

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).

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 - https://cnum.cnam.fr](https://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

Auteur(s)	Exposition internationale d'électricité (1881, Paris)
Auteur(s) secondaire(s)	Allard, Émile (1818-1892) ; Le Blanc, Maurice (1857-1923) ; Joubert, Jules (1834-1910)
Titre	Expériences faites à l'exposition d'électricité : méthodes d'observations. Machines et lampes à courant continu, à courants alternatifs. Bougies électriques. Lampes à incandescence. Accumulateur. Transport électrique du travail. Machines diverses.
Adresse	Paris : Gauthier-Villars, 1883
Collation	1 vol. (152 p.) : tableaux ; 23 cm
Nombre de vues	152
Cote	CNAM-BIB 8 Xae 299
Sujet(s)	Exposition internationale d'électricité (1881 : Paris, France) Électricité -- 1870-1914
Thématique(s)	Énergie Expositions universelles Machines & instrumentation scientifique
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	12/03/2025
Date de génération du PDF	12/03/2025
Notice complète	https://www.sudoc.fr/051864673
Permalien	https://cnum.cnam.fr/redir?8XAE299

Droits réservés au Cnam et à ses partenaires

Exposition d'électricité

de l'Exposition



EXPÉRIENCES

FAITES A

L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ.

Extrait des *Annales de Chimie et de Physique*, 5^e série, t. XXIX; 1883.

8° 442 8xav 299-2

EXPÉRIENCES

FAITES A

L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ

PAR

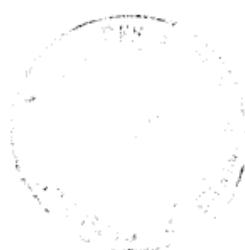
MM. ALLARD, LE BLANC, JOUBERT,
POTIER ET H. TRESCA.

MÉTHODES D'OBSERVATIONS.

MACHINES ET LAMPES A COURANT CONTINU, A COURANTS ALTERNATIFS.

BOUGIES ÉLECTRIQUES. — LAMPES A INCANDESCENCE. — ACCUMULATEUR.

TRANSPORT ÉLECTRIQUE DU TRAVAIL. — MACHINES DIVERSES.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
SUCCESEUR DE MALLET-BACHELIER,
Quai des Grands-Augustins, 55.

1883

EXPÉRIENCES

FAITES A

L'EXPOSITION D'ÉLECTRICITÉ.

INTRODUCTION.

Les expériences dont il est rendu compte dans ce Travail sont celles qui ont été exécutées à l'Exposition d'électricité en 1881; elles avaient pour but de réunir un ensemble de données numériques sur les principaux appareils exposés, plus particulièrement sur les différents modes d'éclairage et les accumulateurs.

L'attention dont il a été l'objet lors de la publication des premiers résultats nous a seule donné à penser qu'il pouvait être publié dans les *Annales de Chimie et de Physique*, bien qu'il ne puisse prétendre à la rigueur des recherches scientifiques auxquelles ses colonnes sont habituellement ouvertes. Il comporte seulement, malgré le peu de temps dont nous avons pu disposer pour l'exécution d'expériences aussi nombreuses, quelque intérêt par la variété des données numériques qu'il renferme et qui ont été déterminées dans les conditions les plus variées de la pratique, et sans aucune idée préconçue.

Un Comité spécial (M. Tresca, président, M. Everett, vice-président, M. Joubert, secrétaire) avait été chargé de cette mission par le Jury de l'Exposition; tous les résultats ont été recueillis et mis en ordre par MM. Allard, Le Blanc, Joubert, Potier et Tresca, et c'est en leur nom que le Travail est publié. Mais ils ne peuvent oublier le

concours qui leur a été prêté par un grand nombre de leurs collègues du Jury, et ils doivent en outre remercier MM. Alfred et Gustave Tresca, qui ont donné tous leurs soins aux constatations des données mécaniques, ainsi que trois jeunes ingénieurs des télégraphes, MM. de la Touanne, de Neuville et Cossigny, dont le concours leur a été précieux.

Dans l'ensemble de ce Travail nous avons résumé :

- 1^o L'indication, en termes généraux, des méthodes qui ont été employées pour chaque genre de détermination, mécanique, électrique et photométrique;
 - 2^o Les résultats de toutes les expériences sur les différents systèmes d'éclairage électrique;
 - 3^o Une étude spéciale due aux soins d'une Sous-Commission, sur les lampes à incandescence;
 - 4^o Les résultats des expériences sur l'accumulateur de M. Faure;
 - 5^o Quelques indications sur le transport électrique du travail mécanique;
 - 6^o Enfin les résultats de nos expériences sur quelques machines à gaz et sur la machine à vapeur de MM. Carels frères, qui figuraient à l'Exposition.
-

I. — MÉTHODES EMPLOYÉES.

DÉTERMINATIONS MÉCANIQUES.

Dans les expériences qui ont été faites à l'Exposition d'électricité sur les différents systèmes d'éclairage électrique, nous aurions désiré qu'il fût possible de se servir, pour faire fonctionner toutes les machines magnéto-électriques, d'une seule machine à vapeur avec interposition d'un dynamomètre enregistreur et nous comptions employer dans ce but la machine de MM. Olry et Grande-

mange, qui se trouvait la plus rapprochée du laboratoire photométrique pour lequel l'Administration a bien voulu mettre à notre disposition un local non occupé, et placé derrière l'installation de la Compagnie *Force et Lumière*.

Cette machine Olry et Grandemange était installée devant un arbre intermédiaire, tournant à raison de trois cents révolutions par minute, et qui pouvait, au moyen de poulies convenables, donner le mouvement aux diverses machines électriques, qu'il était très facile d'apporter et de fixer sur une plate-forme construite spécialement pour assurer une bonne installation.

Cette machine avait été munie de deux indicateurs de pression, installés respectivement sur les deux chambres de vapeur, et au moyen desquels on a relevé de nombreux diagrammes de travail dans toutes les conditions des essais à faire; au moyen d'un détendeur de vapeur placé sur la conduite d'aménée, on pouvait d'ailleurs modifier la pression d'introduction, de manière à obtenir, en variant les ressorts de l'indicateur, des diagrammes fort nets et d'une assez grande surface pour que les aires soient convenablement mesurées avec le planimètre d'Amsler.

On a fait subir à tous ces diagrammes une réduction à 0,85 de leur valeur, pour ne comprendre dans les Tableaux définitifs que l'estimation du travail réellement disponible sur l'arbre moteur de la machine génératrice; on sait, en effet, que ce coefficient 0,85 donne assez exactement la mesure du rapport entre le travail mesuré au frein et le travail mesuré à l'indicateur.

On a d'ailleurs opéré de la même façon pour constater le travail de la machine électro-magnétique, tournant à circuit ouvert, et le travail de la première transmission seule.

C'est bien ainsi que la plupart des expériences ont été faites; mais, eu égard à l'époque où la plate-forme a été

établie, le temps nous aurait fait défaut pour étudier tous les appareils que nous voulions examiner et nous avons été conduits, dans d'autres circonstances, à opérer de la même façon sur les installations mêmes des autres exposants.

Les résultats auraient été peut-être plus exactement comparables si nous nous étions toujours servis de la même machine motrice; mais, d'un autre côté, nous aurions dû laisser en dehors de notre examen plus d'un appareil qui n'aurait pu être transporté, et par l'emploi du coefficient unique 0,85 dont nous avons indistinctement affecté, dans tous les cas, la valeur du travail indiqué, nous avons, autant qu'il nous était possible de le faire, déterminé l'exacte mesure du travail, telle qu'on l'aurait obtenue dans des usines distinctes, où les différents appareils auraient été séparément installés.

Le nombre des tours de la machine motrice par minute a été compté séparément, à chaque tracé de diagramme.

Le nombre des tours de la machine électrique a été de temps en temps relevé au moyen d'un compteur spécial.

Dans notre installation principale, l'arbre intermédiaire était entraîné par deux courroies symétriques montées respectivement sur les deux volants du moteur; la courroie qui transmettait le travail à la machine conduite diminuait plutôt qu'elle n'augmentait le frottement de cet arbre, par suite de la traction en sens contraire due à la courroie qui conduisait la machine électro-magnétique en expérience; et, comme l'ensemble de la transmission se trouvait presqu'en ligne droite et que les deux tractions sur la poulie intermédiaire agissaient en sens contraires, on ne saurait commettre une grave erreur en déduisant le travail de la première transmission du travail en pleine marche, pour une même vitesse.

Toute incertitude à cet égard se trouve d'ailleurs dissipée lorsqu'on compare le travail électrique à la mesure

ainsi obtenue du travail mécanique. Dans la plupart des essais, les deux chiffres s'accordent de la manière la plus satisfaisante.

Nous devons faire remarquer toutefois qu'en ce qui concerne les machines Siemens et les machines Ducommun, nous nous sommes exclusivement servis, pour la mesure du travail moteur, de l'un ou des deux dynamomètres de M. Von Alteneck; ces instruments, dont le mode d'évaluation repose sur l'appréciation de la différence des tensions des deux brins de la courroie motrice, sont d'une installation très facile, et, sous ce rapport, ils constituent un progrès sérieux en ce qui concerne l'emploi des instruments dynamométriques. Ils ont surtout bien fonctionné entre les mains de notre collègue de la Commission, M. Amsler, et nous leur reprocherons seulement de n'être peut-être pas d'une sensibilité suffisante pour les déterminations les plus délicates. Mais, d'un autre côté, ils seront, à n'en pas douter, d'une grande utilité pratique dans les déterminations d'atelier, pour lesquelles une complète rigueur ne serait pas exigible.

DÉTERMINATIONS ÉLECTRIQUES.

Dans une installation presque improvisée, comme celle du Palais de l'Industrie, il fallait s'en tenir à des méthodes et à des appareils simples. En outre des appareils usuels pour la mesure des résistances, boîte de résistance à cadans et galvanomètre astatique de Thomson, appareils qui avaient été prêtés obligamment par MM. Elliot, de Londres, la Commission a employé le galvanomètre Deprez, l'électrodynamomètre de Siemens et l'électromètre à cadans de sir W. Thomson, sous la forme que lui a donnée M. Mascart (¹).

(¹) *Journal de Physique*, t. IX, p. 227; 1880.

Galvanomètre Deprez.

La partie mobile de ce galvanomètre est constituée par un système d'aiguilles en fer doux, montées parallèlement entre elles sur un axe unique et placées dans le champ magnétique, sensiblement uniforme, compris entre les branches d'un très fort aimant en fer à cheval. Le cadre galvanométrique est placé entre l'aiguille et les branches de l'aimant; son plan coïncide avec celui du fer à cheval; par suite, il donne un champ magnétique qu'on peut considérer comme sensiblement perpendiculaire au premier. Si les deux champs étaient uniformes, l'instrument serait une boussole des tangentes; en réalité, les déviations, tant qu'elles ne dépassent pas 30° , sont sensiblement proportionnelles aux intensités, bien que croissant un peu moins vite.

Deux galvanomètres de ce type ont été employés, l'un, pour les courants inférieurs à 20 ampères, donnait en moyenne $0^{amp},57$ par division; l'autre, pouvant mesurer des courants allant jusqu'à 100 ampères, donnait sensiblement 2 ampères par division. Le premier avait été construit par M. Carpentier, le second par M. Breguet; tous deux avaient été mis à la disposition de la Commission par les constructeurs.

Électrodynamomètre Siemens.

Dans cet appareil très pratique, le courant entier passe successivement dans les deux cadres. Le cadre mobile est formé d'un fil unique; son plan est maintenu perpendiculaire au cadre fixe par la torsion d'un ressort en spirale; l'angle de torsion est proportionnel au carré de l'intensité du courant. Le cadre fixe se compose de deux fils indépendants, de grosseurs différentes, et donnant un nombre inégal de spires; on emploie l'un ou l'autre fil, suivant l'im-

tensité du courant. Avec le fil fin, l'intensité était donnée par la racine carrée du nombre des divisions qui mesurait la torsion ; avec le gros fil, par la racine carrée de ce même nombre multiplié par 10.

Électromètre à cadrans.

L'électromètre à cadrans peut être disposé de manière à fournir d'une manière très simple les principales données électriques relatives au fonctionnement des machines, soit à courants continus, soit à courants alternatifs.

L'instrument était employé sous la forme que lui a donnée M. Mascart. L'aiguille est portée par une suspension bifilaire et la tige de platine qui la supporte plonge par sa partie inférieure dans un godet plein d'acide sulfurique, qui sert à la fois à charger l'aiguille, à amortir les oscillations et à maintenir l'air sec à l'intérieur de l'appareil. L'aiguille porte un miroir concave qui donne sur une échelle placée au double de la distance focale l'image d'un fil délié.

La méthode (¹) suivie par la Commission dans l'emploi de cet instrument consiste à supprimer toute source étrangère d'électricité pour charger soit l'aiguille, soit les cadrans, et à mettre simplement ceux-ci en relation convenable avec différents points du circuit.

Si l'on appelle V_1 et V_2 les potentiels des cadrans et V celui de l'aiguille, on a, en désignant par k une constante et par d la déviation observée, la formule connue

$$(1) \quad d = k(V_2 - V_1) \left(V - \frac{V_2 + V_1}{2} \right).$$

On détermine facilement la constante k en reliant l'aiguille électriquement à l'une des paires de cadrans et en

(¹) J. JOUBERT, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, juillet 1880; *Annales de l'École Normale supérieure*, 1881.

mettant respectivement chacune des paires en communication avec les deux pôles d'une pile formée d'un nombre quelconque de petits éléments Daniell bien isolés. Avec cette disposition, on a $V = V_2$, et la formule (1) se réduit à

$$(2) \quad d = \frac{k}{2} (V_2 - V_1)^2.$$

Si n est le nombre d'éléments employés et si l'on adopte 1 volt, 08 pour la valeur d'un daniell, on a

$$k = \frac{2d}{n^2 \cdot 1,08^2}.$$

Il est d'ailleurs facile de vérifier, en faisant varier le nombre n des éléments, que la déviation est bien proportionnelle au carré de la différence du potentiel.

Mesure de l'intensité.

L'aiguille est reliée, comme il vient d'être dit, à l'une des paires de cadrans. Ceux-ci sont mis en communication avec les deux extrémités A et B d'une résistance connue R placée dans le circuit. Si V_1 et V_2 représentent les potentiels des deux points A et B, on a, d'après la formule (2),

$$d = \frac{k}{2} (V_2 - V_1)^2,$$

et, comme d'ailleurs l'intensité I du courant est donnée par l'équation

$$I = \frac{V_2 - V_1}{R},$$

on a

$$I = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{2d}{k}};$$

ou, en posant $a = \sqrt{\frac{2}{k}}$,

$$(3) \quad I = \frac{a\sqrt{d}}{R}.$$

La déviation de l'électromètre, dans ces conditions, étant proportionnelle au carré de la différence de potentiel, est indépendante du signe de cette différence. Il en résulte que si, au lieu d'un courant continu, on a des courants alternatifs tels que la durée de leur période soit petite par rapport à la durée des oscillations de l'aiguille, celle-ci, entraînée toujours dans le même sens, quel que soit le signe des courants, prend une déviation fixe, proportionnelle à la moyenne des valeurs successives du carré de $V_2 - V_1$.

Dans ce cas, l'intensité qu'on déduira de la déviation par la formule (3) sera l'intensité moyenne, telle que la donneraient l'electrodynamomètre ou les méthodes calorimétriques, celle enfin dont le carré est proportionnel à l'énergie qui apparaît dans le circuit sous forme de chaleur.

L'emploi de l'instrument ainsi disposé pour la mesure des courants continus ou alternatifs ne le cède en rien pour la simplicité et la précision à l'emploi du galvanomètre. Rien n'est plus facile, avec une suspension bifilaire à écartement variable, que de donner à l'instrument une sensibilité convenable. Ajoutons enfin que la facilité extrême avec laquelle on détermine la constante par la méthode indiquée plus haut assure aux mesures un haut degré de sécurité.

Avec les courants alternatifs, une précaution est indispensable : c'est de n'interposer entre les deux points A et B du circuit reliés à l'électromètre que des résistances disposées de manière à éviter les effets secondaires d'induction ; autrement la valeur *apparente* de la résistance interposée R pourrait être très notablement plus grande que la valeur *réelle*. Avec un courant de forme sinusoïdale, qui est sensiblement celle de la plupart des machines à courants alternatifs, si l'on appelle T la durée de la période, L le coefficient de selfinduction et R la résistance, celle-

ci se comportera comme une résistance

$$\left(R^2 + \frac{4\pi^2 L^2}{T^2} \right)^{\frac{1}{2}},$$

et la différence de potentiel mesurée par l'électromètre sera celle qui correspond à cette résistance apparente.

Les résistances employées dans les expériences étaient des charbons pour lumière électrique de 22^{mm} de diamètre; les tiges, au nombre de seize, étaient placées parallèlement et disposées de manière que le courant les traversât alternativement en sens inverses. Les seize charbons, disposés en série, avaient une résistance totale d'un ohm; on pouvait les grouper en dérivation pour avoir des résistances plus faibles. Quand les charbons s'échauffaient par suite du passage du courant, on prenait leur résistance au moment même de l'expérience.

Mesure de la chute de potentiel dans l'arc électrique.

L'instrument étant toujours disposé de la même manière, c'est-à-dire l'aiguille étant réunie à l'un des cadrans, supposons que les deux points du circuit mis en communication avec l'électromètre soient pris de part et d'autre d'un arc électrique, soit sur les deux charbons, soit aux deux bornes de la lampe. Si l'on appelle R' la résistance effective qui existe entre les deux points, I l'intensité du courant et E la chute brusque du potentiel qui existe dans tout arc électrique et qu'on désigne sous le nom de *force électromotrice de l'arc*, la différence totale de potentiel $V'_2 - V'_1$ qui existe entre les deux points A et B est égale à

$$IR' + E,$$

et cette différence est donnée immédiatement par la déviation de l'électromètre. Bien qu'il soit difficile de faire le départ entre les deux termes de la somme $IR' + E$, cette donnée n'en est pas moins d'un grand intérêt.

Si les trois quantités I , R' et E sont variables, comme cela a lieu dans le cas des courants alternatifs, l'électromètre donne la valeur moyenne de la différence de potentiel définie par l'expression

$$\frac{1}{t} \int_0^t (V_2 - V_1)^2 dt,$$

dans laquelle t représente un temps quelconque, suffisamment grand par rapport à la durée d'une période.

Quand il s'agit d'un courant continu, la différence de potentiel $RI' + E$ peut être obtenue, comme on sait, avec un galvanomètre à très grande résistance. Pour les courants alternatifs, il ne paraît pas y avoir d'autre instrument que l'électromètre, employé comme il vient d'être dit, qui soit capable de fournir cette donnée.

Calcul de l'énergie consommée dans l'arc.

Pour avoir l'énergie dépensée dans l'arc, il faut multiplier la différence de potentiel $IR' + E$ par l'intensité I du courant. Si l'on appelle d et d' les déviations de l'électromètre quand les deux cadrans sont mis en communication avec les deux extrémités de la résistance R , puis avec les deux bornes de la lampe, on aura

$$W = I(IR' + E) = \frac{(V_2 - V_1)(V'_2 - V'_1)}{R} = \frac{a^2}{R} \sqrt{d d'},$$

Il faut remarquer toutefois que, dans le cas des courants alternatifs, le calcul qui précède donne la valeur de l'expression

$$\frac{1}{Rt} \sqrt{\int (V_2 - V_1)^2 dt \times \int (V'_2 - V'_1)^2 dt},$$

tandis que l'expression du travail W est

$$W = \frac{1}{Rt} \int (V_2 - V_1)(V'_2 - V'_1) dt \text{ (1).}$$

(1) On verra, par les tableaux qui suivent, que, dans la pratique, ces deux intégrales ne diffèrent pas d'une manière sensible.

La disposition suivante permet d'avoir, dans tous les cas, la valeur exacte de cette dernière expression.

Mesure directe de l'énergie dépensée dans l'arc ⁽¹⁾.

Considérons quatre points A, B et A', B' sur le circuit; les deux points A et B sont pris de part et d'autre d'une résistance connue R, les deux points A' et B' de part et d'autre de l'arc électrique. Soient V₁, V₂ et V'₁ et V'₂ les potentiels de ces points.

L'aiguille de l'électromètre est maintenant isolée ainsi que les deux cadrans. Ceux-ci sont mis en communication avec les deux points A et B.

On met d'abord l'aiguille en communication avec le point B' et l'on observe une déviation d ; on a, d'après la formule (1),

$$d = k(V_2 - V_1) \left(V'_2 - \frac{V_2 + V_1}{2} \right).$$

On met ensuite l'aiguille en communication avec le point A'; la déviation observée est d' ; on a

$$d' = k(V_2 - V_1) \left(V'_1 - \frac{V_2 + V_1}{2} \right).$$

Ces équations, retranchées membre à membre, donnent

$$d - d' = k(V_2 - V_1)(V'_2 - V'_1).$$

On a d'ailleurs

$$RI = V_2 - V_1, \quad IR' + E = V'_2 - V'_1;$$

par suite

$$d - d' = kRI(IR' + E) = kW,$$

et enfin

$$W = \frac{d - d'}{kR} = \frac{a^2}{2R}(d - d').$$

(¹) A. POTIER, *Journal de Physique*, 1881, p. 445.

Dans le cas de courants alternatifs, on a

$$d - d' = \frac{k}{t} \int (V_2 - V_1)(V'_2 - V'_1) dt.$$

Par conséquent, la méthode donne dans tous les cas la valeur exacte du travail.

Remarquons enfin que si, entre les deux points A' et B', au lieu d'une lampe électrique, on avait un moteur électrique ou tout autre engin capable de convertir l'énergie électrique en quelque autre forme de l'énergie, les méthodes indiquées ci-dessus permettraient, de la même manière, de déterminer la chute de potentiel entre les deux points et le travail consommé entre ces deux points.

MARCHÉ DES EXPÉRIENCES.

Dans la plupart des expériences, la machine était placée dans le voisinage du laboratoire. Le circuit était formé par un câble isolé, de 75 brins de 1^{mm} de diamètre. Sa longueur n'atteignait pas 100^m et, dans la plupart des cas, sa résistance pouvait être considérée comme négligeable. Dans le cas de courants continus, on mettait dans le circuit un des galvanomètres Deprez, l'électrodynamomètre Siemens et une résistance de charbon en rapport avec la résistance de la machine. La valeur de cette résistance est indiquée dans chaque expérience. Deux fils fins parfaitement isolés partaient des deux bornes de la lampe; deux autres des extrémités de la résistance de charbon. Ces fils étaient mis en communication, comme il a été dit, avec les électromètres; ils ne dérivaient évidemment aucun courant et ne fournissaient aux instruments qu'une charge statique. On opérait de même avec les courants alternatifs, avec cette différence que le galvanomètre était mis hors du circuit. Les lectures se faisaient simultanément sur les divers instruments et exigeaient le concours de plusieurs observateurs.

CALCUL DES EXPÉRIENCES.

Les données immédiates de l'observation sont :

1^o La résistance de la machine;

2^o La résistance du circuit extérieur, les lampes non comprises;

3^o L'intensité du courant;

4^o La différence de potentiel aux bornes de la lampe;

5^o Le travail électrique consommé dans la lampe.

En appelant R la somme des résistances 1^o et 2^o et I l'intensité du courant, le produit RI^2 représente l'énergie absorbée par le circuit indépendamment des lampes. L'expression du travail correspondant en chevaux-vapeur est

$$\frac{RI^2}{75 \text{ s}}.$$

Dans le cas des courants alternatifs, I est l'intensité moyenne définie comme il a été dit plus haut.

Le produit EI de la différence de potentiel E aux bornes de la lampe par l'intensité donne de même l'énergie consommée dans la lampe. Elle a pour valeur en chevaux-vapeur

$$\frac{EI}{75 \text{ s}}.$$

Avec les courants continus le travail d'une lampe ainsi calculé est identique au travail mesuré directement; il n'en diffère que d'une quantité négligeable dans les expériences actuelles quand il s'agit des courants alternatifs.

Les deux nombres ont été distingués dans les Tableaux par les mentions : *Travail calculé*, *Travail observé*.

La somme

$$RI^2 + nEI,$$

n étant le nombre des lampes intercalées dans le circuit, donne le travail électrique du courant. Si la machine alimente plusieurs circuits, le travail électrique total désigné

dans le Tableau par T' est la somme des travaux ainsi calculés pour chaque circuit.

Enfin la somme

$$nE + RI,$$

pour un courant particulier, est désignée comme force électromotrice moyenne relative à ce circuit.

DÉTERMINATIONS PHOTOMÉTRIQUES.

Dans les expériences auxquelles a procédé la Commission du jury, les mesures photométriques ont été prises avec le photomètre de Foucault, en employant comme unité une lampe Carcel brûlant 42^{gr} d'huile de colza épurée par heure. Malgré les difficultés que présente la différence de coloration des lumières qu'il s'agissait de comparer, les observateurs n'ont pas cru devoir employer l'interposition d'un verre coloré qui uniformise les teintes, mais qui peut en même temps altérer beaucoup le rapport des intensités lumineuses. Ils se sont habitués à comparer et à égaliser les intensités des lumières produites par l'huile de colza et par l'électricité, l'une un peu jaune, l'autre plus ou moins bleue, et la concordance généralement satisfaisante des résultats obtenus par chacun d'eux indique que leurs appréciations ne s'éloignent pas trop de la vérité.

Les variations plus ou moins fréquentes que présente la lumière électrique, surtout lorsqu'elle est produite par l'arc voltaïque, constituent une autre difficulté. Pour avoir une moyenne suffisamment exacte de l'intensité, il faut que les observations soient nombreuses, et qu'elles se fassent à des intervalles de temps égaux. Dans les expériences de l'Exposition, les mesures ont été prises de trente en trente secondes, quelquefois de quinze en quinze secondes, et en général par séries de 10 ou 20.

Pour avoir une comparaison exacte des différents foyers lumineux, électriques ou autres, il ne suffit pas d'en connaître l'intensité dans le sens horizontal. Notamment pour

les foyers à arc voltaïque et à courant continu dont l'intensité maximum est dirigée vers le bas, l'intensité horizontale donnerait une idée peu exacte de leur véritable valeur moyenne. Si l'on veut avoir des résultats comparables, il faut, en général, déterminer la loi des intensités émises dans les différentes directions de l'espace, et calculer l'éclairement moyen d'une sphère dont le point lumineux est le centre. Lorsque le foyer est symétrique par rapport à l'axe vertical, ce qui est le cas le plus général, il suffit de connaître la courbe des intensités dans un azimut; on divise alors la sphère en zones horizontales suffisamment étroites, et l'on multiplie la surface de chacune de ces zones par l'intensité lumineuse du rayon qui correspond à son parallèle moyen. En divisant la somme de ces produits par la surface de la sphère, on obtient ce que nous appelons *l'intensité moyenne sphérique* du foyer considéré.

Les intensités lumineuses au-dessus et au-dessous de l'horizon ont été, en général, mesurées pour des directions prises de 15° en 15° , principalement pour les angles de 30° , 45° et 60° . Les zones sphériques qui correspondent à ces directions s'étendent de $-7^\circ 30'$ à $+7^\circ 30'$ pour l'horizon, de $7^\circ 30'$ à $22^\circ 30'$ pour la direction de 15° , de $22^\circ 30'$ à $37^\circ 30'$ pour celle de 30° , et ainsi des autres. Les surfaces de ces zones ont été rapportées à la surface totale de la sphère prise pour unité, de sorte que la somme des produits correspondants donne immédiatement, et sans qu'il y ait de division à faire, la valeur de l'intensité moyenne sphérique.

Mais ce calcul de l'intensité moyenne n'a pas toujours été possible. Le temps dont on disposait n'a pas permis de prendre pour tous les foyers l'ensemble des mesures nécessaires. On a dû souvent se contenter de mesurer l'intensité horizontale et l'intensité maximum des lumières à arc voltaïque et à courant continu, ou bien seulement

l'intensité de face pour les lumières à incandescence. Nous verrons comment on a pu, dans chaque cas spécial, déterminer la moyenne sphérique en se servant de ces données incomplètes.

Les différents foyers électriques qui ont été mesurés peuvent se diviser en quatre groupes :

Arcs voltaïques à courants alternatifs;

Arcs voltaïques à courant continu;

Bougies électriques;

Lumières à incandescence.

Nous allons les passer successivement en revue et donner dans chaque cas quelques explications sur la manière dont l'intensité moyenne sphérique a été calculée. Les Tableaux suivants, n°s I, II, III et V, contiennent différents types de ces calculs. La première colonne indique les directions prises de 15° en 15° au-dessus et au-dessous de l'horizon; la seconde donne les surfaces des zones correspondantes calculées comme il vient d'être dit. Viennent ensuite pour les différents foyers lumineux les intensités dans chaque direction. Pour faciliter la comparaison des différentes lumières, on a remplacé les valeurs absolues de ces intensités par leurs valeurs rapportées à l'intensité horizontale prise pour unité, et la moyenne sphérique qu'on obtient au bas du Tableau est aussi rapportée à cette même unité. On donne du reste au haut de chaque Tableau la valeur H de l'intensité horizontale en carcel, de sorte qu'il est facile de revenir à la véritable valeur des différentes intensités. Une troisième colonne indique, pour chaque lumière, les intensités exprimées en fonction de la moyenne sphérique prise pour unité, et ce sont les chiffres de cette colonne qui ont servi à construire les figures des *Pl. I, II et III*, représentant les courbes d'intensité verticale pour les différentes lumières. Les mêmes renseignements relatifs à la lampe Carcel sont donnés à la fin de ces Tableaux pour servir de terme de comparaison.

Une seconde série de Tableaux, portant les n^es VII à X, contient les résultats de toutes les expériences photométriques faites à l'Exposition. La date et l'heure de chaque expérience y sont indiquées, afin de permettre les comparaisons avec les mesures dynamométriques et électriques qui ont été prises en même temps; les colonnes suivantes donnent les valeurs des intensités lumineuses qui ont été mesurées et celle de l'intensité moyenne sphérique qui en a été déduite. Dans une colonne d'observations, on rappelle sommairement comment cette moyenne a été calculée.

Voici maintenant les explications qui concernent chaque catégorie de foyers.

Lumières à arc voltaïque, à courants alternatifs.

Les machines qui donnent cette lumière et qui ont pour premier type celles de l'*Alliance* ont été très souvent étudiées en détail, notamment au Dépôt des Phares. Les résultats moyens obtenus sur les machines de l'*Alliance* dans les différentes directions sont indiqués dans le Tableau n^o I, et, en multipliant ces intensités par les surfaces des zones correspondantes, on trouve 0,90 pour l'intensité moyenne sphérique, en représentant par 1,00 l'intensité horizontale. Dans les expériences qui ont été faites au Palais de l'Industrie sur les lumières à courants alternatifs, on s'est contenté de mesurer l'intensité horizontale. Ces expériences ont porté sur une machine Méritens et sur une machine Siemens; les résultats en sont indiqués dans le Tableau n^o VII et la moyenne sphérique a été calculée en multipliant l'intensité horizontale par le coefficient 0,90, qui peut s'appliquer avec une approximation suffisante à toutes les lumières de ce genre.

Lumières à arc voltaïque, à courant continu.

La question n'est pas aussi simple pour les lumières à courant continu. En effet, la courbe des intensités dans un azimut n'a plus une forme à peu près symétrique comme dans le cas des courants alternatifs. En supposant le charbon positif en haut, les intensités sont beaucoup plus fortes au-dessous de l'horizon qu'au-dessus; le maximum a lieu pour une direction variable entre 30° et 60°, et ce maximum présente, avec l'intensité horizontale, un rapport qui varie également dans des limites assez étendues. Nous avons réuni dans les Tableaux n°s I, II et III un grand nombre de résultats faisant connaître, pour différents cas de lumière à courant continu, la loi des intensités dans un plan vertical. Ces exemples ont été pris, d'une part, dans les expériences faites au Dépôt des Phares sur les machines Gramme et indiquées dans le Mémoire sur les phares électriques que l'Administration des Travaux publics a fait publier au commencement de 1881, d'autre part, dans les résultats concernant les machines Gramme, que MM. Sautter et Lemonnier ont fait connaître dans une brochure sur les appareils photo-électriques, publiée à l'occasion de l'Exposition. Nous y ajoutons les résultats de plusieurs expériences assez complètes que nous avons faites dans le Palais de l'Industrie sur les lumières Gramme, Crompton, Maxim et Weston. Nous donnons aussi, à titre de renseignement, les moyennes de mesures prises en Amérique sur des lumières de M. Brush et qui nous ont été remises par son représentant.

Les moyennes sphériques calculées, comme nous l'avons dit, pour ces différents cas, sont d'autant plus grandes que l'intensité maximum est elle-même plus forte par rapport à l'intensité horizontale. On peut trouver la loi qui lie ces quantités, en construisant pour chaque cas un point ayant pour abscisse l'intensité maximum et pour

ordonnée la moyenne sphérique, ainsi qu'on le voit sur la *fig. 12*. On reconnaît que tous ces points peuvent être considérés comme se trouvant approximativement sur une ligne droite ayant pour équation

$$y = \frac{1}{2} + \frac{1}{4}x.$$

En appelant H l'intensité horizontale, M l'intensité maximum et S la moyenne sphérique, cette équation devient

$$\frac{S}{H} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} \frac{M}{H}$$

ou

$$S = \frac{1}{2}H + \frac{1}{4}M.$$

Le Tableau n° IV fait voir que les moyennes sphériques résultant de cette formule empirique diffèrent assez peu de celles qu'on obtient par le calcul exact. Les différences sont tantôt positives et tantôt négatives et leur valeur moyenne, c'est-à-dire l'erreur moyenne que l'on commet en se servant de la formule, est d'environ $3\frac{1}{2}$ pour 100.

La formule que nous venons de déterminer provient de quatorze exemples pris à des sources différentes et présentant des formes variées de courbes d'intensité. On peut évidemment, sans s'éloigner beaucoup de la vérité, l'employer pour calculer la moyenne sphérique, toutes les fois qu'on n'aura pu mesurer que l'intensité horizontale et l'intensité maximum.

Toutes les expériences faites à l'Exposition sur les lumières à arc voltaïque et à courant continu sont indiquées dans le Tableau n° VIII, qui donne la date et l'heure de l'observation, les intensités horizontale et maximum, la moyenne sphérique d'après la formule empirique, ou d'après le calcul direct lorsque cela a été possible.

Lumières à bougies.

Le calcul de la moyenne sphérique est encore plus compliqué pour les bougies que pour les lumières à arc, parce que la courbe des intensités n'est pas la même dans tous les azimuts. Voici les résultats qui ont été obtenus avec les bougies Jablochkoff, composées de crayons de 0^m,001 de diamètre. On a d'abord mesuré l'intensité de face, c'est-à-dire dans une direction perpendiculaire au plan des deux crayons. En prenant cette intensité dans le sens horizontal, à 45° et 60° en haut et à 45° en bas, on a pu construire la courbe des intensités dans le plan vertical, comme on le voit sur la *fig. 13*. On a ensuite mesuré l'intensité horizontale de la bougie placée de champ et l'on a trouvé à peu près les 0,70 de l'intensité de face. Le temps ayant manqué pour mesurer, dans ce cas, les intensités au-dessus et au-dessous de l'horizon, on y a supplié en remarquant que la courbe des intensités dans le plan des crayons doit donner à peu près les mêmes valeurs que les précédentes pour les directions un peu élevées au-dessus de l'horizon et qu'elle doit se confondre tout à fait avec elle en approchant de la verticale, tandis que, au-dessous de l'horizon, elle doit donner des valeurs qui sont à peu près moitié de celles de la courbe précédente. Les deux courbes sont tracées sur la *fig. 13*, et on peut calculer la moyenne sphérique qui correspond à chacune d'elles, comme on le voit sur le Tableau n° V. En admettant que l'intensité prise à 45° du plan des crayons diffère très peu de celle qui correspond à la direction de face, on obtiendra approximativement la moyenne sphérique de la bougie en ajoutant ensemble les trois quarts du résultat fourni par les intensités de face et un quart du résultat relatif aux intensités de champ. On trouve ainsi 0,728 pour la valeur de l'intensité moyenne sphérique, en supposant l'intensité horizontale de face représentée par

1,00. Ce résultat peut s'appliquer aux autres bougies avec une grande approximation.

Toutes les expériences faites au Palais de l'Industrie sur cette espèce de lumière sont indiquées dans le Tableau n° IX, qui est composé à peu près de la même manière que les précédents.

Lumières à incandescence.

Les expériences sur la lampe Maxim ont été assez complètes pour permettre d'en déduire l'intensité moyenne sphérique. Le charbon de cette lampe présente la forme de la lettre M; il a 0^m,024 de hauteur, 0^m,016 de largeur et 0^m,113 de développement, comme l'indique la *fig.* 16; la section transversale est un rectangle de 0^{mm},5 de largeur dans le plan de l'M et de 0^{mm},1 d'épaisseur. Les mesures photométriques ont donné, dans le plan horizontal, des intensités proportionnelles aux nombres 1,00, 0,73 et 0,29 pour les directions de face, à 45° et de champ; les mesures prises de face, à 45° au-dessus et 45° au-dessous de l'horizon, ont donné une intensité proportionnelle au nombre 0,70. Ces résultats ont permis de construire les trois courbes de la *fig.* 14 qui représentent les intensités dans les plans verticaux de face, de champ et à 45°, et de faire le calcul de la moyenne, tel qu'il est indiqué dans le Tableau n° V. On trouve ainsi 0,548 pour intensité moyenne sphérique de la lampe Maxim, rapportée à l'intensité de face prise pour unité.

Pour les trois autres lampes à incandescence, les circonstances n'ont pas permis de prendre des mesures aussi complètes; on n'a pu mesurer que les intensités horizontales de face, et il a fallu chercher à en déduire la moyenne sphérique par des considérations de projections géométriques. Les calculs qui suivent vont faire voir combien il serait inexact de comparer les différentes lumières à incandescence, en considérant seulement leurs intensités hori-

zontales de face ou à 45° , puisque la lampe Edison, par exemple, dont le charbon a une section à peu près carrée, donne plus d'intensité à 45° que de face, tandis que la lampe Maxim, dont la section est très aplatie, en donne notamment moins.

Le charbon de la lampe Edison présente un développement de $0^m,124$, dont $0^m,096$ en deux lignes droites et $0^m,028$ en demi-cercle. La section transversale avait d'abord été indiquée comme étant rectangulaire de $0^{mm},34$ sur $0^{mm},20$; mais, d'après un autre renseignement, elle doit être considérée comme à peu près carrée de $0^{mm},30$ de côté. Il est facile, au moyen de ces données, de calculer la projection de la surface du charbon visible dans chaque direction, et, en supposant l'intensité lumineuse proportionnelle à cette projection, on a les éléments nécessaires pour calculer l'intensité moyenne sphérique, en prenant pour unité l'intensité horizontale de face. Ce calcul est indiqué dans le Tableau n° VI qui s'applique à la fois aux lampes Edison, Lane-Fox et Maxim. La première partie de ce Tableau donne l'intensité moyenne horizontale; la seconde comprend le calcul du coefficient de la moyenne sphérique pour les intensités prises dans le plan vertical perpendiculaire au plan de face, et l'on peut admettre que ce coefficient serait à peu près le même dans tous les azimuts. Il y a lieu de remarquer que, dans le calcul de la moyenne horizontale, on a tenu compte des recouvrements qui se produisent quand on regarde la lumière de champ; et que, dans le calcul des coefficients de moyenne sphérique, on a également tenu compte de l'occultation produite par le pied de la lampe en négligeant les intensités correspondant à 75° et 90° au-dessous de l'horizon.

On trouve ainsi, pour la lampe Edison, que l'intensité moyenne dans le plan horizontal est $1,19$, l'intensité de face étant $1,00$, et que le coefficient de moyenne sphé-

rique est 0,822, ce qui donne pour la moyenne sphérique

$$1,19 \times 0,822 = 0,98.$$

Quelques-uns des résultats contenus dans le Tableau ont été confirmés par d'autres mesures. Ainsi, M. Hagenbach, l'un des membres de la Sous-Commission qui a fait une étude spéciale des lampes à incandescence, a donné 1,22 pour la moyenne horizontale de la lampe Edison ; le Tableau donne 1,19, ce qui diffère peu. D'un autre côté, nous avons pu, le 5 juin, faire de nouvelles expériences sur des lampes Edison dans le but de déterminer le rapport entre l'intensité horizontale à 45° et l'intensité de face. À la suite d'un grand nombre de comparaisons, nous avons trouvé 1,35 pour ce rapport ; le Tableau donne 1,33. L'accord est donc satisfaisant.

La lampe Lane-Fox a un charbon de section circulaire de $0^{mm},3$ de diamètre. Le développement de ce charbon est de $0^m,086$, dont $0^m,052$ en ligne à peu près droite et $0^m,034$ en demi-cercle. Le calcul indiqué dans le Tableau fait voir que l'intensité moyenne horizontale est égale à 0,91 et que le coefficient de moyenne sphérique est 0,818, ce qui donne 0,74 pour l'intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité de face prise pour unité.

La section du charbon de la lampe Swan ne nous est pas connue ; mais, comme elle est à peu près circulaire, on peut admettre pour la moyenne sphérique le même chiffre que pour la lampe Lane-Fox, c'est-à-dire 0,74.

Le Tableau contient en outre, comme moyen de contrôle, le même calcul relatif à la lampe Maxim. On trouve 0,74 pour l'intensité moyenne horizontale, 0,785 pour le coefficient de moyenne sphérique, et, par suite,

$$0,74 \times 0,785 = 0,58$$

pour l'intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité de face. Ce chiffre diffère peu de celui de 0,55 qu'on

a trouvé en se servant des mesures photométriques; nous conserverons 0,58 pour avoir des résultats plus comparables avec ceux des autres lampes (¹).

Nous donnerons dans le Tableau n° X les résultats des expériences photométriques faites à l'Exposition sur ces différentes lampes à incandescence. Ce Tableau fait connaître la date et l'heure de chaque expérience, l'intensité horizontale de face, à 45° et de champ, enfin l'intensité moyenne sphérique calculée au moyen des coefficients qui viennent d'être déterminés.

(¹) Dans les calculs précédents, pour la détermination de l'intensité moyenne sphérique, on a opéré pour les lampes à incandescence comme pour les autres modes d'éclairage, dans lesquels il n'était pas possible d'admettre *a priori* que la surface éclairante eût partout et en tous ses points la même intensité. Cette uniformité se trouvant réalisée dans toute la longueur des fils de charbon traversés par le même courant, le calcul de l'intensité sphérique moyenne se ferait d'une manière plus rationnelle et beaucoup plus simple, au moyen des considérations suivantes : soit S la surface totale d'un luminaire dont l'éclat est représenté, dans deux directions opposées, par l'unité sur un cercle de rayon r , son intensité sphérique moyenne sera nécessairement $S \frac{\pi r^2}{2 \pi r^2} = \frac{S}{2}$ lorsque toute la lumière de l'une des directions sera supposée répartie sur la demi-sphère du même rayon r . D'un autre côté, si s est une portion quelconque de la surface éclairante, $s \cos \alpha$ sera l'intensité observée dans une direction quelconque faisant l'angle α avec la normale à cette portion de surface. Pour cette direction l'intensité observée sera $\Sigma s \cos \alpha$ et par conséquent la mesure de l'intensité sphérique moyenne par rapport à cette intensité observée sera donnée par la fraction $\frac{1}{2} \frac{S}{\Sigma s \cos \alpha}$.

Si, par exemple, on veut déterminer pour la lampe Maxim l'intensité sphérique moyenne par rapport à l'intensité horizontale de face, on trouvera

$$\frac{1}{2} \frac{S}{\Sigma s \cos \alpha} = \frac{1}{2} \frac{(0^{mm},5 + 0^{mm},1) / (88 + 25)}{0^{mm},5 \times (88 + 25)} = 0,60.$$

Le Tableau donne 0,58.

CALCUL DE L'INTENSITÉ MOYENNE SPHÉRIQUE
POUR DIFFÉRENTES LUMIÈRES.

Nota. — Dans les Tableaux suivants, les trois colonnes qui correspondent à chaque lumière et qui sont numérotées 1, 2, 3 représentent, savoir :

1. L'intensité dans chaque direction, rapportée à l'intensité horizontale H prise pour unité;
2. Le produit de chaque intensité par la surface de la zone correspondante;
3. L'intensité dans chaque direction, rapportée à l'intensité moyenne sphérique S prise pour unité.

Dans les trois premiers Tableaux, les chiffres soulignés représentent les maxima.

TABLEAU I.
Expériences faites au Dépôt des Phares, à Paris, sur des lumières à arcs voltaïques.

ANGLES	SURFACE, $H = 355$	ALLIANCE,			GRAMME, $H = 1090$			GRAMME, $H = 609$			GRAMME, $H = 350$		
		Grand modèle n° 1.			Petit modèle n° 2.			Petit modèle n° 3.					
		1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
90°	4	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
75°	3,4	0,39	0,013	0,43	0,10	0,003	0,10	0,10	0,003	0,10	0,003	0,003	0,09
60°	6,5	0,79	0,051	0,88	0,20	0,013	0,20	0,20	0,013	0,20	0,013	0,20	0,30
45°	9,3	0,88	0,082	0,98	0,46	0,013	0,15	0,39	0,036	0,39	0,34	0,32	0,35
30°	11,3	0,92	0,161	1,02	0,61	0,069	0,60	0,57	0,064	0,57	0,49	0,55	0,50
15°	13,6	0,95	0,130	1,06	0,80	0,101	0,79	0,78	0,088	0,78	0,69	0,87	0,70
0°	13,0	1,00	0,130	1,11	1,00	0,130	0,99	1,00	0,130	1,00	1,00	1,30	1,02
45°	12,6	0,98	0,124	1,09	1,37	0,160	1,26	1,24	0,156	1,23	1,34	1,69	1,37
30°	11,3	0,96	0,108	1,07	1,62	0,183	1,60	1,65	0,185	1,64	1,66	1,88	1,69
15°	9,3	0,93	0,083	1,03	1,99	0,177	1,88	2,02	0,188	2,04	1,89	1,76	1,93
6°	6,5	0,90	0,058	1,00	1,67	0,169	1,65	1,78	0,116	1,77	1,63	1,66	1,66
3°	3,4	0,71	0,024	0,73	0,70	0,024	0,69	0,45	0,015	0,45	0,37	0,39	0,38
0°	4	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
		$\frac{S}{H} = 0,960$ ($f_{gr. 1.}$)			$\frac{S}{H} = 1,012$			$\frac{S}{H} = 1,055$ ($f_{gr. 2.}$)			$\frac{S}{H} = 0,978$		

TABLEAU II.
Expériences faites par MM. Sauter et Lemmonier sur des machines Gramme.

ANGLES sur les zones.	M. H = 334			AG. H = 350			CT. H = 420			GQ. H = 1220			DQ. H = 1190			
	1.			2.			3.			1.			2.			
4°	4	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
7,5°	3,6	0,15	0,065	0,15	0,14	0,065	0,12	0,13	0,094	0,11	0,10	0,063	0,10	0,08	0,063	0,06
6,0°	6,5	0,30	0,030	0,30	0,28	0,018	0,33	0,36	0,017	0,22	0,18	0,012	0,21	0,17	0,011	0,12
4,5°	9,3	0,43	0,040	0,43	0,46	0,043	0,38	0,39	0,036	0,32	0,30	0,028	0,35	0,33	0,031	0,24
3,0°	11,3	0,60	0,068	0,59	0,59	0,067	0,49	0,47	0,053	0,39	0,46	0,052	0,51	0,47	0,053	0,34
1,5°	12,6	0,80	0,101	0,79	0,75	0,095	0,63	0,61	0,081	0,53	0,65	0,083	0,76	0,67	0,084	0,49
0°	13,0	1,50	0,130	0,99	1,00	0,130	0,83	1,00	0,130	0,83	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	0,73
1,5°	12,6	1,50	0,180	1,48	1,85	0,233	1,54	1,60	0,202	1,32	1,53	0,193	1,75	1,68	0,212	1,22
3,0°	11,3	2,42	0,240	2,09	2,75	0,311	2,29	2,31	0,261	1,91	1,91	0,218	2,23	3,03	0,342	2,21
4,5°	9,3	1,87	0,174	1,85	2,17	0,204	1,81	2,64	0,246	2,18	1,98	0,100	1,24	3,25	0,302	2,37
6,0°	6,5	0,60	0,059	0,39	1,10	0,074	0,93	2,18	0,142	1,80	0,64	0,040	0,71	2,30	0,162	1,82
7,5°	3,4	0,21	0,097	0,21	0,55	0,019	0,46	1,03	0,637	0,90	0,30	0,010	0,35	1,35	0,043	0,91
9,0°	4	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
		S	H = 1,013		S	H = 1,195		S	H = 1,209		S	H = 0,869		S	H = 1,373	

PLANCHE I.

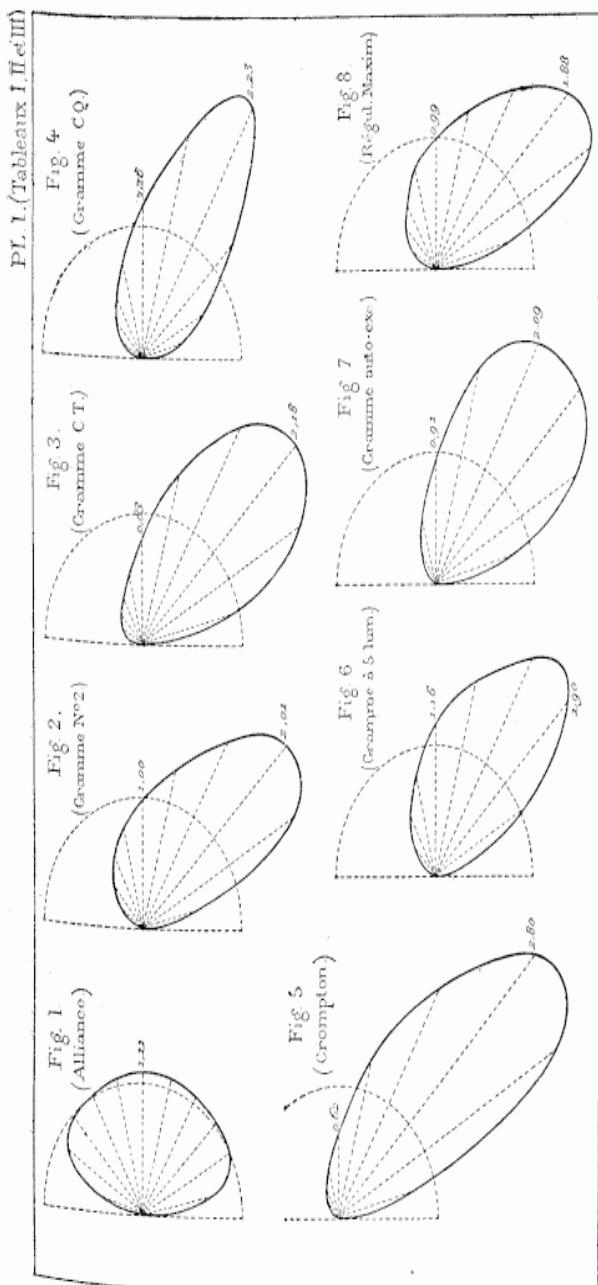
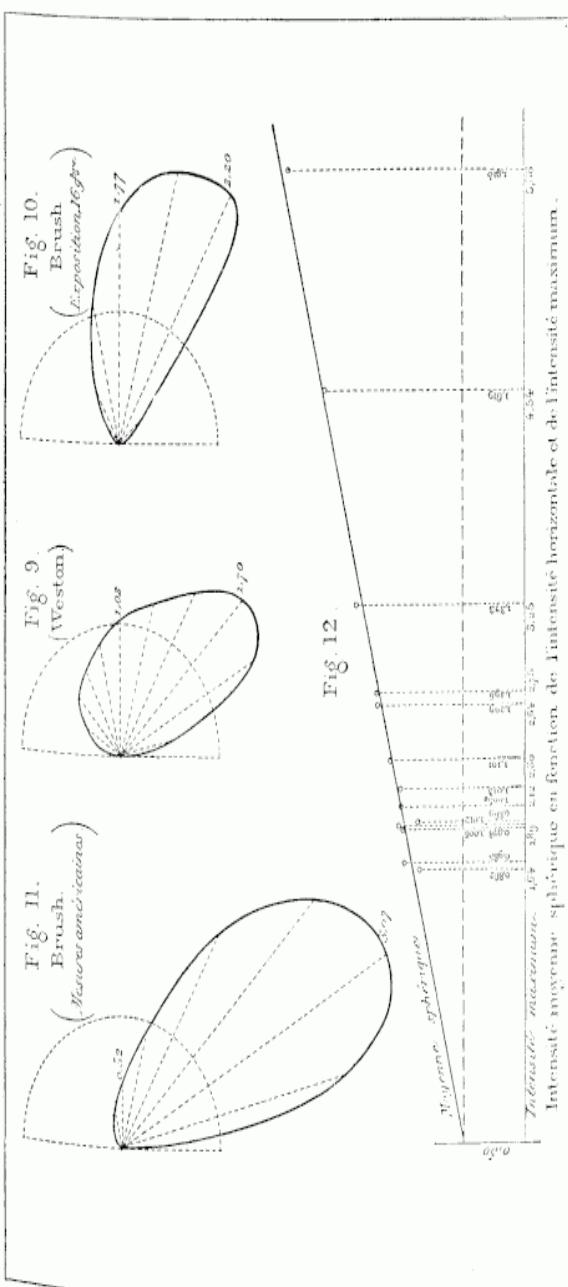


TABLEAU III.
Expériences faites à l'Exposition d'électricité sur des lumières à arc voltaïque à courant continu.

ANGLES	SURF. d.-s.	CROMPTON*			GRAMME à 5 LUM.			GRAM. AUTO-ENG.			MANX, REGULAT.			WESTON.			BRUSCH.			BRUSCH, measures americaines.			
		26 octobre. H = 50°.			31 octobre. H = 112°.			2 novembre. H = 150°.			11 novembre. H = 196°.			12 novembre. H = 23°.			16 novembre. H = 63°.			1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8.			
		zones.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
0°	4°	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
7,5°	34°	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
60°	65°	0,08	0,005	0,05	0,09	0,006	0,06	0,005	0,07	0,005	0,06	0,005	0,07	0,005	0,08	0,005	0,09	0,005	0,08	0,005	0,09	0,005	
45°	93°	0,16	0,015	0,10	0,10	0,19	0,18	0,32	0,14	0,03	0,13	0,04	0,43	0,10	0,04	0,43	0,10	0,04	0,43	0,10	0,04	0,43	0,10
30°	113°	0,32	0,036	0,33	0,33	0,50	0,50	0,30	0,34	0,37	0,35	0,62	0,55	0,70	0,59	0,71	0,72	0,53	0,68	0,70	0,53	0,68	0,70
15°	126°	0,68	0,086	0,66	0,66	0,68	0,68	0,55	0,78	0,69	0,69	0,50	0,80	0,80	0,85	0,80	0,85	0,80	0,86	0,80	0,85	0,80	0,86
0°	130°	1,00	0,136	0,62	0,62	1,00	0,00	0,30	0,16	1,00	0,13	0,91	1,00	0,13	0,99	1,00	0,13	0,99	1,00	0,13	0,99	1,00	0,13
15°	126	2,00	0,252	1,23	1,23	1,34	0,69	1,55	1,85	0,233	1,68	1,25	1,58	1,24	1,18	1,49	1,20	1,22	1,54	1,22	1,76	1,22	0,92
30°	113	3,26	0,368	2,01	1,61	0,482	1,88	2,30	0,260	2,09	1,60	0,181	1,59	1,45	0,161	1,47	1,24	0,140	2,30	0,455	0,412	1,91	0,412
45°	93	4,54	0,432	2,80	4,64	0,153	1,93	2,18	0,203	1,98	1,89	0,176	1,78	1,68	0,155	1,67	1,05	0,026	0,37	5,18	0,482	2,70	0,482
60°	65	6,06	0,242	5,00	0,205	6,01	5,95	0,127	1,77	1,80	0,117	1,79	1,54	0,106	1,56	1,06	1,56	1,06	1,58	1,06	1,58	1,06	1,58
75°	34	1,20	0,011	0,74	0,40	3,00	0,010	0,55	0,80	0,010	0,73	0,73	0,010	0,75	0,50	0,017	0,71	0,01	0,75	0,01	0,75	0,01	0,75
90°	4	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
$\frac{S}{H} = 1,619$		$\frac{S}{H} = 0,862$		$\frac{S}{H} = 1,101$		$\frac{S}{H} = 0,985$		$\frac{S}{H} = 0,564$		$\frac{S}{H} = 0,985$		$\frac{S}{H} = 1,915$		$\frac{S}{H} = 0,564$		$\frac{S}{H} = 0,985$		$\frac{S}{H} = 0,985$		$\frac{S}{H} = 0,985$			

PLANCHE II.

PL. 2 : (Tableaux III et IV).



Die Intensität der horizontalen Spiegelung ist in Abhängigkeit von der Entfernung der Frontalsonde am intensivsten.

TABLEAU IV.
*Comparaison des valeurs de la moyenne sphérique obtenues par le calcul direct pour les immures
à arc voltaïque et à courant continu et par la formule empirique*
 $S = \frac{1}{2} H + \frac{1}{4} M$.

INDICATION des expériences.	INTENSITÉ horizontale, valeur absolue H .	INTENSITÉ maximum M . $\frac{H}{4}$	INTENSITÉ MOYENNE SPHERIQUE		DIFFÉRENCE pour 100.
			directement.	par la formule empirique.	
Exposition.....	112	1,64	0,862	0,910	+ 5,6
Exposition.....	92	1,67	0,985	0,918	- 6,8
MM. Sautter et Lemonnier.....	350	1,89	0,978	0,972	- 0,6
Exposition.....	246	1,89	1,006	0,972	- 3,4
Dépôt des Phares.....	1010	1,90	1,012	0,975	- 3,7
MM. Sautter et Lemonnier.....	1220	1,93	0,869	0,982	+ 13,0
Dépôt des Phares.....	490	2,02	1,005	1,005	0,0
MM. Sautter et Lemonnier.....	234	2,12	1,013	1,030	+ 1,7
Exposition.....	155	2,30	1,101	1,075	- 2,4
MM. Sautter et Lemonnier.....	420	2,64	1,209	1,160	- 4,1
Dépôt des Phares.....	350	2,75	1,196	1,188	- 0,7
MM. Sautter et Lemonnier.....	1190	3,25	1,373	1,312	- 4,4
Exposition.....	50	4,54	1,619	1,635	+ 1,0
Amérique.....	n	5,88	1,915	1,970	+ 2,9

(fig. 12.)

PLANCHE III.

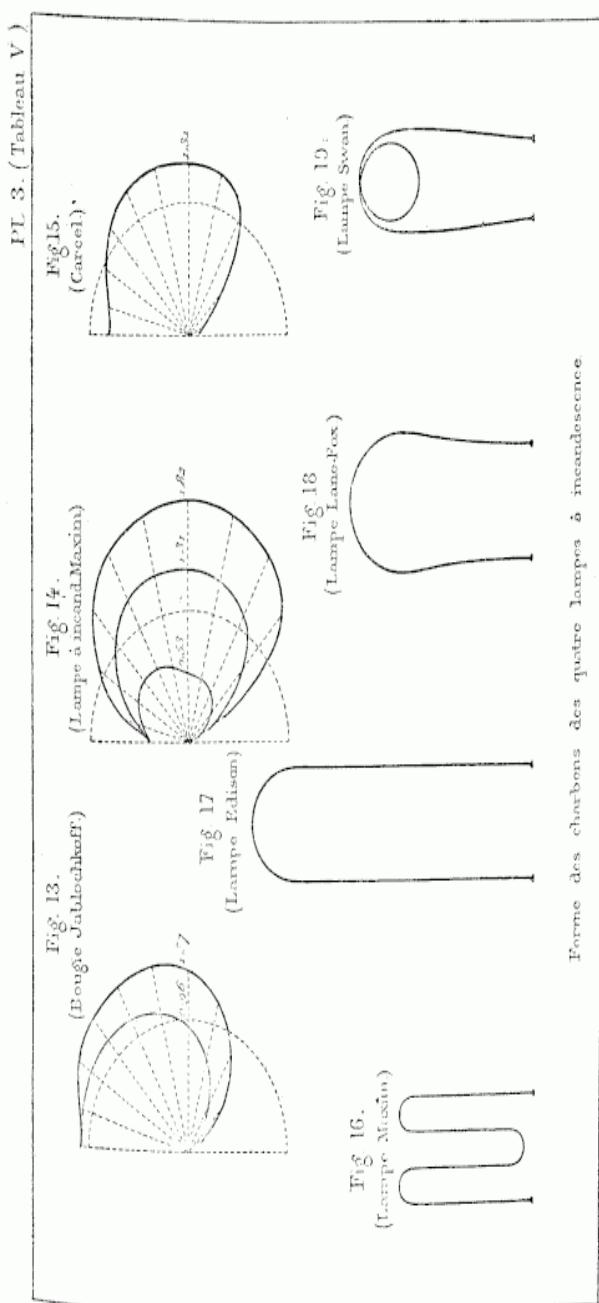


TABLEAU V.
*Expériences faites à l'Exposition d'électricité sur des lumières de bougies électriques
 et de lampes à incandescence.*

ANGLES SUR- FACES des zones.	BOUGIE JABLOCHOFF.						LAMPE À INCANDESCENCE MAXIM.						CARGE UNITE. $H = 1,00$.		
	De face $H = 37,7$.			De champ $r_{9,5}$.			De face.			A 45°.					
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.			
90°	0,004	0,80	0,003	1,10	0,80	0,003	1,10	0,21	0,001	0,38	0,21	0,001	0,38	0,60	0,002
75°	0,034	0,83	0,028	1,14	0,86	0,027	1,10	0,37	0,013	0,67	0,30	0,010	0,55	0,26	0,009
60°	0,065	0,93	0,060	1,28	0,84	0,055	1,15	0,58	0,038	1,06	0,46	0,030	0,84	0,31	0,020
45°	0,093	1,00	0,093	1,37	0,86	0,080	1,18	0,75	0,070	1,37	0,58	0,054	1,06	0,34	0,032
30°	0,113	1,04	0,118	1,43	0,85	0,096	1,17	0,89	0,091	1,62	0,68	0,077	1,34	0,35	0,040
15°	0,126	1,03	0,132	1,44	0,79	0,100	1,08	0,95	0,122	1,77	0,71	0,089	1,30	0,33	0,042
0°	0,130	1,00	0,130	1,37	0,70	0,091	0,96	1,00	0,130	1,82	0,72	0,094	1,31	0,30	0,038
15°	0,126	0,85	0,107	1,17	0,52	0,066	0,71	0,97	0,122	1,77	0,68	0,086	1,24	0,28	0,035
30°	0,113	0,62	0,070	0,85	0,36	0,049	0,41	0,89	0,101	1,62	0,62	0,070	1,13	0,24	0,027
45°	0,093	0,34	0,032	0,47	0,12	0,011	0,36	0,75	0,070	1,37	0,45	0,042	0,83	0,20	0,019
60°	0,065	0,19	0,007	0,14	0,05	0,003	0,07	0,30	0,020	0,55	0,18	0,012	0,33	0,10	0,007
75°	0,034	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0,006
90°	0,004	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
1,000		0,780			0,572		0,788		0,788		0,565		0,270		
		$\frac{4}{4} 0,585$			$\frac{1}{4} 0,143$		$\frac{1}{4} 0,197$		$\frac{1}{4} 0,283$		$\frac{1}{4} 0,668$				
		$\frac{S}{H} = 0,728$					$\frac{S}{H} = 0,548$				$\frac{S}{H} = 0,761$				
		(fig. 13.)					(fig. 14.)				(fig. 15.)				

TABLEAU VI.

Détermination de l'intensité moyenne sphérique des lampes à incandescence par le calcul des surfaces visibles dans les différentes directions.

1^o Calcul de la moyenne horizontale.

ANGLE avec la perpendi- culaire au plan de face	LAMPE EDISON.		LAMPE LANE-FOX.		LAMPE MAXIM.	
	Projection de la surface visible.	Intensité lumineuse proportionn.	Projection de la surface visible.	Intensité lumineuse proportionn.	Projection de la surface visible.	Intensité lumineuse proportionn.
0°	37,2	1,00	25,8	1,00	56,5	1,00
15°	46,4	1,19	25,7	1,00	57,1	1,01
30°	48,7	1,31	25,2	0,98	54,0	0,96
45°	49,5	1,33	24,4	0,95	47,2	0,84
60°	47,1	1,27	23,6	0,91	37,3	0,66
75°	41,7	1,12	22,7	0,88	24,6	0,44
90°	31,5	0,85	11,1	0,43	5,2	0,09
Intensité moyenne pour tout l'horiz.						0,74
	1,19		0,91			

2^o Calcul des coefficients de la moyenne sphérique dans le plan vertical perpendiculaire au plan de face.

ANGLE avec le plan horizont.	LAMPE EDISON.			LAMPE LANE-FOX.			LAMPE MAXIM.		
	Project. de la surface visib'e.	Intensité lumi- neuse proport.	Produit par les surfaces des zones.	Project. de la surface visible.	Intensité lumi- neuse proport.	Produit par les surfaces des zones.	Project. de la surface visible.	Intensité lumi- neuse proport.	Produit par les surfaces des zones.
0°									
90°	2,7	0,07	0,000 3	6,6	0,26	0,001 0	1,6	0,63	0,000 1
75°	14,0	0,38	0,012 9	11,2	0,43	0,014 6	16,1	0,26	0,008 8
60°	22,1	0,59	0,038 4	15,8	0,61	0,039 7	29,6	0,52	0,033 8
45°	29,2	0,78	0,072 5	19,8	0,77	0,071 6	41,0	0,73	0,067 9
30°	34,2	0,92	0,104 0	23,1	0,90	0,101 7	49,6	0,88	0,099 4
15°	37,0	0,99	0,124 7	25,2	0,98	0,123 5	54,8	0,97	0,122 2
0°	37,2	1,00	0,130 0	25,8	1,00	0,130 0	56,5	1,00	0,130 0
15°	37,0	0,99	0,124 7	25,2	0,98	0,123 5	54,8	0,97	0,122 2
30°	34,2	0,92	0,104 0	23,1	0,90	0,101 7	49,6	0,88	0,099 4
45°	29,2	0,78	0,072 5	19,8	0,77	0,071 6	41,0	0,73	0,067 9
60°	22,1	0,59	0,038 4	15,8	0,61	0,039 7	29,6	0,52	0,033 8
75°	"	"	"	"	"	"	"	"	"
90°	"	"	"	"	"	"	"	"	"
Coeff. de la moy. sphér.	0,822 4				0,818 6				0,785,5

Intensité moyenne sphérique :

$$1,19 \times 0,822,4 = 0,98, \quad 0,91 \times 0,8186 = 0,74, \quad 0,74 \times 0,785,5 = 0,58.$$

Intensité moyenne sphérique par rapport à l'intensité horizontale à 45° :

$$0,98 : 1,33 = 0,74, \quad 0,74 : 0,95 = 0,78, \quad 0,58 : 0,84 = 0,69.$$

TABLEAUX VII À X.
RÉSUMÉ DES EXPÉRIENCES PHOTOMÉTRIQUES FAITES À L'EXPOSITION INTERNATIONALE D'ÉLECTRICITÉ.

TABLEAU VII.
Lumières à arc voltaïque et courants alternatifs.

INDICATION.	DATE.	HEURE.	INTENSITÉ horizontale par foyer H.	OBSERVATIONS.	
				MOYENNE sphérique S = 0,0 H.	Le coefficient S, résulte d'un écart complet (Tableau I).
Machine de Möritens, 5 régulateurs Berjot.	8 octobre.	"	130	117	
Total des 5 régulateurs.	Id.	"	171	154	$117 + 4 \times 154 = 733$
Machine de Mériens, avec régulateur Servin des phares	Id.	"	1034	931	
Machine Siemens, avec excitatrice, 12 foyers en 3 circuits	re octobre.	4h 25 à 5h 15	44	39	

TABLEAU VIII.
Luminosities d'arc voltaïque à courant continu.

INDICATION DES LUMIÈRES,	DATE,	HEURE,	INTENSITÉS par foyer,			MOYENNE SPÉCI- ALE		OBSERVATIONS.
			Hori- izontale, H.	Maxi- mum M.	la formule de la calculée	la formule de la calculée		
Brush, 16 foyers...	6 oct.	3 à m	376	38	$\frac{1}{2} \cdot 37 + \frac{1}{2} \cdot 76 = 33$.	"		
Siemens, 2 foyers...	11 oct.	3 à m	37	20.5	$\frac{1}{2} \cdot 14 + \frac{1}{2} \cdot 37 = 20.5$.	"		
Id. id. avec résistance...	11 oct.	3 à m	37	"	"	"		
Id. Machine D 8, 5 foyers...	11 oct.	3 à m	72	53	$\frac{1}{2} \cdot 67 + \frac{1}{2} \cdot 73 = 53$.	"		
Id. id. 1 foyer...	11 oct.	3 à m	72	53	$\frac{1}{2} \cdot 20 + \frac{1}{2} \cdot 80 = 30.6$.	"		
Crompton, mach. Burgin, 3 foyers	26 oct.	3 à m	80.5	80.5	$\frac{1}{2} \cdot 50 + \frac{1}{2} \cdot 80 = 50$.	84		
Grimme, à 5 lampes...	31 oct.	3 à m	50	32.7	$\frac{1}{2} \cdot 10 + \frac{1}{2} \cdot 18 = 10.2$.	9.7		
Id. machine auto-excitative, 3 lampes...	31 oct.	3 à m	50	32.7	$\frac{1}{2} \cdot 10 + \frac{1}{2} \cdot 18 = 10.2$.	9.7		
Lampe Servin, machine Jurgens, sans électro-aimant interne...	2 nov.	3 à 4	15.5	35.7	$\frac{1}{2} \cdot 15 + \frac{1}{2} \cdot 35 = 16.7$.	17.4		
Id. id. avec électro-aimant...	4 nov.	4 à 5	23.4	56.7	$\frac{1}{2} \cdot 22 + \frac{1}{2} \cdot 56 = 25.5$.	"		
Machine Gramme, Lemonnier, lampe à main avec résistance...	5 nov.	5 à 5	53.1	56.6	Moyenne prise, dans le même rapport	"		
Id. sans résistance...	5 nov.	6 à 6	11.09	5.10	$\frac{1}{2} \cdot 3.3 + \frac{1}{2} \cdot 11.09 = 5.10$.	"		
Id. lampe inclinée pour projection...	Id.	6 à 6	9.52	9.65	$\frac{1}{2} \cdot 9.52 + \frac{1}{2} \cdot 9.65 = 9.56$.	"		
Machine régulateur Maxim, avec résistance...	10 nov.	6 à 6	2190	"	"	"		
Id. sans résistance...	10 nov.	3 à 4	446	465	$\frac{1}{2} \cdot 46 + \frac{1}{2} \cdot 446 = 239$, 246 × 3, 006 = 247.	247		
Machine et régulateur Weston, 38 ou 40 foyers...	12 nov.	3 à 4	387	377	Moyenne prise, dans le même rapport.	389		
Brush, 38 ou 40 foyers...	16 nov.	9 à m	92	83	$\frac{1}{2} \cdot 92 + \frac{1}{2} \cdot 83 = 85$, 92 × 0,985 = 91.	91		
		du soir.	69	69	$\frac{1}{2} \cdot 69 + \frac{1}{2} \cdot 69 = 69$.	69		

Pour les coefficients 1,619, 0,862, 1,101, 1,006, 0,985 et 0,564, voir le Tableau III.

TABLEAU IX.
Bougies électriques.

INDICATION DES BOUGIES.	DATE.	HEURE.	INTENSITÉ horizontale par Bougie, de face.	MOYENNE sphérique. de champ.	OBSERVATIONS.
36 foyers...	22 oct.	4 h 30 m à 5 h 10	27,0	"	
32 foyers...	25 oct.	2 h 5 à 3 h 31	21,4	"	
Bougies Jamin,	60 foyers...	"	245 à 3 "	12,9	Les bougies fonctionnent mal.— Résultat douze.
48 foyers...	"	3 25 à 3 50	23,9	"	
32 foyers...	"	3 55 à 4 3	22,6	9,4	Les bougies ne fonctionnent pas très bien. voir le Tableau IV.)
Moyenne avec 32 foyers....	"	"	32,0	17,4	23,9 × 0,728 = 17,4.
Bougies Lebrun, 7 foyers...	27 oct.	3 45	37,6	16,0	22,0 × 0,728 = 16,0.
Bougies Jablochhoff, et machine Gramme, sans résistance.	8 nov.	3 25 à 4 24	19,5	27,4	37,6 × 0,728 = 27,4.
Id., avec résistance.	"	4 30 à 4 40	22,6	20,2	27,7 × 0,728 = 20,2.
Bougies Jablochhoff, avec machine de Meritens,.....	"	4 40 à 4 50	14,1	16,5	22,6 × 0,728 = 16,5.
	19 nov.	"	32,5	14,1	14,1 × 0,728 = 10,3.
			"	23,7	32,5 × 0,728 = 23,7.

TABLEAU X.
Lampes à incandescence.

INDICATION.	DATE.	HEURE.	INTENSITÉ HORIZONTALE			MOYENNE photique.	OBSERVATIONS.
			de face.	à 45°	du champ.		
Lampe Maxim, { 100 lampes. machine Weston, { 50 lampes.	11 nov.	2 h 45 à 3 h 15	2,48	1,78	0,80	1,44	2,78 < 0,58
	id	3 23 à 3 48	4,82	3,88	1,40	2,80	4,82 < 0,58
Lampe Weston, { 25 lampes.	id	4 à 4 15	6,50	4,41	1,72	3,77	6,50 < 0,58
	18 nov.	9 2 à 9 25 du soir	1,60	n	n	1,57	1,60 < 0,98
Lampe Lane-Fox,	id	10 9 à 10 15	3,22	n	n	1,64	3,22 < 0,74
	id	10 34 à 10 45	2,95	n	n	2,19	2,95 < 0,74

Pour les coefficients 0,58, 0,98, 0,74, voir le Tableau VI.

SUR LE MODE DE RÉPARTITION DE L'INTENSITÉ LUMINEUSE
DE LA LAMPE EDISON DANS LE PLAN HORIZONTAL.

NOTE DE M. HAGENBACH.

Dans les expériences qu'a faites la Sous-Commission du jury de l'Exposition internationale d'électricité, chargée de l'étude des lampes à incandescence, on a placé le plan du fil de charbon sous un angle de 45° par rapport à l'axe du photomètre. Pour rendre comparables les résultats obtenus avec les différents systèmes, M. le Président de la Commission m'a exprimé le désir de connaître le rapport de l'intensité horizontale moyenne à l'intensité mesurée à 45° . J'ai entrepris de déterminer ce rapport pour la lampe Edison.

Pour les corps incandescents, non transparents, l'émission dans une direction donnée est proportionnelle à la projection du corps sur un plan perpendiculaire à la direction des rayons lumineux. Pour simplifier la question, nous ne considérerons que les changements résultant de la rotation de la lampe autour d'un axe vertical.

Nous traiterons d'abord la question au point de vue théorique.

Le fil de charbon a, dans les lampes Edison, la forme d'un fer à cheval. Il faut donc distinguer entre la partie horizontale du fil et les tiges verticales. La première se raccourcit en passant de la position transversale à la position longitudinale. Si nous appelons l la longueur véritable, ainsi que la projection en position transversale, nous avons, pour la projection en position longitudinale : zéro, en position de 45° : $\frac{l}{\sqrt{2}}$, et en moyenne : $\frac{2l}{\pi}$. Le rapport de l'intensité moyenne à l'intensité pour 45° sera donc : $\frac{\frac{2l}{\pi}}{\frac{l}{\sqrt{2}}} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}^{\frac{3}{2}}$.

Pour les deux tiges verticales la rotation ne change pas la longueur, mais seulement la largeur de la projection, à la

condition que la coupe horizontale du fil ne soit pas un cercle. Supposons que cette coupe soit un rectangle, qui a la dimension a dans le plan du fer à cheval et la dimension b dans la direction perpendiculaire à ce plan. L'intensité de l'émission lumineuse sera pour la position transversale, où le plan au fil est perpendiculaire à l'axe du photomètre, proportionnelle à a pour la position longitudinale, proportionnelle à b pour la position de 45° , proportionnelle à $\frac{a+b}{\sqrt{2}}$, et en moyenne proportionnelle à $\frac{2(a+b)}{\pi}$; le rapport de l'intensité moyenne à l'intensité pour 45° sera donc, comme dans le cas précédent, $\frac{2^{\frac{3}{2}}}{\pi}$ ou 0,9003.

La valeur par laquelle il faut multiplier l'intensité sous l'angle de 45° pour obtenir l'intensité horizontale moyenne, et que nous appellerons *coefficient de réduction*, est donc la même aussi bien pour la partie horizontale que pour la partie verticale. Approximativement on peut donc admettre 0,9 comme coefficient pour tout le fil, à la condition que la section soit rectangulaire. Si ce n'est pas le cas et que les angles soient arrondis, le coefficient doit être plus grand et tendre d'autant plus vers l'unité que la section se rapproche de la forme circulaire.

Passons à la description des expériences.

L'intensité lumineuse a été déterminée à l'aide d'un photomètre de Bunsen tout à fait semblable à celui qui avait servi aux expériences de la Sous-Commission. Comme il ne s'agissait que de l'intensité relative, j'ai comparé deux lampes Edison du même modèle en faisant, pour l'une d'elles, varier l'angle du plan du fil avec l'axe du photomètre et en maintenant avec fixité le plan de l'autre dans la position transversale. Les deux lampes étant actionnées par le même courant, les changements d'intensité n'avaient pas d'influence sur le résultat. J'ai toujours pris la moyenne de plusieurs observations, faites soit par moi

seul, soit alternativement par moi et mon préparateur. En totalité, j'ai examiné 8 lampes, 4 du grand modèle et 4 du petit modèle. Pour chaque lampe j'ai déterminé l'intensité pour trois positions, savoir : les positions transversale, longitudinale et de 45° . Si l'on prend la position longitudinale exacte, la tige verticale antérieure couvre la tige verticale postérieure, et il en résulte, dans cette direction, une réduction très sensible de lumière, qui se manifeste comme une ombre sur un écran. Dans mes mesures j'ai eu soin d'éviter cette position exceptionnelle; sa région est tellement étroite qu'on peut la négliger pour la détermination de la moyenne.

Pour obtenir l'intensité moyenne, j'ai divisé par 4 la somme de l'intensité transversale, de l'intensité longitudinale et de deux fois l'intensité à 45° . Cette manière d'opérer est justifiée par le fait, que la lampe n° 3 m'a fourni le même nombre 1,21, aussi bien en faisant le calcul de cette manière qu'en prenant la moyenne des intensités pour seize directions distantes les unes des autres de $22^\circ, 30$.

Dans le Tableau suivant, où je donne le résultat de mes observations, l'intensité pour la position transversale est prise comme unité. Les lettres *g* ou *p* signifient que la lampe était du grand ou du petit modèle.

Lampe.	Modèle.	Position		Intensité moyenne.	Coefficient de réduction.
		longitudinale	de 45° .		
N° 1.....	<i>p</i>	1,27	1,28	1,21	0,95
2.....	<i>p</i>	1,08	1,24	1,14	0,92
3.....	<i>g</i>	1,30	1,27	1,21	0,95
4.....	<i>g</i>	1,40	1,29	1,245	0,97
5.....	<i>g</i>	1,34	1,30	1,235	0,95
6.....	<i>g</i>	1,38	1,35	1,27	0,94
7.....	<i>p</i>	1,33	1,38	1,27	0,92
8.....	<i>p</i>	1,30	1,23	1,19	0,97
Moyenne.....		1,30	1,29	1,22	0,95

Puisque les chiffres de la première colonne se trouvent être supérieurs à l'unité, il en résulte que la quantité de

lumière émise par la lampe Edison, la seule avec laquelle j'ai opéré, dans la direction du plan du fil, a été, pour tous les échantillons essayés, supérieure à celle émise dans la direction perpendiculaire à ce plan; le rapport des deux intensités a varié de 1,08 à 1,40 et a été en moyenne égal à 1,3; on peut en conclure que la coupe du fil a une forme allongée dans la direction perpendiculaire au plan du fer à cheval. La dernière colonne donne, pour le coefficient de réduction, des chiffres qui varient de 0,92 à 0,97, en moyenne 0,95. La différence entre ces valeurs trouvées empiriquement et le chiffre théorique 0,9 s'explique tout naturellement par la supposition que les angles de la section rectangulaire ne sont pas absolument à arêtes vives, mais arrondis dans une certaine mesure.

D'après les chiffres qui précèdent, le rapport entre l'intensité moyenne et celle qui a pu être observée à 45° est exprimé par $1,22 : 1,29 = 0,945$.

II. — ESSAIS DES DIVERS MODES D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.

L'essai simultané des machines qui déterminent les courants électriques et des lampes qui utilisent ces courants forme la partie la plus importante du travail de la Commission. Le nombre de ces essais a paru assez grand pour qu'une classification soit nécessaire, et l'on examinera successivement dans ce Rapport :

- 1^o Les machines à courants continus avec les divers systèmes de régulateurs qu'elles desservent;
- 2^o Les machines à courants alternatifs alimentant également des régulateurs;
- 3^o L'éclairage par les bougies, qui exige toujours l'emploi de courants alternatifs;
- 4^o L'éclairage par incandescence, qui peut se faire par les deux espèces de courants, mais pour lequel les courants continus étaient seuls utilisés à l'Exposition.

Nous avons, d'une manière générale, fait connaître les méthodes d'observation qui ont été employées; mais, en ce qui concerne les indications abrégées de quelques titres de nos Tableaux, il est nécessaire de bien préciser leur signification.

Ce que nous appellerons *cheval électrique* et, en particulier, *cheval d'arc* représente un travail de 75^{kgm} par seconde, calculé, comme il est dit plus haut, d'après les intensités, les résistances et les forces électromotrices.

Nous avons désigné par *rendement mécanique total* le rapport entre le travail électrique total et le travail moteur effectif, déduction faite de celui qui est employé pour la transmission mécanique; par *rendement mécanique des arcs*, le rapport entre le travail réellement mesuré dans les arcs et ce même travail moteur effectif. Enfin, nous avons réservé le titre de *rendement électrique des arcs* à la comparaison que nous avons faite, pour toutes les expériences, entre le travail électrique des arcs et le travail électrique total.

Quant aux évaluations relatives à la production lumineuse, correspondant à la dépense d'un cheval mécanique, d'un cheval de travail électrique total, ou d'un cheval électrique, dépensé dans les arcs, il doit être bien entendu que nous ne faisons finalement entrer dans le calcul que l'intensité photométrique désignée sous la dénomination de *moyenne sphérique*; c'est, en effet, la seule qui représente le phénomène lumineux dans son ensemble, et qui, à ce titre, puisse être comparée d'une manière rationnelle aux divers éléments qui produisent cette intensité. Il convient, toutefois, de faire remarquer que, en prenant pour bases de leurs évaluations les besoins de l'éclairage public, les constructeurs ont été tout naturellement conduits à des estimations beaucoup plus grandes de la puissance de leurs appareils.

MACHINES ET LAMPES A ARCS VOLTAIQUES,
A COURANTS CONTINUS.

Les lampes à courants continus et à arcs voltaïques sont celles qui ont donné lieu au plus grand nombre de déterminations; mais, malgré le désir que nous avions de les soumettre toutes, autant que possible, au même mode d'expérimentation, nous avons été conduit, sous le rapport de la détermination du travail mécanique, à nous servir de plusieurs installations différentes que les exposants ont pu mettre à notre disposition.

C'est ainsi que, sur les treize expériences faites sur cette catégorie de lampes, cinq seulement ont utilisé la plate-forme, établie spécialement pour nos essais devant la machine à vapeur de MM. Olry et Grandemange; les lampes Crompton et Brush ont toutefois donné lieu à des mesures dynamométriques tout à fait analogues, par l'observation du travail indiqué dans les cylindres des machines à vapeur qui les actionnaient; mais, dans les quatre expériences Siemens, le travail a été directement mesuré au moyen du dynamomètre de M. von Hefner-Alteneck, ce qui rend évidemment la concordance entre les résultats moins satisfaisante.

Quant aux mesures électriques et photométriques, elles ont pu au contraire être déduites, dans tous les cas, de l'observation des mêmes instruments, dont le fonctionnement toutefois n'est devenu parfaitement complet qu'après les premiers essais.

L'ordre dans lequel nous examinerons les différents résultats n'est pas arbitraire; nous avons pris pour base le nombre des foyers alimentés et il en est résulté, tout naturellement, que les machines à grandes résistances et à faible intensité de courant sont celles qui viendront en dernier lieu. Pour celles-là, les résistances supplémentaires que les appareils d'observation nous imposaient de

placer dans le courant ont été sans aucune influence appréciable; il n'en est pas de même pour les machines à grandes intensités et à faibles résistances, comme les types de Gramme, de Jurgensen et de Siemens. Nous accompagnerons chacun des Tableaux calculés de quelques observations.

1. Machine Gramme et lampe de phare réglée à la main.

On a employé dans cet essai une machine Gramme type D, de la construction de MM. Sautter et Lemonnier, conduite à l'aide de la transmission spéciale, établie, pour nos expériences, à l'Exposition d'électricité.

La machine motrice tournait à raison de 95 tours par minute, et la machine génératrice du courant à raison de 475; mais la mesure du travail moteur a été d'une appréciation très difficile.

Les diagrammes fournis par l'indicateur étant très inégaux, nous avons, à diverses reprises, laissé fonctionner le crayon traceur pendant une minute entière et les traits successifs, au lieu de se superposer, ont chaque fois compris, dans le cours de cette minute, certaines aires au moins triples les unes des autres.

La lampe employée par M. Lemonnier se réglait à la main, et un agent habitué à ce service veillait constamment au rapprochement ou à l'éloignement des charbons, de manière à produire, autant que possible, une lumière uniforme. C'est à cette manœuvre délicate, mais toujours employée dans les applications militaires, pour la projection des lumières de grande intensité, que nous attribuons l'irrégularité du travail dépensé.

Nous trouvons même dans les notes prises au cours des expériences que le courant électrique variait constamment en raison de la distance plus ou moins grande des charbons et en concordance avec elle. Cependant M. Lemonnier croit pouvoir attribuer ces intermittences à la

machine motrice elle-même, dont les révolutions successives se feraient plus ou moins rapidement. Tout ce que nous pouvons certifier à cet égard, c'est que cette machine fonctionnait dans de telles conditions, que le nombre des tours par minute, relevé un très grand nombre de fois, ne s'est jamais éloigné de plus d'une unité de la vitesse moyenne de 95 tours, et qu'il nous paraîtrait difficile d'obtenir sous ce rapport une plus grande exactitude.

Les mêmes discordances se sont d'ailleurs rencontrées dans les trois périodes de l'expérience, savoir : 1^o avec interposition d'une résistance de 0^{ohm}, 34, presque égale à celle de la machine; 2^o après suppression de cette résistance; 3^o avec lampe placée sous l'inclinaison convenable pour certaines projections. Entre les deux premières on n'a remarqué aucune différence d'allure quant au travail dépendé, qui a augmenté d'une manière notable lors de l'emploi de la lampe inclinée.

Pour les observations photométriques, il a été nécessaire de placer la lampe hors de la chambre noire, disposée pour les comparaisons et qui était de longueur insuffisante : il aurait fallu que cette longueur fût portée à 50^m au lieu de 25^m; mais on s'est mis complètement à l'abri de cette difficulté en opérant, en dehors de la chambre, à nuit close, et avant l'allumage des lampes disséminées dans le Palais de l'Exposition.

Dans les deux premiers essais, les observations ont été faites dans la direction horizontale et à 50° et 60° au-dessus et au-dessous, et c'est ainsi qu'on a pu déterminer l'intensité moyenne.

Pour la lampe inclinée, au contraire, on n'avait à déterminer que l'intensité maximum. Dans cette situation la lampe peut fournir une intensité de plus de 2000 carcels, quoique, dans les conditions ordinaires, l'intensité moyenne sphérique doive être estimée à 1000 carcels environ.

C'est ce qui résulte, en effet, de l'expérience la plus

favorable dans laquelle la résistance du circuit a été réduite à 0^{ohm} , 10, et que nous transcrirons seule dans le Tableau général de comparaison.

L'intensité sphérique moyenne s'est alors élevée à 966 carcel, au lieu de 540, et le nombre des carcel par cheval d'arc à 128,8 au lieu de 87,8.

2. Machine Jurgensen, alimentant un régulateur Serrin.

M. le professeur Jurgensen, de Copenhague, avait envoyé à l'Exposition une machine pour laquelle il a tenu à associer à son nom celui de M. le professeur Lorenz, et qui était munie d'un double électro-aimant, l'un à l'extérieur et l'autre à l'intérieur de la bobine; plusieurs de nos collègues du jury nous avaient exprimé le désir que cette machine pût être soumise à des expériences variées, dirigées de manière à faire ressortir le mérite de ce double effet.

M. Jurgensen s'y est prêté avec une grande bienveillance et il a pris la peine de venir lui-même présider à cette opération, qui a été malheureusement contrariée par divers incidents.

En ce qui concerne la machine complète, on a dû employer son courant à faire fonctionner une lampe Serrin pour phare. Notre photomètre n'ayant, à ce moment, qu'une portée de 25^m, il fallait, pour rendre la puissance lumineuse mesurable, introduire dans le circuit une résistance presque double de celle de la machine dynamo-électrique elle-même, ce qui a nécessairement amoindri, dans une grande proportion, le résultat photométrique obtenu.

Dans le deuxième essai, fait avec la scule armature extérieure, la machine a chauffé avant que l'ensemble des données de l'expérience ait pu être définitivement recueilli, et les enduits d'isolation ont pris feu.

Nous devons encore ajouter que la présence d'une clavette saillante sur l'arbre de la bobine n'a pas permis d'y

appliquer un compteur, et que nos évaluations sur le nombre des tours de cet arbre ont dû être déduites exclusivement de l'observation du nombre des tours de la machine motrice, bien qu'il se soit produit, à plusieurs reprises, des glissements manifestes de la courroie. La machine motrice a fait très régulièrement 96 tours par minute dans les deux essais, ce qui, eu égard aux diamètres des poulies, aurait dû correspondre très exactement au nombre de 800 tours pour l'arbre de la machine dynamo-électrique.

Le travail moteur, qui s'était élevé à $21^{chx},68$ pour la machine complète, et qui s'est abaissé à $12,10$ après suppression de l'armature intérieure, a été mesuré par 16 diagrammes concordants. Quatre ont suffi pour déterminer le travail à vide, mais l'accident survenu à la machine n'a pas permis de mesurer le travail dépensé pour la faire tourner à circuit ouvert.

La seconde expérience ne doit en tous cas être considérée dans ses résultats que comme approximative.

Dans la première et d'après les valeurs comparatives des résistances, il est permis d'admettre que l'intensité lumineuse aurait pu, en se produisant sous l'influence d'un courant triple, développer un nombre de carcelles deux ou trois fois plus grand.

Dans la seconde, qui n'a pas été inscrite au Tableau général, après suppression de l'armature intérieure, l'intensité photométrique moyenne s'est abaissée à 254 carcelles au lieu de 688, et le nombre de carcelles par cheval d'arc à 70 au lieu de 98,7.

3. Machine Maxim, alimentant une lampe Maxim.

Le travail moteur a été mesuré d'une manière parfaitement satisfaisante, au moyen des ressources de notre installation générale, par vingt-six diagrammes dans le premier essai, mais par un moins grand nombre dans le se-

cond. Le travail en circuit ouvert a été mesuré de la même façon.

La plus grande partie de l'expérience a été faite avec interposition dans le circuit d'une résistance de $0^{\text{ohm}},250$, qui a affecté la valeur du rendement dans une proportion notable.

Au point de vue photométrique, la lampe Maxim a été l'une de celles pour lesquelles les déterminations ont été les plus nombreuses, puisque l'intensité a été mesurée dans la direction horizontale, puis à 45° au-dessus et au-dessous de l'horizon, puis encore à 60° .

La moyenne sphérique, qui était de 239 carcelz avec la résistance supplémentaire, s'est élevée à 377, après la suppression de cette résistance. Ce rapprochement permettra d'évaluer l'influence de cette condition dans plusieurs de nos expériences; il en est résulté que le nombre des carcelz par cheval d'arc s'est élevé de 103,5 à 163, quoique le rendement mécanique total ait été un peu moins satisfaisant.

4. Machine Siemens alimentant un foyer Siemens.

La machine D. 8,250, qui a été employée dans cette expérience, est caractérisée par l'emploi, pour la bobine, d'un fil de 250 centièmes de millimètre de diamètre. Ce mode de notation en centièmes de millimètre s'applique, d'ailleurs, à toutes les autres machines des mêmes constructeurs. Le fil des électro-aimants avait pour diamètre $5^{\text{mm}},5$.

Le travail, comme dans toutes les autres expériences faites sur les machines Siemens, a été mesuré au moyen du dynamomètre Hefner-Alteneck, en prenant pour diamètre réel celui de la poulie, $0^{\text{m}},20$, augmenté de l'épaisseur de la courroie, soit $0^{\text{m}},205$.

Les mesures électriques n'ont donné lieu à aucune circonstance particulière, et l'intensité lumineuse a été déterminée seulement pour la direction horizontale et l'inclinaison de 30° .

5. Machine Siemens, alimentant deux foyers Siemens.

La machine D. 7, 200, qui a servi à l'alimentation de deux foyers Siemens, était construite avec du fil de 2^{mm} de diamètre pour la bobine et du fil de 3^{mm},5 pour les électro-aimants.

Le travail mécanique a été mesuré directement par le dynamomètre.

Les données électriques correspondent à trois séries distinctes dans lesquelles le travail moteur est resté le même : 1^o dans les conditions normales; 2^o avec lumière inclinée; 3^o avec une résistance supplémentaire de 0^{ohm},4.

Les intensités photométriques ont été observées dans ces trois conditions différentes, mais l'intensité lumineuse, qui s'élevait à 205 carcel, de moyenne sphérique, s'est trouvé réduite, dans le troisième cas, à 169 carcel, par suite de l'interposition de la résistance.

Les données finales de cette seconde expérience, qui ne figure pas au Tableau général, sont les suivantes :

Rendement électrique des arcs.....	0,62
Carcels par cheval mécanique.....	63,6
" " électrique	62,1
" " d'arc.....	105,6
" " par ampère.....	6,5

6. Machine Burgin, alimentant trois lampes Crompton.

Les déterminations relatives à ces appareils ont dû être faites sur l'installation même de M. Crompton, dont la machine à vapeur, munie d'un très grand volant, pouvait directement fournir, au moyen d'une seule transmission par courroie, la vitesse convenable sur l'arbre de la machine dynamo-électrique.

Le travail moteur a été mesuré sur des diagrammes, au nombre de 23, qui avaient été relevés sur les deux cylindres, la machine étant du système Compound; on a

affecté le résultat du calcul d'un coefficient 0,85 pour tenir compte du rendement de la machine motrice elle-même; le travail à vide a été estimé de la même façon.

La résistance électrique du circuit s'est trouvée augmentée par suite de l'éloignement de la machine par rapport à la chambre photométrique.

Les observations lumineuses ont été assez nombreuses et assez variées pour pouvoir effectuer le calcul complet de l'intensité moyenne sphérique.

7. Machine Gramme, alimentant trois lampes Gramme.

La machine Gramme auto-excitatrice pour trois lumières a été essayée, sous la direction même de M. Gramme, dans les conditions pour lesquelles elle avait été construite, et nous n'avons à signaler à son égard aucune particularité, si ce n'est en ce qui concerne les trois lampes, dans lesquelles les charbons, tous deux de 14^{mm} de diamètre, avaient été choisis, l'un, à la partie supérieure, dans la fabrication Siemens; l'autre, à la partie inférieure, dans la fabrication Sautter et Lemonnier.

Le travail de l'excitatrice était très peu considérable; il n'a pas été mesuré pendant l'expérience, mais on jugera de son peu d'importance quand on saura que la résistance de l'excitatrice est de 1^{ohm} et l'intensité du courant de 19 ampères, ce qui correspond à un travail de 36^{kgm},82 par seconde.

Après l'expérience principale, dans laquelle la machine génératrice faisait 1695 tours par minute, on a réduit cette vitesse à 1600 tours, et l'on y a trouvé un grand avantage.

Le rendement est si inférieur à celui des autres machines, qu'on ne pouvait attribuer cette circonstance qu'à un vice de construction exceptionnel dans la machine à lumière, permettant une dérivation qui n'a pas été constatée. Nous avons dû, pour en avoir l'explication, nous adresser à M. Gramme, qui nous a fait connaître que, au

retour de la machine à l'atelier, on y a trouvé un contact qui fermait une partie du courant sur les électro-aimants.

Cependant l'expérience reste encore complète, en ce qui concerne les données électriques, qui figureront utilement dans notre Tableau général.

Voici, d'ailleurs, quelques chiffres qui établissent les principales différences entre les deux séries de déterminations :

	Première série.	Deuxième série.
Travail moteur effectif.....	8,10	6,25
Intensité photométrique.....	501	558
Rendement mécanique total.....	0,62	0,70
» » des arcs.....	0,51	0,59
» » électrique des arcs.....	0,83	0,84
Carcels par cheval mécanique.....	61,8	89,3
» » électrique	100,4	127,4
» » d'are.....	121,6	186,0
» par ampère.....	8,79	10,70

8. Machine Gramme, alimentant cinq lampes.

Les cinq lampes ont été actionnées par une machine Gramme de la construction de MM. Sautter et Lemonnier, F. n° 200. Le charbon supérieur de la lampe était, comme dans l'expérience précédente, de la fabrication Siemens.

L'expérience n'a présenté aucune circonstance qui doive être spécialement mentionnée, si ce n'est en ce qui concerne les déterminations photométriques, faites dans la direction horizontale et au-dessus et au-dessous de l'horizon, sous les inclinaisons de 45° et de 60°.

9. Machine Siemens, alimentant cinq lampes Siemens.

La machine du type Siemens D. 8,120, comportait des fils de 1^{mm},2 seulement de diamètre pour la bobine et 2^{mm},5 de diamètre pour les électro-aimants. Le travail mécanique a été mesuré directement; les données électriques résultent d'une expérience prolongée; quatre des lampes

ont été employées simultanément aux mesures photométriques, même dans le cas où ces lampes ont été inclinées à 30° sur la verticale.

10. Machine Weston, alimentant dix lampes Weston.

Cette expérience s'est fait remarquer entre toutes par son extrême régularité dans toutes les observations; on peut dire que si, sous ce rapport, elle n'a rien laissé à désirer, il convient d'en attribuer quelque peu le mérite aux soins avec lesquels toutes les dispositions préparatoires avaient été prises par les agents de M. Maxim.

Au point de vue du travail mécanique, on a pu d'ailleurs s'assurer plusieurs fois que les tracés des diagrammes se superposaient exactement, mais il s'est présenté une sorte d'anomalie pour le fonctionnement à circuit ouvert qui s'est trouvé inférieur à celui de la transmission seule, ce qui s'expliquerait cependant par la position dissymétrique de la seule courroie qui fonctionnait alors et qui pouvait déterminer une notable augmentation dans le frottement des tourillons.

Les charbons supérieurs avaient un diamètre de 0^m,010, les charbons inférieurs 0^m,009 seulement, et ils se maintenaient en bonne forme d'une manière fort remarquable; l'arc était d'ailleurs très petit; sa longueur ne dépassait pas 1^{mm}.

Les mesures électriques ont été aussi complètes que possible; il en a été de même pour les déterminations photométriques suivant l'horizontale, ainsi qu'à 45° et 60° dans les deux sens.

11. Machine Brush, alimentant seize lampes Brush.

Les expériences sur les lampes Brush ont pu être entreprises avant toute autre, grâce à l'obligeance de M. Stewart et à la parfaite installation qui leur avait été faite à l'Exposition.

Toutes les machines à lumière, placées sur un même rang et portées sur des plates-formes mobiles, étaient commandées par un arbre parallèle, actionné lui-même, dans ses diverses parties, par six machines à vapeur, demi-fixes, système Robey, d'un excellent fonctionnement. La grande longueur des courroies permettait d'éviter les tensions trop grandes, et la mobilité des plates-formes, facilement obtenue à l'aide de longues vis horizontales de réglage, permettait d'ailleurs de modérer ces tensions avec une grande précision.

C'est à l'aide de cette installation très remarquable que les diverses expériences ont été faites, une des lampes seulement étant chaque fois placée, à l'autre extrémité du Palais de l'Exposition, dans la chambre photométrique.

La première expérience, le 6 octobre, n'a peut-être pas été assez complète sous le rapport électrique, les instruments du laboratoire n'étant pas encore, à cette date, complètement en état.

Le même moteur Robey, commandant trois machines dynamo-électriques, n° 7, n° 7 A, et n° 3, fournissait la lumière à seize lampes à arc voltaïque, système Brush, en même temps qu'à quatre-vingtune et à quinze lampes à incandescence, système Lane-Fox, et il n'était pas facile d'isoler les unes des autres les machines génératrices.

Aussi dûmes-nous nous contenter de procéder par différences successives, en déterminant chaque fois, au moyen de nombreux diagrammes, le travail développé sur les deux faces du piston.

Le travail indiqué, déterminé ainsi, a été systématiquement réduit aux 0,85 de sa valeur, pour tenir compte des rendements de la machine motrice, et l'on a pu faire encore la déduction du travail dépensé par la transmission, au moyen d'une détermination spéciale.

Les cinq séries de déterminations ont donné les résultats suivants :

Chevaux.

Machines n°s 7, 7 A et 3, 1 ^e série, 16 arcs voltaïques et 96 lampes à incandescence	35,930
Machines n°s 7 et 3, 2 ^e série, 96 lampes à incandescence.	22,542
Machine n° 3, 3 ^e série, 16 à arcs et 15 à incandescence..	19,873
Machine n° 3, 4 ^e série, 15 lampes à incandescence.....	7,374
5 ^e série, transmission intermédiaire seule.....	5,318

En ne nous occupant ici que de la machine dynamo-électrique n° 7, produisant l'éclairage de seize lampes à arc voltaïque, nous trouvons que le travail dépensé par cette seule machine s'élève à 13^{chx},39. C'est ce chiffre que nous avons définitivement adopté, tout en reconnaissant qu'il n'a pas été déterminé avec la même rigueur que pour les autres expériences, dans lesquelles on a toujours isolé chaque machine génératrice.

L'intensité du courant électrique a été très exactement mesurée, mais il n'a pas été fait d'autre détermination électrométrique ; quelques-uns de ces éléments ont, en conséquence, dû être empruntés à une expérience antérieure, et aux indications fournies par le constructeur sur la résistance de la machine.

L'intensité lumineuse a été observée dans la direction horizontale, et sous une inclinaison de 45° au-dessous de l'horizon, ce qui a permis, au moyen d'une formule empirique, de calculer l'intensité moyenne sphérique.

12. Machine Brush alimentant quarante foyers Brush dans l'intérieur du Palais de l'Exposition.

Cette expérience, commencée le 13 octobre, s'est trouvée insuffisante au point de vue photométrique, et a été reprise le 16 novembre dans le but de compléter les premières indications.

Le travail moteur a été relevé dans ces deux journées différentes, et la concordance des chiffres a été aussi complète que possible : 29^{chx},58 et 29^{chx},96.

L'une des lampes ayant été chaque fois placée dans la

chambre photométrique, on a pu déterminer la résistance de la machine et du circuit, ainsi que toutes les données électriques relatives à l'expérience même.

Quant aux mesures photométriques, elles ont été complètes, le 16 novembre, dans la direction horizontale, ainsi qu'à 30°, 45° et 60° au-dessus de l'horizon. La lampe Brush étant peu connue en France, il était nécessaire de calculer l'intensité moyenne sphérique avec tous les éléments qui y pouvaient concourir.

13. Machine Brush à quarante lumières, employée à l'éclairage de l'escalier de l'Opéra.

Une première tentative avait eu lieu le 14 octobre; mais, les signaux n'ayant pas suffisamment correspondu d'une station à l'autre, elle s'est bornée à une détermination du travail moteur, confirmée plus tard par de nouveaux diagrammes le 20 octobre.

A cette dernière date, trente-sept foyers étaient allumés dans l'escalier de l'Opéra et un trente-huitième à l'Exposition, dans notre chambre photométrique, le circuit total ayant une longueur de 7^{km}.

Les données électriques ont été facilement déterminées, mais la lampe mise en expérience a été très irrégulière; il a fallu y changer plusieurs fois la glycérine et les charbons, et cet accident qui, ainsi que nous l'avons vérifié, était tout local et ne se répercutait pas sur les lampes de l'Opéra, nous a obligés à interpréter cette expérience à l'aide des mesures de l'intensité lumineuse prises le 16 novembre, les lampes étant absolument les mêmes dans les deux cas, et l'observation du potentiel n'ayant non plus décelé aucune différence. Comme on le voit par le Tableau, la dépense de travail électrique par unité de carcel est restée un peu plus grande que dans l'éclairage du Palais de l'Exposition; mais cette augmentation est, en réalité, bien peu considérable.

Tableau des expériences sur les *mœurs* lampes à courant continu.

RÉSUMÉ SUR LES LAMPES A ARC VOLTAIQUE A COURANT CONTINU.

Afin de rendre la comparaison facile entre les différentes expériences, nous en avons réuni les principaux résultats, dans un Tableau d'ensemble, dont nous avons écarté toutes les indications de moindre intérêt, avant d'en déduire aucune conclusion.

Nous ne saurions apporter trop d'insistance à faire remarquer qu'il ne s'agit pas ici d'établir la supériorité de tel ou tel système; une pareille comparaison ne pourrait résulter que d'un très grand nombre de déterminations, assez variées, à l'égard de chacun d'eux, pour établir avec certitude les conditions qui produisent le maximum d'effet. Ici nous avons accepté les conditions qui nous étaient offertes par chaque exposant et nous ne pouvons avoir d'autre but que celui de faire connaître, d'une manière un peu moins incertaine qu'avant cet examen comparatif, les données habituelles de la pratique.

Les colonnes relatives aux divers rendements présentent, surtout à ce point de vue, un sérieux intérêt.

On remarque, à première vue, que le rendement mécanique total a une valeur extrêmement élevée, ce qui indique que les courants développés sont très bien recueillis dans toutes les machines actuelles; les petites pertes de travail ainsi constatées s'expliquent d'elles-mêmes comme résultant des résistances mécaniques passives des différents modes d'installations et de la présence des armatures de fer doux.

Quant à ce travail, il est également représenté d'une manière intégrale par le travail des arcs et par celui des résistances; le premier seul est utilisé dans l'arc voltaïque sous forme de chaleur et de lumière; l'autre est toujours perdu en chaleur disséminée dans les différentes parties de la canalisation.

Le travail des arcs paraît un peu plus favorable par rapport au travail mécanique total pour les machines à grandes résistances, destinées le plus ordinairement à desservir un grand nombre de foyers, et c'est pour celles-là surtout que le travail électrique est le mieux utilisé; le rendement électrique des arcs peut ainsi varier du simple au double et même au delà.

Le nombre de carcels produit par chaque cheval électrique dépensé dans les arcs diminue d'une façon régulière, à mesure que les foyers deviennent d'une moindre intensité lumineuse.

Comparaison des rendements moyens des machines à courant continu suivant l'intensité des foyers lumineux.

INDICATIONS.	FORMULES.	RENDEMENT MOYEN.			
		x lampe.	2 à 5 lampes.	10 à 40 lampes.	général.
Rendement mécanique total.....	$\frac{T'}{T}$	0,91	0,86	0,81	0,87
Id id des arcs....	$\frac{t}{T}$	0,47	0,59	0,71	0,59
Id électrique des arcs....	$\frac{t}{T'}$	0,53	0,70	0,84	0,69
Carcels par cheval mécanique....	$\frac{L}{T}$	55	60	50	55
Id id électrique.	$\frac{L}{T'}$	61	72	59	64
Id id d'arc....	$\frac{L}{t}$	113	102	71	95
Carcels par ampère.....	$\frac{l}{I}$	8,1	6,6	3,8	6,2

S'il était permis de tirer des détails du Tableau précédent quelques conclusions plus précises relativement à l'intensité des courants des lampes actionnées par une même machine génératrice, il y aurait lieu de reproduire

ces résultats sous une forme différente et plus résumée, qui, pour un rendement mécanique peu différent, fait ressortir, pour les grands foyers, un avantage notable en ce qui concerne l'intensité lumineuse par cheval d'arc et par ampère.

Quant au rendement mécanique total, il ne dépend absolument que de certaines conditions locales, et il ne saurait, en aucune façon, être influencé par la nature des lampes employées.

MACHINES ET RÉGULATEURS A COURANTS ALTERNATIFS.

Les expériences ont porté seulement sur trois systèmes d'éclairage, dans lesquels on employait, avec des arcs voltaïques, des machines à courants alternatifs.

Dans deux de ces expériences, on s'est servi de la machine magnéto-électrique de M. Méritens, avec une lampe de phare ou avec cinq foyers Berjot; dans la troisième, d'une machine dynamo-électrique Siemens et d'une machine excitatrice distincte, avec douze lampes Siemens.

Pour l'interprétation des données de ces expériences, on a appliqué aux courants alternatifs les mêmes méthodes de calcul que pour les courants continus. La concordance entre les deux séries de rendements est tout à fait probante au point de vue de l'identité des résultats; cette identité justifie pleinement l'exactitude de la méthode.

14. Machine Méritens, alimentant une lampe Serrin, pour phare.

Cette expérience n'est complète qu'au point de vue de la mesure du travail dépensé et des résultats photométriques. La machine était montée d'une façon particulière: quatre groupes de quatre bobines accouplées en tension étaient réunis en quantité sur chacun des disques et se

trouvaient ensuite associés sur le circuit unique de la lampe; par suite de ce mode de groupement, la résistance de la machine était extrêmement faible, $0^{ohm},036$. Aucune discussion des conditions électriques n'a pu être tentée sur l'expérience ainsi faite.

Le travail mécanique dépensé par la machine et par la transmission a été mesuré à l'aide d'excellents diagrammes; l'intensité photométrique a été observée dans la direction horizontale seulement, et, conformément aux résultats des diverses séries d'expériences faites antérieurement sur les régulateurs de même système, alimentés par les machines de la Compagnie de l'Alliance, on a dû réduire le chiffre obtenu par le coefficient 0,9 pour en déduire l'intensité moyenne sphérique.

15. Machine Méritens alimentant cinq foyers Berjot.

La même machine, montée sur cinq circuits différents (quatre groupes de quatre bobines en tension, réunis en quantité sur chacun d'eux), a été employée à faire fonctionner isolément cinq foyers Berjot, dont un dans la chambre d'expérience; la première détermination photométrique a été obtenue en présence d'une résistance supplémentaire, introduite dans le courant de cette lampe, les quatre autres restant complètement libres; puis, par une observation spéciale, on a déterminé l'intensité photométrique à laquelle la lumière s'est élevée après la suppression de cette résistance.

Le travail mécanique étant resté le même dans les deux circonstances, on a dû le considérer comme correspondant à la production de quatre lumières de la plus grande intensité, et d'une lumière de l'intensité moindre. Quant aux données électriques, elles sont toutes relatives aux observations faites avec la résistance supplémentaire.

16. Machine Siemens alimentant douze foyers Siemens.

Cette expérience est une de celles qui présentent le plus d'incertitudes, par suite d'un fonctionnement dont la régularité laissait beaucoup à désirer.

La machine à lumière était du type W. 2, avec électro-aimants garnis de fil de 3^{mm},5 et bobine garnie de fil de 2^{mm},5 seulement.

La machine excitatrice, distincte, qui actionnait la précédente était du type D. 6; fil de même diamètre aux électro-aimants, et de 2^{mm} seulement à la bobine.

Le travail moteur a été mesuré directement pour chaque machine au moyen d'un dynamomètre Hefner-Alteneck, interposé sur le cours de la courroie; deux observateurs devaient ainsi être préposés, en même temps, pour régler le jeu de ces instruments.

L'une des courroies fonctionnait mal et elle est même tombée à diverses reprises.

La machine alimentait trois circuits, chargés de quatre lampes chacun, et les observations photométriques ont porté sur le groupe des lumières d'un de ces circuits; les quatre lampes étaient allumées ensemble devant le photomètre.

Après une assez longue période d'observations, on s'est décidé à ralentir un peu les vitesses des machines; le résultat photométrique a été plus favorable, et il nous a semblé que ces chiffres, meilleurs, étaient ceux qu'il convenait de mettre plus spécialement en regard des déterminations électriques et photométriques.

Machines et régulateurs à courants alternatifs.

INDICATIONS.	FORMULES.	XIV. MÉRITENS. 1 Lampe Serrin des phares.	XV. MÉRITENS. 5 Lampes Berjot.	XVI. SIEMENS. 12 Lampes en 3 circuits.
<i>Observations mécaniques.</i>				
Vitesse de l'excitatrice.....	"	0	0	1230
Vitesse de la machine à lumière ...	"	870	874	620
Travail dépensé par l'excitatrice en chevaux.....	"	0	0	2,60
Travail dépensé par la machine à lumière.....	"	11,70	12,28	13,79
Travail moteur total.....	T chevaux.	11,70	12,28	16,39
Travail à circuit ouvert	"	"	4,55	"
<i>Observations électriques.</i>				
Résistance de l'excitatrice et de l'inducteur.....	r ohms.	"	"	3,25
Résistance d'un disque ou d'un segment de la machine à lumière.	"	0,036	0,18	4,00
Id. du 1 ^{er} circuit.....	"	"	0,41	0,62
Résistance totale du segment de machine et du circuit..	R	"	0,59	4,62
Résistance des autres circuits.....	R'	"	0,72	8,00
Intensité du courant inducteur.	i ampères.	0	0	16,00
Intensité du courant induit du 1 ^{er} circuit.....	I	"	32,6	12,8
Intensité du courant induit des autres circuits	I'	"	35,8	12,8
Chute de potentiel dans l'arc....	"	"	36	55,2
Travail de l'arc du 1 ^{er} circuit en chev.	"	"	1,56	3,77
Travail de l'arc de chacun des autres circuits.....	"	"	1,71	3,77
<i>Calculs électriques.</i>				
Travail de l'excitatrice.....	$\frac{rI^2}{75g}$	0	0	1,13
Travail du 1 ^{er} circuit	$\frac{R.I^2}{75g}$	"	0,85	1,03
Travail des autres circuits.....	$\frac{R'I'^2}{75g}$	"	1,25	1,79
Travail total des arcs d'après les mesures directes	t	"	8,40	11,31
Travail électrique total.....	T' chevaux.	"	10,50	15,26

Machines et régulateurs à courants alternatifs. (Suite.)

INDICATIONS.	FORMULES.	XIV. MÉRITENS. I	XV. MÉRITENS. 5 Lampes Berjot.	XVI. SIEMENS. 16 Lampes en 3 circuits.
		Lampe Serrin des phares.		
<i>Observations photométriques.</i>				
Diamètre des charbons.....	"	23	20	10
Intensité horizontale.....	carcels.	1034	130 et 171	44
Intensité moyenne sphérique	I	931	117 et 154	39
Intensité totale sphér. (117+4×154).	L	931	733	468
<i>Rendements.</i>				
Rendement mécanique total	$\frac{T'}{T}$	"	0,85	0,93
Rendement mécanique des arcs.....	$\frac{t}{T}$	"	0,68	0,69
Rendement électrique des arcs.....	$\frac{t}{T''}$	"	0,80	0,74
Carcels par cheval mécanique	$\frac{L}{T}$	79,6	59,7	33,3
Carcels par cheval électrique.....	$\frac{L}{T'}$	"	69,9	33,3
Carcels par cheval d'arc.....	$\frac{L}{t}$	"	87,3	41,4
Carcels par ampères.....	$\frac{L}{I}$	"	3,59	3,66

Nous n'avons, en résumé, que trois expériences distinctes, très peu comparables entre elles, et dont l'une n'est même caractérisée par aucune donnée électrique.

Pour les deux autres, les rendements sont presque identiques, bien que les intensités photométriques par cheval soient elles-mêmes très différentes; mais cette différence s'explique en ce que la lumière est répartie respectivement dans des foyers d'intensités très différentes.

On remarque encore que le nombre des carcels par cheval mécanique va toujours en diminuant à mesure que l'intensité des foyers diminue.

EXPÉRIENCES SUR LES BOUGIES ÉLECTRIQUES.

Depuis les premiers essais de M. Jablochkoff, on a désigné sous le nom de *bougies* les appareils d'éclairage électrique dont les charbons restent constamment placés à la même distance l'un de l'autre et qui, pour que ce résultat puisse être réalisé, se consument d'une manière identique, sous l'influence d'un courant alternatif.

Les bougies Jablochkoff sont, comme on le sait, formées de deux charbons maintenus parallèlement, et à une petite distance l'un de l'autre, par une sorte de cloison en plâtre qui se détruit au fur et à mesure de l'usé même de ces charbons.

Les bougies Debrun peuvent aussi brûler dans une situation verticale inverse et les bougies Jamin se consument toujours par leur extrémité inférieure, ce qui donne à la lumière produite une plus grande efficacité, sous le rapport de l'intensité de l'éclairage réparti au-dessous de l'appareil.

17. Machine Debrun alimentant sept bougies Debrun.

La machine de M. Debrun n'est autre que celle de Gramme, telle qu'elle est construite pour alimenter huit bougies Jablochkoff, mais avec excitatrice montée sur le même arbre; fil fin de 1^{mm},4. Elle était disposée pour alimenter deux courants dont l'un fonctionnait seul dans l'expérience; c'était là évidemment une cause d'infériorité dont il ne nous a pas été possible de tenir compte, mais qui est d'ailleurs tout entière du fait de M. Debrun. Elle explique l'impossibilité dans laquelle nous nous sommes trouvés d'indiquer un rendement mécanique, même approximatif.

Les expériences ont été faites sur sept bougies entretenues par la même machine; le fonctionnement n'a pas été

très régulier et c'est à cette circonstance qu'il faut attribuer l'absence de quelques-unes des données fondamentales, au point de vue électrique. La force électromotrice a varié dans une très grande proportion, de 40 à 60 volts, et les calculs auraient dû être faits avec un potentiel moyen dont la mesure laisse certainement à désirer sous le rapport de l'exactitude. Plusieurs déterminations photométriques ont été obtenues sur la lampe retournée, c'est-à-dire avec charbons brûlant par leur extrémité inférieure; elles n'ont indiqué qu'une intensité horizontale de 23,9 carcel's, avec réduction aux trois quarts de sa valeur primitive.

18. Machine Gramme alimentant vingt bougies Jablochkoff.

La machine Gramme employée dans cette expérience était construite pour courants alternatifs et divisée en quatre circuits, sur chacun desquels on a placé cinq bougies Jablochkoff.

Le travail moteur qu'elle a dépensé a été mesuré à deux reprises avec des résultats absolument identiques; on a quelquefois superposé vingt tracés à l'indicateur sans y pouvoir distinguer le moindre dédoublement des traits du crayon.

Les mesures du travail ont été très variées :

Machine complète, alimentant vingt bougies.

Travail total dépensé, en chevaux.....	15,22
Transmission seule.....	2,33
Travail moteur effectif pour vingt bougies.....	12,89
Travail moteur effectif pour seize bougies. 13,69 — 2,33 =	11,36
Machine fonctionnant à circuit ouvert.....	1,78
Machine à lumière, à circuit ouvert, et machine excitatrice, à circuit fermé, déduction faite du travail de la transmission.....	3,06
Travail dépensé par la machine excitatrice seule.....	1,28

On doit faire remarquer que, dans les deux circonstances principales, le travail moteur a varié proportionnellement au nombre des bougies, dont l'intensité individuelle était en même temps restée la même.

Les déterminations photométriques, très nombreuses et très concordantes, ont été faites sur les bougies vues de face et de champ, ainsi qu'à 45° au-dessus et au-dessous de l'horizon.

Une expérience tentée en intercalant une résistance dans le circuit de l'excitatrice n'a pas fourni de résultats qui permettent de la calculer.

**19. Machine Méritens alimentant vingt-cinq bougies
Jablochkoff.**

La machine Méritens, avec ses cinq disques dont les seize bobines étaient montées isolément en tension, a été employée dans cette expérience à faire fonctionner respectivement, sur chacun de ses cinq circuits, cinq bougies Jablochkoff.

Le 8 novembre, l'intensité photométrique a été déterminée sur une bougie seulement vue de face, horizontalement, puis à 45° et 60° au-dessus et au-dessous de l'horizon.

Le 19 novembre, les mesures ont été prises sur un groupe de cinq bougies dans les mêmes conditions, mais seulement dans la direction horizontale.

Les observations électriques ont présenté une grande régularité et tous les nombres ont été exclusivement calculés avec les éléments recueillis simultanément le 19 novembre.

20. Machine Jamin alimentant trente-deux, quarante-huit et soixante bougies Jamin.

La machine dont se servait M. Jamin à l'Exposition est une modification du type Gramme, avec auto-excitatrice,

dans laquelle il a employé des fils plus fins ; il l'a en outre dégagée de manière à en assurer plus efficacement le refroidissement, au moyen d'un moulinet à ailettes, et il l'a fait marcher avec une vitesse notablement plus grande.

Quant aux appareils d'éclairage, ils se distinguent surtout par la présence du cadre qui sert de conducteur, et qui exerce une grande influence sur le rallumage.

Les bougies sur lesquelles nous avons opéré étaient celles qui étaient disposées en cordon horizontal au-dessus de l'installation de M. Méritens, et qui correspondaient à quatre circuits distincts, dans l'un desquels seulement une résistance avait été introduite pour arriver à la détermination des données électriques.

Un premier essai, en date du 22 octobre, était entaché d'incertitudes résultant de glissements de courroies, et il nous a paru plus convenable de ne nous occuper ici que des essais du 25, qui forment ensemble une série très concordante, dans laquelle on a pu faire varier le nombre des lampes, en deçà et au delà de celui qui paraît correspondre au maximum d'effet utile ; c'est à ce même nombre de lampes qu'a correspondu également la plus grande fixité dans toutes les observations.

L'expérience sur trente-deux lampes a été répétée une seconde fois pour que les éléments de comparaison fussent établis avec une entière sécurité, et c'est la moyenne des deux séries concordantes qui a été seule inscrite dans le Tableau.

Toutes les observations électriques ont été faites à des intervalles très rapprochés et présentent ainsi un grand caractère d'exactitude. Les observations photométriques, effectuées sur une lampe seulement, n'ont eu lieu que dans la direction horizontale.

La comparaison entre les résultats des trois séries de déterminations fait ressortir nettement l'influence du circuit extérieur.

Tаблица des expériences sur les bougies électriques.

INDICATIONS.	FORMULES.	XVII.	XVIII.	XIX.	XX.
		DERRUN. 7 bougies.	JABLONKOFF. avec machine Gramme. 20 bougies.	JABLONKOFF. avec machine Gramme. 25 bougies.	JAMIN.
<i>Observations mécaniques.</i>					
Vitesse de la machine à lumière.....					
Travail moteur total.....	2237	1206	861	21,55	21,49
Travail à circuit ouvert.....	13,83	12,89	6,95	26,00	23,90
	o	1,78	6,05	1,83	1,83
	"				
<i>Observations électriques.</i>					
Résistance de l'excitatrice et de l'inducteur..	r ohms	0,31	"	0,50	0,50
Résistance du premier circuit.....	R	4,8	3,90	12,7	12,7
Résistance des autres circuits.....	R'	11,2	14,90	34,5	34,5
Intensité du courant inducteur.....	"	53,3	"	25	25
Intensité du courant produisant la lumière ..	I	10,0	7,5	6,1	5,5
Différence de potentiel à la lampe.....	R volts	50	43	77	69
<i>Calculs électriques.</i>					
Travail de l'excitatrice, en kilogrammètres...	$\frac{R^2}{G}$	"	"	32	32
Travail du premier circuit	$\frac{R^2}{G}$	27,54	28,74	48,2	33,7
Travail des autres circuits.....	$\frac{R'^2}{G}$	"	114,22	130,9	91,5
Travail de l'are (observé) en kilogrammètres.	G	65,0	32,5	47,0	35,7
Travail de l'are (calculé)	EI	"	32,9	47,9	35,9
Travail de l'are (moyenne).....	G	"	32,7	47,5	35,8
	α				

Tableau des expériences sur les bougies électriques. (Suite.)

INDICATIONS.	FORMULES.	XVII. DEBRUS. 7 bougies.	XVIII. TABLOCHOFF JABLOCKOFF avec machine à Granine. 25 bougies.	XIX. TABLOCHOFF JABLOCKOFF avec machine à Mérimes. 25 bougies.	XX. JAMIN.
		32 bougies.	48 bougies.	60 bougies.	60 bougies.
Travail des arcs, en chevaux.	$t = \frac{na}{T^2}$	6,07 σ	8,72 11,15	11,47 13,0	20,27 23,09
Travail électrique total	T'				22,91 25,01
<i>Observations photométriques.</i>					20,64 21,85
Intensité lumineuse, horizontale, de face.	carcels ℓ	37,6 27,4 192	27,7 20,3 104	32,5 23,7 592	23,09 17,4 82,5
Intensité lumineuse, moyenne sphérique.	$L = n\ell$				12,9 9,4 56,1
Intensité totale, moyenne sphérique					
<i>Rendements.</i>					
Rendement mécanique total.	$\frac{T'}{T}$		0,87	0,76	0,96
Rendement mécanique des arcs.	$\frac{\ell}{T}$	0,44 σ	0,68	0,67	0,88
Rendement électrique des arcs	$\frac{\ell}{T'}$		0,78	0,87	0,92
Carcels par cheval mécanique.	$\frac{L}{T}$	13,9	31,3	34,8	32,0
Carcels par cheval électrique.	$\frac{L}{T'}$	σ	36,2	45,6	22,2
Carcels par cheval d'arc.	$\frac{L}{T}$	31,6	46,3	51,6	25,3
Carcels par ampère.	$\frac{L}{A}$	2,74	2,69	2,79	2,62

Avant d'être résolu, par les lampes à incandescence, pour des intensités lumineuses beaucoup plus petites, le problème de la division des foyers électriques avait déjà reçu une très heureuse consécration par l'emploi des bougies Jablochkoff et de celles qui ont pris depuis lors une certaine place dans la pratique.

Il est vraiment curieux de constater que les différents systèmes produisent des résultats économiques presque identiques, sous le rapport du nombre des carcelis fournis par cheval mécanique.

Dans ses meilleures conditions, la bougie de M. Jamin donne une somme de lumière beaucoup plus grande, sans que pour cela la dépense s'écarte de la proportionnalité commune, si ce n'est dans le cas de 48 bougies, qui est de beaucoup le plus favorable. Mais si on examine les rendements en carcel par cheval électrique, on voit que, suivant la règle générale, ils sont d'autant meilleurs que l'intensité individuelle est plus grande.

La presque identité des rendements par cheval mécanique entre les expériences Méritens et Jamin est due à ce que la première machine, dans ces conditions de fonctionnement, avait un rendement électrique de 0,76 seulement.

L'allumage automatique de ces bougies constitue pour ce système d'éclairage le progrès le plus notable.

EXPÉRIENCES SUR LES LAMPES A INCANDESCENCE.

Les lampes à incandescence ont fait connaître à l'Exposition un mode d'éclairage relativement nouveau et se prêtant à un fonctionnement tel de la lumière électrique qu'elle se trouve de tous points comparable aux lumières de nos lampes habituelles, à l'huile ou au gaz. Le principe est, dans toutes ces lampes nouvelles, le même : l'illumination dans le vide d'un filament de charbon, par le

passage d'un courant électrique de faible intensité, qui trouve à ce passage une très grande résistance.

Ces sortes de lampes ne fournissent pas utilement beaucoup plus de deux carcelles, et, lorsqu'elles sont surmenées, elles donnent lieu à un développement de vapeurs qui salissent le verre et mettent rapidement le petit appareil hors de service. En deçà de cette limite, au contraire, le bon fonctionnement paraît être de longue durée et fournit une lumière peu fatigante et très agréable.

En dehors des déterminations méthodiques qui ont été obtenues, sur les lampes à incandescence, par les soins de plusieurs de nos collègues, spécialement chargés de leur étude, nous avons rencontré, dans le cours de nos essais, quelques données assez utiles sur ces sortes de lampes pour que nous ayons cru devoir les consigner dans un Tableau analogue à ceux qui ont été consacrés aux autres modes d'éclairage électrique.

Cependant ces données sont loin d'être complètes, en ce que le travail mécanique n'a été vraiment mesuré, en regard des autres éléments, que pour les lampes Maxim et les lampes Edison. Cette détermination n'a pu être obtenue pour les lampes Swan, et, en ce qui concerne les lampes Lane-Fox, elle ne résulte que d'un seul essai dynamométrique, absolument secondaire, qui n'a été accompagné d'aucune mesure photométrique.

Nous sommes bien mieux fixés sur les mesures électriques par rapport aux intensités lumineuses, parce que, dans nos essais du 18 novembre, un même courant, dérivé du circuit de la machine Edison, nous a servi à entretenir, dans diverses conditions, les lampes Edison, Lane-Fox et Swan, et que, d'un autre côté, nos données étaient tout à fait complètes, dans les essais du 11 novembre, sur les lampes Maxim.

On comprend dès lors que, la comparaison entre les mesures électriques et les intensités lumineuses consti-

tuant la partie principale de notre examen, ce soit à cette comparaison que nous rattachions toutes les autres observations, qui en formeront ainsi une sorte d'annexe dans la discussion générale.

21. Lampes Maxim.

L'expérience sur les lampes Maxim a été faite en mettant en mouvement, par le moteur Olry et Grandemange, une machine à courant continu de Weston et une excitatrice Maxim.

Le travail mécanique a été évalué en relevant, à l'indicateur, 49 diagrammes, dont le calcul final a été corrigé, par le coefficient habituel de réduction, 0,85.

Après un essai d'éclairage avec cent lampes, on a modifié les conditions du fonctionnement de l'excitatrice de manière à réduire le courant à ce qui était nécessaire pour cinquante et pour vingt-cinq lampes successivement.

Toutefois le courant était, dans ces nouvelles conditions, beaucoup moins bien approprié que dans le premier essai. Avec vingt-cinq lampes, les courants des deux machines se faisaient remarquer par une suite d'oscillations régulières, se produisant cinq à six fois par minute et laissant par conséquent les évaluations électriques fort incertaines. On trouvera ci-après tous les chiffres recueillis. C'est sur la lampe Maxim que les essais photométriques ont été le plus multipliés : on a d'abord mesuré le pouvoir éclairant de quatre lampes vues de face, puis de profil et à 45° ; on a ensuite varié l'inclinaison de manière à déterminer la moyenne sphérique qui a seule servi pour les calculs.

Cette moyenne sphérique représente suivant les lampes, conformément aux indications du Tableau X, de 0,58 à 0,98 de l'intensité horizontale de face, que nous avons jusqu'à présent prise pour unité, et 0,80, en moyenne de

l'intensité horizontale à 45°, qui ne s'élève, d'après l'expérience, qu'à 0,98 de l'intensité de face.

A la suite des déterminations principales, on s'est rendu compte, dans les mêmes conditions, du travail dépensé par : 1^o les machines à lumière avec circuit ouvert, et les machines excitatrices, avec circuit fermé, 9^{chx}, 42; 2^o les deux machines, avec circuit ouvert, 3^{chx}, 27.

Ces deux évaluations, comme l'ont été les précédentes, devront être corrigées du travail à vide de la première transmission.

Il faut encore rapprocher ces expériences sur la lampe Maxim de celles qui ont été la conséquence des déterminations faites sur la pile secondaire de M. Faure. On pourrait y trouver des chiffres plus variés, mais nous nous contenterons de faire le calcul du travail électrique de ces lampes dans les conditions voisines des plus extrêmes.

22. Lampes Édison.

Les lampes Edison, expérimentées avec le plus grand soin par une Sous-Commission spéciale, n'avaient été soumises à aucun essai d'ensemble, lorsque nous obtîmes des représentants de l'illustre inventeur l'autorisation d'essayer quatre ou huit de ces lampes sur un groupe de vingt, dans notre chambre photométrique, au moyen d'un courant dérivé au pied de la grande machine dynamo-électrique elle-même qui desservait une grande partie des lampes Edison de l'Exposition.

Dans la soirée du 18 novembre, nous avons pu relever sur la machine motrice un très grand nombre de diagrammes, et connaître ainsi la puissance en chevaux employée pour le fonctionnement de quatre cent quatre-vingt-six lampes grand modèle et de quatre-vingt-quatre lampes petit modèle, soit, en estimant les dernières à la moitié des autres, pour un éclairage total de cinq cent vingt-huit lampes dites de seize bougies, du type le plus

ordinaire, celui-là même qui avait été expérimenté par la Sous-Commission.

On sait qu'Edison, par suite d'un accident de route, avait été obligé de remplacer tardivement la machine qu'il avait envoyée à l'Exposition; cette machine, remarquable par la solidarité établie entre le cylindre à vapeur et les bobines induites, évitait toute transmission par courroies, et les bobines elles-mêmes, étant placées à une grande distance de l'axe de rotation, n'exigeaient plus un aussi grand nombre de révolutions par minute, au grand avantage assurément de l'amoindrissement des résistances passives. C'est ainsi que la machine génératrice, fonctionnant seulement à raison de 282 tours par minute, répondait facilement aux exigences de cet éclairage important. Nous n'avons pas ici à décrire toutes les précautions prises pour assurer le meilleur graissage de toutes les parties frottantes; mais il n'est pas hors de propos d'indiquer combien cet ensemble répondait, à tous les points de vue, aux conditions d'une bonne utilisation. On en peut juger par cette circonstance que la machine motrice, qui dépensait 68^{ehx}, 74 quand le circuit était fermé, se trouvait réduite à 6^{ehx}, 04 lorsqu'elle fonctionnait à circuit ouvert.

Quoique le travail moteur ait été donné par le relevé de cent douze diagrammes, pris pour moitié sur chacune des chambres de la machine, il ne faudrait pas attacher cependant la même confiance à la détermination mécanique faite sur l'ensemble de l'éclairage qu'aux évaluations électriques et photométriques, qui ne portaient que sur quelques lampes.

Les observations photométriques ne comprenaient d'abord que la détermination de l'intensité horizontale de face; mais on a pu calculer, d'après les projections dans les diverses positions, les autres intensités, et les résultats ainsi obtenus ont été plus tard corroborés par nos propres

expériences et par celles aussi auxquelles M. le professeur Hagenbach, de Bâle, a bien voulu se livrer à notre sollicitation. En prenant l'intensité horizontale de face pour unité, la moyenne sphérique doit être estimée à 0,98. Si l'on prenait, au contraire, pour unité l'intensité horizontale à 45° (qui vaut 1,33 par rapport à l'unité précédente), la moyenne sphérique devrait être estimée seulement à $0,98 : 1,33 = 0,74$.

Dans le cours de notre examen sur les machines Ducommun, nous avons eu en outre l'occasion d'observer l'éclairage obtenu par quarante-cinq lampes Edison petit modèle, qui ont consommé un travail total, mesuré avec le dynamomètre de M. Von Alteneck, de 435^{kgm} . Cela conduirait à $9^{\text{kgm}},67$ par lampe de petit modèle, alors que la grande expérience indiquerait seulement $9^{\text{kgm}},76$ de travail moteur par lampe de seize bougies.

23. Lampes Lane-Fox.

Les lampes Lane-Fox ont remplacé les précédentes sur le courant dérivé de la machine Edison, mais leur nombre avait changé (six au lieu de quatre) dans la chambre photométrique. Les deux déterminations électriques ont été accompagnées d'observations photométriques, soit sur ces six lampes, soit sur quatre d'entre elles, placées de face seulement.

Toutes les observations photométriques, faites exclusivement de face, doivent, eu égard aux dimensions des fils de ces lampes, être réduites à 0,58 pour indiquer la valeur de l'intensité sphérique moyenne. Cette intensité sphérique moyenne représente en même temps 0,69 de l'intensité horizontale à 45° .

Quatre-vingt-seize lampes Lane-Fox, dites de douze bougies, avaient été comprises, dans l'expérience du 6 octobre, sur les machines Brush; mais on n'a point à leur sujet d'autre détermination que celle du travail mécanique

brut : 1426^{kgm} pour quatre-vingt-seize lampes, soit $14^{\text{kgm}},86$ par lampe, alors que les essais dont nous venons de rendre compte indiquent seulement $8^{\text{kgm}},95$ de travail électrique dans la lampe elle-même.

24. Lampes Swan.

Le matériel de M. Swan étant en partie employé à l'Opéra au moment où nous avons terminé l'étude de l'éclairage à l'incandescence, nous n'avons pu obtenir, dans son exposition, que le nombre de lampes nécessaire pour en faire l'essai, à l'aide du courant d'Edison, dans les mêmes conditions que pour les lumières Lane-Fox.

Seize lampes ont été entretenues en fonction par ce moyen, et quatre d'entre elles ont été soumises, de face, aux mêmes épreuves photométriques que les précédentes ; les intensités observées doivent être soumises aux mêmes coefficients.

Nous n'avons ainsi d'autre estimation du travail dépendant qu'en ce qui concerne le travail électrique seulement de la lampe, rapporté à l'intensité moyenne sphérique.

Tableau des expériences sur les lampes à incandescence.

INDICATIONS.	FORMULES.	XXI.		XXII. EBISON. $n = 538$	XXIII. LANGE-PONX. $n = 6$	XXIV. LWAN. $n = 4$
		$n = 100$	MAXIM. Nombre de lampes $n = 50$			
<i>Observations mécaniques.</i>						
Vitesse de la machine à lumière.....		984	1021	1027	282	"
Travail effectif.....	par minute. T chevaux	23,00	17,12	9,15	68,74	"
<i>Observations électriques.</i>						
Résistance de l'excitatrice et de l'inducteur.....	r' ohms	1,75	1,75	"	"	"
Résistance de la machine à lumière	r	0,05	0,05	"	"	"
Resistance d'une lampe.....	R	47,2	42,8	130,0	28,0	31,1
Intensité du courant inducteur.....	I	3,2	3,2	"	"	"
Intensité totale du courant à lumière.....	I	1,42	87	50	37,0	"
Intensité du courant par lampe.....	$i = \frac{I}{n}$	1,42	1,74	2,00	0,70	1,55
Différence de potentiel aux bornes d'une lampe	$E = R i_{\text{volts}}$	67	75	82	91	50
<i>Calculs électriques.</i>						
Travail de l'excitatrice.....	$\frac{r' I^2}{75 g}$	2,44	2,44	"	"	"
Travail de la machine à lumière.....	$\frac{r I^2}{75 g}$	1,37	0,52	0,17	"	"
Travail d'une lampe en kilogrammètres.....	$\theta = \frac{R i^2}{g}$	9,71	13,22	16,73	6,50	8,95

Tаблица всех опыта на лампы в искандесценции. (Suite.)

INDICATIONS.	FORMULES.	XXI.		XXII.		XXIV.	
		n = 100	MAXIM. Nombre des lampes n = 50	n = 25	EDISON. n = 58	LANE-FOX n = 6	SWAN. n = 4
Travail total des lampes, en chevaux.....	$t = \frac{n R^2}{T \cdot \varrho}$	12,95	8,81	5,57	4,576	n	n
Travail électrique total.....	T'	16,76	11,77	8,18	n	n	n
<i>Observations photométriques.</i>							
Intensité lumineuse moyenne sphérique par lampe.....	L	1,44	2,80	3,77	1,57	2,19	2,19
Intensité lumineuse totale (moyenne sphériq.)	L = nL	1,44	1,40	94	8,9	n	n
<i>Rendements.</i>							
Rendement mécanique total.....	T'	0,73	0,69	0,90	n	n	n
Rendement mécanique des arcs.....	T	0,56	0,51	0,61	0,67	n	n
Rendement électrique des arcs.....	T	0,77	0,75	0,68	n	n	n
Carcels par cheval mécanique	L	6,26	8,18	1,2,73	1,2,66	n	n
Carcels par cheval électrique	L	8,59	11,89	11,49	n	n	n
Carcels par cheval d'arc.....	$\frac{L}{T} \text{ ou } \frac{75L}{\varrho}$	11,12	15,89	16,88	18,12	13,74	21,55
Carcels par ampère.....	$\frac{L}{I}$	1,91	1,61	1,89	2,24	0,93	1,41

Nous avons dit déjà que d'autres expériences plus méthodiques, et dans lesquelles on avait pour but de mesurer exactement les données électriques, avaient été faites, par une Sous-Commission spéciale, également sur les quatre systèmes de lampes à incandescence que nous venons de passer en revue.

Dans ces expériences, les intensités horizontales ont seules été prises pour types, sous un angle de 45°; elles ont, d'ailleurs, été rapportées à celles de la bougie de spermacéti, brûlant 7^{gr}, 80 par heure, et l'on sait qu'il faut 9,5 de ces bougies pour équivaloir à une carcel.

Nous mettons en regard, dans le Tableau suivant, les chiffres que nous avons obtenus, avec ceux de cette Commission, ramenés à l'intensité moyenne sphérique et à la lampe Carcel prise pour unité.

Comparaison entre les diverses séries d'expériences.

	LAMPE MAXIM.		LAMPE EDISON.		LAMPE LANE-FOX.		LAMPE SWAN.	
	Nos résultats.	Commission spéciale.	Nos résultats.	Commission spéciale.	Nos résultats.	Commission spéciale.	Nos résultats.	Commission spéciale.
		Commission spéciale.		Nos résultats.		Commission spéciale.		Commission spéciale.
Ohms	43	41	130	137	38	27	31	33
Volts	76	57	91	90	50	44	48	47
Ampères	1,74	1,38	0,72	0,65	1,77	1,59	1,55	1,47
Kilogrammétres	13,28	7,94	6,50	5,91	8,95	7,09	7,62	7,06
Intensité moyenne sphérique	2,80	1,25	1,57	1,36	1,61	1,16	2,19	1,16
Garcels par cheval d'arc	15,89	12,42	18,12	15,29	13,74	12,61	21,55	12,92

(¹) Les chiffres de cette colonne proviennent des expériences faites par la Commission spéciale sur des lampes dont l'intensité à 45° avait été portée à 32 bougies.

Quoique les deux séries d'expériences aient été faites dans un esprit et par des procédés entièrement différents, on remarquera combien les chiffres se rapprochent les uns des autres, de manière à caractériser nettement chacun des quatre systèmes de lampes par les données électriques qui leur conviennent.

Cette concordance paraîtra encore plus manifeste si l'on fait ressortir que l'effet utile devient de plus en plus favorable à mesure que l'on tend à produire une plus grande intensité photométrique. On en jugera surtout par les trois colonnes consacrées à la lampe Swan, qui passe ainsi, pour une intensité double, de 13 à 21 carcels par cheval d'arc.

D'une manière générale et pour l'intensité moyenne sphérique de 1,20 carcet, qui est tout à fait pratique, on ne peut compter que sur un éclairage effectif de 12 à 15 carcets par cheval d'arc, ou environ 10 carcets par cheval de travail mécanique, au moyen des lampes à incandescence.

OBSERVATIONS COMPARATIVES SUR LES DIFFÉRENTS SYSTÈMES
D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE.

Deux faits importants ressortent clairement de l'ensemble des résultats constatés :

1^o Toutes les machines dynamo-électriques utilisent d'une manière très favorable le travail mécanique dépensé, et, sous ce rapport, on peut admettre qu'il y a peu de différence entre elles et qu'on y retrouve pratiquement, sous forme d'énergie électrique, les neuf dixièmes environ du travail mécanique qui leur est transmis.

2^o Dans chacun des systèmes d'éclairage, l'utilisation du travail électrique s'élève rapidement avec l'intensité des foyers, et c'est sur cette donnée que la comparaison entre les divers systèmes devrait être basée.

Toutefois nos expériences, si nombreuses qu'elles soient, sont encore trop restreintes pour que ce mode

de comparaison ne nous fasse pas défaut, et nous avons dû nous borner à réunir dans le Tableau suivant, sans vouloir en tirer aucune conséquence systématique, les seuls rendements qu'il nous ait été donné d'observer.

Comparaison des rendements dans les quatre systèmes de lumière électrique.

INDICATIONS.	FORMULES.	COURANTS		BOUGIES.	INCANDÉSCENCE.
		continu.	alternatifs.		
Rendement mécanique total.....	$\frac{T'}{T}$	0,87	0,87	0,87	0,77
Id. id. des lampes..	$\frac{t}{T}$	0,5	0,67	0,78	0,59
Id. électrique des lampes.	$\frac{t}{T'}$	0,69	0,77	0,90	0,73
Careels par cheval mécanique...	$\frac{L}{T}$	54	70	28	7,5
Id. id. électrique..	$\frac{L}{T'}$	63	9	34	10,1
Id. id. d'arcs.....	$\frac{L}{t}$	93	87	37	13,0
Careels par ampère.....	$\frac{l}{I}$	6,0	3,6	2,8	1,2

Les chiffres que contient ce Tableau, tout en étant dépourvus du caractère de précision que nous aurions voulu leur donner, n'en donnent pas moins une notion très nette de la diminution très considérable de l'utilisation, lorsqu'on passe des régulateurs aux bougies et surtout des bougies aux lampes à incandescence.

Les bougies électriques fournissent 37 careels par cheval d'arc, les lampes à incandescence 13, les régulateurs à peu près 90 careels, en sorte que, d'une manière générale, on peut dire que les valeurs économiques des trois systèmes sont à peu près comme les nombres 1, 3 et 7,

étant, d'ailleurs, observé que, pour chacun des systèmes, les foyers les plus intenses sont toujours les plus favorables sous ce rapport.

III. — RAPPORT DE LA SOUS-COMMISSION SPÉCIALE DES LAMPES A INCANDESCENCE.

I. — DESCRIPTION DES LAMPES.

Les seules lampes qui, basées sur le principe de l'incandescence pure, se trouvaient à l'Exposition étaient celles d'Edison et de Maxim dans la section des États-Unis d'Amérique, celles de Swan et de Lane-Fox dans la section de la Grande-Bretagne. Le principe est essentiellement le même pour toutes ces lampes, les différences ne portant pour ainsi dire que sur des détails de construction. Elles sont toutes composées d'une enveloppe de verre, de forme plus ou moins sphérique, dans laquelle est enfermé un filament de charbon, préparé avec des matières carbonisées, d'origine organique, et fixé à des fils de platine scellés au verre. L'intérieur de la lampe est maintenu à l'état de vide parfait.

A. — *Lampe Edison.*

La lampe Edison a la forme d'une poire. Le filament de charbon, long et fin, est replié en forme d'U. On le fabrique avec un bambou du Japon, découpé, au moyen d'une matrice, à la dimension convenable. Sa section est presque carrée, d : 3^{mm} de côté, avec les extrémités beaucoup plus larges. La fibre est carbonisée dans un moule de nickel et se fixe ensuite aux fils conducteurs par un dépôt galvanique.

B. — *Lampe Swan.*

La lampe Swan est de forme globulaire, avec col allongé. Le filament de charbon est préparé avec du fil de coton,

préalablement parcheminé par l'action de l'acide sulfurique concentré. Les extrémités de ce filament sont beaucoup plus grosses et le fil lui-même forme une boucle au sommet. Dans les anciennes lampes le charbon avait une section circulaire, mais dans les dernières cette section se trouve aplatie. Les bouts sont emboités dans une paire de supports en métal retenus latéralement par une hampe de verre qui s'élève dans le col jusqu'à la naissance du globe. Ces supports sont fixés par dessous aux fils de platine qui traversent le verre.

C. — *Lampe Maxim.*

La lampe Maxim est également globulaire, mais son col est court. Une tige creuse en verre, qui s'élève dans ce col, est coiffée d'une chape d'émail bleu, au travers de laquelle passent les fils de platine qui soutiennent le charbon. Le filament est préparé avec du carton découpé, par un poinçon, sous la forme d'un M. Il résulte de ce procédé que la section transversale est rectangulaire et que sa largeur est plus que double de l'épaisseur. On carbonise le filament dans un moule traversé par un courant de gaz d'éclairage. Après cette carbonisation le filament est placé dans une atmosphère diluée de vapeur d'hydrocarbure, et chauffé par un courant électrique. La vapeur est décomposée, et son carbone se précipite sur le filament. De cette manière, on corrige non seulement les inégalités de ce filament, mais on rend sa résistance plus uniforme, et l'on peut même la modifier à volonté.

D. — *Lampe Lane-Fox.*

La lampe Lane-Fox est de forme ovoïde, avec une longueur de col comprise entre celles des deux précédentes. Le charbon a une section circulaire, et son contour est celui d'un fer à cheval. Il est préparé avec la racine de chiendent (*Triticum repens*). Après leur carbonisation,

les filaments sont classés d'après leur résistance, puis chauffés dans une atmosphère de gaz de houille qui donne lieu à un dépôt de charbon, analogue à celui dont il a été parlé dans la description précédente. Dans cette lampe les extrémités du filament de charbon passent dans deux douilles qui embrassent également les fils de platine auxquels ses deux extrémités sont retenues par une douille de charbon. Ceux-ci descendent, le long du col, dans des tubes encastrés dans un bouchon de verre. Immédiatement au-dessous des extrémités de ces tubes se trouvent deux ampoules contenant du mercure pour établir le contact entre les fils de platine soudés au verre à la partie supérieure et les conducteurs de cuivre qui y pénètrent par-dessous. Ces conducteurs sont maintenus en place par du plâtre qui remplit la base de la lampe.

II. — MODE D'OBSERVATION.

Il s'agissait seulement de déterminer le rendement des différentes lampes, rendement qui est mesuré par le rapport de l'énergie produite à l'énergie dépensée, c'est-à-dire la quantité de lumière fournie, pour chaque lampe par cheval dépensé en énergie électrique. Les données nécessaires à la détermination du rendement exigent que l'on connaisse la force électromotrice, la résistance des lampes amenées à leur état d'incandescence et leur intensité photométrique. C'étaient là les trois éléments à déterminer.

1. Force électromotrice.

La force électromotrice ou chute de potentiel dans la lampe a été déterminée par la méthode de Laws. Un condensateur approprié a été chargé par sa mise en communication avec un élément Daniell étalon, et déchargé ensuite au travers d'un galvanomètre à grande résistance, en notant la déviation de son aiguille. Ce condensateur a

été ensuite relié aux deux armatures d'une lampe et déchargé au travers du galvanomètre, de manière que au moyen d'une dérivation à résistance variable ou *shunt*, la déviation fut la même que précédemment. Pour un condensateur donné la charge est proportionnelle à la différence de potentiel des deux fils, et est mesurée par la déviation de l'aiguille du galvanomètre : cette dernière est donc proportionnelle à la force électromotrice cherchée, et si, comme dans ces sortes de calculs, on ramène toutes les déviations à la même unité par l'emploi d'un shunt, la force électromotrice sera proportionnelle au pouvoir multiplicateur.

2. Résistance.

La résistance de la lampe, amenée à son intensité normale, a été obtenue en plaçant cette lampe sur l'un des côtés d'un pont de Wheatstone, à travers lequel on faisait passer le courant principal. Le second et le quatrième côté sont formés de résistances fixes, de valeurs connues, et le troisième d'une résistance variable. Lorsque le pont est équilibré, le produit des deux résistances fixes, divisé par la résistance variable, donne la valeur de la résistance de la lampe pour chaque pouvoir éclairant, mesuré en nombre de bougies.

3. Intensité photométrique.

L'intensité photométrique de chaque lampe a été mesurée avec un photomètre de Bunsen. La lampe se plaçait à l'une des extrémités de l'instrument, et à l'autre extrémité deux bougies étalons presque sur la même ligne. Le plan du filament de charbon était incliné de 45° sur la direction de la règle et chaque lampe a été expérimentée pour les intensités de 16 et de 32 bougies.

III. — APPAREILS EMPLOYÉS.

1. Condensateur.

Le condensateur dont on s'est servi pour les mesures correspondait à un microfarad divisé en fractions de 0,4, 0,3, 0,2 et 0,1. Le diélectrique était du mica paraffiné; les garnitures de cuivre étaient posées sur de l'ébonite. L'instrument, construit par Latimer Clark, Muirhead et C^{ie}, de Londres, faisait partie de l'exposition de ces constructeurs.

2. Galvanomètre.

Le galvanomètre était du modèle astatique de Thomson, à double cadre, enfermé dans une boîte rectangulaire à faces de verre; sa résistance était de 6550 ohms, et il a été employé, à la manière ordinaire, avec une lampe fixe. Cet instrument sortait des ateliers de MM. Elliott frères, de Londres.

3. Étalon d'intensité.

Il consistait en un élément ordinaire de Daniell à lame de cuivre, immergée dans une solution saturée de sulfate de cuivre, contenue dans un vase poreux; l'autre compartiment était garni d'une lame de zinc amalgamé, plongeant dans une solution également saturée de sulfate de zinc pur. Cet étalon appartenait à une batterie de 10 éléments de l'exposition d'Edison.

4. Bobines de résistance.

a. Une série de résistances étalonnées mesurant de 1 à 5000 ohms; toutes les autres résistances dont on a eu à se servir leur ont été comparées chez L. Clark, Muirhead et C^{ie}, et faisaient partie de l'exposition de ces constructeurs.

b. Une série de bobines employées avec le pont de Wheatstone et comparées avec soin avec la série a; elles provenaient de l'exposition d'Edison.

5. Pont de Wheatstone.

Quatre fils conducteurs, à grande section, étaient disposés en losange. Le galvanomètre était placé entre les angles obtus, et les angles aigus étaient reliés aux deux conducteurs du courant général. Le premier côté du losange contenait la lampe à évaluer, installée sur le photomètre; le second côté présentait une résistance fixe de 5 ohms; le troisième, une résistance variable b , et le quatrième côté une résistance fixe de 950 ohms. Ce pont figurait à l'exposition d'Edison.

6. Photomètre.

Le photomètre dont on s'est servi était du système Bunsen, muni d'une double règle de 80 pouces de long, graduée en pouces et en bougies. Le disque en papier paraffiné présentait une tache au centre. Le cadre de ce disque était mobile, sur rouleaux, et muni de miroirs inclinés pour faciliter le réglage. Les bougies de spermacéti (blanc de baleine) étaient de la fabrication de Sugg, de Londres, et devaient consommer 120 grains ($7\frac{1}{2}$) par heure. L'appareil tout entier, qui appartenait aussi à l'exposition d'Edison, était recouvert d'un drap noir épais.

7. Machine dynamo-électrique.

Une machine Edison, à soixante lumières, fournissait le courant nécessaire. Dans cette machine les inducteurs, longs et lourds, sont disposés verticalement. Ils sont excités par un courant dérivé dont on règle l'intensité par l'introduction d'une résistance déterminée. L'enroulement de la bobine est semblable à celui de Siemens, bien qu'il en diffère par quelques détails. Sa résistance était seulement de 0^{ohm},03, et le courant, développé par une rotation de 900 tours par minute, correspondait à une force électro-

motrice de 110 volts. Cette machine était aussi exposée par Edison.

IV. — RÉSISTANCE DES LAMPES À FROID.

La résistance à froid des différentes lampes a été mesurée sur un pont de Wheatstone, à la manière ordinaire. Les lampes Edison ont été prises, au hasard, parmi celles dont on était approvisionné. Les lampes Swan nous ont été remises par M. Edmunds, les lampes Lane-Fox par M. Stewart, et les lampes Maxim par M. Dockwood. On avait ainsi 24 lampes de chaque espèce (15 seulement pour les Lane-Fox), parmi lesquelles on en a choisi 10. Les mesures pour les lampes Edison et Swan ont été prises par M. E.-G. Acheson, celles des lampes Lane-Fox et Maxim par M. Crookes, et voici les résultats obtenus :

Résistance des lampes à froid.

Numéros.	Edison.	Swan.	Lane-Fox.	Maxim.
1.....	237	74	53	73
2.....	233	50	56	84
3.....	268	54	56	76
4.....	260	73	56	74
5.....	251	55	54	74
6.....	228	72	50	71
7.....	227	39	53	68
8.....	249	67	52	63
9.....	219	55	57	65
10.....	237	52	63	73
Moyenne..	241	59	55	72

V. — MESURE DU RENDEMENT.

I. — Résultats des expériences.

A. — Lampe Edison.

Dans ces expériences on a employé la capacité entière du condensateur. Lorsqu'il a été chargé avec l'élément étalon, puis déchargé dans le galvanomètre non shunté,

on a obtenu une déviation de 310 divisions comme moyenne de dix opérations concordantes. Les lectures du photomètre ont été faites par M. Crookes, celles du pont de Wheatstone par le major R.-J. Armstrong, et celles du galvanomètre par le professeur G.-T. Barker.

A 16 BOUGIES.			
Numéros des lampes.	Lectures du photomètre.	Lectures du pont.	Lectures du galvano- mètre.
1.....	16-14,75	35-34,5	75
2.....	16-15	35,0	74
3.....	16	30,5	74
4.....	16	32,3	73
5.....	16-17	33,4	73
6.....	16-17,5	36,0	73
7.....	16-15	36,6	78
8.....	16	34,5	75
9.....	16-19	37,5	74
10.....	16	37,7	74

A 32 BOUGIES.			
Numéros des lampes.	Lectures du photomètre.	Lectures du pont.	Lectures du galvano- mètre.
1.....	32	37,2	66
2.....	32	37,2	65
3.....	32	32,2	66
4.....	32	34,3	64
5.....	32	35,2	67
6.....	32	37,9	69
7.....	32	38,5	69
8.....	32	36,3	69
9.....	32	38,9	69
10.....	32	38,8	69

B. — Lampe Swan.

Le condensateur entier a été aussi employé pour les mesures, la déviation étant de 310 divisions. Le photo-

mètre a été lu par M. Crookes, ainsi que le pont, et le galvanomètre par le professeur Barker.

Numéros des lampes.	(a). à 16 BOUGIES.		
	Photomètre.	Pont.	Galvanomètre.
1.....	16	119,5	136
2.....	16	161,7	145
3.....	16	148,8	137
4.....	16	113,5	122
5.....	16	145,9	134
6.....	16	122,1	138
7.....	16	129,0	179
8.....	16	135,1	145
9.....	16	159,5	146
10.....	16	171,0	145

Numéros des lampes.	(b). à 32 BOUGIES.		
	Photomètre.	Pont.	Galvanomètre.
1.....	32	123,5	121
2.....	32	167,2	122
3.....	32	155,2	121
4.....	32	116,0	116
5.....	32	154,7	115
6.....	32	129,7	120
7.....	32	137,0	146
8.....	32	137,5	128
9.....	32	163,0	127
10.....	32	175,2	120

C. — Lampe Lane-Fox.

Le condensateur entier a été employé; la déviation de l'élément étalon s'est élevée à 310 divisions. M. Crookes a observé le photomètre et le pont, le professeur Barker le galvanomètre.

Numéros des lampes.	(a), à 16 BOUGIES.		
	Photomètre.	Pont.	Galvanomètre.
1.....	16	172,0	150
2.....	16	168,7	145
3.....	16	177,6	161
4.....	16	171,7	157
5.....	16	171,0	156
6.....	16	189,5	156
7.....	16	179,0	156
8.....	16	181,1	164
9.....	16	161,7	146
10.....	16	164,7	148

Numéros des lampes.	(b), à 32 BOUGIES.		
	Photomètre.	Pont.	Galvanomètre.
1.....	32	178,7	135
2.....	32	175,5	129
3.....	32	181,2	149
4.....	32	175,2	148
5.....	32	175,7	143
6.....	32	192,3	143
7.....	32	186,2	146
8.....	32	184,5	146
9.....	32	167,3	133
10.....	32	172,0	129

D. — *Lampe Maxim.*

Le condensateur a été employé comme dans les observations précédentes, mais la déviation s'est élevée à 315 divisions, eu égard, sans doute, à l'élévation de la température de la chambre. Photomètre et pont lus par M. Crookes; galvanomètre par M. Barker.

Numéros des lampes.	(a). à 16 BOUGIES.		
	Photomètre.	Pont.	Galvanomètre.
1.....	16	111,8	115
2.....	16	111,3	119
3.....	16	106,3	114
4.....	16	124,7	120
5.....	16	111,9	122
6.....	16	138,5	121
7.....	16	122,0	122
8.....	16	115,6	118
9.....	16	120,6	123
10.....	16	103,0	111

Numéros des lampes.	(b). à 32 BOUGIES.		
	Photomètre.	Pont.	Galvanomètre.
1.....	32	114,6	102
2.....	32	114,8	106
3.....	32	109,7	100
4.....	32	128,6	112
5.....	32	114,5	112
6.....	32	140,8	113
7.....	32	126,9	110
8.....	32	120,4	105
9.....	32	126,5	110
10.....	32	109,7	101

E. — Consommation des bougies.

1. Lampe Edison.

Intensité en bougies.	Consommation en grammes.	Temps en minutes.	Consommation par minute.
16.....	18,13	73	0,2483
32.....	21,22	84	0,2526

2. Lampe Swan.

16 et 32.....	34,15	126	0,2695
---------------	-------	-----	--------

3. Lampe Lane-Fox.

16 et 32.....	40,70	153,75	0,2647
---------------	-------	--------	--------

4. Lampe Maxim.

16 et 32.....	26,90	104	0,2586
---------------	-------	-----	--------

II. — Mode de calcul.

1. Intensité photométrique.

Chacune des bougies étalons aurait dû brûler 7^{gr},776 de spermacéti par heure ou 0^{gr},1296 par minute, soit pour les deux 0^{gr},2592 par minute. En conséquence, le pouvoir corrigé de la bougie s'obtient en multipliant le pouvoir photométrique observé par le rapport de 0,2592 à la consommation réelle.

2. Résistance à chaud.

D'après la théorie du pont de Wheatstone, la résistance est égale au produit des côtés adjacents, divisé par le côté opposé. Dans le pont employé aux expériences, les résistances des côtés adjacents étaient respectivement 950 et 5 ohms; et, en divisant le produit 4750 de ces deux quantités par le nombre résultant de la lecture, on obtenait la valeur de la résistance de la lampe à chaud.

3. Force électromotrice.

Dans la méthode de Laws, les forces électromotrices sont proportionnelles aux pouvoirs multiplicateurs des *shunts*. Comme il n'en était pas fait usage avec l'élément Daniell, le pouvoir multiplicateur du shunt employé, lorsque le condensateur était chargé à la lampe, donnait directement la force électromotrice en daniells. Le pouvoir multiplicateur du shunt est le quotient des résistances du shunt et du galvanomètre par la résistance de ce shunt. La résistance du galvanomètre était de 6550 ohms, et par suite, si S représente la résistance de la dérivation, telle qu'elle résulte de l'expérience, $\frac{6550 + S}{S}$ serait la valeur de la force électromotrice. D'un autre côté, la force électromotrice d'un élément Daniell étant exprimée par 1^{volt},079, les chiffres auraient dû être, pour plus d'exacti-

tude, augmentés dans la même proportion. La petite erreur provenant de l'action inductrice du galvanomètre a été regardée comme négligeable.

4. Courant.

D'après la loi de Ohm, l'intensité du courant est obtenue en divisant la force électromotrice par la résistance. Si la force électromotrice est exprimée en volts et la résistance en ohms, l'intensité donnée par le quotient se trouve exprimée en ampères.

5. Travail électrique.

Le travail développé par un courant est proportionnel au produit du carré de l'intensité de ce courant par la résistance du circuit; et, puisque la force électromotrice a pour mesure le produit de l'intensité par la résistance, son énergie est représentée par le produit de la force électromotrice en volt et de l'intensité en ampères.

Ce produit exprime l'énergie en volts-ampères.

6. Travail mécanique.

Une unité absolue de travail étant développée en une seconde par l'unité absolue de force électromotrice dans un circuit présentant l'unité absolue de résistance, un volt-ampère équivaut à 10^7 unités absolues de travail mécanique par seconde, ou à $0^{kgm},10192$. En multipliant les volts-ampères par $0,10192$, on obtiendra la mesure du travail de chaque lampe en kilogrammètres.

7. Nombre de lampes par cheval de courant.

Un cheval mécanique a pour mesure $75t^{kgm}$ par seconde. Il suffit donc de diviser 75 par le nombre des kilogrammètres dépensés, par chaque lampe, en une seconde pour obtenir le nombre des lampes qui peuvent être entretenues par un courant d'un cheval.

III. — Résultats calculés.

A. Lampe Édison. — (a) A 16 bougies.

NUMÉROS des lampes.	POUVOIR en bougies (corrigé).	OHMS.	VOLTS.	AMPÈRES	VOLTS- AMPÈRES	KILO- GRAM- MÈTRES.	LAMPES à incan- descence par cheval.	BOUGIES par cheval.
1.....	14,73	136,7	83,33	0,646	57,08	5,819	12,88	189,8
2.....	14,85	135,7	89,51	0,660	59,05	6,020	12,46	185,0
3.....	15,33	155,7	89,51	0,575	51,46	5,246	14,29	219,1
4.....	15,33	147,3	90,73	0,616	55,88	5,697	13,16	201,8
5.....	15,81	142,2	90,73	0,638	57,88	5,901	12,71	200,8
6.....	16,04	132,0	90,73	0,687	62,36	6,357	11,80	189,3
7.....	14,85	129,8	84,97	0,655	55,63	5,671	13,22	205,0
8.....	15,33	137,7	88,33	0,641	56,67	5,777	12,98	199,0
9.....	16,76	126,6	89,51	0,707	63,29	6,453	11,62	194,9
10.....	15,33	126,0	89,51	0,710	63,45	6,469	11,60	177,7

A. Lampe Édison. — (b) A 32 bougies.

NUMÉROS des lampes.	POUVOIR en bougies (corrigé).	OHMS.	VOLTS.	AMPÈRES	VOLTS- AMPÈRES	KILO- GRAM- MÈTRES.	LAMPES à incan- descence par cheval.	BOUGIES par cheval.
1.....	31,11	127,7	100,20	0,785	78,70	8,023	9,35	291,0
2.....	31,11	127,7	101,80	0,797	81,11	8,269	9,07	282,3
3.....	31,11	147,5	100,20	0,679	68,12	6,945	10,80	333,7
4.....	31,11	138,5	103,30	0,746	77,12	7,862	9,54	296,8
5.....	31,11	134,9	98,76	0,732	72,28	7,369	10,18	316,6
6.....	31,11	125,3	95,93	0,765	73,42	7,486	10,02	311,7
7.....	31,11	123,4	95,93	0,778	74,59	7,604	9,86	306,9
8.....	31,11	130,8	95,93	0,733	70,32	7,169	10,46	325,4
9.....	31,11	122,1	95,93	0,786	75,36	7,683	9,76	303,7
10.....	31,11	122,4	95,93	0,781	75,17	7,633	9,79	304,5

III. — Résultats calculés. (Suite).

B. Lampe Swan. — (a) A 16 bougies.

NUMÉROS des lampes.	POUVOIR en bougies (corrigé).	OHMS.	VOLTS.	AMPÈRES	VOLTS- AMPÈRES	KILO- GRAM- MÉTRES.	LAMPES à incan- descence par cheval.	BOUGIES par cheval.
1.....	16,61	39,75	49,16	1,237	60,80	6,199	12,10	200,9
2.....	16,61	29,38	46,17	1,536	72,57	7,399	10,14	168,3
3.....	16,61	31,92	48,81	1,529	74,63	7,609	9,86	163,7
4.....	16,61	41,85	54,69	1,307	71,47	7,286	10,29	170,9
5.....	16,61	32,56	49,88	1,532	76,42	7,791	9,63	159,8
6.....	16,61	38,90	48,47	1,246	60,38	6,155	12,18	202,3
7.....	16,61	20,74	37,59	1,812	68,13	6,946	10,80	179,3
8.....	16,61	35,16	46,17	1,313	60,64	6,182	12,13	201,5
9.....	16,61	29,78	45,86	1,540	70,62	7,201	10,41	173,0
10.....	16,61	27,78	46,17	1,662	76,75	7,824	9,59	159,5

B. Lampe Swan. — (b) A 32 bougies.

NUMÉROS des lampes.	POUVOIR en bougies (corrigé).	OHMS.	VOLTS.	AMPÈRES	VOLTS- AMPÈRES	KILO- GRAM- MÉTRES.	LAMPES à incan- descence par cheval.	BOUGIES par cheval.
1.....	33,31	39,36	55,13	1,401	77,23	7,87	9,526	316,4
2.....	33,31	28,41	54,69	1,925	105,30	10,73	6,988	232,1
3.....	33,31	30,61	55,13	1,801	99,31	10,12	7,407	246,0
4.....	33,31	40,95	57,47	1,403	80,64	8,22	9,122	302,9
5.....	33,31	30,71	57,96	1,888	109,40	11,15	6,725	223,3
6.....	33,31	36,62	55,58	1,514	84,36	8,60	8,720	289,6
7.....	33,31	20,09	45,86	2,288	104,90	10,70	7,010	232,5
8.....	33,31	34,54	52,17	1,510	78,79	8,03	9,337	310,1
9.....	33,31	29,14	52,57	1,804	94,85	9,67	7,756	257,6
10.....	33,31	27,11	55,58	2,050	114,00	11,62	6,456	214,4

III. — Résultats calculés. (Suite).

C. Lampe Lane-Fox. — (a) A 16 bougies.

NUMÉROS des lampes.	POUVOIR en bougies (corrigé).	OHMS.	VOLTS.	AMPÈRES	VOLTS- AMPÈRES	KILO- GRAM- MÈTRES.	LAMPES à incan- descence par cheval.	BOUGIES par cheval.
1.....	16,36	27,62	44,65	1,617	72,25	7,365	10,18	166,6
2.....	16,36	28,16	46,17	1,640	75,72	7,719	9,72	158,9
3.....	16,36	26,75	41,68	1,559	64,96	6,623	11,33	185,2
4.....	16,36	27,66	42,72	1,544	65,97	6,726	11,15	182,4
5.....	16,36	27,78	42,99	1,548	66,52	6,782	11,06	180,9
6.....	16,36	25,07	42,99	1,715	73,72	7,516	9,98	163,2
7.....	16,36	26,54	42,99	1,620	69,64	7,110	10,56	173,8
8.....	16,36	26,23	40,94	1,561	63,90	6,515	11,51	188,3
9.....	16,36	29,37	45,86	1,561	71,60	7,300	10,27	168,1
10.....	16,36	28,85	45,26	1,569	71,02	7,240	10,36	169,4

C. Lampe Lane-Fox. — (b) A 32 bougies.

NUMÉROS des lampes.	POUVOIR en bougies (corrigé).	OHMS.	VOLTS.	AMPÈRES	VOLTS- AMPÈRES	KILO- GRAM- MÈTRES.	LAMPES à incan- descence par cheval.	BOUGIES par cheval.
1.....	32,71	26,58	49,52	1,863	92,25	9,405	7,98	260,9
2.....	32,71	27,07	51,78	1,913	99,04	10,100	7,43	243,0
3.....	32,71	26,09	44,96	1,733	77,47	7,898	9,50	310,7
4.....	32,71	27,11	45,26	1,669	75,56	7,702	8,74	218,6
5.....	32,71	27,04	46,80	1,731	81,03	8,261	9,08	297,1
6.....	42,71	24,70	46,80	1,895	88,69	9,042	8,30	271,4
7.....	32,71	25,51	49,16	1,927	94,74	9,659	7,77	254,0
8.....	32,71	25,75	45,86	1,781	81,70	8,330	9,00	294,6
9.....	32,71	28,39	50,25	1,770	88,93	9,066	8,27	270,7
10.....	32,71	27,62	51,78	1,875	97,07	9,896	7,58	247,9

III. — Résultats calculés. (Suite).

D. Lampe Maxim. — (a) A 16 bougies.

NUMÉROS des lampes.	POUVOIR en bougies (corrigé).	OHMS.	VOLTS.	AMPÈRES	VOLTS- AMPÈRES	KILO- GRAM- MÈTRES.	LAMPES à incan- descence par cheval.	BOUGIES par cheval.
1.....	15,96	42,49	57,96	1,364	79,06	8,060	9,305	148,5
2.....	15,96	42,68	56,04	1,313	73,59	7,563	9,996	159,6
3.....	15,96	44,73	60,01	1,342	80,51	8,208	9,137	145,9
4.....	15,96	38,09	55,58	1,459	81,11	8,269	9,070	144,8
5.....	15,96	42,45	54,69	1,288	70,46	7,183	10,440	166,7
6.....	15,96	35,10	55,13	1,571	86,61	8,830	8,494	135,6
7.....	15,96	38,94	54,69	1,405	78,62	7,832	9,577	152,9
8.....	15,96	41,09	56,51	1,375	77,71	7,923	9,466	151,1
9.....	15,96	39,39	54,25	1,377	74,73	7,619	9,844	157,2
10.....	15,96	46,12	60,01	1,301	78,09	7,961	9,421	150,4

D. Lampe Maxim. — (b) A 32 bougies.

NUMÉROS des lampes.	POUVOIR en bougies (corrigé).	OHMS.	VOLTS.	AMPÈRES	VOLTS- AMPÈRES	KILO- GRAM- MÈTRES.	LAMPES à incan- descence par cheval.	BOUGIES par cheval.
1.....	31,93	41,45	65,22	1,573	105,00	10,710	7,006	223,7
2.....	31,93	41,34	62,79	1,519	95,38	9,724	7,713	246,3
3.....	31,93	43,30	66,50	1,536	102,10	10,410	7,203	230,0
4.....	31,93	36,94	59,48	1,610	95,79	9,766	7,680	245,2
5.....	31,93	41,49	59,48	1,434	85,29	8,695	8,625	275,4
6.....	31,93	33,74	58,96	1,748	103,00	10,510	7,138	227,9
7.....	31,93	37,43	60,54	1,617	97,93	9,984	7,572	239,8
8.....	31,93	39,45	63,38	1,607	101,80	10,386	7,225	230,7
9.....	31,93	37,55	60,54	1,612	97,63	9,954	7,536	240,6
10.....	31,93	43,30	65,85	1,521	100,20	10,210	7,346	234,5

IV. — Résumé des résultats obtenus.

	(a) A 16 BOUGIES.				(b) A 32 BOUGIES.			
	EDISON.	SWAN.	LANE-FOX.	MAXIM.	EDISON.	SWAN.	LANE-FOX.	MAXIM.
Bougies...	15,38	16,61	16,36	15,96	31,11	33,21	32,71	31,93
Ohms.....	137,4	32,78	27,40	41,11	130,63	31,75	26,59	39,60
Volts....	89,11	47,30	43,63	56,49	98,39	54,21	48,22	62,27
Ampères..	0,651	1,471	1,593	1,380	0,7585	1,758	1,815	1,578
Volts-am-pères....	57,98	69,24	69,53	78,05	74,63	94,88	87,65	98,41
Kilogram-mètres...	5,911	7,059	7,089	7,939	7,604	9,67	8,936	10,03
Lampes à incandescence par cheval...	12,73	10,71	10,61	9,48	9,88	7,90	8,47	7,50
Bougies par cheval...	196,4	177,92	173,58	151,27	367,25	262,49	276,89	239,41
Lampes de 16 ou 32 bougies par cheval	12,38	11,12	10,85	9,45	9,60	8,20	8,65	7,48

VI. — CONCLUSIONS.

Les conclusions suivantes semblent pouvoir être déduites des résultats qui ont été indiqués :

1° Le maximum de rendement des lampes à incandescence, dans l'état actuel de la question et dans les circonstances les plus favorables, ne dépasse pas 300 bougies par cheval de courant électrique;

2° L'économie de toutes les lampes de cette espèce est plus grande à haute qu'à faible incandescence;

3° L'économie dans la production de la lumière est plus grande dans les lampes à grande résistance que dans celles à faible résistance; ce qui est d'accord avec les con-

ditions les plus économiques de l'établissement de la distribution ;

4° Entre les quatre lampes examinées, la lampe Edison tient le premier rang, et la lampe Maxim le dernier, tant à 16 qu'à 32 bougies. La lampe Swan à 16 bougies est un peu plus favorable que la lampe Lane-Fox, mais l'inverse a lieu pour l'intensité de 32 bougies.

Signé : BARKER.

CROOKES.

HAGENBACH.

KUNDT.

MASCART.

**IV. — EXPÉRIENCES SUR LES PILES SECONDAIRES DE M. FAURE,
EXÉCUTÉES AU CONSERVATOIRE DES ARTS ET MÉTIERS, LES 4,
5, 6, 7 ET 9 JANVIER 1882.**

Une première expérience avait été commencée dans le local ordinaire de nos expériences, à l'Exposition, le 20 octobre 1881, dans les conditions demandées et préparées par M. Faure. La pile se composait de 40 éléments; elle devait, pendant la décharge, faire fonctionner 16 lampes Maxim; mais l'essai est bientôt devenu très défectueux. L'intensité du courant et celle de la lumière ont décrû avec une très grande rapidité. L'expérience, commencée à 7^h 40^m du soir avec une intensité de 3,45 carcelles par lampe, a dû être arrêtée au bout de 1^h 20^m, alors que chaque lampe ne donnait plus que l'intensité d'une carcel. M. Faure attribua cet insuccès à des conditions défectueuses de son installation et au mauvais état des éléments, dont quatre ou cinq s'étaient en effet déchargés sur eux-mêmes pendant l'expérience. La Commission accepta de reprendre ces essais dans les conditions et avec le matériel que M. Faure jugerait le plus convenable pour obtenir un meilleur résultat.

Ces expériences ont été exécutées au Conservatoire des Arts et Métiers, dans la grande salle des machines en mouvement, qui dépend de cet établissement, les 4, 5, 6, 7 et 9 janvier 1882.

La pile mise à notre disposition se composait de 35 éléments nouveau modèle, à lames contournées en spirale, pesant chacun $43^{kg}, 700$, liquide compris; les électrodes de plomb étaient recouvertes de minium, à raison de 10^{kg} environ par mètre carré. Le liquide des piles était formé d'eau distillée, additionnée du dixième de son poids d'acide sulfurique pur.

La machine de charge, également fournie par M. Faure, à sa convenance, était du type Siemens. La résistance de l'anneau était de $0^{ohm}, 27$, celle de l'inducteur de $19^{ohms}, 45$. L'électro-aimant était excité par une dérivation prise sur les bornes mêmes de la machine; pour régler le courant excitateur, M. Faure avait interposé une espèce de voltmètre, à électrodes de charbon, dans lequel il faisait varier la résistance en modifiant la quantité ou la nature du liquide. Pendant toute la durée de l'expérience, le courant d'excitation est resté, par suite de cet arrangement, compris entre 2 et 3 ampères.

L'objet principal de l'expérience était de mesurer :

1^o Le travail mécanique dépensé par la charge de la pile;
2^o La quantité d'électricité emmagasinée pendant la charge;

3^o La quantité d'électricité rendue pendant la décharge;

4^o Le travail électrique réellement effectué pendant la décharge.

Il était intéressant en outre de connaître, à chaque instant de l'expérience, la force électromotrice et la résistance de la pile et, enfin, comme la décharge devait se faire à travers une série de lampes Maxim, à incandescence, d'étudier la variation de la résistance et du pouvoir lumineux de ces lampes, suivant l'intensité du courant.

Le travail mécanique a été mesuré au moyen du dynamomètre totalisateur, construit, pour la Société des Agriculteurs de France, par MM. Easton et Anderson, sur le modèle de celui de la Société royale d'Agriculture d'Angleterre.

L'intensité lumineuse a été constatée avec le photomètre Foucault, qui avait déjà servi à l'Exposition.

Quant aux mesures électriques, elles ont été faites au moyen des trois instruments suivants : un galvanomètre Marcel Deprez, qui mesurait le courant total, et quelquefois le courant d'excitation ; un électrodynamomètre Siemens, qui mesurait seulement le courant de charge, et un électromètre à cadran, disposé suivant la méthode indiquée par M. Joubert, qui faisait connaître la différence de potentiel entre les deux pôles de la pile.

Les indications de tous les instruments étaient relevées de quart d'heure en quart d'heure, quelquefois même à des intervalles plus rapprochés. Nous en indiquons toutes les données numériques dans les Tableaux suivants, correspondant à la période de charge qui s'est effectuée dans les journées des 4, 5, 6 et 7 janvier 1882, et à la période de décharge, pendant les journées des 7 et 9 janvier.

Tableau des observations faites pendant la période de charge.

4 janvier 1882.

HEURES des obser- vations.	VITESSE de la machine dynamo- électrique.	TRAVAIL mécanique entre deux obser- vations.	POTENTIEL de la pile.		INTENSITÉ du courant total.		INTENSITÉ du courant de charge.	
			Electro- mètre à cadran.	Volts $\sqrt{\frac{n}{0,04}}$	Galvano- mètre Deprez.	Ampères $n \times 0,68$	Electro- dynamo- mètre.	Ampères $\sqrt{10n}$
10.35	"	"	"	"	34	23,13	43	20,49
10.45	1045	129908	"	"	"	"	"	"
10.55	"	102268	"	"	"	"	"	"
11.00	1059	82920	257,5	80,2	23	15,64	15	12,24
11.15	1057	144557	276,5	83,2	23	15,64	"	"
11.30	1093	109731	261,5	80,8	23	15,64	16	12,65
12.00	1083	248760	273,5	82,6	23	15,64	16	12,65
12.30	1098	224713	267,5	81,7	21	14,28	11,5	12,25
1.00	1095	234111	273,5	82,6	20	13,60	12	10,95
1.30	1090	229412	272,5	85,5	21	14,28	12	10,95
								\sqrt{n}
2.00	1093	226648	253,5	79,6	14	9,52	62	7,87
2.31	1109	168604	260,5	80,7	13	8,16	67	8,10
3.00	1107	159759	266,5	81,6	14,5	9,86	66	8,12
3.30	1107	157548	"	"	14,5	9,86	53	7,21
4.00	"	"	288,5	84,9	13,0	8,84	60	7,75
4.05	1100	195968						
	1079	2414907		82,21		13,29		10,93
10.25	Pile ouverte		207	72,00	Courant d'excitation par différence 2,46.			
5.11	"	"	225	75,10				

Tableau des observations faites pendant la période de charge.

5 janvier 1882.

HEURES des obser- vations.	VITESSE de la machine dynamo- électrique.	TRAVAIL mécanique entre deux obser- vations.	POTENTIEL de la pile.		INTENSITÉ du courant total.		INTENSITÉ du courant de charge.	
			Électro- mètre à cadran.	Volts $\sqrt{\frac{n}{0,65}}$	Galvano- mètre Deprez.	Ampères $n \times 0,65$	Électro- dynamo- mètre.	Ampères $\sqrt{10 \mu}$
h m		0						
9.21	"							
9.30	1073	59702	331	91,0	33	15,64	15,8	12,57
9.40		88148						
10	1065	166669	322	89,8	19	13,92	94,5	9,72
10.32	1068	215869	318	89,1	15,5	10,50	67	8,18
11	1063	156166	323	90	17,0	11,56	70	8,37
11.15			328	90,5			71	8,43
11.30	1067	247101	336	91,6	16,0	10,88	84	9,16
11.45			331	91,0			87	9,32
12	1080	209335	328	90,5	15,0	10,20	62	7,87
12.15			332	91,1			65	8,06
12.31	1023	203607	332	91,1	15,0	10,20	65	8,06
12.45			333	91,2			65	8,06
1. 1	1080	196244	331,5	91,1	14,0	9,52	63	7,94
1.15			330	91,0			44	6,63
1.31	1080	176896	321	89,6	13,0	8,84	37	6,08
1.45			329	90,7			45	6,71
2. 1	1087	168604	326	90,4	13	8,87	43	6,56
2.15			331	91,0			45	6,71
2.31	1083	176896	334	91,5	15	10,20	58	7,62
2.45			340	92,2			67	8,19
3. 1	1073	193480	343	92,5	16	10,88	68	8,24
3.15			339	92,0			54	7,35
3.34	1077	240468	340	92,1	16	10,88	60	7,75
3.45			339	92,0			50	7,07
4. 2	1077	149256	339	92,0	14	9,52	60	7,75
4.15			339	92,0	15	10,10	47	6,86
4.31	1084	123551						
	1072	2772292		91,08		10,78		7,97
9.20	Pile ouverte		214	73,10	Courant d'excitation différence 2,81			
4.51	"	"	229,5	75,60				

Tableau des expériences faites pendant la période de charge.
6 janvier 1882.

HEURES des observa- tions.	VITESSE de la machine dynamo- électrique.	TRAVAIL mécanique entre deux ob- servations.	POTENTIEL de la pile.	INTENSITÉ du courant d'excitation		INTENSITÉ du courant de charge.			
				Électro- mètre à cadran.	Volts $\sqrt{\frac{n}{0,04}}$	Galvano- mètre Deprez.	Ampères $n \times 0,68$.	Électro- dynamo- mètre.	Ampère \sqrt{n} .
h m									
9.22	"	"	"	"	"	"	"	"	"
9.30	"	"	"	"	2,90	1,97	65,0	8,06	
9.45	"	"	339	93	"	"	70,0	8,37	
10. 1	1074	293813	344	92,6	3,20	2,16	83,0	9,11	
10.15	"	"	348	93,2	"	"	88,0	9,38	
10.31	1070	337704	348	93,2	3,30	2,24	90,0	9,48	
10.45	"	"	349	93,4	"	"	80,0	8,94	
11. 1	1070	258434	349	93,4	3,60	2,44	84,0	9,16	
11.15	"	"	343	93,6	"	"	86,0	9,27	
11.31	1080	242858	343	92,6	3,40	2,31	62,0	7,87	
11.45	"	"	344	92,6	"	"	60,0	7,74	
12. 1	1077	217071	346	93,0	3,40	2,31	66,0	8,12	
12.15	"	"	348	93,2	"	"	65,0	8,06	
12.31	1127	246826	349	93,4	3,30	2,24	70,0	8,37	
12.45	"	"	349	93,4	"	"	68,0	8,24	
1. 1	1047	225818	349	93,4	3,40	2,31	68,0	8,24	
1.15	"	"	350	93,5	"	"	62,0	8,87	
1.31	1083	221397	348	93,2	3,40	2,31	61,0	8,00	
1.45	"	"	344	92,6	"	"	50,0	7,07	
2. 1	1087	215592	342	92,5	3,40	2,31	52,0	7,21	
2.15	"	"	341	92,3	"	"	46,0	6,78	
2.31	1093	182424	334	91,6	3,40	2,31	31,0	5,57	
2.45	"	"	349	93,4	"	"	76,0	8,71	
3. 2	1087	199008	352	93,7	3,80	2,58	72,0	8,48	
3.15	"	"	349	93,4	"	"	61,0	7,81	
3.31	1048	199008	349	93,4	3,80	2,58	52,0	7,21	
3.45	"	"	347	93,0	"	"	59,0	7,68	
4. 1	1124	196244	341	92,4	3,60	2,44	41,0	6,40	
4.15	"	"	342	92,5	"	"	50,0	7,07	
4.30	"	"	341	92,4	3,50	2,40	41,0	6,40	
4.45	"	"	343	92,6	3,50	2,40	41,0	6,40	
4.52	1091	310674	"	"	"	"	"	"	
"	1082,7	3246871	"	92,91		2,33		7,94	
9.20	Pile ouverte.		208	72,10	Courant total.....		10,27		
5. 0	"		230	75,80					

Tableau des expériences faites pendant la période de charge.

7 janvier 1882.

HEURES des observa- tions.	VITESSE de la machine dynamo- électrique.	TRAVAIL mécanique entre deux ob- servations.	POTENTIEL de la pile.		INTENSITÉ du courant d'excitation		INTENSITÉ du courant de charge.	
			Electro- mètre à cadran.	Volts $\sqrt{\frac{n}{0,64}}$	Galyano- mètre Beprez.	Ampère $n > 0,68$	Électro- dynamo- mètre.	Ampère \sqrt{n}
10.50	"	"	"	"	"	"	"	"
11.0	"	"	"	"	3,40	2,31	92,0	9,59
11.15	"	"	330	91,0	"	"	32,0	5,66
11.31	1090	262027	328	90,5	2,60	1,76	15,0	3,87
11.45	"	"	328	90,5	"	"	31,0	5,57
12.1	1097	175238	326	90,4	2,90	1,57	26,0	5,01
12.15	"	"	354	91,0	3,00	2,04	32,0	5,66
12.31	1077	215039	356	91,2	4,50	3,06	80,0	8,94
12.45	"	"	355	91,1	3,60	2,44	75,0	8,66
1.1	1073	251524	342	92,3	3,20	2,16	35,0	5,91
1.15	"	"	340	92,1	3,20	2,16	37,0	6,08
1.30	"	"	335	91,5	3,20	2,16	25,0	5,00
1.35	1088	231900	"	"	"	"	"	"
"	1084	1135728	"	92,06		2,18	"	6,36
10.40	Pile ouverte.		232	74,5	Courant total 8,58			
2.0	"		230	75,8				

CALCUL DES RÉSULTATS.

Travail dépensé. — La dépense de travail pendant toute la durée du chargement, telle qu'elle a été enregistrée par le dynamomètre totaliseur, a été si régulière qu'il nous a paru inutile de la représenter par une courbe; d'après les indications de la troisième colonne des Tableaux, cette représentation, même à grande échelle, diffère très peu d'une ligne droite.

Calcul de l'intensité électrique moyenne et de la quantité d'électricité.

L'intensité moyenne correspondant à un long intervalle de temps est la moyenne arithmétique des intensités relevées de quart en quart d'heure pendant ce temps.

Le produit, par le nombre de secondes écoulées, de cette intensité moyenne exprimée en ampères, donne en coulombs la quantité d'électricité mise en mouvement pendant le temps considéré.

On obtient ainsi, pour la période de charge, les indications qui suivent :

Dates.	Intensités moyennes.	Secondes.	Coulombs.
4 janvier....	10,930	19 800	216 400
5 janvier....	7,970	25 200	200 800
6 janvier....	7,936	27 000	214 300
7 janvier....	6,360	9 900	63 000
			694 500

Il faut faire le même calcul relativement au courant d'excitation, pour servir de base aux évaluations ultérieures.

Intensités moyennes.	Secondes.	Coulombs.
2,46.....	19 800	48 700
2,81.....	25 200	72 800
2,33.....	27 000	62 900
2,18.....	9 900	21 600
		206 000

On trouvera, de la même manière, pour la période de décharge :

Dates.	Intensités moyennes.	Secondes.	Coulombs.
7 janv.....	16.128	26040	424 800
9 "	16.255	12000	194 800

Calcul du travail électrique.

Tant que la différence de potentiel entre les deux bornes de la pile reste constante, le travail électrique de la charge ou de la décharge, dans un temps donné, est égal au pro-

duit, divisé par g , de la quantité d'électricité correspondant à ce temps, par cette différence de potentiel. Quand celle-ci varie, il faut multiplier chaque intensité par la différence de potentiel correspondante, diviser encore par g et prendre la moyenne arithmétique de tous les résultats.

C'est ainsi qu'ont été calculés les nombres des colonnes 8 et 9 du Tableau A et ceux de la colonne 5 du Tableau B. La colonne 8 représente le travail électrique T' dépensé pour introduire dans la pile la quantité d'électricité qu'elle a reçue pendant la charge. La colonne 9 représente le travail T'' , dépensé par l'excitation des électro-aimants.

La colonne 10 donne la valeur du travail électrique T''' de l'anneau; elle a été calculée pour chaque journée, en multipliant la résistance de l'anneau, 0,27, par le carré de l'intensité totale observée au galvanomètre et par le nombre de secondes.

Il est utile de faire remarquer qu'en faisant la somme de ces divers travaux électriques et en y ajoutant le travail t de la transmission mesuré directement, on retrouve, ainsi qu'il suit, à environ 2 pour 100 près, le travail T relevé sur le dynamomètre :

$$\begin{array}{rcl} T & = 9\,569\,798 \\ \hline T' & = 6\,382\,100 & T' : T = 0,666 \\ T'' & = 1\,888\,600 & T'' : T = 0,197 \\ T''' & = 269\,800 & T''' : T = 0,028 \\ t & = 808\,750 & t : T = 0,085 \\ \hline & 9\,349\,250 & 0,976 \end{array}$$

Force électromotrice et résistance de la pile.

La force électromotrice de la pile est donnée directement par l'indication de l'électromètre quand le circuit est ouvert. Soit E cette valeur et soit e l'indication de l'électromètre, quand le circuit est fermé et quand l'intensité du courant est I , soit enfin R la résistance de la pile; on aura

$$e = E \pm RI,$$

suivant que la pile est dans la période de charge ou de décharge. Connaissant pour un même instant les valeurs de E , e et I , on en déduit celle de R , qui mesure la somme de toutes les résistances.

Pendant la charge, la valeur de E a varié de 72 volts à 75^{volts}, 8, c'est-à-dire, pour chaque élément, de 2,075 à 2,165 ; la première valeur est celle qu'on trouve au commencement, la seconde à la fin de chaque expérience. La valeur de e a été en moyenne un peu inférieure à 90 volts, l'intensité moyenne du courant étant de 8^{amp}, 55.

Pendant la décharge, la valeur de E a été ramenée de 75^{volts}, 6 à 72 ; la valeur de e s'est abaissée jusqu'à 60 volts environ, avec une intensité moyenne de 16 ampères.

On déduit de ces nombres que la résistance apparente de chaque élément pendant la charge a varié de 0^{ohm}, 023 à 0^{ohm}, 075 ; pendant la décharge de 0^{ohm}, 006 à 0^{ohm}, 040.

Résumé de la période de charge.

Le chargement de la pile a demandé 22^h 45^m et a été effectué en quatre reprises différentes ; le Tableau suivant donne pour chacune des journées les résultats principaux qui sont relatifs à cette première période de l'expérience.

TABLEAU A. — *Charge de la pile.*

Dates.	1. Durées des expériences.	2. Tours par minute de la machine dynamo- électrique.	3. Travail mécanique indiqué par le dynamomètre.	4. Potentiel moyen de la pile en volts.
				kg
Janv. 4..	5.30	1079	2414907	82,21
	5..	7.00	1072	2772292
	6..	7.30	1083	3246871
	7..	2.45	1085	1135728
		22.45	T = 9569798	
			t (trav. de la transmis.) = 808750	
				8761048

Dates.	Durées des expériences.	5.	6.	7.
		Intensité moyenne du courant de charge en ampères.	Intensité moyenne du courant d'excitation en ampères.	Quantité d'électricité fournie à la pile en coulombs.
Janv. 4..	5.30	10,93	2,46	216400
5..	7.00	7,97	2,81	200800
6..	7.30	7,94	2,33	214300
7..	2.45	6,36	2,13	63000
		22.45		$Q = 694500$
Dates.	Durées des expériences.	8.	9.	10.
		Eurées des expériences.	Travail électrique de la charge.	Travail électrique d'excitation.
Janv. 4..	5.30	1814600	408400	94400
5..	7.00	1947100	676300	79100
6..	7.30	2028800	596100	76800
7..	2.45	591600	202800	19500
		22.45	$T' = 6382100$	$T'' = 1883600$
				$T''' = 269800$

Période de décharge.

La décharge s'est faite en $10^h 39^m$, et en deux reprises le 7 et le 9 janvier; elle s'est effectuée, comme il a été dit plus haut, au travers de 11 lampes Maxim placées en dérivation.

L'expérience a commencé avec 30 éléments seulement; au bout de six heures on a ajouté 2 éléments nouveaux; deux heures après environ et pendant un quart d'heure seulement, on a ajouté les 3 éléments restants. Le courant avait alors une intensité supérieure à celle qui convient à la marche normale des lampes.

L'expérience de décharge a été arrêtée le premier jour après une durée de $7^h 15^m$ et reprise seulement le surlendemain : au bout de $2^h 30^m$ de cette nouvelle décharge, la pile était revenue à l'état initial. L'expérience a été continuée néanmoins, mais la quantité d'électricité et le travail correspondant, dans cette dernière période, ne sont pas comptés dans le Tableau récapitulatif B, qui donne le résultat des observations faites pendant la décharge normale.

Tableau des observations faites pendant la période de décharge.

7 janvier 1882.

HEURES des observations.	POTENTIEL DE LA PILE		INTENSITÉ DU COURANT		NOMBRE des éléments en décharge.	INTENSITÉ photo- métrique.
	Électromètre à cadran.	Volts $\sqrt{\frac{n}{0,04}}$ *	Électrodyna- momètre.	Ampères \sqrt{n} .		
2.43			Commencement de l'expérience		30	1,43
2.45	148	60,82	268	16,370	"	"
3. 0	147	60,62	263	16,217	"	1,43
3.15	145,5	60,31	263	16,217	"	1,43
3.30	146	60,41	263	16,217	"	1,43
3.45	144,5	60,10	260	16,124	"	1,41
4. 0	144	60,00	258	16,062	"	1,32
4.15	143,2	59,83	256,5	16,015	"	1,32
4.30	142	59,58	256	16,000	"	1,32
4.45	141,5	59,47	254,5	15,953	"	1,32
5. 0	140	59,16	252,5	15,890	"	1,28
5.15	140,5	59,27	252	15,874	"	1,27
5.30	"	"	250,5	15,824	"	1,20
5.45	"	"	250	15,811	"	"
6. 0	"	"	250	15,811	"	1,04
6.15	138	58,78	250	15,811	"	1,17
6.30	135	58,00	246,5	15,700	"	1,04
6.45	135,5	58,20	246,5	15,700	"	1,04
7. 0	135,2	58,13	244,5	15,636	"	1,06
7.15	135,2	58,13	243	15,588	"	1,04
7.30	136,2	58,35	242	15,556	"	1,00
7.45	136	58,31	241,5	15,540	"	1,06
8. 0	133	57,66	240	15,491	"	1,07
8. 3	"	"	"	"	32	"
8. 5	154	62,05	279	16,703	"	"
8.15	153	61,85	277	16,643	"	1,52
8.30	152	61,64	278	16,623	"	1,63
8.45	151	61,44	274	16,532	"	1,62
9. 0	150	61,23	271	16,462	"	1,64
9.15	149	61,03	267	16,340	32	1,60
9.30	"	"	"	"	30	"
9.45	128	56,56	229	15,132	"	"
9.55	"	"	"	"	32	"
9.50	147	60,62	264	16,248	"	1,55
9.45	146,2	60,45	263	16,217	"	1,50
9.46	"	"	"	"	35	"
9.49	171	65,95	323	17,972	"	"
9.53	173	65,76	322	17,944	"	"
9.57	"	"	"	"	32	"
10. 0	144	60,00	258	16,062	"	1,50
10. 2	"	"	"	"	"	"
7.37	"	60,13	"	16,128	"	1,32

Tableau des observations faites pendant la période de décharge.

9 janvier 1882.

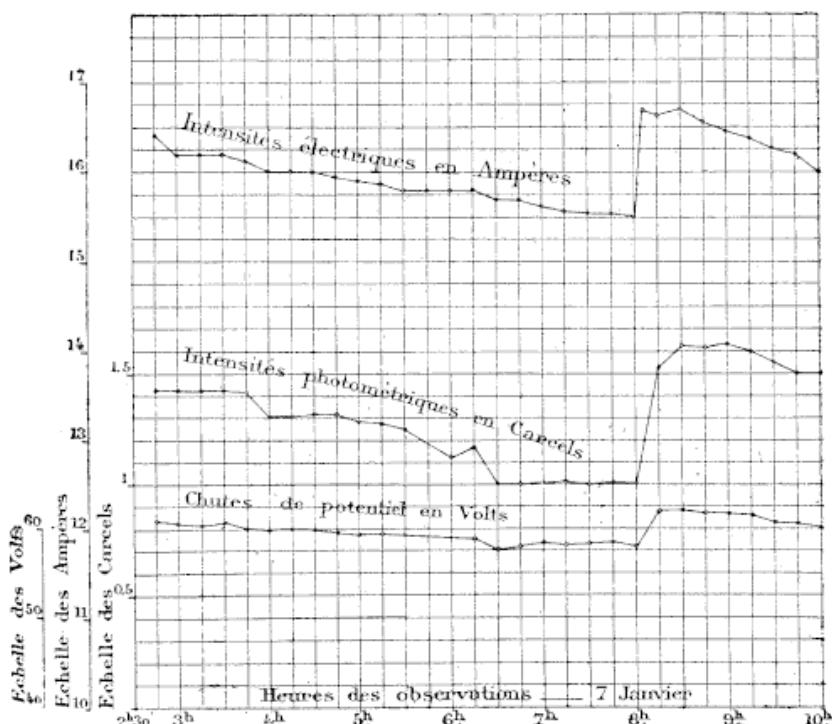
HEURES des observations.	POTENTIEL DE LA PILE		INTENSITÉ DU COURANT		NOMBRE des éléments en décharge.	INTENSITÉ photo- métrique.
	Électromètre à cadran.	Volts $\sqrt{\frac{n}{0,04}}$.	Électrodyna- momètre.	Ampères \sqrt{n} .		
h m						
10.10	155	66,14	"	"	"	"
10.15	"	"	"	"	32	"
10.30	153	61,84	283	16,822	"	"
10.45	151	61,44	277	16,643	"	1,89
10.49	149	61,03	273	16,522	"	"
11. 0	147	60,62	267	16,340	"	1,66
11.15	145	60,21	263	16,217	"	1,49
11.30	142	59,58	258	16,063	"	1,85
11.32	"	"	"	"	35	"
11.35	160	65,00	315	17,748	"	"
11.45	165,2	64,26	308	17,578	"	2,13
12. 0	160	63,25	296	17,205	"	1,98
12.15	155	62,25	284	16,852	"	1,76
12.30	148	60,83	271	16,462	"	1,71
12.45	141	59,37	254	15,937	"	1,72
1. 0	134	57,88	241	15,524	"	1,76
1. 7	131,5	57,34	234	15,297	"	"
1.15	129	56,79	228	15,099	"	1,33
1.23	126	56,17	224	14,966	"	"
1.30	123,5	55,56	217	14,730	"	1,04
Tot. et moy. 12.20		60,31		16,235		
1.37	20,5	54,88	211	14,529	35	
1.45	117	54,10	204	14,282	"	
1.52	113,5	53,27	196	14,000	"	
2. 0	111	52,67	192	13,856	"	
2. 7	109	52,20	187	13,674	"	
2.15	107	51,72	184	13,564	"	
2.23	105	51,23	180	13,416	"	
2.30	103	50,74	176	13,266	"	
2.37	101	50,25	172	13,114	"	
2.45	99	49,76	169	13,000	"	
2.53	97	49,24	164	12,806	"	
3. 0	94	48,47	160	12,649	"	
3. 7	92	47,96	155	12,449	"	
3.15	90,5	47,56	152	12,328	"	
3.23	89	47,17	148	12,165	"	
3.30	87	46,64	144	12,000	"	
3.37	85	46,09	140	11,832	"	
3.45	83	45,55	137	11,704	"	
3.52	82	45,27	134	11,575	"	
4. 0	81	45,00	132	11,489	"	
				12,885		

A partir de ce moment l'expérience sur la pile a été considérée comme terminée.

Diagrammes.

Toutes les données de ces observations, faites pendant la décharge, ont été représentées par les diagrammes (*fig. 1 et 2*), sur lesquels on ne peut manquer de remarquer à première vue la complète concordance entre les variations des chutes de potentiel et les intensités.

Fig. 1.



Résistance des lampes.

Si l'on appelle r la résistance du circuit extérieur pendant la décharge, on a

$$e = E - RI = rI,$$

ce qui permet de calculer la valeur de r , puisque celles de e et de I sont données à chaque instant par l'observation. Le circuit extérieur était formé par onze lampes

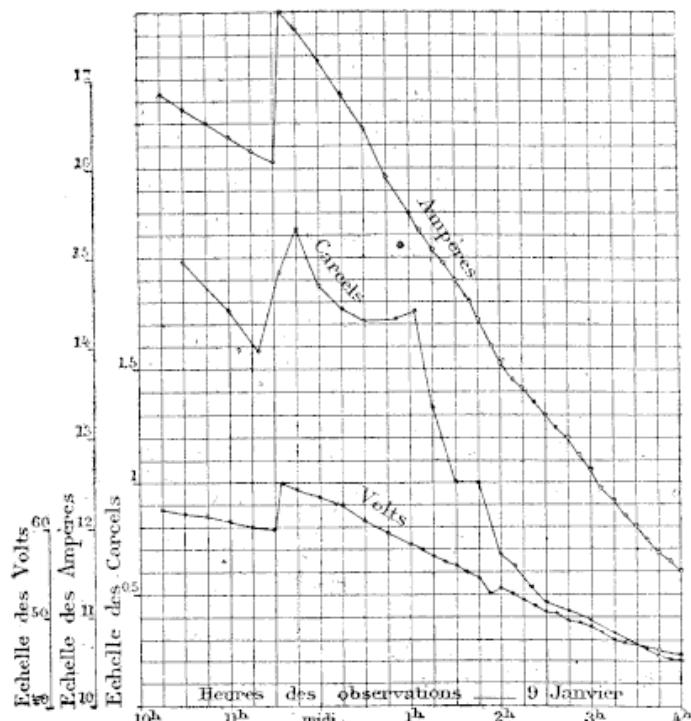
Maxim placées en dérivation; la résistance moyenne de ces lampes était, à froid, de 74 ohms.

L'intensité du courant ayant varié de 1^{amp} à 1^{amp},65 par lampe, la variation de la résistance s'est trouvée représentée, d'une manière empirique, par la formule

$$\rho = 48,45 - 3,15i,$$

ρ étant pris égal à 11*r* et *i* à I:11.

Fig. 2.



Pour la même variation de l'intensité du courant, l'intensité lumineuse d'une lampe a varié de 0,2 à plus de 0,3 carcel.

Déterminations photométriques.

Pendant toute la durée du décharge normal de la pile, elle a entretenu en fonction 11 lampes Maxim, dont

L'intensité lumineuse a varié de 1 à 2 carcels, moyenne 1,40, ce qui correspond à $10^h 39^m \times 1,40 = 13^h 30^m$ de 11 carcels, ou à la lumière de 149,1 carcels pendant une heure.

Le travail électrique total développé par la pile s'étant élevé à 3809000^{kgs}, chaque heure de carcel aurait coûté

$$3809000 : 149,1 = 28820^{kgs},$$

ou 8^{kgs} par seconde. Un cheval de travail électrique suffirait pour entretenir facilement le nombre de lampes nécessaires pour produire d'une manière continue la lumière de 9 à 10 carcels.

Aussitôt que la lumière d'une lampe descend à un carcel et au-dessous, la consommation, par unité de puissance lumineuse, va très rapidement en augmentant.

Voici d'ailleurs quelques déterminations particulières choisies parmi les conditions extrêmes. Il n'est pas nécessaire d'insister sur la dernière, dans laquelle les lampes étaient beaucoup trop au-dessous de leur fonctionnement normal pour qu'il y eût lieu d'en tenir compte.

Heures des obser- vations.	électro- motrice en volts.	Intensité du courant en ampères.	Travail		Intensité photomé- trique.	Travail par lampe. trique.	Carcels par carcel.	Carcels par cheval.
			^h $2,43$	^m $16,37$				
12,45	59,5	15,94			96,84	8,80	1,72	5,12
4,00	44,9	11,49			52,62	4,78	0,21	22,76
								3,29

Résumé sur la période de décharge,

Le déchargement s'est effectué en deux reprises différentes, les 7 et 9 janvier, et a duré, en totalité, $10^h 39^m$.

Les données principales des circonstances de ce déchargement sont indiquées dans le Tableau récapitulatif B.

TABLEAU B. — Décharge de la pile.

Dates.	Durée de l'expé-	Potentiel moyen de la pile en h. m.	Intensité moyenne du courant en volts.	Quantité d'électricité en coulombs.	Travail électrique extérieur en kilogrammètres.
7 janv...	7.19	61,39	16,128	424800	2658000
9 janv...	3.20	61,68	16,235	194800	1226000
		10.39		$Q' = 619600$	$0 = 3884000$

CONCLUSIONS.

L'examen des nombres qui précèdent présente un réel intérêt; on voit d'abord que, entre la quantité d'électricité introduite dans la pile, 694500 coulombs, et celle qui en est sortie, 619600, il n'y a qu'une différence de 74900 coulombs, correspondant à une perte proportionnelle de 10 pour 100 environ (0,108) qui doit être répartie sur une période de cinq jours.

Le travail électrique extérieur pendant la durée tout entière de la décharge s'élève à 3809000^{kgm} ; le travail mécanique dépensé avait atteint 9570000^{kgm} , mais, sur ce travail réellement fourni, 6382000^{kgm} seulement avaient été emmagasinés par la pile. Il résulte de là que le travail récupéré pendant la décharge représente

$$3809000 : 9570000 = 0,40$$

du travail total, et

$$3810000 : 6382000 = 0,60$$

du travail emmagasiné.

Ce résultat s'explique facilement: la quantité d'électricité est restée sensiblement la même dans les deux cas; mais la charge s'est faite avec un potentiel moyen de

$$6328000 : 695300 = 91 \text{ volts},$$

et la décharge sous un potentiel moyen de

$$3809000 : 619600 = 61^{\text{volts}}, 5.$$

Dans les deux cas, les niveaux étaient dans le rapport de 3 à 2 : cette différence de potentiel dans les deux phases distinctes est inévitable. En effet, si l'on désigne par E la force électromotrice de la pile, par R sa résistance intérieure, par I et t l'intensité du courant et sa durée, pendant la charge, et si l'on représente par les mêmes lettres, avec accent, les quantités correspondantes pour la décharge, le rendement électrique a pour expression

$$\alpha = \frac{I'(E - R'I')t'}{I(E + RI)t};$$

on peut admettre, en négligeant la déperdition, $I't' = It$, et il est permis d'admettre aussi que $E = E'$, ce qui conduit à

$$\alpha = \frac{E - R'I'}{E + RI}.$$

On voit ainsi que le rendement sera toujours inférieur à l'unité, mais d'autant plus grand que les intensités et les résistances seront plus petites. Il y a donc intérêt à charger la pile avec le plus faible courant possible et, par suite, à prolonger la durée de la charge,

Dans l'expérience actuelle, E étant voisin de 75 volts, il se trouve que $R'I'$ est sensiblement égal à RI , bien que I' soit plus grand que I . Cela tient à ce que la résistance de la pile, comme cela résulte d'ailleurs de l'observation, a été sensiblement plus faible pendant la décharge que pendant la charge.

En résumé, et pour mettre les résultats précédents sous une forme plus précise, la charge de la pile a exigé un travail mécanique total de $1^{ch}, 558$ pendant $22^h 45^m = 1365^m$, ou un cheval pendant

$$1,558 \times 1365^m = 2126^m \text{ ou } 35^h 26^m.$$

La pile n'a recueilli en réalité que 0,66 de ce travail, le surplus ayant été employé en résistances passives et en travail d'excitation.

Le travail de 6382100^{kgm} ainsi emmagasiné n'a été lui-

même récupéré dans ses effets extérieurs que jusqu'à concurrence de 60 pour 100, et il y a lieu de supposer qu'il en aurait été de même dans toute autre application analogue à celle du fonctionnement des lampes Maxim, sur lesquelles il a été employé.

L'emploi de l'accumulateur a donc coûté 0,40 du travail fourni par la machine dynamo-électrique qui avait produit le courant, ou, en d'autres termes, 0,40 du travail électrique qui aurait été disponible sans cet intermédiaire. Il n'est que juste toutefois d'ajouter qu'en bien des circonstances cette perte se trouverait utilement rachetée par l'avantage que l'on pourrait avoir à conserver sous la main, et entièrement à sa disposition, une source aussi abondante d'électricité.

La pile constitue d'ailleurs un régulateur puissant, dont l'action suffirait au besoin pour suppléer, dans certaines applications et pendant un temps assez long, à l'arrêt même de la machine motrice.

V. — TRANSPORT DU TRAVAIL MÉCANIQUE.

Les applications de l'électricité qui ont pour objet le transport du travail mécanique avaient été, dans la pensée de la Commission, l'un des sujets d'étude qu'elle devait se proposer; on ne sait encore que peu de chose à cet égard, quant au rendement pratiquement réalisé, et nous avons lieu de penser que les exposants se prêteraient volontiers à des expériences à l'aide desquelles nous aurions voulu, tout au moins, dégager quelques valeurs numériques de ce rendement dans certains cas particuliers. Dans la Section française, plusieurs exposants qui nous avaient promis leur concours à ce sujet se sont cependant abstenus, et d'autres, qui se sont fait une sorte de spécialité dans ce genre de transmission, n'ont pas sans doute jugé qu'il leur fût utile d'aider à la constatation de résultats dont ils ne pouvaient espérer une satisfaction plus grande que ne leur avaient

donnée, à eux-mêmes, le petit nombre de déterminations qu'ils avaient tenté de faire dans le même but.

Nous avons ainsi été réduits aux seules machines Gramme exposées par MM. Heilmann Ducommun et Steinlenn, de Mulhouse, machines tout à fait irréprochables au point de vue de l'exécution mécanique et qui avaient précisément été installées pour entretenir en fonction tout un atelier spécial de mécanicien, composé de leurs plus belles machines-outils.

Ces habiles constructeurs n'avaient fait non plus aucune étude préalable de la question électrique et les résultats que nous avons obtenus ne correspondent dès lors qu'à un cas particulier de cette question, si intéressante et si pleine de promesses, de la transmission du travail mécanique par les machines dynamo-électriques.

Deux machines dynamo-électriques, à courant continu, et du type Gramme d'atelier, de même système, ont été en outre mises à notre disposition, comme terme de comparaison, par un autre constructeur, et MM. Geneste et Herscher nous ont permis l'usage d'un circuit de 560^m, dont nous avons voulu comparer l'influence à celle du circuit de 84^m seulement de longueur qui reliait les deux machines Ducommun, placées à 42^m de distance l'une de l'autre.

Dans une première série d'expériences, nous n'avons enregistré que les seules données mécaniques, qui, dans une autre série, ont été complétées par quelques mesures électriques.

Il convient de faire remarquer tout d'abord que, réduits même aux seules déterminations mécaniques, ces sortes d'essais ne comportent pas, en l'absence d'une installation toute spéciale, un très grand degré d'exactitude.

Le travail moteur était mesuré à l'aide d'un dynamomètre de M. Von Hefner-Alteneck, exposé par la maison Siemens, de Berlin. Cet instrument, très ingénieux et d'une installation facile, n'est pas enregistreur, et la valeur de l'effort transmis par la courroie doit être lue pendant le

mouvement et malgré les trépidations qui en résultent, au moyen des oscillations d'une aiguille mobile devant une échelle à divisions trop petites pour que l'on puisse compter sur une valeur précise.

Dans les expériences dont il s'agit, la poulie motrice de la machine génératrice ayant, avec la demi-épaisseur de la courroie, un diamètre de $0^m, 205$, si l'on désigne par F l'effort observé, et par N le nombre de tours par minute, le travail en kilogrammètres par seconde sera exprimé par

$$T = \frac{\pi D \times NF}{60} = 0,0173 NF.$$

Le nombre N des tours par minute de la machine génératrice a été estimé par un compteur de tours de M. Deschiens, fonctionnant très bien ; mais les variations de la vitesse, aux différents moments de l'expérience, exigeaient chaque fois l'établissement d'une moyenne qui est seule indiquée dans les Tableaux.

Les inégalités de la vitesse ne sont pas moins à craindre en ce qui concerne la machine conduite, sur la poulie de laquelle avait été installé un petit frein de Prony qui, pour donner des indications certaines, devait être maintenu en parfait équilibre.

Si L est la longueur du levier de frein équilibré, P le poids dont il est chargé, N' le nombre de tours par minute, le travail transmis par seconde sera donné par la relation

$$T' = \frac{2\pi LPN'}{60}.$$

Deux freins ont été employés, l'un pour lequel $L = 0^m, 318$, ce qui donne

$$T' = 0,0333 PN,$$

l'autre pour lequel $L = 0^m, 637$, ce qui correspond à

$$T' = 0,0657 PN.$$

Les éléments des trois expériences indiquées au Tableau suivant ont été calculés de cette façon.

NUMÉROS des expériences	TOURS de la machine génératrice par τ , N.	EFFORTS mesurés au dynamomètre F.	TRAVAIL moteur en kilogrammètres par τ^r , T.	TOURS de la machine réceptionnée par v , N.	POIDS au frein P.	TRAVAIL transmis en kilogrammètres par v^r , T.	RENDEMENT $\frac{T}{T} \cdot$	RAPPORT	
								des vitesses $N^r : N$.	de $\frac{N^r}{N}$ à $\frac{T^r}{T}$.
I. 18 octobre 1881. Machine A Ducommun à une machine B Ducommun; circuit de 84^m.									
1.....	1344	11,30	152,96	839	1,50	83,87	0,5,5	0,624	1,21
2.....	1389	13,00	192,75	792	2,00	105,60	0,545	0,570	1,05
3.....	1419	17,00	259,16	729	3,50	120,83	0,466	0,514	1,10
4.....	1329	18,56	246,67	533	3,00	106,60	0,432	0,501	0,93
5.....	1344	22,80	328,91	502	3,50	117,13	0,306	0,373	1,05
II. 19 octobre 1881. Machine A Ducommun à une machine D d'autre constructeur; circuit de 84^m.									
6.....	1366	16,82	276,53	905	3,00	90,00	0,365	0,663	1,82
7.....	1390	18,82	280,69	815	4,00	108,16	0,373	0,586	1,57
8.....	1354	20,00	290,57	685	5,00	114,16	0,392	0,506	1,29
9.....	1371	22,92	337,28	552	6,00	110,36	0,327	0,403	1,23
III. 19 octobre 1881. Machine A Ducommun à la machine D; circuit de 560^m.									
10.....	1399	16,42	264,49	786	3,00	78,60	0,319	0,562	1,77
11.....	1324	19,00	269,92	603	4,00	80,33	0,298	0,455	1,53
12.....	1428	21,52	329,74	531	5,00	88,50	0,218	0,372	1,79

Si, tout d'abord, nous nous bornons à considérer seulement les cinq expériences de la première série, nous reconnaissons que le rendement s'élève jusqu'à 0,54 pour s'abaisser régulièrement et progressivement jusqu'à 0,30, à mesure que l'on passe d'un effort au frein de 2^{kg} à un effort de 3^{kg}, 50.

Dans le premier cas, on peut ainsi transmettre le travail de 1^{ch}, 40, et, lorsque la charge du frein augmente, ce travail atteint 1^{ch}, 60 seulement.

La machine Gramme, type d'atelier, paraît donc pouvoir être employée à transmettre facilement 1^{ch}, 50, à environ 80^m de distance, dans les conditions usuelles, avec un rendement qui varie de 50 à 40 pour 100.

La deuxième série, composée de trois expériences seulement, est moins favorable; mais la différence paraîtra moins sensible si l'on remarque que ces expériences correspondent à des charges au frein plus grandes, et que, pour celles-là comme pour les premières, le rendement diminue très notablement à mesure que cette charge augmente.

Avec un circuit de 560^m (distance de 280^m entre les machines), ce rendement diminue encore, ainsi qu'il était facile de le prévoir, dans une proportion qui, pour les trois couples d'expériences qui sont respectivement de même charge, se trouve être, en moyenne, 0,74, soit un rendement moyen de 0,377 pour un circuit de 84^m et de 0,278 pour celui de 560^m.

Nous ne serions pas éloigné de croire que la position des balais ait été plus favorable dans la première série que dans les autres; mais, au point de vue du fait, nous ne pouvons que constater les résultats qui viennent d'être indiqués, et qui sont certainement moins satisfaisants qu'on ne l'aurait pensé *a priori*.

Il faut cependant ajouter qu'il s'agit ici du rendement réel, calculé en comparant le travail effectivement trans-

mis au travail total dépensé, alors qu'au point de vue électrique il aurait peut-être été préférable de s'affranchir des résistances passives de la transmission mécanique. Si l'on désignait respectivement par t et t' ces quantités de travail résistant, la véritable mesure du rendement électrique serait donnée par le rapport $(T' + t') : (T - t)$, dont la valeur est nécessairement plus grande que $T' : T$, bien que ce soit ce dernier rapport qui intéresse le plus dans les applications.

Si les deux machines étaient absolument identiques, le rendement, suivant certaines appréciations discutables, serait donné par le rapport des vitesses que nous avons mises en regard, et l'on voit qu'en effet non seulement ceux-ci sont plus grands que ceux-là, mais ils varient, pour une même série, très approximativement dans la même proportion : 1,07 pour la première série, 1,48 pour la seconde et 1,67 pour la dernière.

Nous aurions désiré qu'il nous fût possible de répéter ces mêmes expériences en prenant des mesures électriques; mais, lorsque les éléments de ces déterminations furent préparés, la machine A avait été changée et remplacée par une machine C de même système, et nous dûmes dès lors nous borner à faire varier entre cette machine C, qui a été reconnue moins satisfaisante, employée comme génératrice, et la première machine B, les deux circuits employés précédemment. Les séries correspondantes IV et V sont résumées dans le Tableau suivant :

N° des expériences	TOURS de la machine génératrice par τ , N.	EFFORTS mesurés au dynamomètre F.	TRAVAIL moteur en kilogrammètres par τ , T.	TOURS de la machine réceptionnée par τ' , N'.	POIDS au frein P.	TRAVAIL transmis en kilogrammètres par τ' , T'.	RENDEMENT $\frac{T'}{T} \cdot \eta$	RAPPORT	
								des vitesses $N' : N$.	de N' à $\frac{T'}{T} \cdot \eta$
IV. 13 et 14 novembre 1881. Machine C Ducommun à la machine B Ducommun; circuit de 84 m.									
13.....	1269	7,00	96,81	1316	0	0	"	1,088	"
14.....	1184	12,88	163,63	915	0,90	54,90	0,336	0,773	2,30
15.....	1244	16,00	213,57	740	1,40	69,97	0,323	0,594	1,84
16.....	1242	16,00	212,93	779	1,40	71,71	0,342	0,627	1,83
17.....	1194	17,15	219,72	580	1,90	73,47	0,335	0,486	1,45
18.....	1176	17,70	223,34	468	2,40	74,95	0,336	0,399	1,19
19.....	1193	20,50	262,46	229	3,40	51,91	0,197	0,193	0,97
V. 13 novembre 1881. Machine C Ducommun à la machine B Ducommun; circuit de 560 m.									
20.....	1223	6,61	86,68	1526	0	0	"	1,248	"
21.....	1226	10,27	135,19	752	0,90	45,12	0,336	0,592	1,76
22.....	1250	12,53	168,49	648	1,40	60,48	0,359	0,516	1,44
23.....	1203	15,38	204,14	477	1,90	60,35	0,296	0,385	1,30
24.....	919	19,37	190,99	172	2,40	57,55	0,144	0,187	1,29

Comme on le voit par ce Tableau, les vitesses de la machine génératrice ont été maintenues, indépendamment de notre volonté, à une allure moins rapide que précédemment (1190 tours par minute au lieu de 1370) et le rendement mécanique, très peu variable dans le cours de chacune des séries, n'a pas dépassé 0,36.

On reconnaît toutefois, comme dans les trois séries du 18 octobre, que, à partir d'une certaine limite de la charge au frein, le rendement va rapidement en diminuant, lorsque cette charge augmente, et nous n'avons pu, dans ces conditions, transmettre plus de 1^{ch} avec le circuit de 84^m, ni plus de 0^{ch},80 avec le circuit de 560^m. La différence est, sous ce rapport, très manifeste et donne déjà une première appréciation, extrêmement caractéristique, de l'influence de la distance. Le travail transmis est réduit au moins d'un cinquième pour le même travail moteur.

Dans les deux expériences 13 et 20, on avait enlevé complètement le frein, de sorte que le système des deux machines génératrice et réceptrice fonctionnait sans avoir à vaincre aucune résistance utile, et il s'est présenté alors cette singularité, dans les deux cas, que la machine réceptrice est arrivée à faire plus de tours que la machine génératrice.

D'une manière générale, les rapports $T':T$ et $N':N$ se modifient simultanément dans le même sens, le quotient de celui-ci par celui-là se rapprochant constamment de l'égalité, à mesure que la charge augmente.

Les indications précédentes peuvent être complétées par quelques données électriques sur les expériences des 4^e et 5^e séries. On a mesuré les résistances à froid de chacune des machines et du circuit, ainsi que l'intensité du courant dans chaque expérience, ce qui permet de donner la mesure de chacun des travaux des résistances électriques en kilogrammètres, mais les circonstances n'ont pas permis de mesurer les forces électromotrices dont la

connaissance aurait dû compléter celle des autres déterminations.

Nous donnerons d'abord quelques indications sur les machines elles-mêmes et sur les circuits.

Toutes les machines étaient du type Gramme d'atelier.

Les quatre électro-aimants comprenaient ensemble 360^m de fil, de 0^m,0035 de diamètre et d'un poids total de 26^{kg},50. La bobine était composée de 60 spires de fil de cuivre de 0^m,0018 de diamètre, d'une longueur totale de 264^m, pesant 5^{kg},25.

Les diamètres intérieur et extérieur de l'anneau en fer doux étaient respectivement 0^m,139 et 0^m,171; largeur 0^m,100.

Pour la seule machine D les nombres étaient un peu différents; électro-aimants : 335^m de fil de 0^m,0035 de diamètre; poids : 276^{kg}. Bobine : 276^m de fil de 0^m,0018 de diamètre; poids : 6^{kg},200.

Quantaux câbles qui établissaient la communication entre les deux machines, celui de 84^m était formé de sept brins de 0^m,0015 de diamètre, celui de 560^m de longueur, de quatorze brins de 0^m,0008 de diamètre.

Les résistances relatives de ces câbles étant mesurées pour chacun d'eux par le quotient de la longueur par la section correspondante, le rapport de ces résistances serait donné par

$$\frac{84}{560} \times \frac{14 \times 0,8^2}{7 \times 1,5} = \frac{1}{11,76},$$

alors que la mesure directe, d'après les chiffres de l'expérience, donne une réelle confirmation de ce rapport

$$\frac{0,08}{1,005} = \frac{1}{12,06}.$$

Voici l'indication des résistances :

	Ohms.	Ohms.
Machine génératrice.....	1,062	1,062
» réceptrice.....	1,055	1,055
Circuit (84 ^m).....	0,080 (560 ^m)...	1,005
	<hr/> 2,197	<hr/> 3,122

Ces nombres sont respectivement ceux par lesquels il faudra multiplier le carré de chaque intensité (divisé par g) pour obtenir la valeur du travail électrique correspondant, ainsi qu'il est calculé dans le Tableau suivant, où l'on a représenté par θ , θ' et θ'' le travail respectivement dépensé en chaleur dans les deux machines et dans le circuit, et leur somme par C .

La petitesse du rendement ayant fait naître dans notre esprit quelques inquiétudes au sujet de l'exactitude des déterminations, nous en avons cherché l'explication dans la valeur de ce travail C converti en chaleur, qui a d'abord été introduit en totalité dans les éléments du Tableau :

N ^o NUMÉROS des expériences.	TRAVAIL moteur T.	POIDS au frein P.	TRAVAIL transmis T.	INTENSITÉ du courant. I.	TRAVAIL DU aux résistances électriques C.			TRAVAIL DU aux résistances électriques C.	RAPPORTS		
					G : T.	(G + T) : T.	T' : (G + T).				
IV.											
13.....	90,91	0,00	0,00	5,03	5,63	0,06	"	0,06	0,53	0,64	
14.....	163,63	0,90	54,90	11,77	31,65	0,19		0,53	0,55	0,59	
15.....	213,57	1,50	69,07	15,70	48,42	0,23		0,55	0,57	0,60	
16.....	212,93	1,40	71,71	14,67	48,22	0,23		0,55	0,57	0,60	
17.....	219,72	1,90	73,47	18,00	71,50	0,32		0,66	0,66	0,51	
18.....	223,34	2,10	74,95	21,22	100,80	0,45		0,79	0,43		
19.....	262,46	3,40	51,91	27,50	169,46	0,64		0,84	0,23		
V.											
20.....	86,68	0,00	0,00	6,50	13,46	0,16	"	0,16	0,67	0,50	
21.....	135,19	0,90	45,12	11,90	45,18	0,34		0,34	0,81	0,44	
22.....	168,46	1,40	60,48	15,50	76,52	0,45		0,45	0,81	0,37	
23.....	204,14	1,90	60,35	18,00	103,17	0,51		0,51	0,73	0,16	
24.....	190,99	2,40	27,55	21,10	140,76	0,73		0,73	0,87		

Il résulte immédiatement de ce Tableau que les intensités croissent proportionnellement aux charges du frein et par conséquent au travail par tour développé par la machine réceptrice. C'est à peine si les deux séries présentent une très petite différence sous ce rapport, et toutes les intensités, rapportées sur un tracé graphique, répondent assez exactement à la ligne droite qui représente la relation

$$T' = (1,0411 - 6,036) \frac{N}{100}.$$

On pourrait, dans ce cas tout particulier, considérer le travail $6,036 \frac{N}{100}$ comme la mesure d'un travail résistant de la machine réceptrice, correspondant à une intensité $I = \frac{6,036}{1,041} = 5^{\text{amp}},80$, nombre moyen des deux expériences à vide.

Les trois dernières colonnes sont surtout à considérer.

Lorsque l'on compare le travail dépensé par les résistances électriques au travail moteur, on remarque immédiatement que les valeurs de $C:T$ vont constamment en augmentant depuis 19 jusqu'à 64 pour 100 dans la quatrième série, depuis 34 jusqu'à 73 dans la cinquième. L'influence de la résistance du grand circuit se trouve ici très bien expliquée, et l'on voit qu'avec des intensités de 15 ampères et au delà, la plus grande partie du travail moteur se trouve convertie inutilement en chaleur.

Si, comme on l'a fait dans la colonne suivante, on ajoute à ce travail perdu le travail transmis T' , on voit que, dans ces expériences, on retrouve, soit en travail soit en chaleur, jusqu'à 84 et 87 pour 100 du travail moteur, bien que nous n'ayons eu cependant, dans tous les cas, qu'un rendement mécanique très insuffisant.

La question se présente sous un autre point de vue dans la dernière colonne, où nous avons cherché à établir, en

faisant abstraction de toute autre cause de déperdition, le rendement calculé auquel on arriverait par la seule comparaison entre le travail T' réellement recueilli et la somme $T' + C$, qu'il aurait été impossible de ne pas dépenser avec les deux machines, le courant et le circuit employés : les réponses à cette question sont écrites dans le Tableau même ; le rendement mécanique n'aurait pu s'élever, suivant les cas, au delà de 0,64 à 0,23 dans la quatrième série, ni au delà de 0,50 à 0,16 dans la cinquième. Il y a lieu de faire remarquer que ces indications sont absolument indépendantes de toute idée théorique préconçue, et qu'avec les seules données dont nous disposons nous pouvons, dans le même ordre d'idées, pousser encore plus loin nos investigations.

Pour cela, séparons par la pensée l'ensemble de nos appareils en deux groupes entièrement distincts :

1^o La machine génératrice recevant un travail T , dépensant en chaleur perdue une quantité de travail θ , dans le fil induit, et une autre quantité de travail θ'' dans le circuit qui établit la communication avec la machine réceptrice. Il est clair que cette partie de l'appareil ne pourra transmettre au maximum qu'un travail $T_1 = T - (\theta + \theta'')$, et que nous pourrions obtenir une évaluation de son rendement maximum par le rapport $(T - \theta - \theta'') : T$.

2^o La machine réceptrice, avec son propre circuit, consommant, pour chaque intensité, un travail θ' perdu en chaleur et transmettant à son arbre un travail extérieur T' ; le rendement maximum de cette seconde partie de l'appareil sera alors donné par le rapport $T' : (T' + \theta')$.

Il est vraiment curieux de voir combien les rendements ainsi calculés avec les données directes de l'expérience satisfont à une véritable loi de continuité.

NÉMÉROS des expériences.	$\theta.$	$\theta''.$	θ''' , $\theta + \theta' + \theta'' = C.$	$(T - \theta - \theta'') : T.$ $T' : (T' - \theta').$	PRODUIT des deux rapports $k.$	VALEURS de $a : k.$	
						RENDEMENTS observés $a.$	RENDEMENTS a'
IV.	$R = 1,052,$	$R = 0,080,$	$R = 1,055,$	$R = 2,197,$			
13.....	2,75	0,21	5,63	0,96	"	"	"
14.....	1,5,01	1,1,13	2,67	0,90	0,78	0,336	0,49
15.....	2,3,41	1,7,76	14,91	31,05	0,65	0,323	0,50
16.....	2,3,31	1,7,76	23,25	48,42	0,74	0,312	0,52
17.....	35,09	2,6,4	23,15	48,22	0,88	0,66	0,60
18.....	48,58	3,5,8	34,87	71,50	0,83	0,68	0,63
19.....	81,93	6,17	48,46	100,80	0,61	0,47	0,71
			81,37	169,46	0,66	0,39	0,76
V.	$R = 1,062,$	$R = 1,005,$	$R = 1,055,$	$R = 3,122,$			
20.....	4,50	4,33	4,55	13,46	0,88	"	"
21.....	15,34	14,51	15,33	45,18	0,77	0,57	0,336
22.....	26,02	24,63	25,85	76,52	0,70	0,48	0,75
23.....	35,09	33,21	34,87	103,17	0,67	0,63	0,296
24.....	48,24	45,63	46,89	140,76	0,51	0,37	0,144

Le produit des deux chiffres qui expriment respectivement les deux rendements devrait donner la mesure du maximum réalisable avec les machines et le circuit employés, et l'examen de ces produits suffit pour démontrer que le rendement ne saurait dépasser, dans les diverses expériences faites, les valeurs inscrites au Tableau, le travail perdu en chaleur représentant ainsi de 0,30 à 0,80 du travail total.

Sans doute, on pourrait obtenir des résultats plus favorables avec des machines mieux appropriées, combinées de manière à ne mettre en jeu que des résistances moins pour les mêmes forces électromotrices ; mais cela ne s'est pas réalisé avec les machines Gramme, type d'atelier, sur lesquelles nous avons opéré, et les circuits très peu résistants, en raison de leur faible longueur, dont nous avons fait usage.

Jusque-là nos conclusions sont irréprochables et montrent qu'en pratique et avec des machines fonctionnant dans les mêmes conditions, on aurait tort de compter sur un rendement élevé, à moins d'employer les machines à la transmission d'une très petite quantité de travail ; mais à quelles circonstances devrons-nous attribuer l'écart considérable que le Tableau, dans sa dernière colonne, fait ressortir entre le rendement calculé comme nous venons de le faire et le rendement mécanique, beaucoup plus faible, qui a été réellement mesuré. Là encore les chiffres montrent, pour l'une des séries comme pour l'autre, une continuité tout aussi satisfaisante que précédemment, de 0,49 à 0,76 pour la troisième série, de 0,59 à 0,76 pour la quatrième.

Nous avions réussi, dans une certaine mesure, à expliquer en partie cette anomalie, en partant de la tension de la courroie motrice à vide et des résistances passives de la réceptrice ; mais nous pensons qu'au point de vue des conséquences pratiques à tirer de l'insuccès même de nos

expériences, il est plus utile de nous arrêter aux indications qui précédent, et qui suffisent pour démontrer que le problème est encore loin d'être résolu en pratique, si ce n'est pour de très petites quantités de travail, avec un rendement qui ne dépasse pas 50 pour 100.

Cette conclusion ne saurait d'ailleurs s'appliquer qu'à l'installlation même qu'il nous a été permis d'expérimenter, et sans qu'elle puisse contredire en aucune façon aux modifications utiles dont les machines destinées au transport du travail mécanique peuvent être l'objet.

NOTE COMPLÉMENTAIRE SUR LE DYNAMOMÈTRE
DE M. VON HEFNER-ALTENECK.

Nous avions pu craindre que les incertitudes dont il vient d'être question eussent pour origine une évaluation erronée du travail dépensé, et, pour éclaircir ces doutes, il nous a paru nécessaire de faire, avec le même dynamomètre, une opération de contrôle qui nous fixât absolument sur l'exactitude des mesures.

Ce contrôle a été de tous points favorable à l'instrument et nous considérons comme un devoir de le constater avec quelques détails.

Le dynamomètre de M. Von Alteneck a pour organe principal une poulie folle, montée sur un axe mobile et qui est embrassée pendant son fonctionnement entre les deux brins de la courroie de transmission; ces deux brins tendent respectivement à déplacer l'axe de cette poulie en sens contraires, et l'effort résultant, qui est proportionnel à la différence des deux tensions, se trouve mesuré par un ressort antagoniste dont les flexions sont indiquées, à chaque instant, par une longue aiguille qui se déplace devant un limbe divisé; chaque millimètre de cette division correspond à un effort de 2^{kg}.

On peut, sans doute, reprocher à cet instrument ses

trop brusques et trop fréquentes trépidations, atténues cependant par une sorte de pompe à air, à cataracte, mais, ainsi qu'on va le voir, ses indications sont finalement d'une très réelle exactitude.

La courroie motrice ne passe pas seulement sur la poulie motrice et sur la poulie conduite, et sur cette poulie intermédiaire, mais elle est encore guidée dans son mouvement par quatre autres galets placés de manière à permettre à la poulie principale de l'instrument de se déplacer, sans que pour cela les parties extérieures de la transmission éprouvent le moindre dérangement. Il est seulement nécessaire que le joint de la courroie soit fait avec le moindre recouvrement, afin d'éviter, autant que possible, les souffres qui ne manqueraient pas de se produire au rapide passage de toute inégalité entre ces sept galets de petits diamètres et placés très près les uns des autres.

L'expérience de vérification dont il s'agit a consisté à mesurer simultanément une même quantité de travail par le dynamomètre Von Alteneck, par un dynamomètre de rotation, enregistreur, appartenant à la Société des agriculteurs de France et par un frein de Prony.

Le travail extérieur était transmis à l'arbre d'une poulie motrice de $0^m,705$ de diamètre, munie d'une courroie commandant la poulie de 1^m de diamètre du dynamomètre de rotation. C'est sur le cours de cette courroie qu'était installé le dynamomètre Von Alteneck, et le frein, dont le bras de levier avait $1^m,53$ de longueur, se trouvait installé sur l'arbre même du dynamomètre principal.

Le travail indiqué par le dynamomètre différentiel était mesuré par le produit de l'effort observé, et de la vitesse de la courroie, déduite du nombre de révolutions du grand dynamomètre. Il suffisait donc d'observer à chaque instant l'effort indiqué, sur le limbe de l'instrument.

En ce qui concerne le dynamomètre de rotation, on y relevait le travail enregistré par le totalisateur de travail,

dont il est muni, et la vitesse par la lecture d'un simple compteur de tours.

Ce nombre de tours était également celui de l'arbre du frein, le travail par tour sur ce frein étant d'ailleurs donné par le produit de la circonférence de rayon 1^m,530, soit 6^m,4717, et de la charge du levier en kilogrammes.

Le dynamomètre anglais met en jeu les mêmes principes que le dynamomètre de rotation de M. le général Morin; la poulie est reliée à l'arbre par des ressorts (très longs et très cintrés) dont la flexion, plus ou moins grande, déplace une roulette, maintenue au contact d'un plateau faisant un nombre de tours proportionnel à celui de l'arbre de transmission. Le nombre des révolutions de la roulette est ainsi, et à chaque instant, proportionnel au produit de la vitesse de l'arbre par l'effort exercé, si l'on a soin de s'assurer que cette roulette se maintient exactement au centre du plateau lorsque l'effort est nul. On n'a d'ailleurs pas à tenir compte de l'épaisseur de la courroie lorsque l'instrument a été taré avec une courroie de même épaisseur.

Chaque division du compteur de travail correspondait originairement à 20 000 livres-pieds, ou ce qui est l'équivalent, à 2764^{kgm}, mais on a pensé qu'il était nécessaire, pour l'expérience spéciale que l'on avait en vue, de vérifier tous les éléments de cette tare, avant que l'instrument ait été employé à d'autres essais.

Comme vérification accessoire, relative au bon fonctionnement de la transmission, on a déterminé, à plusieurs reprises, la vitesse par minute de la poulie motrice, vitesse qui, dans les conditions indiquées, devait être égale à 100 : 70,50 = 1,42 fois celle de l'arbre du dynamomètre.

Deux expériences ont été faites dans ces conditions, l'une avec une charge au frein de 15^{kg}, l'autre avec une charge au frein de 20^{kg}; la concordance des résultats a été telle qu'il eût été sans intérêt de les multiplier.

Dans le premier essai, dont la durée a été prolongée pendant vingt minutes, l'effort moyen indiqué par le dynamomètre Von Alteneck a oscillé seulement entre 46^{kg} et 50^{kg} (23 à 25 divisions) et a fourni une moyenne de 24^{kg} qui, pour chaque tour du dynamomètre anglais, correspondait à un travail de $48^k \times \pi D = \pi \times 48 \times 1^{kgm}$.

Pendant ce temps, le travail mesuré au frein était exactement $15^{kg} \times 2\pi l = 15 \times 2\pi \times 1,53$.

Le rapport entre les deux indications est ainsi, en supprimant le facteur commun π , $K = \frac{48 \times 1}{15 \times 2 \times 1,53} = 1,046$.

Dans le deuxième essai, de même durée, l'effort du dynamomètre Von Alteneck a varié de 60^{kg} à 65^{kg} (30 à 32,5 divisions), avec une moyenne de 63^{kg}, 24; la charge au frein était de 20^{kg} et le rapport K devient

$$K = \frac{63,24 \times \pi \times 1,000}{20 \times 2\pi \times 1,53} = 1,033.$$

Le travail transmis dans le premier cas s'est élevé à 3^{chx}, 76, dans le second à 4,03.

On voit ainsi que les évaluations du dynamomètre Von Alteneck sont supérieures de 4 pour 100 à celles du frein, mais l'écart entre les deux instruments est certainement moindre, puisque le travail que le premier a servi à mesurer a été en partie dépensé par la résistance passive du grand dynamomètre enregistreur.

Le dynamomètre Von Alteneck est ainsi un instrument qui, manœuvré avec les soins convenables, fournit des indications auxquelles toute confiance doit être accordée.

Nous n'avons pas obtenu, tout d'abord, la même concordance avec le dynamomètre enregistreur, mais il a été reconnu que le petit désaccord observé était principalement dû au jeu des points d'insertion des lames, et qu'il n'était vraiment mesurable que dans les cas où l'on avait à enregistrer successivement des alternances d'efforts positifs et négatifs.

VI. — EXPÉRIENCES SUR DIVERSES MACHINES MOTRICES.

MACHINES A GAZ.

Les machines à gaz, qui ne sont entrées dans la pratique industrielle qu'à la suite des premières applications de M. Hugon et de M. Lenoir, vers 1862, ont donné lieu, depuis cette époque, à une exploitation toujours grandissante, qui ne s'était jamais affirmée plus sérieusement qu'à l'Exposition d'électricité.

C'est que, en effet; les machines à gaz, par la facilité de leur installation, qui n'exige ni générateurs ni mise en feu préalable, peuvent se prêter utilement à la conduite des appareils d'éclairage électrique ; sans nous étendre sur ce sujet, nous nous bornerons à l'indication des constatations qu'il nous a été donné de faire sur deux de ces machines, système Otto, l'une de 4, l'autre de 10 chevaux nominaux ; ces expériences se complètent l'une l'autre et indiquent nettement l'état auquel ces sortes de machines sont maintenant amenées ; elles ont été faites en collaboration avec notre collègue M. Ser.

Machines de 4 chevaux.

La machine se compose d'un seul cylindre horizontal de 0^m, 170 de diamètre et de 0^m, 340 de course, du type bien connu dans lequel l'inflammation n'a lieu qu'au second coup de piston, le coup précédent étant exclusivement employé à assurer l'alimentation. La régularité du fonctionnement a permis de restreindre la durée de l'expérience, pendant laquelle un compteur à gaz indiquait la consommation, un compteur de tours le nombre des révolutions de l'arbre moteur, un jaugeage le volume d'eau dépensé pour le refroidissement, un indicateur de Watt et un frein le travail indiqué et le travail effectif. La température de l'eau de refroidissement était, en outre, observée à l'entrée et à la sortie. La consommation de gaz, à la pres-

sion de 40^{mm} d'eau, s'est élevée à 3540^{lit} par heure, la machine faisant 9322 tours pendant le même temps ou 122 tours par minute.

Le frein, de 1^m de long, était chargé d'un poids de 18^{kg}, 200, ce qui correspond à un travail effectif de 3^{chx}, 946. La consommation s'est donc abaissée à 897^{lit} par cheval et par heure, ce qui constitue, sur les dispositions précédentes, même au point de vue de la consommation, une amélioration notable.

On n'a relevé que 3 diagrammes à l'indicateur, et ils correspondent à un travail calculé de 5^{chx}, 265, ce qui établit un chiffre très favorable $3,946 : 5,265 = 0,74$, pour le rendement au frein, du travail indiqué; ce rendement approche beaucoup, comme on le voit, du rendement correspondant des machines à vapeur de puissance équivalente.

Machine de 10 chevaux.

Cette machine était du type à deux cylindres horizontaux, avec manivelles dans le prolongement l'une de l'autre, l'un des pistons produisant l'alimentation pendant que l'autre recueille le travail dû à l'inflammation. Diamètres des cylindres, 0^m, 17; course des pistons, 0^m, 34.

En une heure la consommation de gaz s'est élevée à 7637^{lit} pour 9650 révolutions, ou à raison de 161 tours par minute, allure peut-être un peu trop vive.

Le travail n'a été mesuré qu'au frein : bras du levier, 1^m, 430; charge, 26^{kg}; travail correspondant, 8^{chx}, 345, ce qui fait ressortir la consommation du gaz à 915^{lit} par cheval et par heure.

Un jaugeage direct de l'eau d'alimentation porte la consommation par heure à 187^{lit}, introduits à 16°, et pertes, au moment de la sortie, à 79°, 5, ce qui représente une différence de 1187^{cal} par cheval, soit environ le quart de la chaleur dégagée par la combustion.

Il est ainsi constaté que la consommation de gaz, par heure et par cheval, dans les nouvelles machines Otto, doit être estimée à 900^{lit} environ, et que ces machines donnent lieu à un fonctionnement de parfaite régularité, débarrassé du bruit insupportable des anciennes machines à cylindre vertical.

A la date de l'Exposition il avait été livré, à diverses industries, 1800 de ces machines à deux cylindres, de 1 à 8 chevaux, représentant un total de plus de 5600 chevaux vapeur.

MACHINE A VAPEUR DE MM. CARELS FRÈRES.

Cette machine Compound à quatre cylindres, système Sulzer, à soupapes équilibrées, était la plus puissante de l'Exposition, pendant toute la durée de laquelle elle a fait fonctionner 28 à 30 machines magnéto-électriques, entretenant plus de 100 lampes distribuées dans les diverses parties du Palais.

Pendant la durée de l'essai elle conduisait 28 machines et 94 lampes en moyenne; aussi n'a-t-elle pu développer toute sa puissance, qu'il a fallu réduire à 160 chevaux au lieu de 500.

La machine étant constamment utilisée, on n'a pu déterminer que sa puissance indiquée et sa consommation d'eau.

Quant au travail indiqué, il a été relevé au moyen de 50 diagrammes, pris sur les deux chambres de chacun des deux cylindres en fonction; les quatre indicateurs, système Richard, qui y ont été employés, avaient été tarés à l'avance avec le plus grand soin.

Quant à la vitesse de la machine, qui a été de 70^{1,15} par minute, elle n'a varié, pendant toute la durée de l'essai, qu'entre des limites très restreintes; les vitesses de 70^{1,5} et de 71^{1,0} n'ont été observées chacune qu'une

seule fois, les autres déterminations ayant toutes indiqué 70 tours.

La pression moyenne résultant des diagrammes a été de 2^{kg},018 dans le petit cylindre, et de 0^{kg},870 dans le grand, ce qui, en tenant compte des diamètres et du volume de la tige du piston, revient à un effort total de 12061^{kg} pendant toute la durée de l'expérience.

A raison d'une course commune de 0^m,900 pour les pistons, la puissance indiquée s'élève ainsi à

$$12061^{\text{kg}} \times 0^{\text{m}},900 \times \frac{70,15}{60} : 75 = 169^{\text{chv}},22.$$

La machine était alimentée par une chaudière spéciale de l'installation de M. de Naeyer; l'eau dépensée, mesurée dans la bâche d'alimentation, s'est élevée à 2850^{lit}, dont 28^{lit} ont été condensés dans le tuyau de vapeur conduisant à la machine, ce qui, pour une durée totale de cent vingt-huit minutes, donne une consommation, par heure et par cheval indiqué, de

$$\frac{2850}{169,22} \times \frac{60}{128} = 7^{\text{lit}},88$$

ou

$$\frac{2828}{169,22} \times \frac{60}{128} = 7^{\text{lit}},82,$$

suivant que l'on compte ou que l'on déduit l'eau condensée dans le trajet.

Cette minime consommation est assurément fort remarquable, surtout pour le fonctionnement de la moitié de la machine seulement, et elle est d'ailleurs corroborée par plusieurs résultats d'expériences antérieures qui nous ont été communiqués.

Tous les diagrammes sont pour ainsi dire identiques et très satisfaisants.

Pour la chambre d'arrière du petit cylindre, l'échappement se fait à pression parfaitement constante, sauf pour la période de compression qui se trouve réglée d'une manière convenable; mais à l'admission on remarque un laminage très accusé de la vapeur lorsque la pression augmente dans le générateur. Dans la chambre d'avant le diagramme est absolument régulier sous ce rapport, sans jamais cesser de l'être dans la période d'échappement. La pression effective d'admission était fixée à $5^{kg},6$, et celle d'échappement différait très peu de 1^{kg} .

Pour le grand cylindre, les diagrammes sont à peu près identiques dans les deux chambres. L'introduction présente nécessairement dès l'origine une décroissance de pression à laquelle fait suite la continuation de la détente. La pression à l'entrée diffère peu de $0^{kg},6$, et le vide se maintient très exactement, autant qu'on peut l'estimer par les tracés, au-dessous de $0^{kg},2$. Il s'y produit également une compression bien réglée qui est parfaitement réussie.

Les conditions qui viennent d'être indiquées sont celles d'une admission de $0^{kg},25$ dans le petit cylindre, correspondant à une détente totale au douzième; la machine donnerait un travail indiqué de 340 chevaux dans ces conditions, et l'on voit facilement qu'en portant la pression à l'entrée à 7^{atm} et en diminuant un peu la détente, on arriverait à atteindre le chiffre nominal de 500 chevaux effectifs.

Voici, d'ailleurs, quelques indications complémentaires sur les principales dimensions de cette belle machine.

Diamètre du petit cylindre.....	$0^m,450$
— du grand cylindre	$0^m,700$
— de la tige.....	$0^m,065$
Course commune des pistons.....	$0^m,900$
Section effective du petit { à l'arrière .	1590^{sq}
cylindre. { à l'avant...	1557

Section effective du grand cylindre....	3285
Diamètre des soupapes d'admission....	0 ^m ,076
» » d'échappement.	0 ^m ,090

Une machine des mêmes dimensions, mais avec un grand cylindre et un petit cylindre seulement, avait figuré à l'Exposition de Bruxelles en 1880, où elle avait donné lieu à des déterminations presque identiques.

.....

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages
I. INTRODUCTION.....	5
I. MÉTHODES EMPLOYÉES.....	6
<i>Déterminations mécaniques</i>	6
Installation des expériences. — Diagrammes obtenus au moyen d'indicateurs de pression. — Dynamomètres employés.	
<i>Déterminations électriques</i>	9
Galvanomètre Deprez. — Électrodynamomètre Siemens. — Électromètre à cadrans. — Mesure de l'intensité. — Mesure de la chute de potentiel dans l'arc électrique. — Calcul de l'énergie consommée dans l'arc. — Mesure directe de l'énergie dépensée dans l'arc. — Marche des expériences.	
<i>Déterminations photométriques</i>	19
Mode de procéder. — Définition de l'intensité moyenne sphérique. — Manière de la calculer dans les différents cas. — Lumières à arc voltaïque, à courants alternatifs. — Lumières à arc voltaïque, à courant continu. — Lumières à bougies. — Lumières à incandescence. — Tableaux I à VI donnant les calculs de l'intensité moyenne sphérique pour les différentes lumières. — Tableaux VII à X donnant les résultats des expériences photométriques faites à l'Exposition. — Planches I, II et III donnant la représentation graphique des résultats.	
<i>Note sur le mode de répartition de l'intensité lumineuse de la lampe Edison dans le plan horizontal</i> , par M. HAGENBACH...	41
II. RÉSULTATS DES ESSAIS SUR LES DIFFÉRENTS MODES D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE, ET OBSERVATIONS Y RELATIVES.....	47
<i>Définition des termes employés.</i>	
<i>Machines et lampes à arcs voltaïques, à courants continus</i> ...	47
1. Machine Gramme et lampe de phare réglée à la main. — 2. Machine Jurgensen, alimentant un régulateur Serrin. — 3. Machine et lampe Maxim. — 4. Machine et foyer Siemens. — 5. Machine Siemens, alimentant deux foyers Siemens. — 6. Machine Burdin et trois lampes Crompton. — 7. Machine Gramme et trois lampes Gramme. — 8. Machine et cinq lampes Gramme. — 9. Machine et cinq lampes Siemens. — 10. Machine et dix lampes Weston. — 11. Machine et seize lampes Brush. — 12. Machine et quarante foyers Brush dans le Palais de l'Exposition. — 13. Machine et quarante foyers Brush à l'Opéra. — Tableau des expériences et des calculs sur les machines et les lampes à courant continu. — Résumé sur les lampes à arc voltaïque à courant continu. — Comparaison des rendements moyens suivant l'intensité des foyers.	

	Pages
<i>Machines et régulateurs à courants alternatifs.....</i>	66
14. Machine Meritens et lampe Serrin pour phare. — 15. Machine Meritens et cinq foyers Berjot — 16. Machine et douze foyers Siemens. — Tableau des expériences et des calculs sur les machines et régulateurs à courants alternatifs.	
<i>Expériences sur les bougies électriques.....</i>	71
17. Machine Debrun alimentant sept bougies Debrun. — 18. Machine Gramme et vingt bougies Jabloschkoff. — 19. Ma- chine Meritens et vingt-cinq bougies Jabloschkoff. — 20. Ma- chine Jamin alimentant trente-deux, quarante-huit et soixante bougies Jamin. — Tableau des expériences et des calculs sur les bougies électriques.	
<i>Expériences sur les lampes à incandescence.....</i>	77
21. Lampe Maxim. — 22. Lampe Edison. — 23. Lampe Lane-Fox. — 24. Lampes Swan. — Tableau des expériences et des calculs sur les lampes à incandescence. — Compa- raison entre les différentes séries d'expériences.	
<i>Comparaison des rendements dans les quatre systèmes de lumière électrique.....</i>	88
III. RAPPORT DE LA SOUS-COMMISSION SPÉCIALE DES LAMPES À INCANDES- CENCE	90
I. Description des lampes. — II. Mode d'observation. — III. Appareils employés. — IV. Résistance des lampes à froid. — V. Mesure du rendement : résultats des expériences; mode de calcul ; résultats calculés. — VI. Conclusions.	
IV. EXPÉRIENCES SUR LES PILES SECONDAIRES DE M. FAURE, exécutées au Conservatoire des Arts et Métiers les 4, 5, 6, 7 et 9 jan- vier 1882.....	108
Tableau des observations faites pendant la période de charge. — Tableau des observations faites pendant la période de décharge. — Travail dépensé. — Calcul de l'intensité électrique. — Calcul du travail électrique. — Force électro- motrice et résistance de la pile. — Travail électrique pen- dant la période de charge. — Travail électrique pendant la période de décharge. — Résumé des observations faites pendant la période de décharge. — Diagrammes. — Résis- tance des lampes. — Déterminations électriques. — Déter- minations photométriques. — Conclusions.	
V. TRANSPORT DU TRAVAIL MÉCANIQUE	126
<i>Note sur le dynamomètre de M. Von Hefner-Alteneck.....</i>	141
VI. EXPÉRIENCES SUR DIVERSES MACHINES MOTRICES.....	145
<i>Expériences sur les machines à gaz.....</i>	145
<i>Expériences sur la machine à vapeur de MM. Carels frères...</i>	147