les différents clients, sans parler de l'éclairage public qui est confié à un personnel dépendant de l'administration (¹), je citerai les suivants :

1° La maison Fratelli Bocconi sur le Corso dont les magasins sont éclairés par 86 lampes à arc de 16 ampères ;

2° Le théâtre communal de l'Argentina qui, outre 5 lampes à arc permanentes, et 28 que l'on allume suivant les besoins des spectacles, possède 1944 lampes à incandescence, dont 76 de 10 bougies, 1865 de 16, 2 de 32 et 1 de 100.

3° Le Sénat a 250 lampes de 10 bougies, 337 de 16, 2 de 32, 48 de 50, 2 Parsens de 1000 bougies, plus une lampe à arc de 16 ampères ; dans la seule salle des séances il y en a un nombre équivalent à 264 de 16 bougies, qui s'allument par un seul coup de clef de commutateur ;

4° L'éclairage de la Chambre des Députés est plus important encore, puisqu'il équivaut en total à 1160 lampes de 16 bougies ; parmi ces lampes, il y en a 198 sur un circuit spécial dit circuit de sûreté, qui ont été imposées par la questure de la Chambre, et qui sont dispersées dans tout l'édifice ; celles-ci peuvent être alimentées, et le sont ordinairement par un courant continu produit par un moteur à gaz de 20 chevaux, et par une dynamo de 125 ampères, placée à Montecitorio dans la petite place della Missione ; les autres, au nombre de 962 sont confiées aux transformateurs de la ligne primaire du Corso, et sont distribuées en quatre stations secondaires différentes. L'éclairage de la salle des séances est fait par 184 lampes à courant continu, et 663 lampes à courants alternatifs ; ces dernières, qui sont appliquées à 5 transformateurs sont allumées à la fois par un seul coup de clef d'un commutateur qui se trouve sur la ligne primaire ; après quoi on ajoute, au moyen d'une seconde clef qui se trouve sur la ligne secondaire, quatre autres transformateurs au point de la salle diamétralement opposé à celui où sont appliqués les 5 premiers. Souvent on allume en même temps les lampes qui d'ordinaire sont alimentées par les courants continus dont nous avons parlé tout à l'heure ; et par suite un total de 847 lampes, ce qui apporte au courant de la ligne primaire une augmentation subite d'une trentaine d'ampères.

Comme la salle des séances n'est pas éclairée tous les soirs, toutes les fois que l'on prévoit que la séance se prolongera, on en donne avis par téléphone à l'usine dix minutes d'avance, pour qu'on ait le temps de donner sa vitesse à une des grandes dynamos qui doit entrer en service, et de la mettre en communication avec les trois lignes extérieures ; alors on a soin que tous les régulateurs, soit des moteurs, soit des rhéostats, aient un jeu suffisant pour répondre à une augmentation subite de travail d'environ 120 chevaux. Au moment de l'allumage, le cardew qui se trouve sur le régulateur saute brusquement de trois volts à cause de l'inertie inévitable de tout appareil automatique ; mais il revient tout de suite à

(¹) Le service de l'éclairage public aussi bien que celui des particuliers, et l'établissement de nouvelles installations secondaires, est confié à un personnel spécial dit *du service extérieur* et qui se trouve sous la direction immédiate de M. P.-E. Costa, ingénieur.

son indication de régime. Les appareils automatiques sont alors arrivés naturellement à l'extrémité de leur course; on les ramène en arrière au moyen des appareils de réglage à la main.

J'ai été témoin de toutes ces opérations et je me suis convaincu que tout marche avec une régularité parfaite. Je citerai cependant un incident auquel j'ai assisté, parce qu'il sert à démontrer la prudence et la sagesse des instructions données au personnel.

Je me trouvais un soir dans le cabinet du directeur de l'usine, situé à l'étage supérieur, lorsque l'éclat des lampes qui éclairait ce cabinet baissa sensiblement. Le directeur donna aussitôt un coup de sifflet, et la lumière subit quelques fluctuations, mais en moins d'une minute les lampes avaient repris leur éclat normal. Voici ce qui était arrivé : Les trois lignes se trouvaient sur la petite dynamo, qui dans cet instant donnait 22 ampères; et n'ayant pas été prévenu par la Chambre des Députés, on croyait la séance close, et l'on prenait les dispositions ordinaires pour l'éclairage de la ville. Une des grandes dynamos de 600 chevaux avait déjà sa vitesse normale, mais n'était pas encore excitée, lorsque à l'improviste on éclaira la Chambre en demandant ainsi à la petite dynamo plus de 50 ampères, tandis que la charge dont elle est capable arrive à peine à 42 ampères. Il en résulta un affaiblissement de potentiel et une diminution de lumière. Au signal d'alarme du directeur, on ferma suivant les instructions reçues la branche d'excitation de la grande dynamo, en mettant rapidement celle-ci en communication avec les trois lignes extérieures. Les fluctuations observées étaient dues à la difficulté d'égaliser rapidement le nombre des volts de la grande dynamo qui devait lui être substituée; il n'y a donc eu aucune extinction même d'un instant, mais seulement quelques variations d'éclat dont personne ne s'est plaint.

