

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 - http://cnum.cnam.fr](#))
- la réutilisation commerciale de ces contenus doit faire l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service.

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

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

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

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

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

NOTICE BIBLIOGRAPHIQUE

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

NOTICE DU VOLUME	
Auteur(s) volume	Exposition universelle. 1885. Anvers
Titre	Exposition universelle d'Anvers, 1885. Comptes rendus des travaux du comité international chargé des essais électriques
Volume	Comptes rendus des travaux du comité international chargé des essais électriques
Adresse	Liège : Imprimerie H. Vaillant-Carmanne, 1887
Collation	1 vol. (204 p.) ; 30 cm
Nombre d'images	206
Cote	CNAM-BIB 4 Sar 141 (1)
Sujet(s)	Exposition internationale (1885 ; Anvers) Électricité -- Production -- 19e siècle
Thématique(s)	Énergie Expositions universelles
Typologie	Ouvrage
Langue	Français
Date de mise en ligne	15/12/2020
Date de génération du PDF	15/12/2020
Permalien	http://cnum.cnam.fr/redir?4SAR141.1

EXPOSITION UNIVERSELLE D'ANVERS, 1885

ESSAIS ÉLECTRIQUES

Jan 14/1887

Exposition Universelle d'Anvers

Hubert
1885

COMPTES RENDUS

DES

TRAVAUX DU COMITÉ INTERNATIONAL

CHARGÉ DES

ESSAIS ÉLECTRIQUES

LIÈGE

IMPRIMERIE H. VAILLANT-CARMANNE

RUE SAINT-ADALBERT, 8

—
1887



EXPOSITION UNIVERSELLE D'ANVERS, 1885

ESSAIS ÉLECTRIQUES

INTRODUCTION

Deux Comités d'expériences ont été institués auprès de l'Exposition Universelle d'Anvers par arrêté royal en date du 23 février 1885.

Voici l'exposé des motifs et le texte de cet arrêté :

RAPPORT AU ROI.

SIRE,

Parmi les produits industriels de tous genres qui figurent d'ordinaire dans les expositions, il en est un grand nombre dont les qualités ou les défauts sont difficilement reconnaissables à la simple vue, même pour un observateur expérimenté.

La valeur d'un échantillon de fer, par exemple, ne se révèle point uniquement par son aspect extérieur, ni même par le caractère de sa cassure. Pour l'apprécier plus complètement, il faut le soumettre à des essais nombreux le forger, le marteler, le laminier, l'étirer, le tordre, le plier, l'écraser, en le portant successivement à des températures différentes. Il faut encore constater l'effort sous lequel il se rompt, voir de combien il s'allonge avant cette rupture, quelle est sa résistance aux efforts de torsion, etc.

Un même raisonnement et une conclusion identique s'appliquent à toutes les matières premières ou demi-fabriquées que met en œuvre l'industrie, aux pierres, aux marbres, aux terres réfractaires, aux combustibles, aux bois, aux métaux, aux produits chimiques, etc.

La difficulté s'accroît encore quand il s'agit de porter un jugement sur des produits finis, tels que des machines, des mécaniques, etc. Ici, des éléments d'appréciation multiples entrent en jeu. Il faut considérer non seulement le choix des matériaux, mais le mode de fabrication, l'habileté de la main-d'œuvre et le coût de la façon, puis encore le fonctionnement des appareils, leur rendement, l'effet utile qu'ils produisent au point de vue de la consommation de combustible.

On conçoit, d'après cela, que les visiteurs d'une exposition ne puissent guère se faire une idée exacte du mérite des produits rassemblés sous leurs yeux. Les renseignements nécessaires font défaut. Ceux qu'on trouve dans les prospectus ne sont pas toujours suffisants; parfois, ils sont erronés. En général, le public n'y ajoute point une entière confiance.

Cette absence d'indications précises a pour conséquence de diminuer le caractère pratique et l'utilité commerciale des expositions et de décourager l'initiative des industriels participants, dont les sacrifices ne sont point récompensés.

Il semble qu'on réaliserait une heureuse innovation en fournissant aux exposants le moyen de faire constater les qualités de leurs produits par des épreuves effectuées sous la direction d'un comité d'hommes compétents.

Le nombre et la nature de ces épreuves seraient consignés dans un certificat auquel l'exposant donnerait la publicité qu'il jugerait convenable et où les visiteurs puiseraient des éléments de comparaison d'une haute valeur pratique.

L'institution de ces expériences aurait également d'heureux effets sur les progrès de l'industrie en général, car le producteur en tirerait d'utiles indications sur les moyens d'améliorer la qualité de ses fabricats.

En résumé, l'exécution de cette mesure donnerait aux expositions un caractère d'utilité pratique beaucoup plus accentué.

SIRE,

M'appuyant sur les considérations qui précèdent, et conformément aux propositions du commissariat général du gouvernement et du comité exécutif de l'Exposition d'Anvers, j'ai l'honneur de soumettre à l'approbation de Votre Majesté un projet d'arrêté instituant deux comités spéciaux chargés de procéder

à des essais sur les produits de tous les industriels participant à cette exposition qui en feront la demande.

Ces comités fonctionneraient pendant toute la durée de l'exposition.

Ils seraient composés de personnes de nationalités différentes, d'une valeur technique notoire et offrant, par conséquent, toutes les garanties désirables au point de vue de la manière dont les essais seraient effectués.

L'un s'occuperait des matériaux de construction et des matières premières en général, puis des générateurs à vapeur, des machines et appareils divers.

L'autre aurait spécialement dans ses attributions les expériences à faire sur les nombreux appareils servant à la production ou à l'utilisation de la force électrique.

Le gouvernement de Votre Majesté est en mesure de faciliter à ces comités l'accomplissement de leur tâche, en mettant à leur disposition les appareils installés à l'arsenal de Malines.

Ainsi, le banc d'épreuves de Kirkaldy permettrait les essais de traction, de flexion, d'écrasement et de torsion, avec mesure des allongements, détermination des limites d'élasticité, etc.

Les analyses de métaux, d'huiles, de combustibles s'effectueraient au laboratoire du même établissement.

On pourrait également y constater le rendement des générateurs et des moteurs à vapeur, y faire des essais sur les machines-outils, en déterminant le travail produit et le travail absorbé.

Telles seraient les conditions d'exécution du projet que j'ai l'honneur de soumettre à l'approbation de Votre Majesté. Je La prie, si Elle daigne y donner Son assentiment, de vouloir bien revêtir de Sa Royale signature le projet d'arrêté ci-joint.

Je suis, Sire, avec le plus profond respect, votre très obéissant et très dévoué serviteur.

*Le Ministre de l'agriculture,
de l'industrie et des travaux publics,*

Chevalier DE MOREAU.

LÉOPOLD II, Roi des Belges,

A tous présents et à venir, SALUT.

Vu Notre arrêté en date du 17 juillet 1884, organisant le commissariat général auprès de l'Exposition d'Anvers;

Considérant que l'institution de comités internationaux chargés de procéder à des essais sur les produits des exposants qui en feront la demande est éminemment favorable aux progrès de l'industrie, et qu'elle augmentera le caractère pratique et l'utilité commerciale de l'Exposition universelle d'Anvers;

Sur la proposition de Notre Ministre de l'agriculture, de l'industrie et des travaux publics,

Nous avons arrêté et arrêtons :

Art. 1^{er}. Il est institué deux comités internationaux chargés d'effectuer des essais : le premier, dit comité de l'industrie, sur les matériaux de construction, générateurs à vapeur, machines et appareils divers; le second, dit comité des essais électriques, sur les appareils servant à la production et à l'utilisation de la force électrique.

Art. 2. Porte la désignation des membres du comité de l'industrie.

Art. 3. Sont nommés membres du comité des essais électriques :

MM. BANNEUX, ingénieur en chef, inspecteur des télégraphes de l'État;

DELARGE, ingénieur en chef, directeur des télégraphes de l'État;

GERARD (Eric), ingénieur, professeur à l'Institut électro-technique Montefiore annexé à l'Université de Liège;

GODY (Léon), capitaine commandant d'artillerie, professeur à l'école militaire et à l'école de guerre;

MELSENS, membre de l'Académie royale des sciences, à Bruxelles;

NOTHOMB (L.), ingénieur électricien, à Bruxelles;

ROUSSEAU, professeur à l'Université de Bruxelles;

SOMZÉE, ingénieur, membre de la Chambre des Représentants, commissaire de la section internationale d'électricité.

M. ROUSSEAU remplira les fonctions de président de ce comité et M. Eric GERARD celles de secrétaire-rapporteur.

Art. 4. Ces deux comités seront complétés par l'adjonction de spécialistes appartenant aux pays étrangers qui prendront part à l'Exposition d'Anvers.

Art. 5. Les comités s'occuperont, à partir de ce jour, de préparer le programme des essais qu'ils auront à diriger.

Art. 6. Les fonctions des membres de ces comités sont gratuites.

Art. 7. Les comités d'essais sont rattachés au commissariat général du gouvernement auprès de l'Exposition d'Anvers.

Art. 8. Notre Ministre de l'agriculture, de l'industrie et des travaux publics est chargé de l'exécution du présent arrêté.

Donné à Bruxelles, le 23 février 1885.

LÉOPOLD.

Par le Roi :

*Le Ministre de l'agriculture,
de l'industrie et des travaux publics,*

Chevalier DE MOREAU.

Les savants étrangers dont les noms suivent ont été délégués par leurs Gouvernements respectifs pour prendre part aux travaux du Comité des essais électriques.

ALLEMAGNE.

M. le Docteur WÜLLNER, professeur à l'École polytechnique d'Aix-la-Chapelle.

AUTRICHE-HONGRIE.

M. F. BECHTOLD, chef des télégraphes des chemins de fer Nord-Ouest d'Autriche.

M. KAREIS, ingénieur au Ministère du commerce d'Autriche.

FRANCE.

M. SARTIAUX, chef du service télégraphique aux chemins de fer du Nord.

ITALIE.

M. le Professeur ROITI, de l'Institut Royal des études supérieures de Florence.

PAYS-BAS.

M. COLETTE, inspecteur, chef du service technique des télégraphes des Pays-Bas.

Le Comité des essais électriques est heureux d'exprimer toute sa gratitude aux personnes dont les noms suivent, pour le concours actif et intelligent qu'elles lui ont prêté.

MM. ZUNINI, assistant à l'Institut électro-technique de Liège, qui est resté à Anvers pendant toute la durée de la construction du laboratoire et de l'exécution des essais.

BOULVIN, ingénieur des télégraphes, à Bruxelles,

DELVILLE, id. id. id.

DEMANY, ingénieur électricien, à Liège.

DUMONT, ingénieur des télégraphes, à Bruxelles.

FRENAY, id. id. id.

JONA, ingénieur électricien à Milan.

LAMBOTTE, ingénieur des télégraphes, à Bruxelles.

J. GÉRARD, préparateur de physique à l'Université de Bruxelles.

G. MAY, préparateur à l'Institut électro-technique Montefiore.

Un des premiers soins du Comité des essais électriques a été d'envoyer aux exposants une circulaire, par laquelle il les conviait à faire connaître la nature des objets qu'ils désiraient soumettre aux essais, ainsi que les points spéciaux sur lesquels devait porter cet examen.

Une quarantaine d'exposants ont répondu à cette circulaire, demandant l'essai d'environ 120 appareils différents.

Afin de se mettre en mesure d'exécuter les expériences, le Comité avait, dès le mois de mars 1885, proposé la construction d'un laboratoire d'essais. Pour différentes raisons indépendantes de la volonté du Comité, cette construction a été retardée et ce n'est qu'au mois d'août que, sur l'initiative de M. DEGRAUX, ingénieur de l'Exposition, l'on a mis la main à l'œuvre.

Le Comité a pu se réunir seulement le 7 septembre pour commencer ses travaux. Le faible intervalle de temps qui restait avant la clôture de l'Exposition, fixée au 15 octobre, ne suffisait pas pour exécuter tous les essais demandés par les exposants et, comme on le verra ci-après, une partie de ces épreuves ont été effectuées dans différents laboratoires appartenant à des universités de Belgique et d'Italie. Les retards occasionnés par ces expériences postérieures à l'Exposition, ont naturellement amené un délai notable dans la publication des résultats.

Dans sa première réunion plénière du 7 septembre à laquelle assistaient les membres étrangers, le Comité a arrêté l'ordre général de ses travaux. Il a décidé de convoquer successivement les exposants ayant demandé des essais, en les prévenant qu'il se réservait le droit de publier les résultats obtenus, et en les priant d'assister aux épreuves ou d'envoyer un délégué, afin de régler et de surveiller la marche de leurs appareils.

Pour procéder plus rapidement à l'exécution des essais, le Comité s'est partagé en trois sections ou sous-comités ayant des attributions distinctes.

Le 1^{er} SOUS-COMITÉ a été chargé de la graduation des appareils de mesure, des essais des générateurs de courant et des électro-moteurs.

Il se composait de MM. GERARD,
 NOTHOMB,
 ROÏTI
 et SARTIAUX.

Adjoints : MM. ZUNINI,
 JONA,
 DEMANY.

M. GERARD a été chargé des fonctions de rapporteur.

Le 2^{me} SOUS-COMITÉ a eu en partage les essais photométriques.

Il comprenait : MM. GODY,
 MESENS,
 ROUSSEAU,
 WÜLLNER.

Adjoints : MM. BOULVIN,
DUMONT,
LAMBOTTE.

Rapporteur : M. ROUSSEAU.

Enfin, le 3^{me} SOUS-COMITÉ s'était réservé les essais des appareils télégraphiques, des téléphones et des avertisseurs. Il était formé de :

MM. BANNEUX,
BECHTOLD,
COLETTE,
KAREIS.

Adjoints : MM. FRENAY,
DELVILLE.

Rapporteur : M. BANNEUX.

Au nombre des appareils soumis au Comité, quelques-uns ne pouvaient être essayés à l'Exposition, par suite du défaut de temps ou de l'absence de certains appareils de mesure spéciaux.

Les *accumulateurs*, présentés par la compagnie l'*Électrique* de Bruxelles et par M. de Montaud de Paris, exigeant des expériences de longue durée pour la détermination du rendement moyen, le Comité, d'accord avec les exposants, a prié M. Eric Gerard d'effectuer ces essais dans les laboratoires de l'Institut électro-technique de Liège.

Le *câble télégraphique*, soumis par MM. Berthoud, Borel et C^{ie}, de Cortailod, n'ayant pu être essayé à Anvers par suite de l'impossibilité de trouver un local abrité pour l'immersion du câble, il a été décidé que l'essai serait également exécuté à Liège par M. Gerard.

Le *transformateur Zipernowski, Déri et Blathy*, présenté par MM. Ganz et C^{ie}, de Buda-Pest, a été détérioré au cours de l'essai commencé à Anvers. Comme la réparation de cet appareil exigeait plusieurs semaines, le Comité a prié M. Roïti d'effectuer cette épreuve dans son laboratoire de l'Institut supérieur de Florence. M. Roïti a consenti à accéder au vœu du Comité, sous la réserve que son gouvernement consentirait à accorder le subside nécessaire pour permettre l'exécution de ces expériences.

M. Roïti a bien voulu se charger également d'effectuer à Florence, l'étalonnage des *condensateurs* soumis par MM. Berthoud, Borel et C^{ie}, mesure qui ne pouvait être faite dans le laboratoire industriel de l'Exposition.

Les essais des *fils de bronze phosphoreux* , exposés par les fonderies et tréfileries d'Anderlecht, exigeant un banc d'épreuve plus puissant que celui du laboratoire de l'Exposition, le Comité a décidé que le 2^{me} sous-comité procéderait à ces expériences à Anderlecht, chez l'exposant, lequel possède un cabinet d'essais spécialement approprié aux essais de cette nature.

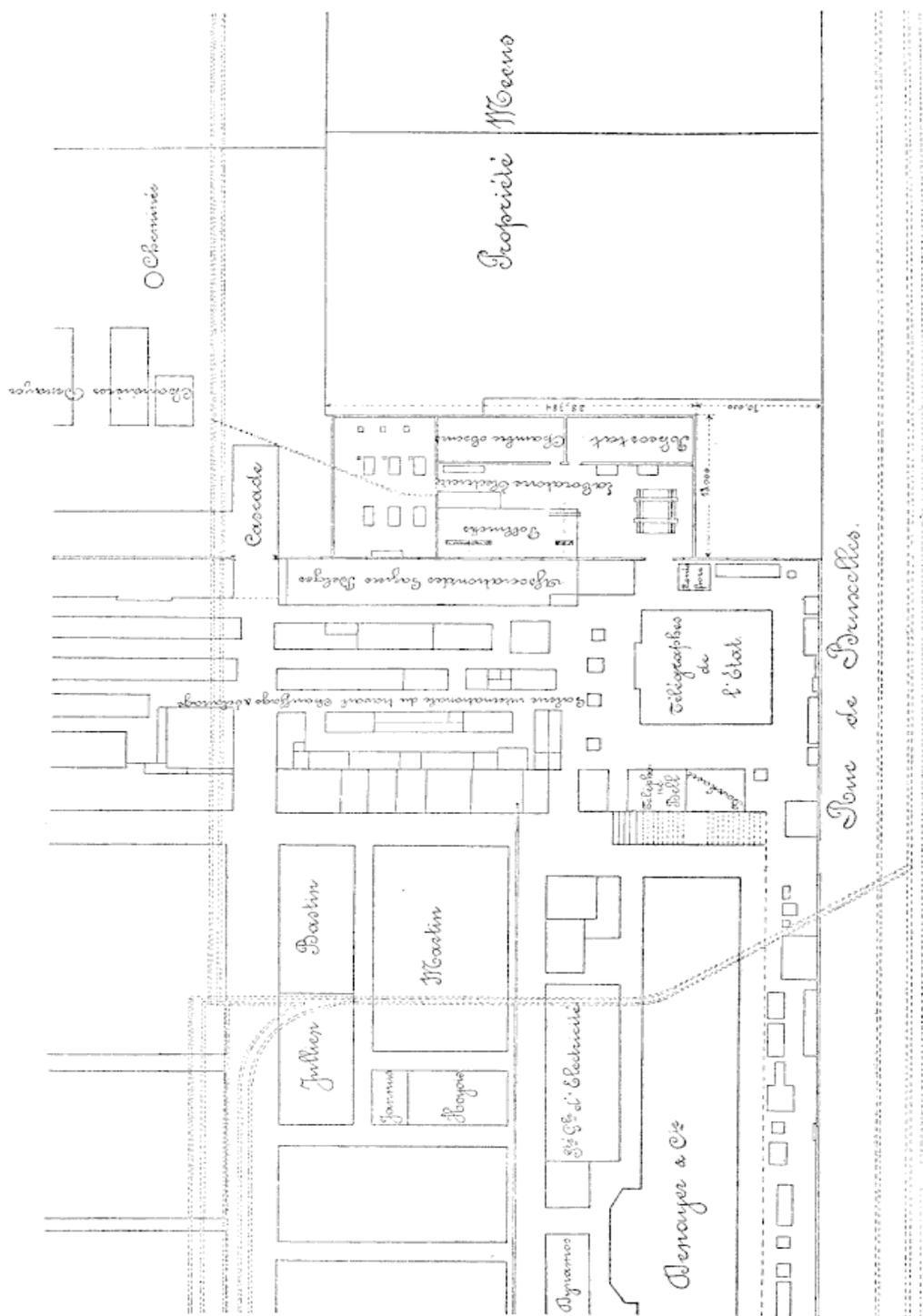


Fig. 1.

Les *déterminations photométriques* n'ayant pu être terminées à Anvers, ont été parachevées par le 2^{me} sous-comité dans le laboratoire de physique de M. Rousseau, à l'Université de Bruxelles.

M. Rousseau a bien voulu se charger également du contrôle des *aimants Clémandot*.

Enfin, les *appareils téléphoniques* dont les essais exigeaient des lignes d'une grande étendue, ont été examinés dans les locaux de l'Administration des télégraphes en utilisant le réseau de cette Administration.

DESCRIPTION DU LABORATOIRE DE L'EXPOSITION.

Le laboratoire, dont le Comité avait confié le projet à M. Eric Gerard, a été étudié au point de vue des essais industriels. Le seul espace disponible pour la construction de ce local (fig. 1) était situé dans le voisinage de la galerie des machines de l'Exposition, non loin d'un moteur à vapeur à allure lente de 2000 chevaux, dont le mouvement communiquait au sous-sol argilo-sableux des vibrations d'une amplitude considérable. Dans ces conditions, on ne pouvait songer à utiliser les appareils de haute sensibilité dont on se sert dans les laboratoires de physique, et aucune objection ne s'élevait contre l'installation dans le laboratoire même, du moteur à vapeur destiné à actionner les dynamos essayées. Cette disposition a l'avantage de faciliter les expériences en permettant de grouper les expérimentateurs et d'embrasser d'un coup d'œil l'ensemble des appareils sur lesquels portent les observations.

Le fond des appareils de mesure du laboratoire et les tables d'essais avaient été obligeamment prêtés par l'Institut électro-technique Montefiore, annexé à l'Université de Liège. Quelques instruments spéciaux avaient été mis à la disposition du Comité par le cabinet de physique de l'Université de Bruxelles, par l'Administration des télégraphes, par le Génie militaire d'Anvers,

par MM. Nothomb, membre du Comité ;

Champy et fils, d'Anvers ;

De Bonnier et C^{ie}, de Bruxelles ;

Fetu et Deliége, de Liège.

Le bâtiment du laboratoire représenté en plan et en coupe fig. 1, 2, 3 et 4, s'étendait sur une surface de 377 mètres carrés. C'était une construction légère en charpente, divisée par des cloisons en planches, en quatre parties désignées par les lettres *A, B, C, D*, et communiquant par une large baie avec la galerie des machines (fig. 1), ce qui permettait d'amener rapidement les dynamos dans le laboratoire.

Coupe transversale suivant S. F.

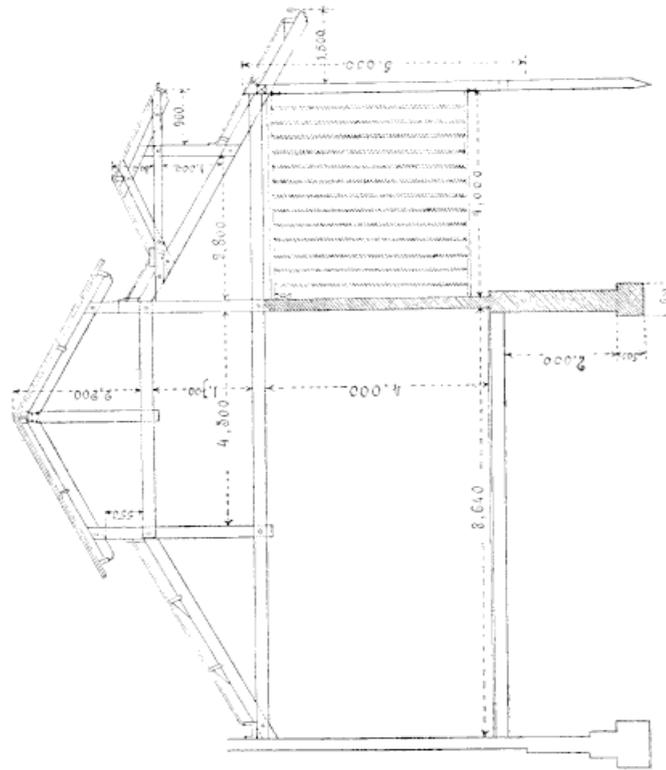


Fig. 4.

Coupe transversale suivant S. H.

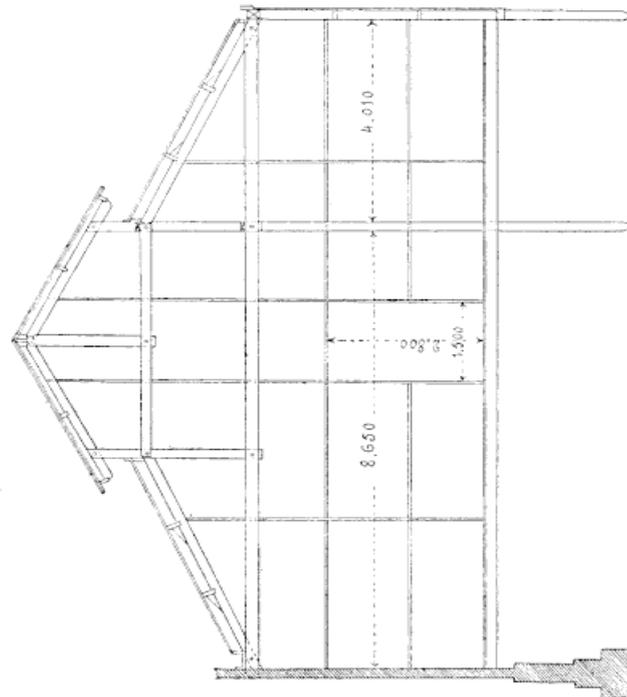


Fig. 3.

La salle *A* (fig. 2) contenait un moteur à vapeur de la force de 60 chevaux, à condensation et détente par le régulateur, installé par M. F. Bollinckx, constructeur à Bruxelles. Ce moteur était raccordé à l'un des groupes de chaudières de l'Exposition.

Le mouvement de la poulie-volant était transmis par des câbles de chanvre à un arbre intermédiaire *a, b*, auquel les dynamos empruntaient leur mouvement.

Celles-ci s'installaient sur un massif de fondation *m, n*, portant des solives à écartement variable solidement ancrées dans la maçonnerie et sur lesquelles on fixait les dynamos au moyen de tire-fonds.

Dans la salle *A* était disposé un grand commutateur central à godets de mercure, auquel aboutissaient tous les conducteurs principaux venant des diverses salles du laboratoire, ainsi que des fils connectés avec une batterie d'accumulateurs appartenant à la compagnie l'*Électrique*, de Bruxelles. Le même commutateur était relié à la galerie des machines par deux câbles de cuivre de forte section, qui permettaient de raccorder les dynamos de l'Exposition aux lampes essayées.

La salle *B* était réservée spécialement aux mesures électriques. Trois piliers en maçonnerie *c, d, e*, reposant sur un massif descendant profondément dans le sol, étaient destinés à recevoir les galvanomètres à réflexion. Les lunettes de visée s'installaient sur de forts pilotis *f, g, h*, et les autres instruments de mesure reposaient sur des tables dont les pieds, isolés du plancher, s'appuyaient sur la tête de pilotis de dimensions plus faibles.

La salle *C*, tendue d'étoffe noire, était destinée aux essais photométriques exécutés à l'aide d'appareils qui seront décrits en leur lieu dans la suite de ce travail.

Enfin la salle *D* contenait un rhéostat en fils d'acier de dimensions tout à fait inusitées. Le Comité de l'Industrie chargé de l'examen de machines à vapeur, se proposait de charger ces moteurs au moyen d'une vingtaine de dynamos, servant le soir à l'éclairage de l'Exposition, et qui devaient fonctionner pendant les essais sur des circuits métalliques. Le calcul montrait que ces circuits absorbaient une énergie électrique pouvant aller à 3 ou 400 chevaux-vapeur. Chaque dynamo devait être pourvue d'un circuit spécial présentant un développement de conducteurs suffisant pour éviter tout échauffement excessif.

Ce problème, présenté au Comité de l'Électricité, a été résolu de la manière suivante. Les parois de la salle *D* furent construites en fer et en briques, et le côté extérieur resta ouvert librement à l'air. Le toit de la salle *D* présentait, comme le montre la coupe figure 3, une ouverture latérale permettant à l'air échauffé au contact des fils de s'échapper librement. On assurait ainsi la ventilation nécessaire pour provoquer le refroidissement des fils. Entre les longs côtés

de la salle étaient disposées deux rangées horizontales de fers en U, distantes de 3^m50 l'une de l'autre; les poutrelles d'une même rangée étaient écartées de 0^m40, intervalle suffisant pour la circulation.

Entre les poutrelles superposées étaient tendus, sur des isolateurs en porcelaine, des boudins de fil d'acier présentant chacun un développement de 100^m de fil et répartis comme suit :

90	boudins de 100 ^m	de fil d'acier de 4 ^{mm}	de diamètre
35	"	"	"
35	"	"	"
90	"	"	"
			3 ^{mm}
			2 ^{mm}
			1,5 ^{mm}

Outre l'usage prévu par le Comité de l'Industrie, ces fils ont servi à former un rhéostat destiné aux essais des dynamos effectués par le Comité

électrique. Dans ce but, les boudins ont été convenablement groupés, et les extrémités de chaque groupe, réunies à deux commutateurs circulaires $C_1 C_2$ à godets de mercure (fig. 5). Les godets de l'un des commutateurs étaient reliés aux bouts commençants, les godets du commutateur voisin aux bouts finissants. Au moyen de cavaliers en cuivre on pouvait réunir en série ou en dérivation un nombre quelconque de groupes. La combinaison de conducteurs ainsi formée était reliée au commutateur général C placé près des commutateurs $C_1 C_2$. Cette disposition est très commode lorsque l'on doit faire varier entre des limites très écartées la résistance des circuits métalliques.

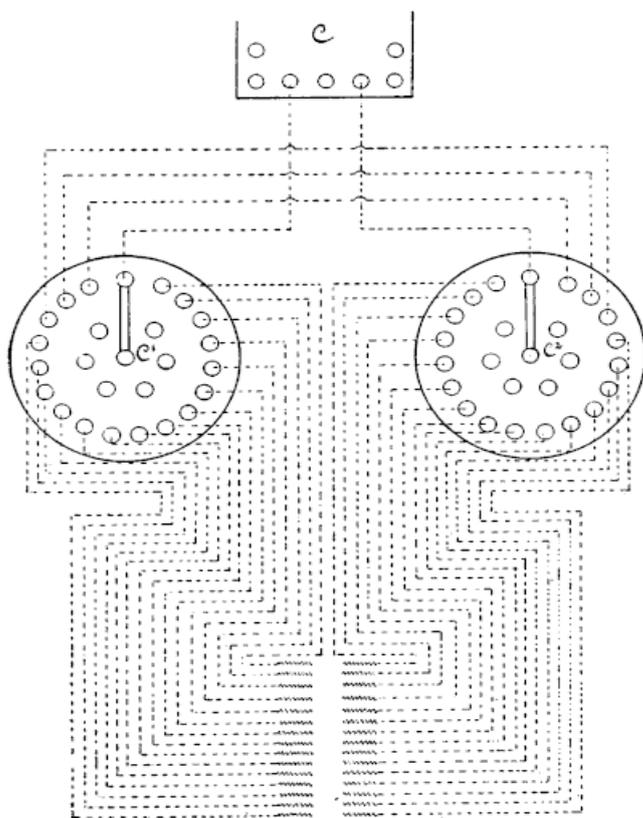


Fig. 5.

COMPTE RENDU DES TRAVAUX DU PREMIER SOUS-COMITÉ

Composition du 1^{er} sous-comité : MM. ERIC GERARD (Belgique),
NOTHOMB id.,
ROÏTI (Italie),
SARTIAUX (France).
Adjoints : MM. ZUNINI,
JONA,
DEMANI,
Rapporteur : M. ERIC GERARD.

MÉTHODES DE MESURE EMPLOYÉES.

GRADUATION DES GALVANOMÈTRES.

Comme on le verra dans la suite, toutes les déterminations électriques faites sur les générateurs de courant ont été ramenées à la mesure d'une force électromotrice et d'une intensité. Il était donc essentiel de s'assurer d'un voltmètre et d'un ampèremètre susceptibles de la plus grande exactitude et de la plus grande permanence possible.

Le Comité a fait choix dans ce but de galvanomètres à réflexion Deprez d'Arsonval (fig. 6), qui se composent d'une bobine de fil, suspendue entre les pôles d'un aimant permanent en fer à cheval au moyen de deux fils métalliques disposés

l'un au-dessus, l'autre au-dessous de la bobine. Ces fils servent à la fois à amener le courant dans la bobine et à exercer sur celle-ci une action directrice.

Cet appareil présente deux particularités avantageuses : il est peu sensible aux influences magnétiques extérieures et ses mouvements sont apériodiques lorsqu'il est convenablement shunté.

Généralement les fils de suspension sont rectilignes. Dans ces conditions, à moins que les fils n'aient une grande longueur, le couple directeur ne peut être considéré comme proportionnel à la torsion que dans des limites angulaires très

faibles. En outre, lorsque le fil a subi une torsion dépassant ces limites, il conserve une déformation permanente et la bobine ne reprend pas sa position initiale.

Pour remédier à cet inconvénient, on a remplacé les fils rectilignes par des ressorts à boudin, formés au moyen de fil de bronze phosphoreux de 0^{mm}15 de diamètre et maintenus dans la verticale par un fil de cocon axial qui soutient la bobine. Par cette disposition, le couple de torsion reste proportionnel aux déplacements angulaires dans des limites étendues, la bobine revient exactement à sa position initiale lorsque l'effort de torsion a cessé, et la hauteur de l'appareil peut être notablement réduite.

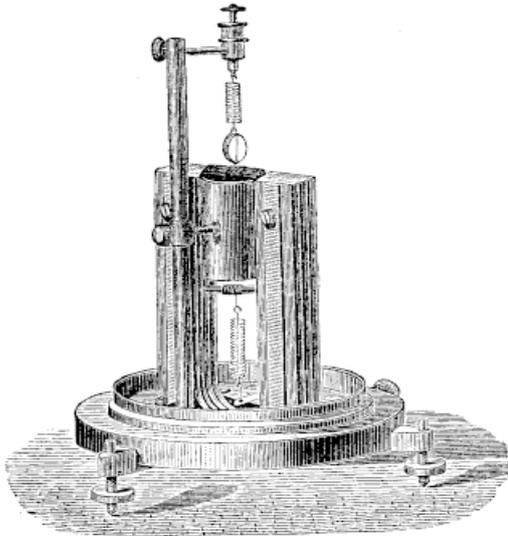


Fig. 6.

Les galvanomètres choisis, au nombre de trois, étaient installés sur les piliers *c, d, e*, fig. 2. Les lectures se faisaient au moyen de lunettes de visée, disposées sur des piliers distants de 3 mètres des premiers.

Malgré le massif de fondation supportant les piliers *c, d, e*, les trépidations causées par les machines de la Galerie du Travail voisine eussent empêché totalement les lectures, si des dispositions spéciales n'avaient été prises. Les galvanomètres ne reposaient pas directement sur les piliers ; chacun d'eux était placé sur une épaisse plaque de plomb rectangulaire, supportée par quatre lanières de caoutchouc de 0^m50 de long ; ces lanières étaient elles-mêmes fixées à la toiture d'une cage vitrée qui enfermait le galvanomètre.

On a obtenu par ce moyen une stabilité tout à fait suffisante pour les lectures par réflexion ; le seul inconvénient est que les lanières de caoutchouc s'allongent insensiblement, ce qui oblige à descendre légèrement chaque jour l'échelle du galvanomètre.

Réglage des galvanomètres. — Les galvanomètres mis en station, le premier réglage consiste à déterminer l'orientation de la bobine mobile, pour laquelle deux courants égaux et de sens contraires, produisent des déviations égales de part et d'autre du milieu de l'échelle. La position de symétrie étant obtenue, on vérifie la proportionnalité des déviations aux intensités, en faisant passer dans l'appareil des courants croissant dans une proportion connue. Afin d'éliminer les erreurs provenant des déplacements du zéro, pendant tout le cours des essais on a noté la somme des déviations obtenues en renversant le sens du courant dans le galvanomètre.

Ces opérations terminées, on a procédé à la graduation des deux appareils choisis comme ampèremètre et voltmètre.

DISPOSITION ET GRADUATION DE L'AMPÈREMÈTRE.

La méthode employée pour la mesure des courants continus est celle du professeur Kittler, qui a servi aux Comités d'essais des expositions d'électricité de Munich et de Vienne.

Le courant mesuré passe dans des conducteurs en cuivre s ou s' (fig. 7) de fort diamètre, sur lesquels on dérive le galvanomètre A choisi comme ampèremètre; la résistance de A est telle que le courant qui le traverse peut être négligé devant le courant qui parcourt les conducteurs s s' . On gradue l'ampèremètre en faisant passer dans ces conducteurs des courants d'intensité connue, mesurés à l'aide d'un voltmètre.

La figure 7 montre la disposition des divers appareils. Les conducteurs s s' sont reliés au commutateur général C . A l'aide des clefs k k' , on peut mettre l'un ou l'autre de ces conducteurs en communication avec le galvanomètre A , par l'intermédiaire d'une clef d'inversion I et d'une boîte de résistance R .

Pour procéder à la graduation, on constitue un circuit dans lequel on insère l'un des shunts, s par exemple, une batterie d'accumulateurs B , susceptible de fournir un courant aussi constant que possible, le rhéostat industriel C_1 C_2 et un voltmètre M . Le voltmètre M se compose d'une solution demi-saturée de sulfate de cuivre dans laquelle plongent des anodes en cuivre et des cathodes en platine.

Les cathodes sont soigneusement décapées et pesées, et l'intensité du courant est réglée de manière à obtenir une densité de 0,25 ampère environ par décimètre carré de surface d'électrode. On note à des intervalles de temps égaux et rapprochés les déviations de l'ampèremètre A . Lorsque le dépôt de cuivre est

jugé suffisant, on interrompt le courant, les cathodes sont retirées, lavées soigneusement à l'eau distillée, séchées à l'alcool et pesées. Par différence, on obtient le poids de cuivre déposé; sachant qu'un coulomb dépose 0^e0003281 (Kohlrausch), on

déduit des résultats l'intensité moyenne du courant qui a traversé le circuit. Comme ce courant correspond à la moyenne des indications de l'ampèremètre, on calcule aisément l'intensité correspondant à une division de l'échelle, c'est-à-dire la *constante* de l'ampèremètre employé avec le shunt *S*.

On peut mesurer des courants d'intensités très différentes en faisant varier la résistance insérée au rhéostat *R*. Connaissant la résistance de *A*, il est facile de déterminer chaque fois la réduction à faire subir à la constante.

On est toutefois limité dans cette voie par l'échauffement que présente le shunt *S* lorsque le courant dépasse une certaine intensité. Lorsque cet échauffement peut modifier sensiblement la résistance du shunt, il convient d'employer un shunt de diamètre plus fort, *S'* par exemple. Pour déterminer la constante relative à ce dernier, on fait passer le même courant dans *S* et *S'*. On note les déviations du galvanomètre relié successivement à ces shunts. La constante nouvelle est une quatrième proportionnelle entre la première constante et les déviations observées.

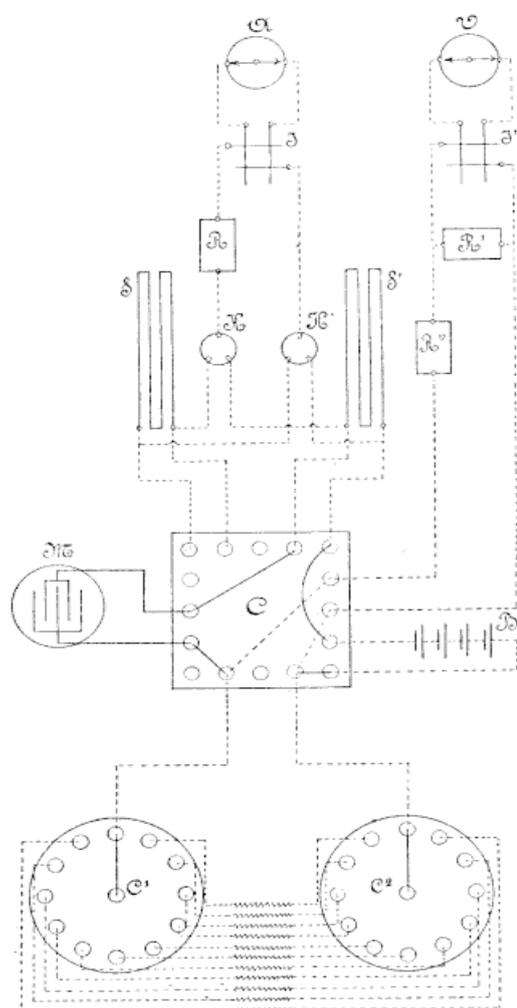


Fig. 7.

Par cette combinaison, le même appareil peut servir à mesurer les courants les plus intenses comme les plus faibles.

DISPOSITION ET GRADUATION DU VOLTMÈTRE.

Les différences de potentiel ont été déterminées par la méthode d'égale résistance au moyen du galvanomètre Deprez d'Arsonval *V* (fig. 6) employé comme

voltmètre. Dans ce but, les points entre lesquels il faut mesurer la différence de potentiel, sont reliés à un circuit (fig. 7) comprenant un rhéostat R'' de 100000 ohms et un rhéostat R' de 10000 ohms. Le galvanomètre V , commandé par la clef d'inversion I , est mis en dérivation par rapport au rhéostat R' .

Pour graduer le voltmètre, on relie les extrémités du circuit dérivé, comme l'indique la figure, aux bornes du rhéostat industriel $C_1 C_2$ dans lequel on fait passer un courant fourni par les accumulateurs B et mesuré par l'ampèremètre A . En insérant au rhéostat $C_1 C_2$ des résistances préalablement mesurées, on obtient des différences de potentiel connues, et exprimées par le produit de l'intensité du courant par la résistance du rhéostat. On note les déviations correspondantes, lues au galvanomètre V . Des résultats obtenus on déduit la différence de potentiel correspondant à une division de l'échelle, c'est-à-dire la constante de l'appareil. Lorsqu'on a à mesurer des forces électro-motrices très différentes, on peut faire varier les résistances insérées aux rhéostats R' et R'' , en ayant soin de déterminer chaque fois la nouvelle constante du voltmètre.

Après avoir étalonné ses appareils de mesure, le 1^{er} sous-comité a procédé à la vérification des ampèremètres et voltmètres industriels, qui lui ont été soumis par les exposants. Dans ce but, ces instruments ont été placés dans les mêmes conditions électriques que les appareils étalons, de manière à pouvoir comparer simultanément leurs indications. Les observations ont été faites en nombre suffisant, pour contrôler l'exactitude des indications des appareils examinés, dans toute l'étendue de leur graduation.

Ampèremètre et voltmètre, système Hümmel

présenté par MM. Bouckaert et Cie, de Bruxelles.

Ces appareils comprennent une bobine cylindrique dans l'intérieur de laquelle un tube de fer, disposé excentriquement, est mobile autour d'une de ses génératrices. Un contrepoids dont on peut régler la position, maintient le tube dans une position d'équilibre. Lorsqu'un courant traverse la bobine, le tube s'aimante et tend à tourner autour de son axe; une aiguille indicatrice permet de lire, sur une graduation, l'angle de déviation du système mobile.

Après constatation des résultats fournis par les ampèremètres Hümmel, le sous-comité s'est servi de ces appareils, concurremment avec les instruments étalons, pendant le cours des essais des dynamos. On pouvait ainsi relever immédiatement toute erreur de quelque importance commise dans la lecture des appareils étalons.

INDICATIONS DES AMPÈREMÈTRES HÜMMEI			INTENSITÉS correspondantes en ampères.	INDICATIONS du voltmètre Hümmel type 110 volts.	DIFFÉRENCES de potentiel correspondantes en volts.
N° 1303 Type 4 ampères.	N° 1636 Type 10 ampères.	N° 1411 Type 30 ampères.			
0,40	0,40		0,5470	15	18,42
1,10	1,00		0,937	19	21,34
1,45	1,45		1,299	25	24,22
1,81	1,80		1,594	29	28,61
2,10	2,10		1,864	30	29,98
2,32	2,30		2,082	32	31,38
2,45	2,45		2,268	36	34,30
2,60	2,60		2,432	38	36,49
2,83	2,80		2,703	41	39,11
3,25	3,20		3,076	44	42,22
3,58	3,56		3,416	47	45,37
3,80	3,85		3,748	49	48,25
4,00	4,05		3,948	53	52,23
	4,51		4,460	56	55,30
	4,80		4,718	60	58,57
	5,50		5,462	62	61,80
	6,38		6,352	72,5	71,70
	7,98		7,976	84	81,70
	8,90		8,834	95	91,95
		9,2	9,002	101	97,05
		10,1	9,836	104,6	100,2
		12,3	12,036		
		13,6	1,328		
		16,8	1,673		
		19,2	1,892		
		20,8	2,059		
		21,9	2,188		
		24,3	2,352		
		26,4	2,608		
		28,5	2,840		
		30	2,965		

MM. Bouckaert et C^{ie} ont présenté d'abord trois spécimens de l'ampèremètre, construits pour marquer des intensités maxima de 4, 10 et 30 ampères, ainsi qu'un voltmètre allant jusque 110 volts. Le tableau de la page 24 montre les résultats comparatifs fournis par ces appareils et les instruments étalons.

MM. Bouckaert et C^{ie} ont ensuite mis à la disposition du sous-comité des ampèremètres Hümmel gradués respectivement jusque 50, 100, 200 et 400 ampères.

Ampèremètre et Voltmètre, système Hartmann et Braun, de Francfort

présentés par MM. BOUCKAERT ET C^{ie}, de Bruxelles.

Ces appareils comportent une bobine verticale, dans l'intérieur de laquelle plonge un noyau tubulaire en fer suspendu par un ressort à boudin. Sous l'influence du courant, le noyau est attiré dans la bobine ; ses déplacements sont accusés au moyen d'un index qui se meut devant une échelle verticale. Le noyau tubulaire est fermé par le haut, il est guidé par un cylindre intérieur fixe, lequel forme cataracte et amortit les oscillations verticales du système mobile. Le tableau suivant indique les résultats de l'étalonnage des appareils Hartmann et Braun.

INDICATIONS de l'ampèremètre HARTMANN et BRAUN, type 35 ampères.	INTENSITÉS correspondantes en ampères.	INDICATIONS du voltmètre HARTMANN ET BRAUN.	DIFFÉRENCES de potentiel correspondantes en volts.
10,0	9,836	20	18,42
12,7	12,036	22	21,34
13,7	13,28	23	24,22
17,0	16,73	28	28,61
19,5	18,92	29	29,98
21,0	20,59	30	31,38
22,0	21,88	33	34,30
24,5	23,52	37	36,49
26,5	26,08	40	39,11
29,0	28,40	43	42,22
30,5	29,65	48	45,37
31,5	30,56	52	48,25
34,5	33,08	56	52,23
36,5	35,08	59	55,30

Compteurs d'intensité, système Ferranti

présentés par la Compagnie générale d'électricité de Bruxelles.

Le compteur Ferranti est basé sur le phénomène de la rotation électro-magnétique des liquides. Un bassin de mercure de forme quadrangulaire *M* (fig. 8), taillé dans une masse de fonte *FF*, est parcouru par le courant du centre à la périphérie.

Le même courant, passant dans une bobine *D*, aimante la masse de fonte, de manière à produire des pôles opposés sur les fonds du bassin. Sous l'influence de la

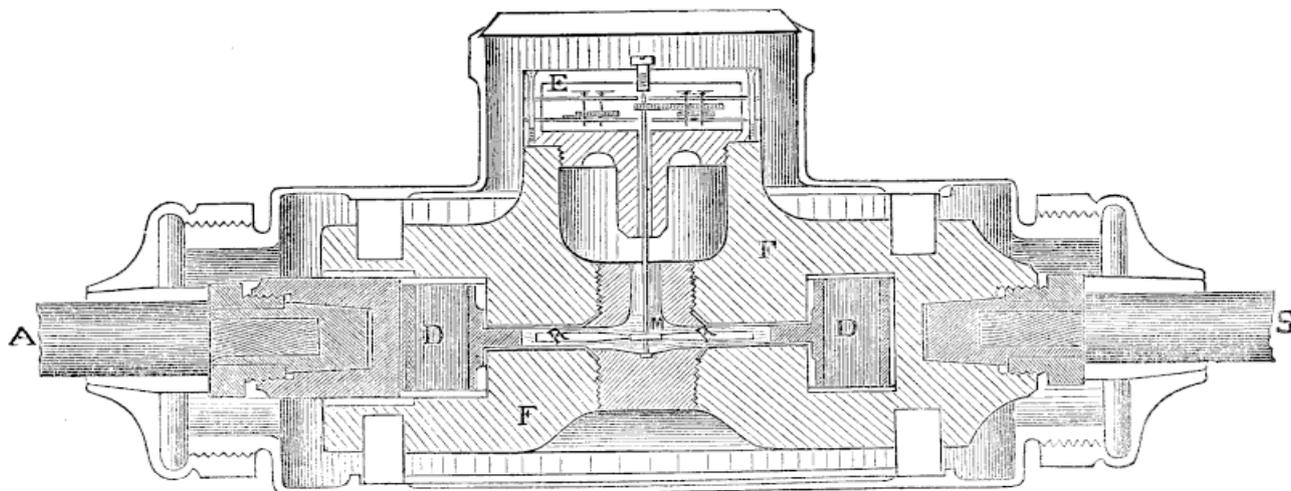


Fig. 8.

force électro-magnétique résultante, le mercure prend un mouvement circulaire et il entraîne un flotteur métallique *RR*, dont l'axe commande un mécanisme enregistrant le nombre de tours du flotteur.

Des dispositions spéciales sont prises, afin que les résistances de frottement soient proportionnelles au carré de la vitesse de rotation, dans les limites de fonctionnement de l'appareil. Comme la force électro-magnétique, qui fait équilibre à ces résistances dans le mouvement uniforme, est sensiblement proportionnelle au carré de l'intensité du courant, il s'en suit que la vitesse du flotteur permet de mesurer l'intégrale de l'intensité par rapport au temps, c'est-à-dire la quantité d'électricité qui a passé dans le circuit.

La Compagnie générale d'électricité avait présenté à l'essai plusieurs compteurs destinés à enregistrer les courants d'alimentation de 25 et 50 lampes à incandescence. Afin de contrôler la constante inscrite sur les appareils, c'est-à-dire le nombre exprimant le rapport des tours par heure, au courant moyen passant

dans le compteur, on a formé un circuit comprenant une batterie d'accumulateurs, les appareils essayés, un rhéostat et l'ampèremètre étalon. Le circuit a été fermé pendant des périodes d'une demi-heure, au cours desquelles on a observé la valeur moyenne du courant et l'avancement des aiguilles du compteur. Une simple réduction a permis de déterminer la constante réelle, correspondant à divers régimes du courant, inférieurs au régime maximum indiqué sur le compteur. Le tableau ci-après rend compte des résultats obtenus. Il est juste de faire observer que les appareils examinés n'ont pas été réglés sur place par l'inventeur, et qu'ils ont pu se déranger pendant les transferts qu'ils ont subis.

Résultats de l'essai des compteurs Ferranti.

N° du compteur.	Nombre de lampes à incandescence auxquelles se rapporte l'appareil.	INDICATIONS DES CADRANS		Différence. <i>n</i>	Durée de l'essai. <i>t</i>	Courant moyen. <i>i</i>	Indication pour 1 heure. $\frac{n \times 60}{t}$	CONSTANTE pour un ampère-heure	
		avant l'essai.	après l'essai.					calculée $\frac{n \times 60}{t \times i}$	indiquée sur l'appareil
53	25	0118948	0121073	2127	30'	7,006	4254	608	689
		0121073	0126083	3010	31'	14,680	9697	662	
		0126083	0134018	7933	30'	22,750	13866	697	
58	25	0113090	0113097	2007	30'	7,006	4014	573	595
		0113097	0119693	4398	31'	14,680	8897	606	
		0119693	0127118	7423	30'	22,750	14846	632	
50	25	0103668	0103672	2004	30'	7,006	4008	573	583
		0103672	0110387	4913	31'	14,640	9310	648	
		0110387	0118423	7838	30'	22,750	13676	689	
40	50	0076278	0078032	1774	31'	14,608	3423	234	272
		0078032	0082003	3933	30'	22,750	7906	348	
		0082003	0091217	9212	30'	46,660	18121	398	
18	100	0040738	0041110	352	30'	7,006	704	401	209
		0041110	0042263	1153	31'	14,680	2232	152	
		0042263	0044493	2230	30'	22,750	4460	196	
		0044493	0050799	6306	30'	46,660	12612	271	

ESSAIS DES DYNAMOS.

DÉTERMINATIONS MÉCANIQUES.

Les déterminations mécaniques relatives aux dynamos ont été conduites par M. R. VINÇOTTE, directeur de l'Association pour la surveillance des chaudières-vapeur, membre du Comité de l'Industrie, qui a bien voulu apporter au sous-comité l'appui de son expérience et de ses connaissances, ainsi que le concours de son personnel technique. Le sous-comité est heureux d'en exprimer toute sa gratitude à M. Vinçotte.

La mesure du travail absorbé par les dynamos a été faite au moyen du dynamomètre de transmission, système Von Heffner-Alteneck, lorsque ce travail était inférieur à 16 chevaux. Au delà, les dynamomètres dont disposait le Comité, étaient insuffisants et le travail absorbé a dû être déterminé à l'aide de diagrammes d'indicateur, relevés sur les cylindres du moteur à vapeur.

Essais au moyen du dynamomètre Von Heffner-Alteneck.

Nous n'entrerons pas dans la description détaillée de cet appareil qui, depuis l'exposition de 1881, de Paris, a été employé dans un grand nombre d'expériences officielles. Bornons-nous à rappeler qu'il permet de déterminer la différence de tension des deux brins de la courroie destinée à mouvoir la dynamo. Pour cela, cette courroie passe dans un système de galets, et les deux brins pressent en sens contraires, sur une poulie mobile retenue par un ressort. De la tension donnée au ressort pour maintenir la poulie mobile dans sa position de repos, on déduit par une graduation empirique, la différence de tension des deux brins.

Cet appareil possède l'avantage de pouvoir être installé et gradué rapidement. Cette dernière opération a été faite avant chaque série d'essais. En même temps que la tension différentielle des brins de la courroie, on note la vitesse de translation de celle-ci. Pour cela, on relève la vitesse des poulies conduites et le diamètre moyen d'enroulement de la courroie sur celles-ci.

Le produit de la vitesse de translation par la tension différentielle de la courroie mesure le travail transmis à la dynamo.

Lorsque la dynamo tourne à vide, le dynamomètre indique la force nécessaire pour vaincre les résistances passives de la machine électrique, ainsi que les frottements d'une partie de ses propres mobiles. Ces derniers frottements étant assez faibles lorsque le dynamomètre est bien lubrifié, et difficiles à déterminer avec exactitude, il est d'usage de ne pas les déduire du travail total observé.

L'effort total relevé au dynamomètre a, par suite, été considéré comme absorbé par la dynamo, et il a servi au calcul du rendement.

Essais à l'aide des diagrammes d'indicateur.

Les machines Gülcher et Victoria, présentées à l'examen, absorbaient une force supérieure à 16 chevaux ; il a fallu se résoudre à déterminer le travail absorbé par ces dynamos en se servant des diagrammes d'indicateurs, relevés sur les cylindres de la machine à vapeur. La marche suivante a été adoptée.

On a déterminé le travail indiqué sur les deux faces du piston pendant que le moteur actionnait la dynamo en essai. Pour chaque changement d'allure de celle-ci, on recueillait trois séries de diagrammes, portant sur plusieurs tours du moteur, afin de s'assurer de la régularité de marche. On obtenait ainsi le travail total absorbé par la machine électrique, les transmissions et les résistances passives du moteur. On relevait de nouvelles séries de diagrammes après avoir jeté la courroie bas de la poulie de la dynamo, en ayant soin de conserver au moteur une vitesse constante.

Par différence, on obtenait le travail absorbé par la dynamo, augmenté de l'excès des frottements du moteur et des transmissions pendant la marche en charge, sur les mêmes quantités pendant la marche à vide.

Pour déterminer exactement ces frottements, il eût été nécessaire de placer sur l'arbre de transmission un frein de Prony et de déterminer pour diverses charges du frein, la différence entre le travail indiqué sur les pistons et le travail réellement disponible. Malheureusement, par suite de la clôture de l'exposition, ces essais n'ont pu être complétés, et le sous-comité s'est vu obligé d'appliquer un coefficient de réduction théorique au travail indiqué.

Afin de rendre les résultats aussi comparables que possible à ceux des essais antérieurs, le sous-comité a choisi le coefficient de réduction de 0,85, employé dans un cas analogue par le Comité des essais de l'Exposition d'électricité de Paris de 1881.

Il est clair que les résultats ainsi obtenus, n'ont pas le même degré d'approximation que ceux déduits des essais à l'aide du dynamomètre de transmission ; aussi, en ce qui concerne les machines Gülcher et Victoria, le sous-comité ne peut donner comme rigoureuses que les déterminations électriques.

Mesure des vitesses.

Le nombre de tours du moteur à vapeur étant peu élevé (70 par minute environ), pouvait être déterminé directement en s'aidant d'un compteur à secondes.

Pour mesurer la vitesse beaucoup plus grande des dynamos, on fixait sur l'axe

de celles-ci, un compte-tours à aiguilles, et l'on observait le nombre de révolutions enregistrées en un quart de minute, marqué par un compte-secondes.

DÉTERMINATIONS ÉLECTRIQUES.

Les données électriques à relever sur les dynamos à courant continu, les seules examinées à Anvers, étaient :

- 1° la différence de potentiel borne à borne ;
- 2° l'intensité du courant dans le circuit extérieur et, le cas échéant, dans les bobines des électro-aimants en dérivation ;

3° la résistance de la dynamo à chaud.

Les deux premières déterminations doivent être faites simultanément avec la mesure du travail absorbé par la dynamo.

Dans ce but, un observateur relève la vitesse de la dynamo ; au moment où le régime normal est atteint, il frappe sur un timbre. Aussitôt d'autres observateurs constatent simultanément les données électriques et les données mécaniques.

Pour chaque valeur nouvelle du courant de la dynamo, on procède à trois opérations semblables. Les nombres consignés dans les tableaux sont les moyennes des indications ainsi recueillies.

Pour relever la différence de potentiel et l'intensité du courant, on établit les communications indiquées figure 9.

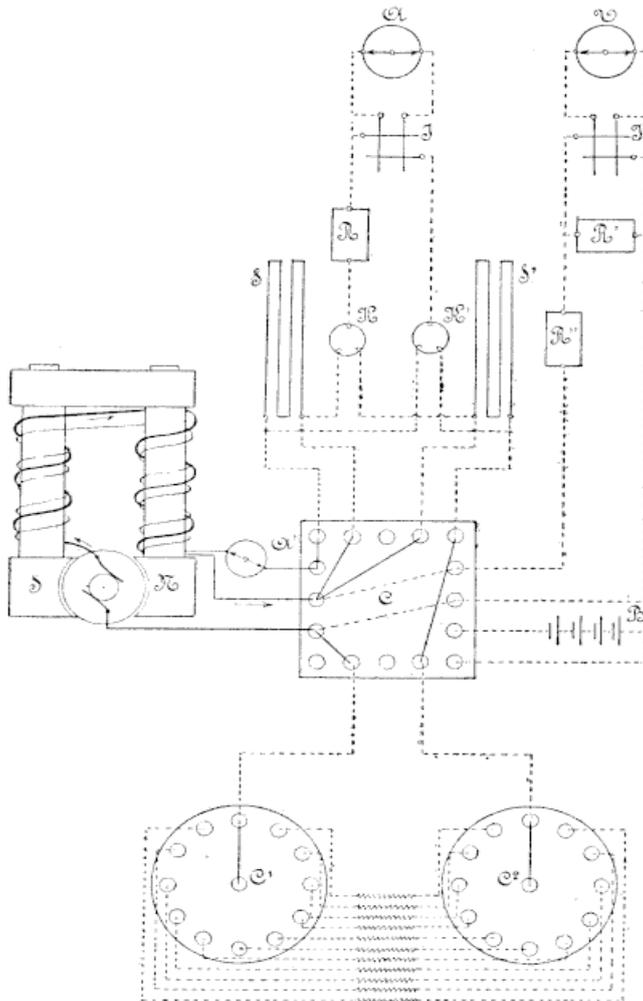


Fig. 9.

Le circuit extérieur de la dynamo comprend le rhéostat C_1 C_2 et l'un des shunts

S' de l'ampèremètre, sur lequel on observe la valeur de l'intensité (I) du courant extérieur. Dans le cas où il y a un enroulement en dérivation, comme le montre la figure 9, on intercale dans ce circuit un ampèremètre A' , système Thomson, qui permet de déterminer le courant (I_m). Afin d'être en mesure de contrôler les indications de A' , on place à la suite le shunt S' de l'ampèremètre étalon.

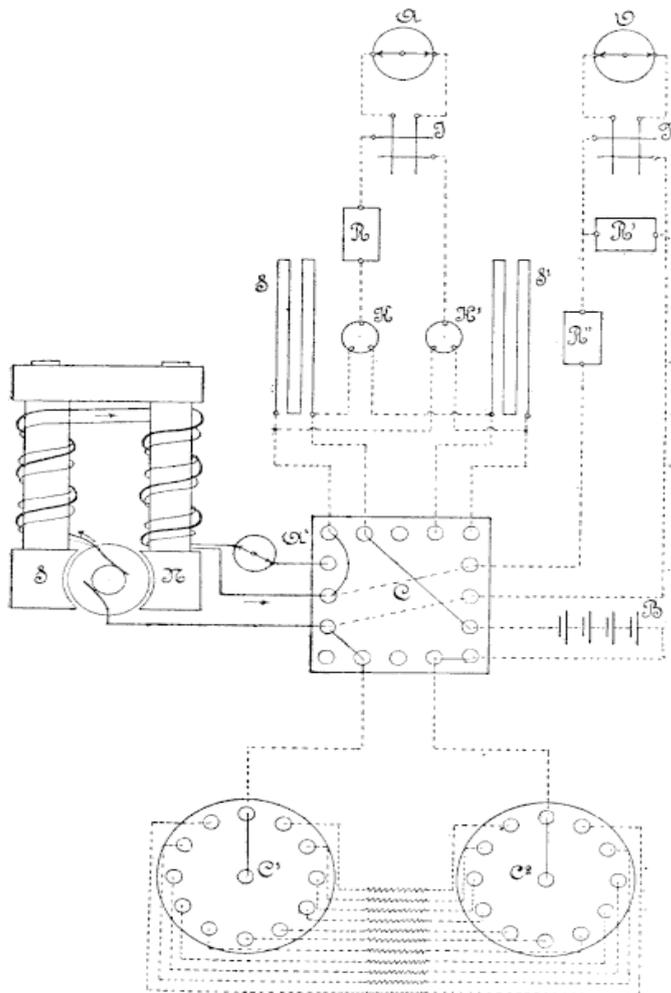


Fig. 10.

Le rapport de ces quantités donne la résistance intérieure de la machine.

Cette manière de procéder est préférable à l'essai par la méthode du pont de Wheatstone, ordinairement en usage; car les conducteurs de la machine sont placés sensiblement dans le même état que pendant la marche, et l'on ne risque pas

La différence de potentiel (e) aux bornes de la dynamo, s'estime en reliant ces bornes au voltmètre étalon V .

La résistance à chaud des inducteurs en dérivation, se déduit des valeurs e , i_m observées.

Pour déterminer la résistance à chaud (r_u) de l'induit et celle (r_e) des inducteurs en série, on établit, aussitôt après l'arrêt de la dynamo, les communications indiquées dans la figure 10.

Les conducteurs intérieurs dont il faut mesurer la résistance sont reliés à une batterie d'accumulateurs B , au shunt S' et au rhéostat $C_1 C_2$. On règle ce dernier de manière que la dynamo, dont l'axe a été calé, soit traversée par un courant en rapport avec celui qu'elle engendrait pendant sa rotation. On mesure ce courant à l'aide de l'ampèremètre A et simultanément on relève, au moyen du voltmètre V , la différence de potentiel aux bornes.

d'endommager un pont de Wheatstone, appareil délicat, dans lequel une fausse manœuvre peut amener facilement un courant dangereux.

Pour résumer, les données électriques relevées sur les dynamos sont les suivantes :

A travail mécanique absorbé par la dynamo ;

e différence de potentiel aux bornes de la machine ;

I intensité du courant dans le circuit extérieur ;

Éventuellement, I_m intensité du courant dans les inducteurs en dérivation ;

$r_a + r_c$ résistance à chaud de l'induit et des inducteurs en série.

Connaissant ces quantités, on peut calculer les principales valeurs qui intéressent le fonctionnement des dynamos et déterminer le rendement de ces dernières.

$I_c = I$ représente l'intensité du courant dans l'induit, dans le cas d'une dynamo en série.

$I_c = I + I_m$ représente l'intensité du courant dans l'induit, dans le cas d'une dynamo en dérivation ou compound.

$\tau = \frac{eI}{736}$ chevaux est le travail électrique utile dans le circuit extérieur.

L'énergie électrique transformée en chaleur dans les conducteurs intérieurs de la dynamo se compose de plusieurs parties.

$T_a = \frac{I_c^2 r_a}{736}$ est l'équivalent en chevaux de la chaleur produite par seconde dans l'induit.

$T_c = \frac{I_c^2 r_c}{736}$ est l'équivalent en chevaux de la chaleur produite par seconde dans les inducteurs en série.

$T_m = \frac{e I_m}{736}$ est l'équivalent en chevaux de la chaleur produite par seconde dans les inducteurs en dérivation.

$\frac{e}{I}$ est la résistance du circuit extérieur.

$T = \tau + T_a + T_c$ est l'énergie électrique totale fournie par une dynamo en série.

$T = \tau + T_a + T_m$ est l'énergie électrique totale fournie par une dynamo en dérivation.

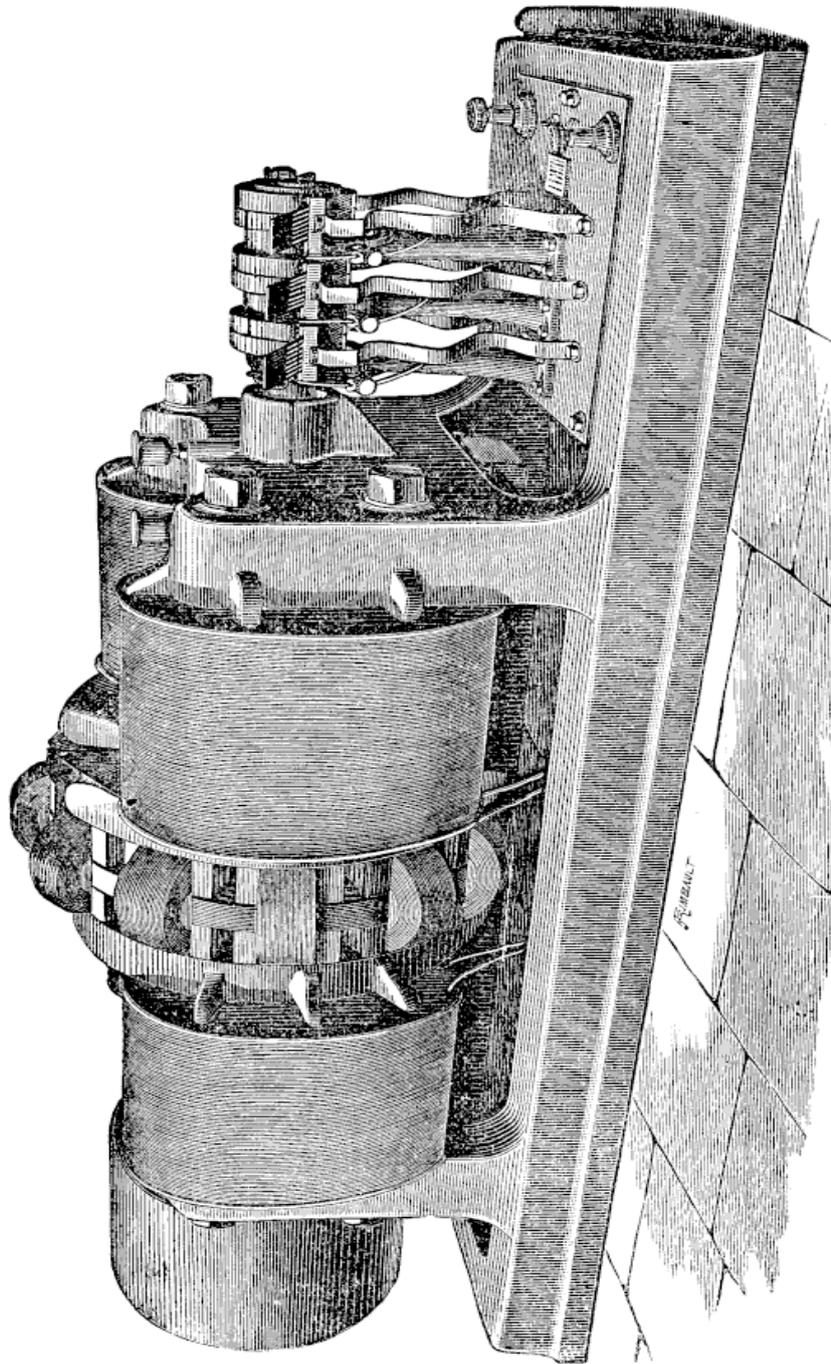


Fig. 41.

$T = \tau + T_a + T_c + T_m$ est l'énergie électrique totale fournie par une dynamo compound.

$\frac{T}{A}$ exprime le rendement total ou le coefficient de transformation de la dynamo.

$\frac{\tau}{T}$ est le rendement électrique.

$\frac{\tau}{A}$ est le rendement industriel.

En regard des résultats d'expériences sur les dynamos, on trouvera un diagramme représentant : 1° les valeurs de la différence de potentiel aux bornes de la dynamo en fonction de l'intensité dans le circuit extérieur (caractéristique extérieure), 2° les valeurs du rendement industriel en centièmes pour les différentes intensités observées.

Dans le tracé des caractéristiques extérieures on a rapporté les résultats à une même vitesse. Pour cela, on a accru ou diminué les différences de potentiel trouvées dans le rapport de la vitesse observée à la vitesse choisie. Ce calcul n'est pas rigoureux, mais les différences sont faibles, lorsqu'il n'y a pas un écart notable dans les vitesses observées.

Dynamo Brush (n° 35), type 16 foyers

présentée par la société "l'Électrique", de Bruxelles.

Dynamo en série à induit annulaire destinée à alimenter 16 foyers à arc sur un seul circuit. L'induit comprend huit bobines enroulées entre les saillies ménagées dans un noyau en fer; celui-ci est constitué par des bandes enroulées circulairement, entre lesquelles passent des bandes transversales séparant les bobines. Celles-ci sont reliées à deux commutateurs redresseurs, dont les balais sont réunis en tension. La figure 11 représente une machine Brush à 12 bobines induites.

Les inducteurs comprennent deux électro-aimants en fer à cheval, dont les épanouissements polaires sont étalés sur les côtés de l'anneau.

La résistance du fil de l'induit, mesurée à chaud, est 12,45 ohms.

La résistance du fil des inducteurs, " 7,85

La résistance totale, " $\frac{20,30}{\quad}$

La circonférence moyenne de l'enroulement de la courroie sur la poulie de la dynamo est 0^m80.

Les déterminations mécaniques ont été effectuées à l'aide du dynamomètre Von Heffner Alteneck, dont la 1^{re} colonne du tableau ci-après donne les indications.

Machine Brush (type 16 foyers) n° 35.

Dynamo système Brush.

F	V	Travail absorbé en chevaux. $0.8 \times V \times F$	$A = \frac{60 \times 75}{60 \times 75}$	e	Intensité du courant. I	$\frac{eI}{736}$	Travail utile en chevaux.	$\frac{I^2(r_a + r_c)}{736}$	T	Rendement total. $\frac{A}{T}$	Rendement électrique. $\frac{\tau}{T}$	Rendement industriel. $\frac{\tau}{A}$	Résistance extérieure calculée.
26,6	1080	5,105	764	3,35	3,48	0,310	3,790	0,743	0,918	0,682	228		
40	1080	7,68	821	4,73	5,28	0,616	5,896	0,768	0,896	0,687	173,6		
51,4	1080	9,86	834	6,30	7,14	1,092	8,232	0,835	0,867	0,721	132,4		
56	1080	10,74	828	7,03	7,91	1,363	9,273	0,864	0,853	0,736	117,9		
58	1082	11,15	826	7,27	8,16	1,458	9,618	0,862	0,849	0,731	113,6		
62	1082	11,91	804	7,03	8,66	1,733	10,393	0,872	0,839	0,727	101,3		
66	1080	12,66	784	8,33	9,11	2,015	11,125	0,879	0,819	0,719	91,7		
67	1075	12,79	760,5	8,82	9,12	2,145	11,265	0,881	0,809	0,713	86,2		
70	1075	13,36	740	9,12	9,17	2,293	11,463	0,858	0,800	0,685	81,2		
71	1070	13,5	720	9,45	9,24	2,460	11,700	0,867	0,790	0,685	76,2		
74	1085	13,69	552	11,32	8,49	3,540	12,030	0,879	0,706	0,620	48,75		
69	1080	13,24	506	11,70	8,05	3,780	11,830	0,894	0,680	0,608	43,25		
66,6	1080	12,77	457	12,24	7,60	4,140	11,740	0,919	0,647	0,595	37,55		

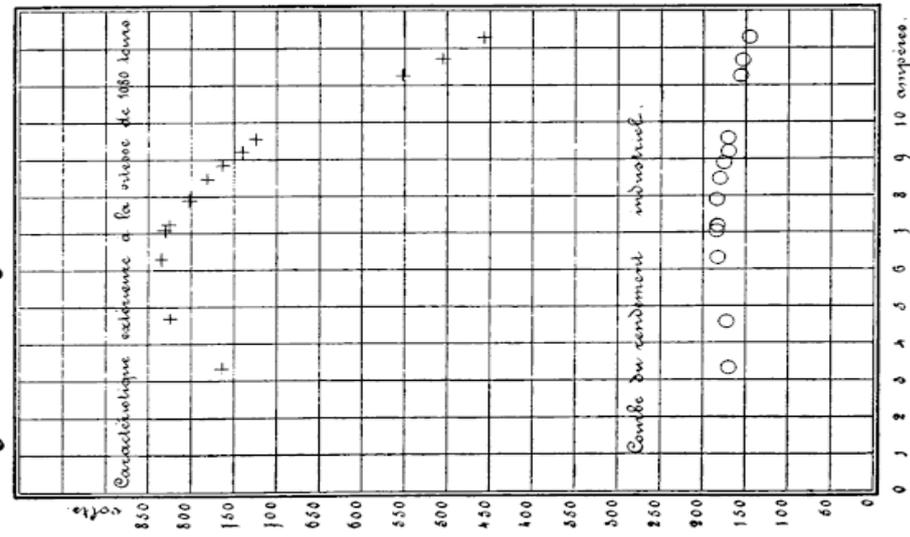
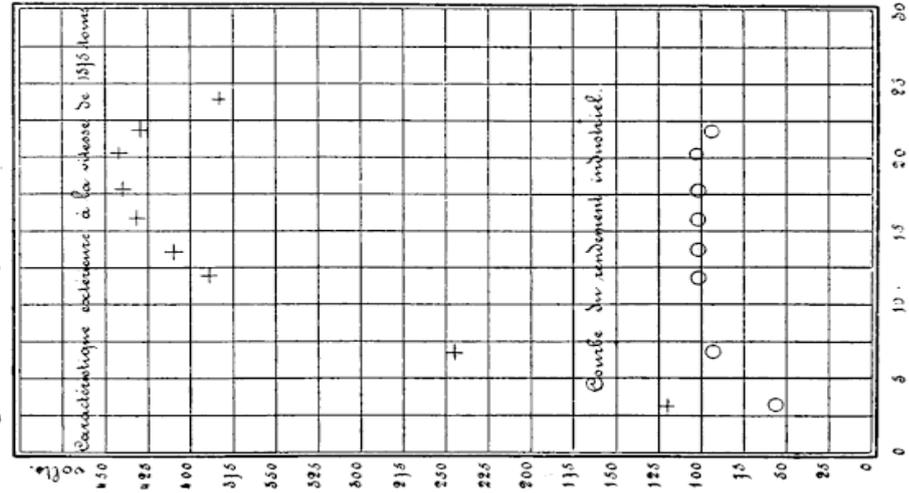


Fig. 12.

Dynamo Crompton en série.

Dynamo système Crompton.



Effort en kilogrammes.	Vitesse en tours par minutes.	Travail absorbé en chevaux.	Différence de potentiel aux bornes en volts.	Intensité du courant.	$\frac{eI}{736} = \tau$ Travail extérieur utile en chevaux.	Travail électrique intérieur en chevaux. $\frac{I^2(r_a + r_e)}{736}$	Travail électrique total en chevaux. T	Rendement total. $\frac{T}{A}$	Rendement électrique. $\frac{\tau}{T}$	Rendement industriel. $\frac{\tau}{A}$	Résistance extérieure calculée.
5,6	1380	4,12	421,5	3	0,496	0,037	0,533	0,476	0,931	0,443	40,5
15,0	1380	3,01	245	6,0	2,20	0,183	2,383	0,792	0,923	0,730	37,2
38,6	1375	7,73	388,5	11,89	6,28	0,586	6,866	0,887	0,914	0,811	32,7
46,0	1375	9,22	410	13,55	7,55	0,774	8,324	0,903	0,907	0,819	30,2
56,0	1380	11,26	431,5	15,8	9,27	1,051	10,321	0,917	0,898	0,823	27,3
64,6	1380	13,00	440	17,83	10,06	1,320	11,980	0,922	0,890	0,821	24,7
75,4	1380	14,75	442	20,2	12,14	1,717	13,857	0,940	0,876	0,823	21,9
85,4	1375	17,41	430	21,9	12,80	2,020	14,820	0,867	0,864	0,749	19,6
—	1375	—	383	23,85	12,41	2,390	14,800	—	0,839	—	16,0

Fig. 14.

Dynamo système Gramme.

Dynamo Gramme, type d'atelier

présentée par MM. Heilmann, Ducommun et Steinlen, de Mulhouse.

Dynamo à induit annulaire excitée en dérivation, d'un type très répandu.

Résistance mesurée à chaud de l'induit $r_a = 0,16$.

Circonférence moyenne d'enroulement de la courroie sur la poulie de la dynamo : 0^m48.

Le travail transmis a été mesuré à l'aide du dynamomètre Von Heffner Alteneck.

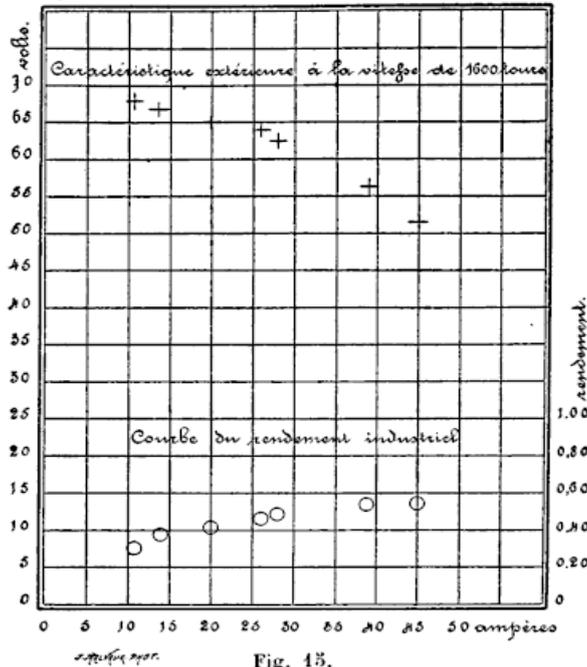


Fig. 15.

Machine Gramme.

Effort au dynamomètre. <i>F</i>	Vitesse en tours par minute. <i>V</i>	Travail absorbé en chevaux. <i>A</i>	Différence de potentiel aux bornes (volts). <i>e</i>	Intensité en ampères			Travail électrique utile. $\frac{e I}{736} = \tau$	Travail électrique intérieur.		Travail électrique total. $T = \tau + T_a + T_m$	Rendement total. $\frac{T}{A}$	Rendement électrique. $\frac{\tau}{T}$	Rendement industriel. $\frac{\tau}{A}$	Résistance extérieure calculée.
				dans la résistance extérieure. <i>I</i>	dans la dérivation. <i>I_m</i>	dans l'induit. $I_a = I + I_m$		dans l'induit. $\frac{I_a^2 r_a}{736} = T_a$	dans la dérivation. $\frac{e I_m}{736} = T_m$					
3	1600	0,512	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33,5	1620	5,79	54,8	44,4	7,28	51,68	3,125	0,581	0,512	4,218	0,729	0,744	0,340	1,167
32,5	1620	5,62	56,1	38,7	7,92	46,62	2,95	0,472	0,603	4,025	0,717	0,734	0,526	1,449
27,5	1620	4,75	62,1	27,3	8,50	35,80	2,30	0,279	0,717	3,296	0,694	0,698	0,484	2,275
26,5	1620	4,58	63,4	25,45	8,55	34,00	2,19	0,253	0,736	3,179	0,693	0,689	0,478	2,491
24,6	1600	4,20	65,0	19,7	8,75	28,45	1,74	0,176	0,772	2,688	0,640	0,648	0,414	3,300
19,0	1600	3,24	66,6	13,3	9,00	22,30	1,20	0,108	0,814	2,122	0,653	0,566	0,370	5,008
18,0	1600	3,07	67,5	10,3	9,00	19,30	0,94	0,081	0,825	1,846	0,602	0,509	0,306	6,553
13,0	1600	2,22	70,0	0	9,30	9,30	0	0,019	0,884	0,903	0,407	0	0	∞

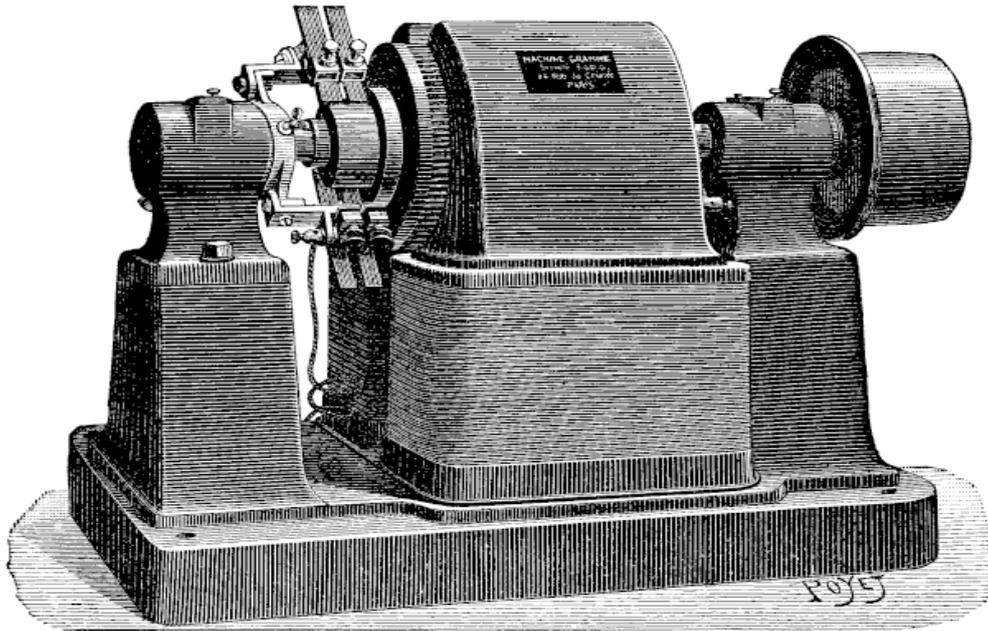


Fig. 16.

*Dynamo
système Gramme
type supérieur*

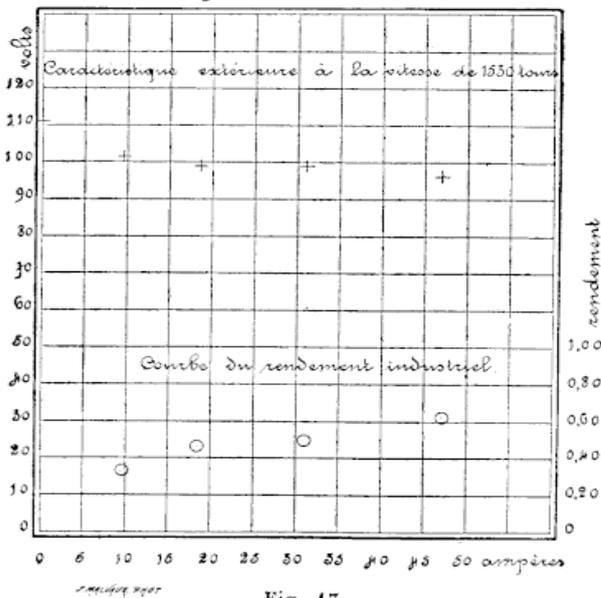


Fig. 17.

**Machine Gramme, type
supérieur F**

présentée par la Compagnie générale d'Électricité, de Bruxelles (fig. 16).

Dynamo compound à court shunt, pourvue d'électro-aimants inducteurs verticaux à noyaux en fonte.

Résistance mesurée à chaud de l'induit 0,0486 ohm; des inducteurs en série 0,012; des inducteurs en dérivation, 34,18.

Circonférence moyenne d'enroulement de la courroie sur la poulie de la dynamo, 0^m638.

Le travail transmis a été mesuré par le dynamomètre Von Heffner Alteneck.

Machine Gramme de la Compagnie générale d'Électricité
(type supérieur F).

Effort au dynamomètre. F	Vitesse de la dynamo tours par minute. V	Travail absorbé en chevaux. $\frac{2\pi R.V.F}{60 \times 75}$ A	Différence de potentiel aux bornes en volts. e	Int. en ampères			Travail électrique utile en chevaux. $\frac{e I}{736}$	Travail élect. intérieur dans les inducteurs.			Travail électrique total. $T = \tau + T_a + T_c + T_m$	Rendement total. $\frac{T}{A}$	Rendement électrique. $\frac{\tau}{T}$	Rendement industriel. $\frac{\tau}{A}$	Résistance extérieure calculée.
				dans la résistance extérieure. I	dans l'inducteur en dérivation. I_m	dans l'induit. $I_a = I + I_m$		dans l'induit. $I_a^2 r_a = T_a$ $\frac{I_a^2 r_a}{736}$	dans les inducteurs. $I_c^2 r_c = T_c$ $\frac{I_c^2 r_c}{736}$	dans les inducteurs. $I_m^2 r_m = T_m$ $\frac{I_m^2 r_m}{736}$					
14,6	1520	3,146	111,1	0	3,39	3,39	0	0,00076	0	0,534	0,534	0,47	0	0	∞
19,2	1530	4,163	102,0	10	3,17	13,17	1,386	0,0115	0,00163	0,467	1,866	0,448	0,743	0,333	10,2
23,6	1534	5,568	100,2	19,1	3,08	22,18	2,6003	0,0325	0,0059	0,441	3,079	0,354	0,844	0,467	5,23
40,2	1526	8,677	99,3	31,55	3,05	34,60	4,265	0,0791	0,0162	0,432	4,793	0,352	0,89	0,492	3,15
43,8	1530	9,935	96,3	47,9	2,97	50,87	6,280	0,1709	0,0374	0,4096	6,898	0,694	0,91	0,632	2,01

Machine Jaspar, type 1, A, n° 377

présentée par M. Jaspar, constructeur à Liège (fig. 18).

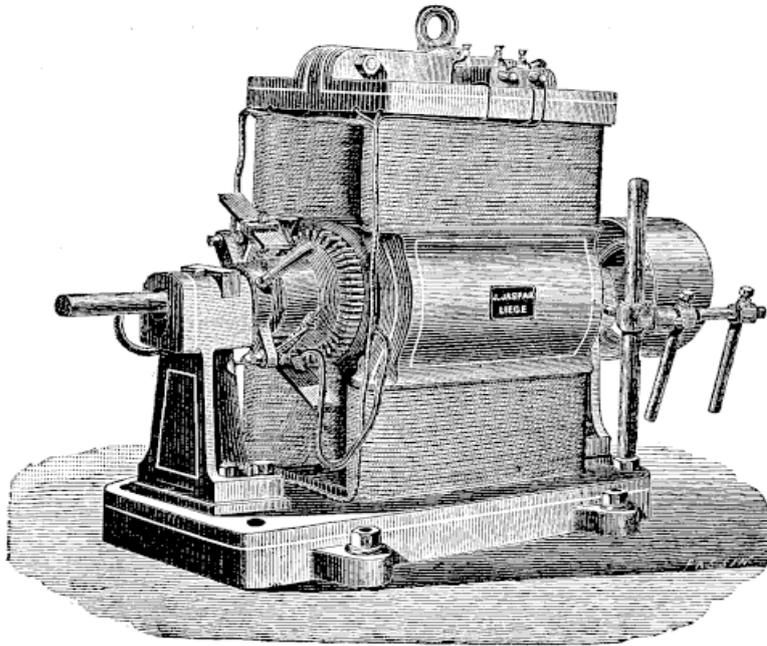


Fig. 18

Dynamo compound à long shunt pourvue d'électro-aimants inducteurs plats à noyaux en fonte coulés avec les épauvements polaires en deux pièces.

Résistance de l'induit mesurée à chaud, $r_a = 0,1274$ ohm; des inducteurs en série, $r_c = 0,109$.

La circonférence moyenne d'enroulement de la courroie sur la poulie de la dynamo était 0^m474.

Le travail transmis a été mesuré à l'aide du dynamomètre Von Heffner Alteneck.

Machine Jaspas, type 1, A, n° 377

Effort en kilogrammes. F	Vitesse en tours par minute. V	Travail absorbé en chevaux. A	Intens. en ampères			Travail utile dans le circuit extérieur en chevaux. $\frac{e I}{736}$	Travail électrique intérieur			Travail électrique total. $T = T_a + T_c + T_m + \tau$	Rendement total. $\frac{T}{A}$	Rendement électrique. $\frac{\tau}{T}$	Rendement industriel. $\frac{\tau}{A}$	Résist. extérieure calculée. $\frac{e}{I}$	
			Différence de potentiel aux bornes (volts). e	dans la résistance extérieure. I	dans les inducteurs en dériv. I _m		dans l'induit. I _a = I _m + I	dans l'induit. $\frac{I_a^2 r_a}{736} = T_a$	dans les inducteurs en série. $\frac{I_a^2 r_e}{736} = T_c$						dans les inducteurs en dériv. $\frac{e I_m}{736} = T_m$
9,5	1920	1,921	66,0	3,5	4,4	9,90	0,4932	0,01697	0,01484	0,3953	0,919	0,478	0,537	0,257	12
11,5	1940	2,349	67,0	9,05	4,4	13,45	0,8238	0,03131	0,02679	0,4003	1,2824	0,546	0,642	0,351	7,40
13,0	1943	2,662	67,2	11,15	4,4	15,55	1,018	0,04186	0,03581	0,4017	1,4974	0,562	0,680	0,382	6,02
14,0	1945	2,867	67,0	13,97	4,51	18,48	1,272	0,05912	0,05058	0,4103	1,792	0,626	0,710	0,444	4,80
15,0	1950	3,080	68,2	17,57	4,51	22,08	1,628	0,08439	0,0722	0,418	2,203	0,716	0,739	0,529	3,88
—	1950	—	69,1	23,25	4,58	27,83	2,183	0,1341	0,1147	0,430	2,862	—	0,763	—	2,97
20,5	1950	4,210	69,4	27,7	4,51	32,21	2,612	0,1796	0,1536	0,425	3,370	0,800	0,776	0,620	2,51
24,5	1950	5,031	69,0	34,7	4,4	39,10	3,253	0,2646	0,2264	0,4075	4,1515	0,826	0,784	0,647	1,99
29,0	1950	5,955	68,2	44,1	4,51	48,61	4,086	0,4080	0,3499	0,418	5,262	0,884	0,777	0,686	1,55
40,0	1950	8,213	66,6	64,8	4,26	69,06	5,864	0,8256	0,7063	0,3855	7,7814	0,946	0,754	0,714	1,03

Dynamo Compound système Jaspas.

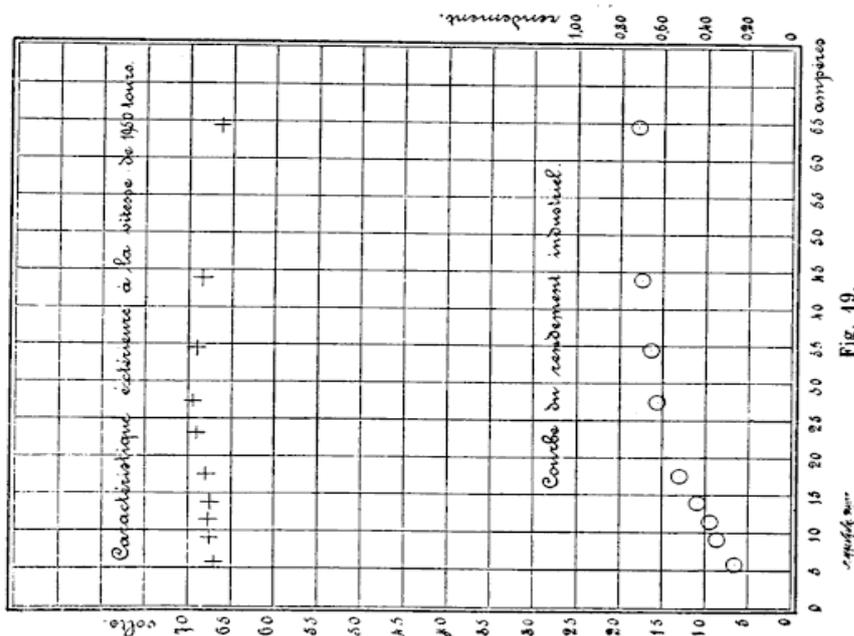


Fig. 19.

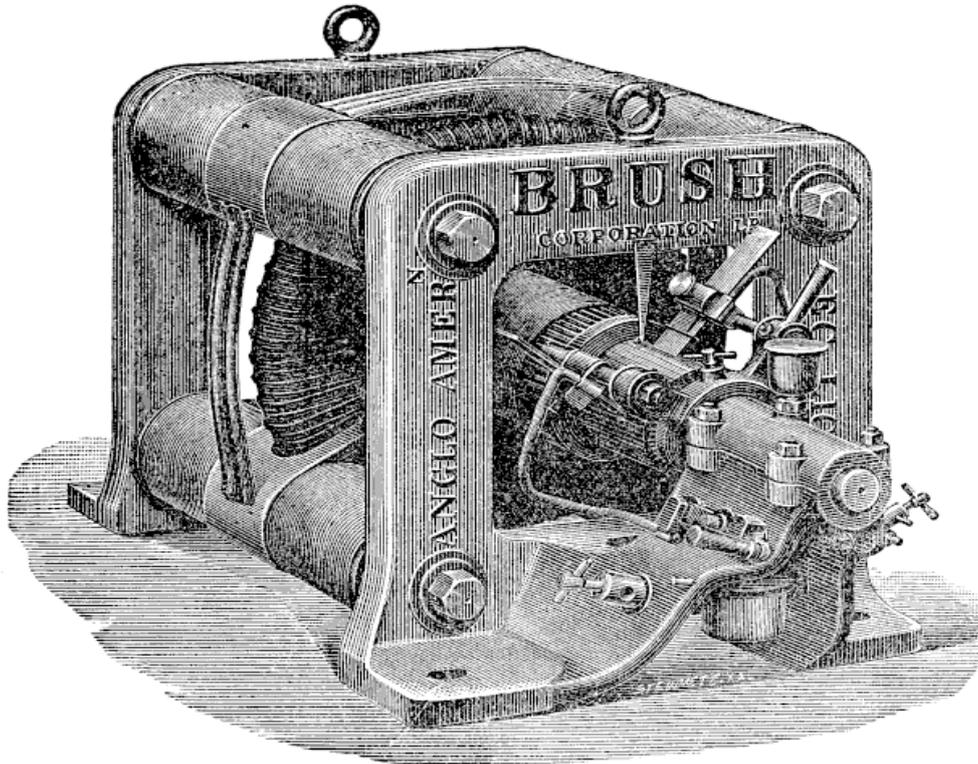


Fig. 20.

Dynamo système Victoria.

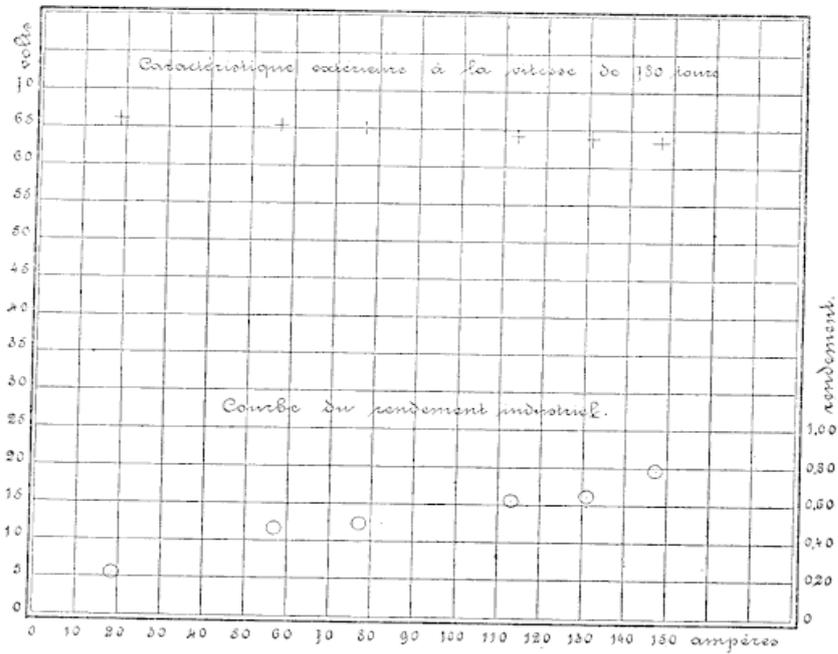


Fig. 21.

Machine Victoria, n° 720

présentée par la Compagnie " l'Électrique ", de Bruxelles (fig. 20).

Dynamo compound à court shunt à 4 pôles inducteurs. Induit annulaire à grand diamètre comprenant 60 sections reliées au collecteur; ce dernier, du système Mordey, n'a que deux balais.

Résistance mesurée à chaud du fil de l'induit 0,02225.

" " des inducteurs en série 0,01605.

" " " en dérivation 4,55.

Le travail transmis a été mesuré à l'aide des diagrammes d'indicateur. (Voir l'observation page 28.)

Vitesse de la machine. <i>V</i>	Travail absorbé en chevaux. <i>A</i>	Diff. de potentiel aux bornes. <i>e</i>	Int. en ampères		Travail utile dans le circuit extérieur. $\frac{e I}{736}$	Travail électrique intérieur			Travail électrique total. $T_a + T_c + T_m = T$	Rendement total. $\frac{T}{A}$	Rendement électrique. $\frac{T}{T}$	Rendement industriel. $\frac{T}{A}$	Résistance extérieure calculée.
			dans le fil extérieur. <i>I</i>	dans les inducteurs en dérivation <i>I_m</i>		dans l'induit. $\frac{I_a I_a}{736} = T_a$	les inducteurs en dérivat. $\frac{I_m^2 T_m}{736} = T_m$	en série. $\frac{I_c^2 T_c}{736} = T_c$					
775	16,10	62,8	147,0	14,65	12,54	0,790	1,328	0,471	15,129	0,94	0,829	0,779	0,427
775	17,402	63,4	130,3	14,5	11,23	0,634	1,300	0,37	13,534	0,778	0,830	0,646	0,486
775	15,80	63,9	113,0	14,5	9,81	0,481	1,300	0,278	11,869	0,752	0,826	0,621	0,566
788	13,72	65,6	78,3	14,5	6,98	0,260	1,300	0,133	8,673	0,632	0,805	0,509	0,838
788	10,83	66,0	57,6	14,5	5,165	0,157	1,300	0,0722	6,694	0,618	0,772	0,477	1,143
778	7,46	66,2	19,1	14,5	1,717	0,034	1,300	0,0078	3,059	0,41	0,562	0,23	3,46
780	6,36	66,6	0	14,5	0	0,006	1,300	0	1,306	0,2055	0	0	∞

Machine Gülcher, n° 4

présentée par la Compagnie générale d'Électricité, de Bruxelles (fig. 22).

Dynamo compound à long shunt, présentant 4 pôles inducteurs à noyaux plats excités par 4 paires d'électro-aimants droits. L'induit annulaire à grand diamètre est enveloppé sur la plus grande partie de son étendue par les épanouissements polaires. Il présente 92 sections reliées au collecteur.

Résistance mesurée à chaud du fil de l'induit 0,0642.

" " de l'inducteur en série 0,0436.

Le travail transmis a été déterminé à l'aide de diagrammes d'indicateur.

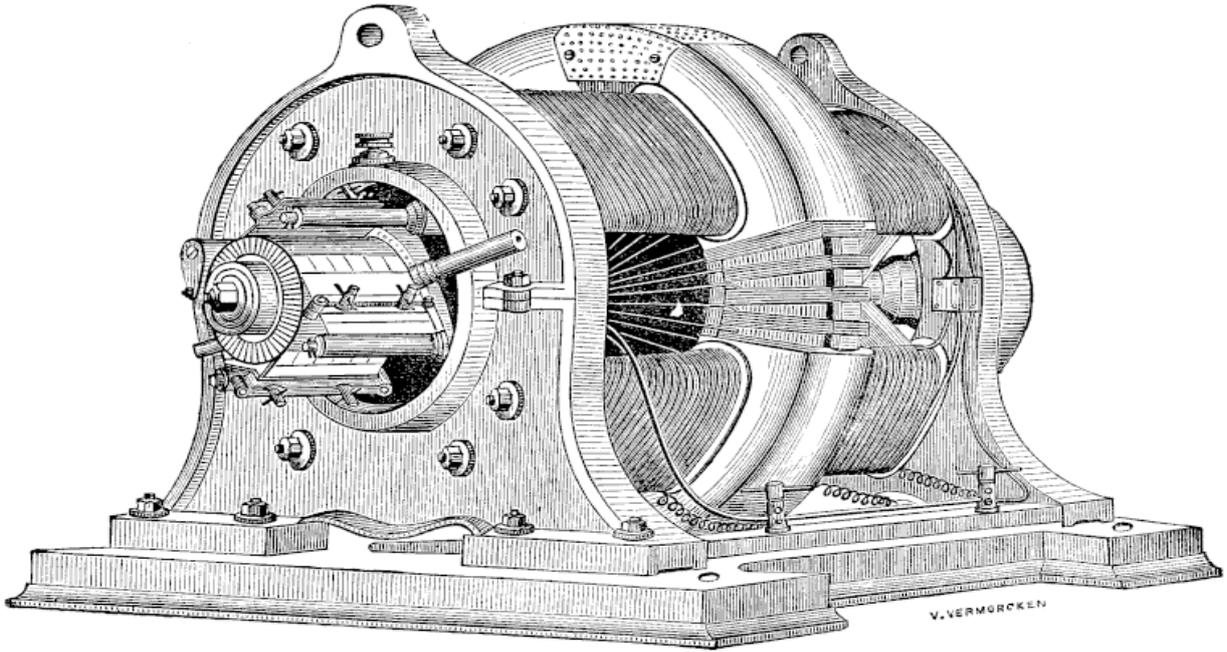


Fig. 22.

Dynamo système Gülcher N° 4.

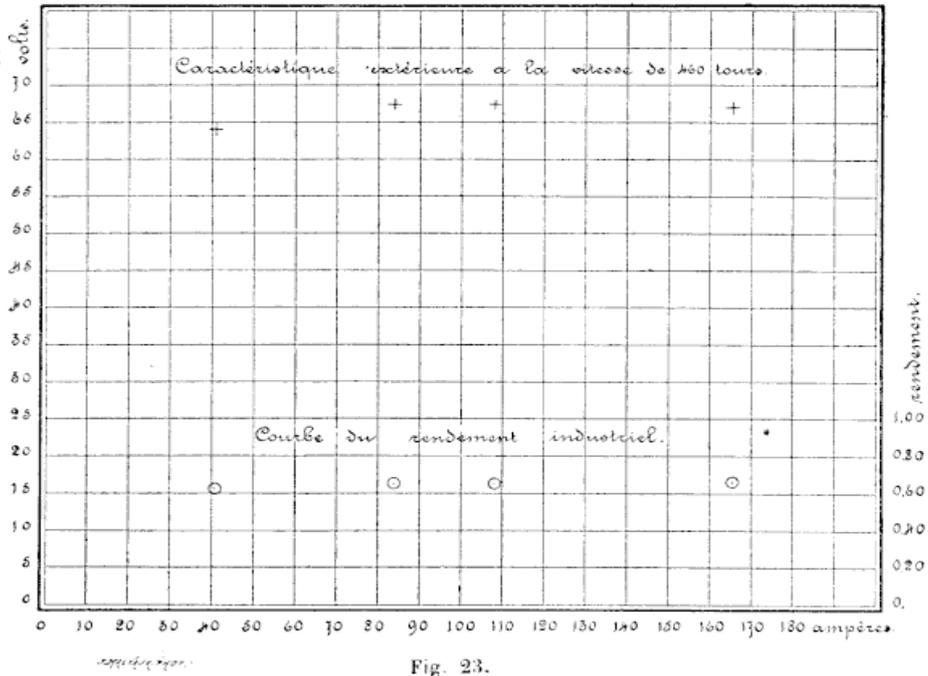


Fig. 23.

Machine Gülcher, n° 4.

Vitesse en tours par minute. V	Travail absorbé en chevaux. A	Diff. de potentiel aux bornes en volts. e	Int. en ampères		Travail extérieur utile en chevaux. $\frac{e I}{736} = \tau$	Travail électrique intérieur				Travail électrique total. $\tau + T_a + T_c + T_m = T$	Rendement total. $\frac{T}{A}$	Rendement électrique. $\frac{T}{T}$	Rendement industriel. $\frac{A}{A}$	Résistance extérieure calculée.
			dans la résistance extérieure. I	dans les inducteurs dérivés. I_m		dans l'induit. $I_a^2 r_a = T_a$ $\frac{I_a^2 r_a}{736}$	dans les inducteurs en série. $I_c^2 r_c = T_c$ $\frac{I_c^2 r_c}{736}$		dérivat. $e I_m = T_m$ $\frac{e I_m}{736}$					
460	1,40	0	0	0	0	0	0	0	0	*	*	*	*	*
460	1,66	37,0	0	1,49	0	0,00003	0,0002	0,073	0,073	0,043	0	0	∞	
458	5,53	64,0	40,4	2,59	3,512	0,2623	0,1757	0,225	4,173	0,756	0,842	0,633	1,384	
458	11,70	67,1	83,7	2,64	7,63	1,058	0,709	0,241	9,638	0,824	0,792	0,652	0,802	
460	15,00	67,3	10,83	2,70	9,92	1,753	1,173	0,247	13,097	0,873	0,758	0,664	0,620	
462	22,65	67,3	16,62	2,63	15,20	4,050	2,71	0,242	22,202	0,980	0,685	0,671	0,405	

Dynamo système Gülcher.

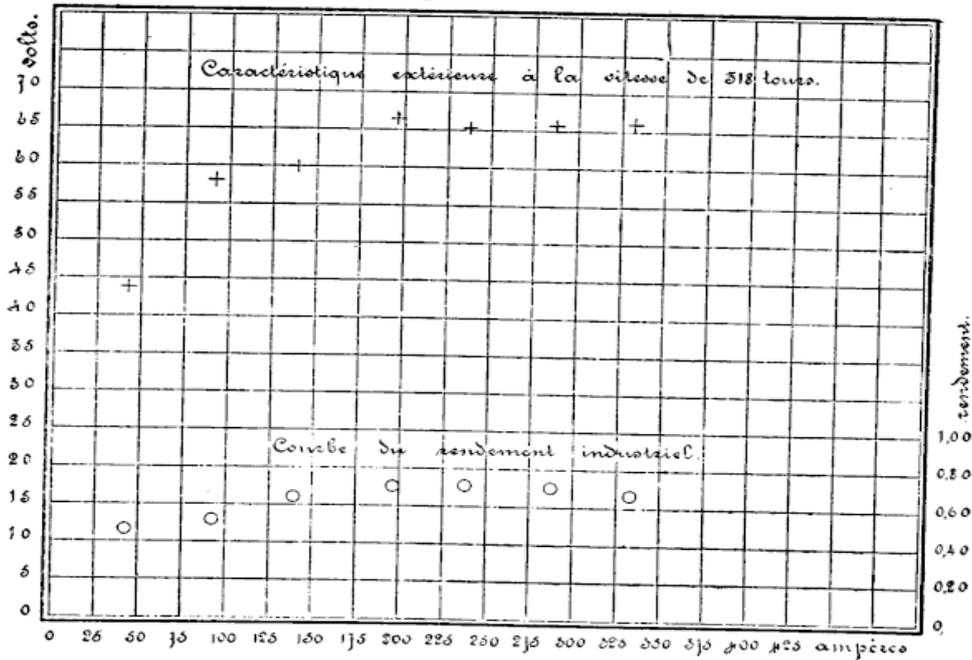


Fig. 24.

Machine Gülcher, n° 5

présentée par la Compagnie générale d'Électricité, de Bruxelles.

Dynamo compound à long shunt, à 8 pôles inducteurs, excités par 8 paires d'électro-aimants droits à noyaux plats. Le courant est recueilli par deux balais dont l'écart angulaire est de 45°.

Résistance mesurée à chaud du fil de l'induit 0,022.

" " des inducteurs en série 0,028.

Le travail absorbé a été déterminé au moyen de diagrammes d'indicateur.

Vitesse V en tours par minute.	Travail absorbé en chevaux. A	Diff. de potentiel e aux bornes en volts.	Int. en ampères		Travail électrique utile extérieur. $\frac{eI}{736} = T$	Travail électrique intérieur			Travail électrique total. $T + T_a + T_c + T_m = T$	Rendement total. $\frac{T}{A}$	Rendement électrique. $\frac{\tau}{T}$	Rendement industriel. $\frac{\tau}{A}$	Résistance extérieure calculée.
			dans le fil extérieur. I	dans les inducteurs en dérivation. I _m		dans l'induit. $\frac{I_a r_a}{736} = T_a$	dans les inducteurs en série. $\frac{I_c r_c}{736} = T_c$	dans les inducteurs en dérivation. $\frac{e I_m}{736} = T_m$					
312	1,7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
312	2,06	47,0	0	0,647	0	0,000016	0,000016	0,015	0,015	0,006	0	0	∞
312	5,21	43,2	41,5	1,53	2,435	0,073	0,088	0,0898	2,686	0,516	0,907	0,467	1,041
312	13,60	56,8	90,4	2,02	6,976	0,3365	0,406	0,156	7,874	0,578	0,886	0,513	0,629
312	17,15	58,8	137,0	2,10	10,94	0,762	0,920	0,1676	12,790	0,746	0,855	0,638	0,429
318	25,70	66,3	196,0	2,345	17,65	1,550	1,871	0,211	21,282	0,828	0,830	0,687	0,338
318	30,20	65,1	238,6	2,305	21,10	2,286	2,760	0,204	26,350	0,873	0,804	0,699	0,273
318	36,80	65,8	287,0	2,305	25,65	3,297	3,908	0,206	33,061	0,898	0,776	0,697	0,229
318	44,80	66,0	333,5	2,26	29,90	4,443	3,361	0,203	39,907	0,891	0,750	0,668	0,198

Électro-moteurs Immisch

présentés par M. Immisch, de Londres.

M. Immisch a soumis à l'examen du Comité deux électro-moteurs à induit cylindrique caractérisés par un collecteur double. Les noyaux des inducteurs de ces appareils sont en fer doux. L'âme de l'induit est constituée par des disques en fer isolés et recouverts des bobines induites; celles-ci sont reliées alternativement aux lames opposées de deux collecteurs placés côte à côte, comme le montre la figure 25. Les deux moitiés de l'induit sont réunies en quantité à l'aide de deux paires de balais appuyant sur le collecteur double. En soulevant les balais d'un des collecteurs on peut mettre la moitié de l'induit hors circuit.

Un des électro-moteurs présentés au Comité, à Anvers, offrait un défaut d'isolement au collecteur. La réparation demandant plusieurs semaines, M. Immisch

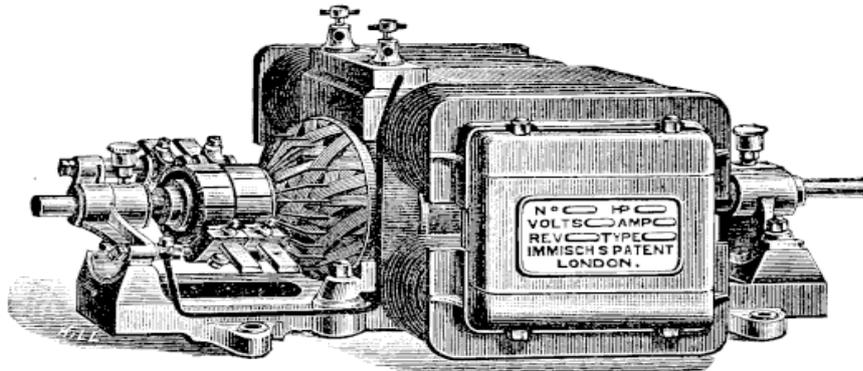


Fig. 25.

a renvoyé, après la clôture de l'Exposition, un moteur de rechange qui a été essayé à l'Institut Électro-Technique de Liège, par MM. Eric Gerard et Zunini.

Méthodes d'essai :

Les électro-moteurs Immisch ont été alimentés par des accumulateurs. Les liaisons étaient les mêmes que celles de la figure 10.

Les données électriques relevées étaient la résistance à chaud et pour chacune des allures du moteur la différence de potentiel aux bornes et l'intensité du courant. On employait pour ces déterminations le voltmètre V et l'ampèremètre A . La résistance à chaud était donnée par le rapport des indications du voltmètre et de l'ampèremètre, le moteur étant immobile.

La détermination du travail mécanique disponible a été faite à l'aide d'un petit frein de Prony appliqué sur la poulie de la dynamo; la mesure de la vitesse de rotation, au moyen d'un compte-tours et d'un compte-secondes.

Le frein de Prony employé à Anvers était équilibré par des poids. Dans celui qui a servi à Liège, la tension antagoniste était obtenue par un ressort gradué, sur lequel on agissait à l'aide d'une moufle. Par ce moyen on règle aisément la tension de manière à obtenir à chaque instant l'équilibre du frein.

En appelant V la vitesse du moteur en tours par minute,

P le poids en kilogrammes appliqué au frein,

d le bras de levier du frein,

I l'intensité du courant,

e la différence de potentiel mesurée aux bornes,

R la résistance à chaud de l'électro-moteur,

le travail électrique absorbé sera $\frac{eI}{9,81} = A$ kgm.-sec.

Résultats de l'essai effectué à Liège sur l'électro-moteur n° 68.

Résistance à chaud du fil des inducteurs 0,115 ohm.

" " de l'induit 0,180

Résistance totale 0,305

Poids du moteur avec sa poulie 41,6 kilogrammes.

Bras de levier du frein 0^m178.

Vitesse du moteur en tours par minute. V	Poids appliqué au frein. P	Travail recueilli au frein. $V \frac{P \cdot 0,178 \cdot 2\pi}{30} = T$ kgm. sec.	Différence de potentiel aux bornes. e	Intensité du courant. I	Travail élec. absorbé par le moteur. $\frac{e I}{9,81} = A$ kgm. sec.	Travail transf. en chaleur dans le moteur. $I^2 r = \tau$ kgm. sec.	Rendement mécanique. $\frac{T}{A}$	Force contre électro-motrice. $e = e - I r$	Coefficient de transformation. $\frac{e}{e}$
1450	2,123	57,44	35,6	22,2	80,56	45,32	0,714	28,83	0,811
1500	2,45	60,11	39,2	23,0	91,91	46,43	0,654	32,18	0,822
1530	2,55	72,72	42,8	24,0	104,71	47,91	0,695	35,48	0,829
1710	2,70	86,06	47,0	24,8	118,82	49,12	0,724	39,44	0,840
1800	1,20	40,26	35,6	17,5	63,51	9,52	0,634	30,26	0,850
1800	2,85	95,62	49,2	23,8	129,39	20,70	0,739	41,33	0,841
1800	3,95	13,253	60,0	31,5	192,66	30,85	0,688	50,39	0,840
1845	2,325	7,996	46,2	23,25	109,49	16,80	0,730	39,11	0,847
1845	3,35	11,521	59,1	28,25	170,18	24,80	0,677	50,48	0,855
1890	3,57	12,600	60,8	29,25	181,30	26,60	0,695	51,88	0,854
1970	2,30	8,446	47,0	22,8	109,23	16,17	0,773	40,05	0,853
1970	3,35	12,301	59,1	28,0	168,87	24,40	0,729	50,56	0,855
2000	3,125	11,650	57,9	27,1	159,95	22,85	0,728	49,64	0,858
2000	3,10	11,557	57,9	27,25	160,83	23,10	0,718	49,59	0,857
2030	3,75	14,175	61,9	29,5	186,14	27,05	0,762	52,90	0,855
2030	2,525	9,355	49,7	23,6	119,55	17,32	0,799	42,50	0,856
2200	2,50	10,252	57,9	24,7	145,78	18,98	0,703	50,37	0,870
2200	2,70	11,072	60,0	25,5	155,96	20,25	0,710	52,22	0,871
2200	3,30	13,533	65,4	27,5	183,33	23,55	0,738	57,01	0,872

ESSAIS DES PILES.

Pile Warnon

présentée par M. Warnon, de Paris.

Le pôle négatif est constitué par un cylindre de zinc de 0,20 de haut et de 0,11 de diamètre, baignant dans une solution concentrée de chlorure ammonique. Au centre se trouve le pôle positif formé par 4 lames de charbon enfermées chacune dans un sac de toile rempli d'un mélange dépolarisant dont la composition n'a pas été indiquée par l'auteur.

Les deux éléments essayés ont été réunis en quantité sur une résistance métallique égale à 1 ohm. La force électro-motrice a été mesurée au moyen du voltmètre étalon (fig. 26), l'intensité du courant au moyen de l'ampèremètre. L'essai a duré 3 heures. Si l'on appelle e la différence de potentiel en circuit

ouvert, r la résistance intérieure de l'élément, i l'intensité du courant, $i = \frac{e}{r + 1}$, d'où $r = 2 \left(\frac{e}{i} - 1 \right)$ valeur de la résistance intérieure d'un élément.

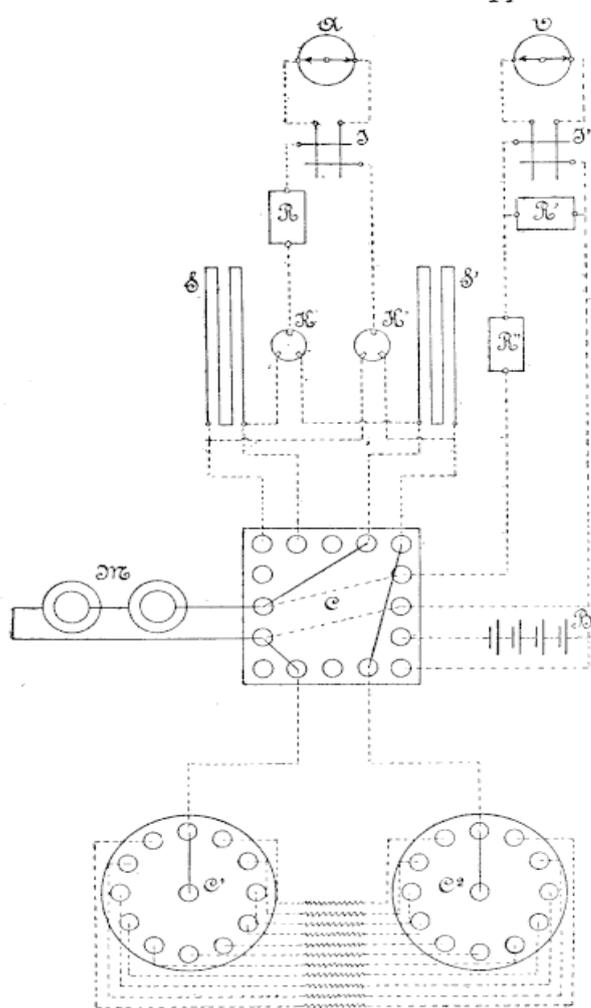


Fig. 26.

Durée.	Force électro-motrice en circuit ouvert. Volts.	Intensité en ampères.	Résistance calculée par élément.
0 00'	1,51	1,283	0,352
0 15'	—	1,238	—
0 30'	—	1,247	—
0 45'	—	1,235	—
1 00'	—	1,219	—
1 15'	—	1,215	—
1 30'	—	1,209	—
1 45'	—	1,202	—
2 00'	—	1,184	—
2 15'	—	1,180	—
2 30'	—	1,174	—
2 53'	—	1,169	—
3 00'	12,98	1,167	0,224

Pile thermo-électrique au coke

présentée par MM. Lantensack, Laske et Kohn, de Vienne.

Pile thermo-électrique de 1280 éléments, composée de 4 groupes superposés, comprenant chacun 10 couronnes de 32 éléments et pesant ensemble 164 kilogr. Dans l'axe de la pile est un fourneau en fer qui se charge par le dessus et qui permet de chauffer les soudures intérieures par rayonnement. Le combustible employé est le coke. Un commutateur permet de former diverses combinaisons au moyen des quatre groupes d'éléments.

On a fait fonctionner la pile sur des résistances métalliques en observant simultanément la force électro-motrice et l'intensité au moyen des appareils étalons. La quantité de coke consommée a été pesée.

Dans un premier essai, les quatre groupes d'éléments ont été réunis en tension. Le tableau suivant indique les résultats de l'expérience.

Durée.	Force électro-motrice en circuit ouvert (volts).	Force électro-motrice en circuit fermé.	Intensité en ampères.	Résistance extérieure calculée.
0	28,6	11,2	0,28	62,2
0 33'	—	12,38	0,28	58,0
1 37'	—	12,15	0,338	42,75

Dans un second essai, deux groupes ont été mis en quantité, deux en tension.

0	15,2	11,25	0,318	12,41
0 30'	—	11,25	0,332	11,9
1 15'	—	11,31	0,316	12,3
1 45'	—	11,31	0,317	12,25

La consommation moyenne de coke a été de 8 kilogrammes par heure.

Les mêmes inventeurs ont soumis au comité une pile à gaz, composée des mêmes éléments que la pile ci-dessus. Les couples étaient au nombre de 143, disposés en 13 couronnes de 11 éléments. La pile pèse 23,40 kilogr.

Avec une consommation de gaz de 437 litres à l'heure mesurés au compteur, cette pile a donné une force électro-motrice en circuit ouvert de 3,16 volts et sa résistance intérieure était 5,45 ohms.

Câble sous plomb

présenté par la Société d'exploitation des câbles électriques, système Berthoud, Borel et Cie, de Cortailod (Suisse). Essai exécuté à l'Institut Electro-technique de Liège, par M. Eric Gerard assisté de M. L. Zunini.

Le bout de câble soumis à l'examen avait une longueur de 508 mètres. Il comprenait six conducteurs recouverts d'une enveloppe de chanvre imprégné d'une matière isolante de composition non indiquée. Chaque conducteur se compose

de 3 brins de cuivre de 0,499 millim. de diamètre. La corde formée par les six conducteurs avait un diamètre de 7 millim.; elle était protégée par une double enveloppe de plomb dont le diamètre extérieur était de 11,7 millim.

Avant l'essai, le câble a été immergé pendant 72 heures dans un réservoir d'eau, en bois doublé intérieurement de plomb.

Résistance des conducteurs. — La mesure de la résistance des conducteurs a été faite par la méthode du Pont de Wheatstone, sur les six fils en série. A la température de 12° C. les six conducteurs ont donné une résistance de 83767 ohms légaux.

La résistance à 0° eût été $\frac{83767}{1 + 0,00388 \times 12} = 80040,3$ ohms, soit 26,26 ohms par kilomètre.

Il est intéressant de comparer la conductibilité du cuivre formant ces conducteurs, à celle du cuivre pris pour étalon par Matthiessen. Un fil de cuivre étalon de 1 mètre de long et 1 millim. de diamètre présente, à 0° C., une résistance égale à 0,02017 ohm légal. Un conducteur de cuivre étalon de mêmes section et longueur que celles du câble essayé aurait une résistance de 82,299 ohms légaux. Il en résulte que le conducteur présenté par la Société des câbles électriques, a une conductibilité égale à 102,82 pour cent de celle du cuivre étalon de Matthiessen. Ce résultat, qui témoigne des progrès réalisés dans l'industrie du cuivre, prouve en même temps qu'il est irrationnel de prendre pour conductibilité type, celle d'un métal dont la résistance à l'état de pureté est mal définie. Il est préférable de rapporter les conductibilités à celle du mercure, métal que l'on purifie aisément par la distillation. La conductibilité du cuivre présenté est 61,23 fois celle du mercure à 0° C.

Mesure de la résistance à l'isolement. — Pour déterminer la résistance à l'isolement du câble, on a appliqué la méthode de comparaison en se servant d'un galvanomètre Thomson très sensible, ayant une résistance intérieure de 7000 ohms. La pile employée comprenait 78 éléments Leclanché dont la force électro-motrice mesurée était 105,51 volts. Pour estimer la déviation produite par un courant d'un micro-ampère dans le galvanomètre, on a formé un circuit comprenant le galvanomètre shunté au $\frac{1}{999}$, une pile Leclanché de 10 éléments ayant une force électro-motrice de 14,429 volts et un rhéostat de 100000 ohms. On a obtenu 135,5 divisions, moyenne des déviations obtenues en intervertissant le sens du courant.

La déviation par micro-ampère est donc, en négligeant la résistance de la pile devant celle du rhéostat :

$$\delta = \frac{135,5 \times 1000}{14,429 \times 10} = 939,08 .$$

On a ensuite déterminé séparément la résistance de chaque conducteur, les conducteurs voisins étant reliés à la terre. Dans ce but, on a relié, par l'intermédiaire du galvanomètre non shunté, l'un des pôles de la pile de 78 Leclanché, au conducteur essayé; le fil libre de la pile communiquant avec l'eau de la cuve d'immersion. On a noté les déviations obtenues en renversant le sens du courant après 1, 2, 10 minutes d'électrisation, déduction faite de la déviation produite par les pertes dans les fils de connexion. En appelant α la déviation observée, la résistance à l'isolement est

$$R = \frac{939,08 \times 105,81}{\alpha}.$$

Numéro du fil.	Durée d'électrisation.	Déviations au Galvanomètre.	Résistance à l'isolement du bout de 508 ^m (mégohms).	Isolement kilométrique (mégohms).
1	1 minute	3,6	27601,4	14002,1
	2 »	3,2	31051,3	15752,4
	10 »	3,0	33121,3	16825,7
2	1 minute	3,6	27601,4	14002,1
	2 »	2,8	35487,4	18002,7
	10 »	2,5	39744,0	20163,1
3	1 minute	2,7	36801,5	18669,5
	2 »	2,5	39744,0	20163,1
	10 »	2,5	39744,0	20163,1
4	1 minute	3,25	30573,6	15510,1
	2 »	2,7	36801,5	18669,5
	10 »	2,7	36801,5	18669,5
5	1 minute	2,75	36132,4	18330,1
	2 »	2,5	39744,0	20163,1
	10 »	2,5	39744,0	20163,1
6	1 minute	3,75	26497,1	13442,1
	2 »	3,75	26497,1	13442,1
	10 »	3,4	29224,7	14825,8

Mesure de la capacité des conducteurs.—On a mesuré successivement la capacité de chacun des conducteurs, les conducteurs voisins communiquant avec

le sol. Cette détermination a été faite par la comparaison des déviations obtenues en déchargeant les conducteurs et un condensateur étalon à travers un galvanomètre balistique à réflexion. La pile de charge se composait de 78 éléments Leclanché.

Le galvanomètre Wiedemann, employé pour la mesure, possédait des bobines mobiles de manière à permettre de varier la sensibilité de l'appareil sans recourir à des shunts. L'aimant mobile, en forme de cloche fendue, possédait un moment d'inertie relativement élevé; les résistances au mouvement de l'aimant étaient très faibles, de sorte que les élongations successives obtenues à la suite d'une décharge ne différaient entre elles que d'une fraction très minime de l'amplitude totale. Le condensateur étalon, construit par Elliott, était gradué en dixièmes de microfarads. On a commencé l'essai par la vérification des valeurs relatives des subdivisions du condensateur; les rapports indiqués ont été trouvés exacts.

En appelant α la déviation de décharge obtenue avec un condensateur de 0,1 microfarad, " " " " " " le câble, la capacité de ce dernier sera $c = \frac{\alpha'}{\alpha} \times 0,1$.

α a été trouvé égal à 83,8 à trois reprises différentes, échelonnées sur la durée de l'essai.

Le tableau suivant indique les diverses valeurs obtenues, la température du câble étant 11° C.

Numéros des torons.	Déviation de décharge après une électrisation de		Capacité par kilomètre en microfarads après une électrisation de	
	1 minute.	2 minutes.	1 minute.	2 minutes.
1	85,0	85,0	0,1995	0,1995
2	87,5	87,5	0,2054	0,2054
3	88,0	88,0	0,2067	0,2067
4	92,0	92,0	0,2162	0,2162
5	92,0	92,0	0,2162	0,2162
6	88,2	88,2	0,2071	0,2071

Variation de la résistance à l'isolement avec la température. —
Pour se rendre compte de cet élément, on a procédé de la manière suivante :

Après une immersion de 24 heures du câble dans l'eau, on a relevé la température t de l'eau, la résistance propre r des conducteurs, et la résistance à l'isolement R des fils, tous les conducteurs étant réunis en série.

On a ensuite chauffé l'eau de la cuve en établissant une circulation par un tuyau d'alimentation et un tuyau de décharge. L'eau alimentant la cuve traversait un tube métallique chauffé par des jets de gaz. La circulation était réglée de manière à obtenir au thermomètre une indication constante, ce qui nécessitait quatre à cinq heures. On mesurait à ce moment la résistance des conducteurs r' et la résistance à l'isolement R' .

On déduisait la température moyenne t' du câble de la comparaison de la résistance r' avec la résistance r mesurée à la température connue t .

En prenant 0,00388 comme coefficient de variation de résistance du cuivre avec

la température, on a $t' = \frac{r' (1 + \alpha t) - r}{\alpha}$.

La même opération a été répétée pour deux températures différentes. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant.

Température.	Résistance des conducteurs bouclés.	Résistance à l'isolement des conducteurs bouclés après une électrisation de		Résistances comparatives rapportées à 100 après une électrisation de	
		1 minute.	2 minutes.	1 minute.	2 minutes.
12°5	84,15	8963,2	13146,0	100,0	146,6
16°27	85,325	6573,0	7733,3	73,3	86,27
19°88	86,45	3081,7	3272,9	34,37	36,51

CONDENSATEURS

présentés par la Société d'exploitation des câbles électriques, système
Berthoud, Borel & C^{ie}, de Cortaillod (Suisse).

Essais exécutés par M. le professeur A. Roiti, à l'Institut royal des études supérieures,
à Florence. Rapport traduit par M. L. Zunini.

Le présent travail est la relation des expériences que j'ai été chargé de faire par le Comité des essais électriques, sur les condensateurs de la *Société Berthoud, Borel et C^{ie}, de Cortaillod, Suisse*.

Les condensateurs ont été expédiés vers la fin de novembre 1885 par M. E. Dumoulinneuf, représentant des constructeurs pour la Belgique; mais par suite de retards accidentels, ils ne m'ont été remis à Florence que le 28 décembre. D'autre part, les expériences ont dû subir des retards et des interruptions à cause de mes occupations professionnelles.

Les condensateurs étaient au nombre de deux :

Le premier, portant le n° 2041, a la capacité nominale d'un microfarad, et n'est pas subdivisé. Je l'indiquerai dans la suite par la notation **(1,0)**.

Le second porte le n° 2045; il est aussi d'un microfarad nominal, mais il est subdivisé en quatre parties, 0,5 + 0,2 + 0,2 + 0,1. Je désignerai ce condensateur par **(1,0)**, et ses fractions respectivement par **(0,5)**; **(0,2)**; **(0,2)***; **(0,1)**; et finalement je poserai : **(0,5)* = (0,2) + (0,2)* + (0,1)**.

Les constructeurs ne m'ont fourni aucune indication sur les matériaux et les procédés de fabrication et comme, d'autre part, je ne me suis pas cru autorisé à ouvrir les condensateurs, j'ignore comment ils sont disposés intérieurement.

Je les ai soumis aux essais suivants :

I. Je les ai comparés entre eux et avec deux étalons, l'un à feuilles paraffinées (Elliott Brothers, de Londres); l'autre à lames de mica (Latimer Clark, Muirhead et C^{ie}, à Westminster), pour vérifier l'exactitude des subdivisions.



II. J'ai comparé entre elles les résistances apparentes que ces condensateurs présentaient après plus d'une minute de charge.

III. J'en ai déterminé directement la capacité absolue par la méthode employée par J.-J. Thomson (*) et par Glazebrook (**), dans laquelle il faut mesurer la durée de la vibration d'un diapason, et trois résistances.

IV. Ayant fait la même détermination pour les deux étalons subsidiaires, j'ai calculé avec les valeurs relatives du premier essai la capacité absolue des condensateurs que je devais examiner.

V. J'ai aussi déterminé directement la capacité absolue de tous les condensateurs, à l'aide d'une méthode que j'ai imaginée (***), qui demande la connaissance d'un coefficient d'induction mutuelle, et de deux résistances absolues. Avec les valeurs ainsi trouvées pour les deux étalons subsidiaires et les valeurs relatives obtenues dans le premier essai, j'ai calculé les capacités absolues des condensateurs suisses.

J'ai comparé entre eux les nombres obtenus par ces différentes méthodes, et qui auraient dû être concordants si l'isolement des armatures avait été parfait et si le phénomène de la pénétration des charges n'existait pas. Au contraire, comme il était à prévoir, on a eu des différences : par suite, j'ai cru nécessaire de procéder à l'essai suivant :

VI. J'ai mesuré la manière dont les résistances apparentes des différents condensateurs varient avec le temps.

Je dois remercier M. le docteur Franco Magrini pour le concours éclairé et efficace qu'il m'a prêté dans ces déterminations.

PREMIER ESSAI.

Comparaison de deux capacités.

La méthode à laquelle j'ai eu recours ressemble beaucoup à la méthode qu'on suit ordinairement pour comparer entre elles deux résistances au moyen du Pont de Wheatstone, et qui a été discutée assez complètement par R. T. Glazebrook (****).

(*) *Philosophical Transactions of the Royal Society*, part. III, 1883, p. 707.

(**) *Philosophical Magazine*, vol. XVIII, 1884, p. 98.

(***) *Atti del R. Istituto Veneto*, t. II, serie VI, 1884. *Nuovo Cimento*, t. XVI, p. 173. *Repertorium der Physik*, XXI, 1885, p. 8.

(****) *Philosophical Magazine*, vol. XI, p. 370.

Le condensateur X à examiner (fig. 27) et l'étalon C qu'on choisit comme terme de comparaison, sont placés dans deux côtés adjacents du pont, tandis que les deux

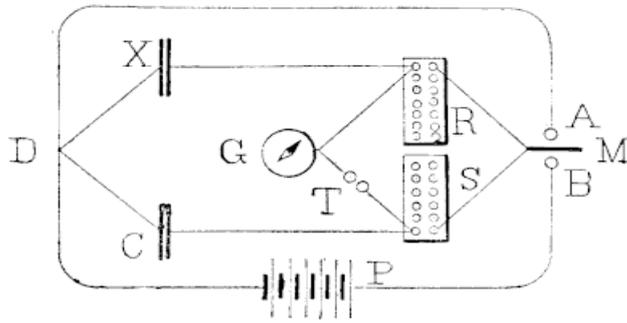


Fig. 27.

autres côtés sont constitués par deux boîtes de résistance R S . La diagonale qui va du sommet $X R$ au sommet $C S$ comprend le galvanomètre G ; les deux autres sommets peuvent être réunis entre eux de deux manières différentes, soit au moyen d'un fil métallique $A D$, soit par une pile P , suivant que le manipulateur M s'appuie contre le buttoir A ou contre B .

Au repos, le manipulateur touche le buttoir A , de manière que les armatures des condensateurs sont maintenues au même potentiel; mais quand on abaisse le levier sur B , la pile charge les deux condensateurs. Et il est facile de démontrer que le galvanomètre ne doit pas dévier si la condition

$$(1) \quad \frac{X}{C} = \frac{S}{R}$$

est satisfaite.

En pratique, on trouve toujours une déviation à cause de la pénétration des charges et de l'isolement imparfait entre les deux armatures de chaque condensateur. Mais, en maintenant fixe la résistance S et en faisant varier peu à peu la résistance R , on arrive à un point où, en abaissant le manipulateur M , le galvanomètre accuse d'abord une légère impulsion d'un côté du zéro, puis aussitôt après, une déviation de l'autre côté. Si on règle R de manière à éliminer la première impulsion, la capacité X est donnée, comme l'a démontré Glazebrook (*), par la formule

$$(2) \quad X = C \frac{S}{R} \left\{ 1 - 2 \left(\frac{S}{\rho_c} - \frac{R}{\rho_x} \right) \right\}$$

où ρ_c et ρ_x sont les résistances apparentes des condensateurs, produites par la pénétration des charges. Ces résistances apparentes vont en augmentant avec le temps, de manière que le galvanomètre n'arrive pas à une déviation définitive; et on reste dans le doute quant à la grandeur de la correction qu'on doit faire à la valeur de X déduite de la formule (1), pour la réduire à la formule (2).

(*) *Philosophical Magazine*, vol. XI, p. 377.

D'un autre côté, je n'ai pas cru que, pour notre but, il valût la peine de s'engager dans la recherche nécessairement longue et laborieuse de cette correction, et j'ai jugé suffisante l'approximation qu'on obtient en introduisant dans la formule (1) la valeur de R correspondant à la disparition de la première impulsion, et à une déviation lente et régulière du galvanomètre d'un seul côté du zéro.

L'erreur que l'on commet en opérant de cette manière n'atteint pas 0,5 pour 100, car la différence entre la capacité totale de toutes les subdivisions réunies et la somme des capacités déterminées une à une n'atteint pas cette fraction.

J'employais un grand galvanomètre de Siemens et Halske avec aimants à cloches, dont les bobines comprenaient en tout 43324 spires de fil, et étaient réunies en série de manière à présenter une résistance d'environ 5000 ohms.

Les deux résistances R et S étaient constituées par des bobines sans self-induction et étaient mesurées chaque fois, aussitôt après la détermination, au moyen d'un excellent pont construit par Elliot Brothers et gradué en unités B. A.

Pour chaque capacité on faisait au moins deux déterminations de R , en variant S , et on a toujours obtenu des chiffres concordant entre eux au millième près. Les moyennes de ces nombres sont enregistrées dans la colonne $\frac{X}{C}$ du tableau suivant. La température moyenne est indiquée dans la colonne t . La dernière colonne comprend les rapports des différents condensateurs relativement au condensateur (1,0).

TABLEAU I.

C est un condensateur à lame de mica, de 1/3 de microfarad environ.

Condensateurs suisses.	Température t	$\frac{X}{C}$	$\frac{X}{(1,0)}$	
(1,0)'	14°5	2,8802	1,0049	
(1,0)	14°4	2,8662	1,0000	
(0,5)	14°3	1,4303	0,4990	(0,5) + (0,5)* - (1,0) = 0,0001
(0,5)*	14°3	1,4362	0,5011	
(0,2)	14°8	0,5748	0,20055	(0,5) - (0,2) + (0,2)* + (0,1) - (1,0)
(0,2)*	13°2	0,5786	0,20183	= 0,0025
(0,1)	13°7	0,28966	0,10106	

TABLEAU II.

C' est un condensateur à paraffine de $1/2$ microfarad environ.

Condensateurs suisses.	Température t	$\frac{X}{C'}$	$\frac{X}{(1,0)}$	
(1,0)'	13°,5	1,9186	1,0047	
(1,0)	12°,9	1,9096	1,0000	
(0,5)	12°,5	0,9524	0,4988	(0,5) + (0,5)* - (1,0) = 0,0001
(0,5)*	12°,5	0,9573	0,5013	
(0,2)	13°,2	0,38290	0,20051	(0,5) + (0,2) + (0,2)* + (0,1) - (1,0)
(0,2)*	13°,0	0,38552	0,20188	= 0,0023
(0,1)	12°,6	0,19318	0,10116	

TABLEAU III.

C'' est le condensateur suisse (1,0)'.

Condensateurs suisses.	Température t	$\frac{X}{C''}$	$\frac{X}{(1,0)}$	
(1,0)'		1,0000	1,0032	
(1,0)	11°,7	0,9968	1,0000	
(0,5)	11°,5	0,4970	0,4986	(0,5) + (0,5)* - (1,0) = - 0,0005
(0,5)*	11°,7	0,4993	0,5009	
(0,2)	11°,1	0,19942	0,20051	(0,5) + (0,2) + (0,2)* + (0,1) - (1,0)
(0,2)*	11°,0	0,20111	0,20175	= + 0,0020
(0,1)	11°,4	0,10078	0,10115	

Moyennes des capacités relatives au condensateur (1,0) enregistrées dans la dernière colonne des trois tableaux précédents.

(1,0)'	(1,0)	(0,5)	(0,5)*	(0,2)	(0,2)*	(0,1)
1,0043	1,0000	0,4988	0,5011	0,20052	0,20183	0,10112

Or, il est clair que dans les condensateurs d'un type donné la résistance apparente dont j'ai parlé ci-dessus est plus grande pour ceux qui ont une capacité plus faible : ayant constaté, comme nous le verrons dans le 2^e essai, que dans tous les cas :

$$\rho_{(0,2)} > \rho_e$$

par suite, la correction déduite de la formule (2), et que nous avons négligée, deviendrait soustractive pour les capacités inférieures à $(0,2)_*$; il en résulte que les valeurs relatives que nous avons trouvées pour ces petites subdivisions du microfarad sont un peu trop élevées.

Ayant égard à ce fait, nous pouvons conclure que les erreurs relatives des deux microfarads nominaux et de leurs fractions sont inférieures à un pour cent.

DEUXIÈME ESSAI.

Comparaison des résistances apparentes de deux condensateurs.

Des calculs de Glazebrook il résulte qu'en tenant abaissé en permanence le manipulateur M (fig. 2), l'intensité du courant dans le galvanomètre après un temps infini est donnée par

$$(3) \quad i = \frac{E}{G} \left(\frac{S}{S + \rho_c} - \frac{R}{R + \rho_e} \right)$$

où E est la force électro-motrice de la pile et G la résistance du galvanomètre.

Pour décider, dans le cas présent, quel était le sens de la déviation qui correspondait aux valeurs positives de i , j'ai commencé par mettre pour C et X les deux condensateurs suisses $(1,0)'$ et $(1,0)$ qui ont environ la même capacité, et j'ai pris la résistance R , beaucoup plus petite que S , de manière qu'il résultait certainement pour i une valeur plus faible que 0. Ensuite, en tenant ouvert le manipulateur T , pour ne pas endommager le galvanomètre, j'ai fermé en BM la pile P de 20 Daniell, et finalement j'ai fermé T . Le galvanomètre m'a donné une déviation définitive vers les chiffres plus petits de l'échelle. Par suite à une valeur positive de i correspondait une déviation négative du galvanomètre.

Ensuite, j'ai fait $R = S = 7600$ ohms, et en manœuvrant de la même manière que tantôt, j'ai constaté que le galvanomètre déviait en dernier lieu vers les grands chiffres, d'où j'ai conclu

$$i < 0 ; \quad \rho_c > \rho_e ; \quad \rho_{(1,0)'} > \rho_{(1,0)}$$

c'est-à-dire que les armatures sont mieux isolées dans le condensateur suisse n° 2041 qui n'est pas subdivisé.

En procédant de la même manière, j'ai reconnu que l'isolement du demi-micro-

farad à feuilles paraffinées (C') est meilleur que celui des microfarads suisses et de leur moitié, mais moins bon que celui de leurs fractions inférieures.

De même, le tiers de microfarad à lames de mica (C) présente une résistance définitive plus élevée que les condensateurs $(1,0)$, $(1,0)$, $(0,5)$, $(0,5)_*$, égale à peu près à celle des condensateurs $(0,2)$, $(2,0)_*$, et moindre que celle de $(0,1)$.

Il ne faut toutefois pas oublier que cela n'est vrai que pour des durées de charge supérieures à une ou deux minutes : dans quelques cas, le contraire est vrai pour des temps moindres ; ainsi, par exemple, le condensateur $(1,0)$, pendant les premiers instants de la charge, offre une résistance apparente moindre que le condensateur $(1,0)$: tandis qu'il donne, après une résistance plus élevée, comme nous avons vu. Nous reviendrons sur ce détail dans le dernier de nos essais. Pour le moment, nous concluons de ce dernier essai que

Les armatures des condensateurs suisses sont isolées à peu près comme celles des bons condensateurs à feuilles paraffinées, et un peu moins que celles des condensateurs à lames de mica.

TROISIÈME ESSAI.

Mesure absolue des capacités au moyen du pont de Wheatstone.

Une des diagonales PQ (fig. 28) contient le galvanomètre de résistance g ; l'autre, MN , contient la pile de résistance b . Deux des côtés, MP et NP , qui aboutissent à la diagonale du galvanomètre, contiennent deux résistances a, d .

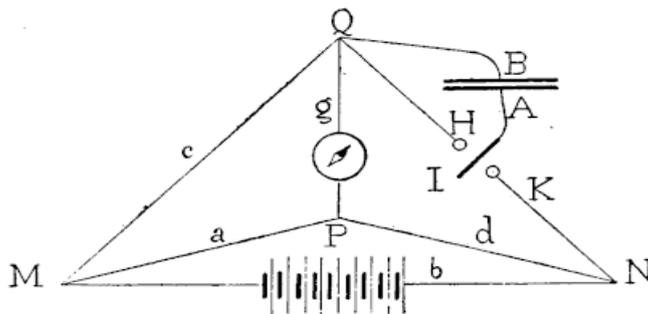


Fig. 28.

L'autre bout, Q , de cette diagonale communique avec une armature B du condensateur dont la seconde armature A est reliée à une pièce métallique I qui vibre entre deux contacts de platine HK , où le troisième côté présente une interruption. La résistance c du 4^e côté MQ peut être variée par degrés, jusqu'à ce que le

galvanomètre reste au zéro. Alors, si n est le nombre des vibrations complètes qu'exécute la languette I en une seconde, la capacité du condensateur est donnée par (*) :

$$(4) \quad X = \frac{a \{ (a + c + g)(a + b + d) - a^2 \}}{n \{ (a + b + d)(a + c) - a(a + d) \} \{ (a + d)(a + c + g) - a(a + c) \}}$$

(*) J.-J. Thomson, l. c., p. 740.

La figure 29 indique la disposition que j'ai donnée aux appareils, et les lettres correspondent à celles de la figure schématique précédente.

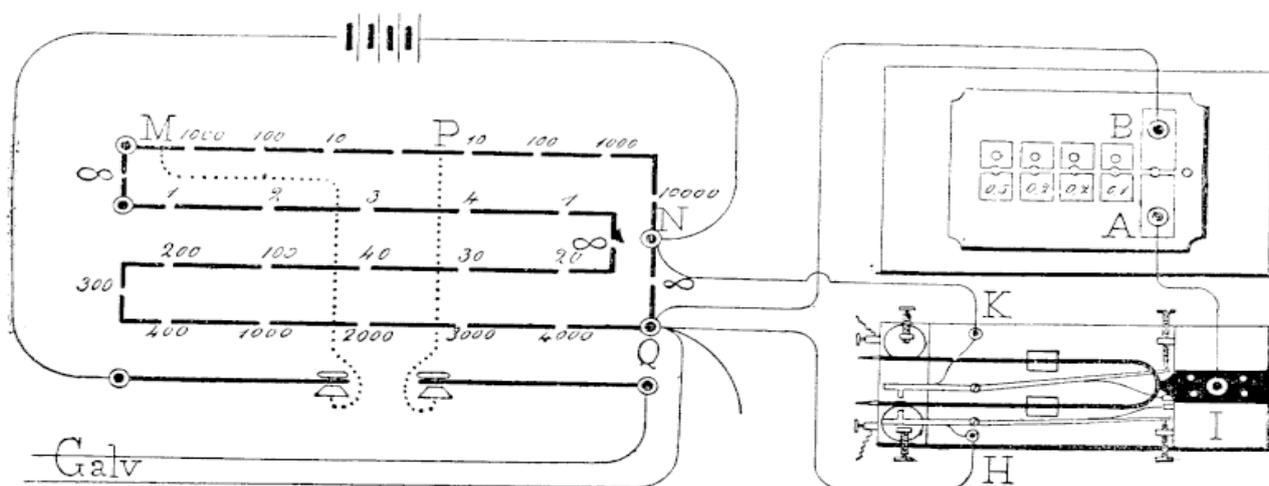


Fig. 29.

Le pont de Wheatstone est le même qui m'a servi pour le premier essai; mais comme pour l'essai actuel il importait de connaître la valeur absolue des résistances, j'ai comparé le pont avec une unité normale de Siemens, et, en faisant la correction de la température, j'ai trouvé qu'en moyenne les unités du pont à 13°6 étaient égales à

$$(5) \quad 0,9883 \text{ ohm légal.}$$

Je me suis servi, dans la suite, de ce nombre et du coefficient 0,0003 quand la température était différente de 13°6, pour réduire à la valeur légale toutes les résistances déterminées avec le pont.

La pile était composée d'éléments Daniell dont le sulfate de zinc et le sulfate de cuivre avaient la densité 1,15; mais le nombre d'éléments différait suivant les cas. Elle était toujours supportée par des isolateurs Mascart. Dans les cas assez rares où sa résistance n'était pas négligeable, celle-ci était mesurée par la méthode de Mance au commencement et à la fin de chaque expérience.

Le galvanomètre était dans quelques cas le même que j'ai employé dans le premier essai; parfois, les 4 bobines étaient disposées en série, parfois en dérivation. Comme ce galvanomètre a une self-induction considérable, j'ai voulu le remplacer par un autre du même type, ayant seulement 2026 tours de fil, avec une résistance totale de 6 ohms. Dans la diagonale du pont, où était ce dernier galvanomètre, je n'ai jamais négligé d'ajouter de grandes résistances sans self-induction pour éli-

miner les effets perturbateurs de nature thermo-électrique, et pour rendre plus facile le calcul numérique de la formule (4). Toutefois, je dois ajouter que les résultats obtenus avec les deux galvanomètres sont concordants jusqu'au millième.

Pour effectuer alternativement la charge et la décharge du condensateur, J.-J. Thomson et Glazebrook s'étaient servis d'une simple lame élastique en laiton, portant à l'extrémité une pièce en fer doux qui tenait lieu d'armature, et un électro-aimant où le courant de quelques éléments Grove était périodiquement interrompu par un diapason électro-magnétique, dont ils déterminaient la durée de vibration. La lame avait deux contacts en platine qui venaient s'appuyer contre deux buttoirs rigides de part et d'autre. J'avais également commencé par me servir d'un commutateur analogue, mais je n'ai pu parvenir à en rendre l'allure régulière pour plus de dix minutes. Dans la suite, j'ai obtenu une régularité parfaite en employant, au lieu du ressort en laiton, un second diapason qui était excité par le premier. Ce second diapason, construit par mon mécanicien et indiqué figure 33, est très bien isolé sur ébonite; il porte deux contacts en platine à l'extrémité d'un des bras, de manière qu'en vibrant il touche deux languettes élastiques également en platine, qui peuvent être rapprochées plus ou moins au moyen de vis de réglage. Les pièces polaires de l'électro-aimant sont susceptibles de se déplacer au moyen de vis, et les deux branches du diapason portent deux masses de plomb qui peuvent être fixées sur un point quelconque de la longueur.

Le diapason excitateur dont je me suis servi a été construit par Duboscq, à Paris. Je l'ai pourvu ensuite de deux lamelles formant entre elles une fente qui s'ouvrait et se refermait à chaque vibration et je l'ai placé devant le pendule d'une horloge pour déterminer la durée d'oscillation par la méthode stroboscopique, suggérée par lord Rayleigh (*). En outre, le second diapason portait au sommet des bras deux languettes métalliques pour écrire la courbe de son oscillation sur un cylindre de Duhamel. Le pendule de l'horloge faisait partie du circuit primaire d'une bobine de Ruhmkorff et fermait et ouvrait ce circuit à chaque seconde, en effleurant une goutte de mercure enduit de pétrole. Le circuit secondaire de la bobine aboutissait d'un côté au diapason enregistreur, et de l'autre au cylindre, de manière qu'à chaque oscillation du pendule il éclatait une légère étincelle qui laissait sa trace sur la courbe. On pouvait lire commodément le dixième de vibration; en faisant les déterminations pour des nombres pairs de secondes (de 40 à 70) et en prenant les moyennes, on pouvait pousser l'approximation bien au delà du dix-millième.

En appliquant simultanément au diapason excitateur la méthode optique de lord Rayleigh et au diapason excité cette méthode graphique, je suis arrivé à des

(*) *Nature*, vol. XVII, 1878, p. 12.

résultats parfaitement concordants entre eux. D'un jour à l'autre, la durée de vibration variait un peu, jusqu'à donner des différences de 1 pour mille; par suite, j'ai déterminé cette durée pour chaque série d'observations.

Il importe de noter ici que le temps pendant lequel le condensateur reste fermé sur lui-même, ou bien est en communication avec les pôles de la pile, est extrêmement court; ce n'est qu'une fraction très petite de la durée d'oscillation, et on peut douter que la pénétration électrique se fasse sentir plus ou moins suivant la durée de ces contacts. Il est vrai que Glazebrook (*) n'a pas trouvé de différence notable en rapprochant plus ou moins les contacts rigides entre lesquels vibrait la lame de laiton, ou en faisant varier l'intensité du courant qu'envoyait le diapason. Mais j'ai pu constater l'influence sensible exercée par la distance entre les languettes de platine et le bras de mon diapason excité. En rapprochant les languettes de manière à prolonger les contacts, on obtenait pour la capacité des valeurs plus élevées, et j'ai disposé les choses de manière que les languettes eussent le plus grand écartement possible, eu égard à la marche régulière de l'expérience, de manière que les chiffres suivants correspondent au cas où la durée des charges et des décharges est très courte.

Je crois inutile de donner une relation très détaillée de chaque expérience. Mais comme exemple j'indique dans le tableau IV celles que j'ai faites sur le demi-microfarad suisse (0,5), en faisant observer que les lettres écrites en tête de chaque colonne ont la même signification que dans la formule (4). Pour les autres capacités, je me limiterai à en recueillir les moyennes dans le tableau V.

TABLEAU IV.

1886	n	Unités britanniques.					Unités légales. $X=(0,5)$	Pile.	Galvano- mètre.
		a	d	g	b	c			
31 janvier	40,709	10	1000	5630	3,14	516,4	0,4766	un él. Daniell avec fil de dérivation.	Galvanomètre de grande résistance.
"	40,709	100	10000	5630	3,14	516,4	0,4764		
"	40,709	100	10000	15030	3,14	516,4	0,4764		
1er février	40,685	10	1000	15030	3,3	516,7	0,4765	un él. Daniell 4 él. Daniell en quantité. 20 él. Daniell en tension.	Galvanomètre de petite résistance.
2 "	40,8687	10	1000	5633	0,8	516,3	0,4769		
5 "	40,881	100	10000	5636	65,0	513,7	0,4768		
Moyenne . . .							0,4766		

(*) Glazebrook, *Philosophical Magazine*, vol. XVIII, p. 444.

N.-B. Entre le 1^{er} et le 2 février, on a déplacé les masses additionnelles des diapasons.

TABLEAU V.

Capacités légales des condensateurs suisses déterminées directement par le pont de Wheatstone et le diapason.

	(1,0)'	(1,0)	(0,5)	(0,5)*	(0,2)	(0,2)*	(0,1)
Capacités nominales	1,0000	1,0000	0,5000	0,5000	0,20000	0,20000	0,10000
Capacités déterminées	0,9555	0,9541	0,4766	0,4787	0,19129	0,19290	0,09651
Différences. . .	0,0445	0,0459	0,0234	0,0213	0,00871	0,00710	0,00349
Erreurs pour 100. .	4,45	4,59	4,68	4,26	4,35	3,55	3,49

Donc, en se basant sur ces déterminations, les valeurs données par les constructeurs seraient supérieures aux valeurs réelles d'un peu plus de 4 pour cent.

QUATRIÈME ESSAI.

Détermination de la capacité absolue des condensateurs suisses déduite de celle des étalons subsidiaires au moyen du pont de Wheatstone.

Par le même procédé que pour le troisième essai, et en observant les mêmes précautions, j'ai trouvé les valeurs suivantes.

TABLEAU VI.

A 13°,5,	Condensateur à lame de mica,	$C = 0,33446$ microfarad légal
à 13°,7,	Condensateur à paraffine,	$C' = 0,50206$ " "

Or, en multipliant les valeurs de $\frac{X}{C}$ et $\frac{X}{C'}$ recueillies dans les deux premiers tableaux du premier essai, par ces valeurs de C et C' , on obtient les capacités absolues suivantes pour les condensateurs suisses.

TABLEAU VII.

Capacités	(1,0)'	(1,0)	(0,5)	(0,5)*	(0,2)	(0,2)*	(0,1)
Déduites de C . . .	0,9633	0,9586	0,4784	0,4804	0,19226	0,19352	0,09688
Déduites de C' . . .	0,9633	0,9587	0,4782	0,4806	0,19224	0,19355	0,09699
Moyennes . . .	0,9633	0,9587	0,4783	0,4805	0,19225	0,19354	0,09694
Nominales	1,0000	1,0000	0,5000	0,5000	0,20000	0,20000	0,10000
Différences. . .	0,0367	0,0413	0,0217	0,0195	0,00775	0,00646	0,00306
Erreurs pour 100 . .	—	—	—	—	—	—	—
	3,67	4,13	4,31	3,90	3,87	3,23	3,06

Par cette méthode les erreurs seraient donc un peu moindres que par la méthode précédente.

CINQUIÈME ESSAI.

Mesure absolue des capacités en partant d'un coefficient d'induction.

Si sur le circuit d'une pile, dans lequel passe un courant d'intensité i , on choisit deux points A, B (fig. 30) entre lesquels soit comprise une résistance R , et si l'on fait

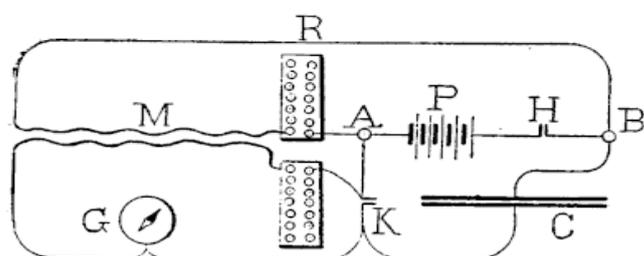


Fig. 30.

communiquer ces points avec les armatures d'un condensateur de capacité C , le condensateur recevra une charge

$$C R i.$$

Si entre le condensateur et l'un de ces points est intercalé un galvanomètre, et qu'on ré-

pète la charge du condensateur n fois par seconde en excluant le courant de décharge, il passera par le galvanomètre un courant d'intensité moyenne

$$I = n C R i.$$

Si, d'autre part, dans le circuit de la pile on a une bobine inductrice, et en face de celle-ci une bobine induite qui communique avec le galvanomètre, et si M est le coefficient d'induction mutuelle, G la résistance totale du circuit induit, et qu'on envoie dans le galvanomètre n courants de fermeture par seconde, celui-ci recevra un courant d'intensité moyenne

$$I = n M \frac{i}{G}.$$

Donc, en réglant les résistances G , R de manière que le galvanomètre ne dévie pas, on aura

$$(6) \quad C = \frac{M}{GR}.$$

Afin d'envoyer dans le galvanomètre seulement les courants de fermeture (ou d'ouverture) et les seuls courants de charge (ou de décharge), on a introduit les deux interrupteurs H et K qui sont placés sur le même axe de rotation, et sont actionnés par une turbine hydraulique, avec une différence de phase de $1/4$.

Pendant que K est fermé, le galvanomètre ne reçoit ni le courant qui charge le condensateur quand H se ferme, ni le courant de décharge qui passe par $CAMRBC$ quand H s'ouvre; mais il peut être traversé par les courants induits. Lorsque K est ouvert, les courants d'induction sont naturellement exclus du galvanomètre, tandis que les courants de charge et de décharge peuvent y circuler.

Dans les deux cas, le galvanomètre ne doit pas dévier en mettant en marche la turbine qui ouvre et ferme rapidement le seul interrupteur H , et je n'ai jamais manqué de vérifier si cette condition était satisfaite.

Lorsque, d'autre part, les deux interrupteurs fonctionnent ensemble avec un quart de différence de phase dans leur période, on peut envoyer dans le galvanomètre les seuls courants de décharge et de fermeture, ou bien ceux de charge et d'ouverture. Alors le galvanomètre ne restera au zéro qu'à condition que les deux systèmes de courants soient opposés, et que la relation (6) soit vérifiée.

En augmentant la résistance R , les courants qui vont au condensateur augmentent et les courants induits diminuent. En augmentant la résistance G , ceux-ci diminuent et ceux-là restent invariables.

Quelles que soient les valeurs de G et R , le galvanomètre ne doit pas dévier, si on réduit à zéro la capacité C , en même temps que le coefficient d'induction M , en fermant sur elle-même l'une ou l'autre des deux bobines. Cette vérification a toujours été faite aussi.

Pour avoir les courants induits je me suis servi du même appareil que j'avais employé dans la détermination de l'ohm (*). C'est un grand cylindre en marbre sur lequel est enroulée avec le plus grand soin une seule couche de fil de cuivre très mince; ce cylindre est entouré en son milieu par une bobine composée de deux fils, de manière que je dispose de trois coefficients d'induction différents déterminés avec toute l'exactitude possible.

Les résistances G et R étaient mesurées à chaque fois avec le pont de Wheat-

(*) Atti della R. Acad. di Torino, vol. XVII, 1882 e vol. XIX, 1884. — *Nuovo Cimento*, 1883, T. XV, 1884. — *Repertorium der Physik.*, vol. XX, p. 615. — *Conférence internationale pour la détermination des unités électriques* Procès-verbaux, Paris, Imprimerie nationale, 1882 et 1884.

stone, et en ayant fait les corrections pour la température, on les réduisait en unités légales, comme je l'ai indiqué pour le troisième essai.

Comme galvanomètre je me suis servi du modèle à grande résistance de Siemens et Halske; mais en réunissant les 4 bobines en dérivation, de manière à avoir une résistance de 316 ohms environ.

Je me suis également servi de l'autre galvanomètre à faible résistance (6 ohms) et en outre d'un troisième d'environ 32 ohms. L'aiguille de ce dernier oscillait très lentement (une oscillation simple en 28^s) de sorte qu'il ne vibrait pas sous l'influence des courants qu'on y envoyait; mais les observations étaient fatigantes à cause du déplacement continu du zéro. La durée de l'oscillation entière des deux autres galvanomètres n'était que de 7 secondes; par suite les 14 courants alternatifs qu'on y envoyait à chaque seconde, les faisaient vibrer très rapidement, et les lectures par lunette n'étaient pas possibles. J'ai eu recours à l'artifice de placer devant l'échelle un petit cylindre argenté et de faire collimer le réticule de la lunette avec l'image de la ligne brillante qui s'y formait par réflexion. Quand les courants passaient dans le galvanomètre et que l'aiguille vibrait, cette image s'allongeait en un ruban lumineux qui, sur l'échelle, aurait occupé une longueur de 5^{mm} environ. Je réglais ensuite les résistances G et R de manière que le réticule tombât au milieu du ruban. Je recommande cette manière d'observation comme très sensible et très commode, parce que j'ai trouvé qu'elle conduit à des résultats concordant avec la méthode habituelle, qui consiste à choisir un galvanomètre ayant une longue durée d'oscillation.

Je rapporte complètement et comme exemple, une seule série des observations faites avec cette méthode, et je recueille dans le tableau IX les moyennes des différentes capacités mesurées avec la même méthode.

TABLEAU VIII.

Mesure absolue, par la méthode Roiti, de l'étalon à lames de mica, d'une capacité nominale de $\frac{1}{3}$ de microfarad.

1886	Eléments Daniell en série.	Résistance en ohms légaux			Coefficient d'induction. $M \times 10^6$	Capacité en microfarads. $C = \frac{M 10^6}{G R}$
		du galvano-mètre seul.	totale de l'induit G	totale de la dérivation R		
19 février	3	346,38	636,99	602,48	128880	0,3358
»	6	346,38	1115,52	343,87	128880	0,3360
»	6	346,38	583,19	341,25	66913	0,3362
20 février	20	5,71	583,55	341,49	66913	0,3358
»	20	5,73	523,66	352,53	61967	0,3359
»	20	5,76	256,62	718,93	61967	0,3359
Moyenne . . .						$C = 0,3359$

N.-B. Le condensateur est chargé et déchargé 7 fois par seconde.

D'une manière analogue, j'ai trouvé pour les étalons à feuilles paraffinées ayant la capacité nominale de $\frac{1}{2}$ microfarad, $C' = 0,5045$.

TABLEAU IX.

Capacités légales des condensateurs suisses mesurées directement par la méthode Roiti.

Capacités	(1,0)'	(1,0)	(0,5)	(0,5)*	(0,2)	(0,2)*	(0,1)
Nominales	1,0000	1,0000	0,5000	0,5000	0,20000	0,20000	0,10000
Déterminées. . . .	0,9612	0,9593	0,4791	0,4814	0,19260	0,19406	0,09720
Différences. . . .	0,0388	0,0407	0,0209	0,0186	0,00740	0,00594	0,00280
Erreurs pour 100 . .	3,88	4,07	4,18	3,72	3,70	2,97	2,80

TABLEAU X.

Capacités légales des condensateurs suisses déduites de leur comparaison avec des étalons auxiliaires (1^{er} essai) et des capacités de ceux-ci déterminées par la méthode Roiti.

Capacités	(1,0)'	(1,0)	(0,5)	(0,5)*	(0,2)	(0,2)*	(0,1)
Déduites de C	0,9675	0,9628	0,4805	0,4824	0,19310	0,19436	0,09730
Déduites de C'	0,9680	0,9634	0,4805	0,4830	0,19318	0,19451	0,09747
Moyennes	0,9677	0,9631	0,4805	0,4827	0,19314	0,19443	0,09738
Nominales	1,0000	0,1000	0,5000	0,5000	0,20000	0,20000	0,10000
Différences. . . .	0,0323	0,0369	0,0195	0,0173	0,00686	0,00557	0,00262
Erreurs pour 100 . .	3,23	3,69	3,90	3,46	3,43	2,78	2,62

Nous déduisons de cette méthode, comme de celle du pont de Wheatstone, que les capacités des condensateurs suisses se trouvent être un peu moindres quand

elles sont déterminées directement que lorsqu'elles sont déduites de la comparaison avec les étalons auxiliaires.

Nous déduisons de plus que toutes les capacités obtenues dans l'essai actuel apparaissent plus élevées que celles qu'on a déduites dans les deux essais précédents. Quelle peut en être la cause?

La différence est trop considérable pour qu'on puisse l'attribuer à une erreur commise dans la détermination du temps t/n qui figure dans la formule (4) de la première méthode, formule qui, d'une manière approximative, peut s'écrire comme suit :

$$(4)' \quad X = \frac{a}{n c d}.$$

Il est impossible qu'elle dérive d'une erreur dans les coefficients d'induction M qui entrent dans la formule de la 2^e méthode :

$$(6)' \quad X_1 = \frac{M}{G R}.$$

Mais elle pourrait dépendre d'une erreur dont l'unité de résistance soit affectée, parce que les deux méthodes ne peuvent conduire à des résultats identiques que pour autant qu'on ait pour l'unité la valeur exacte de l'ohm théorique. En effet, si on indique par α la valeur théorique de l'unité au moyen de laquelle sont exprimés les nombres a, c, d, G, R , les vraies valeurs de la capacité sont dans les deux cas :

$$\frac{X}{\alpha} \quad \text{et} \quad \frac{X_1}{\alpha^2}$$

et comme ces valeurs doivent être égales, on obtient

$$\alpha = \frac{X_1}{X}.$$

Or la valeur de ce rapport, déduite des mesures des neuf condensateurs, oscille entre 1,0043 et 1,0071, et est en moyenne 1,0058. De manière que l'ohm légal qui nous a servi d'unité de mesure devrait être égal à 1,0058 ohms théoriques, et par conséquent l'ohm théorique devrait être seulement de 105^e,4 de mercure : chose inadmissible d'après les déterminations présentées à la Conférence de Paris (*) et d'après celles qui ont été exécutées postérieurement par Lorenz (**) et Himstedt (**).

Il faut donc attribuer la divergence entre les résultats des deux méthodes aux propriétés des diélectriques dont les condensateurs sont composés. Et en effet, pour

(*) *Conférence internationale pour la détermination des unités électriques. Deuxième session. Paris, Imprimerie Nationale, 1884, p. 39. — Rapport de A. Roiti. Nuovo Cimento, t. 46, 1884, p. 5.*

(**) L. Lorenz trouve 1 ohm = 1,0593 unités Siemens. — *Annalen von Wiedemann, 1885.*

(***) F. Himstedt trouve 1 ohm = 105,98 cent. de mercure. — *Annalen von Wiedemann, 1885. — Philosophical Magazine, 1885.*

la pénétration de la charge, la capacité doit apparaître d'autant plus grande que la durée de la charge est plus longue. Dans les expériences du 5^e essai, le condensateur était chargé et déchargé 7 fois par seconde, de manière que les armatures restaient en communication avec la pile pendant $\frac{1}{14}$ de seconde, tandis que dans le 3^e et le 4^e essai, le diapason faisait environ 40 vibrations par seconde, et les contacts avec les languettes de platine ne s'établissaient que pendant une fraction de la vibration, de manière que j'en évalue la durée comme étant inférieure à $\frac{1}{200}$ de seconde.

J'ai fait quelques tentatives pour essayer les deux méthodes sur un condensateur à air, et vérifier ainsi la valeur de l'ohm légal, mais jusqu'à présent je n'ai pu réussir.

Ici se place une observation sur le système légal de mesures électriques. Quoique, comme Lorenz l'observe, il soit très probable que l'ohm légal ne s'écarte pas de l'ohm théorique de plus d'un millième, toutefois il ne sera jamais possible d'établir exactement la longueur de la colonne de mercure qui présente l'unité théorique de résistance, et il sera bien, par suite, d'établir laquelle des deux méthodes employées dans ces essais mérite la préférence lorsqu'on veut les valeurs des capacités en mesure légale.

La Conférence de Paris n'a vraiment assigné de valeur légale que pour l'ohm; mais elle a établi la valeur de l'ampère en le définissant comme : *le courant qui a pour mesure absolue 10^{-1} unités C. G. S. d'intensité*; et elle a défini le volt comme : *la force électro-motrice qui maintient le courant d'un ampère dans un conducteur ayant la résistance de 1 ohm légal*. Sur les autres unités électriques, la Conférence ne s'est pas prononcée d'une manière explicite.

D'après les décisions du Congrès international des Electriciens, tenu à Paris en 1881 (*), on appelle :

Farad, la capacité définie par la condition qu'un coulomb dans un farad donne un volt;

Coulomb, la quantité d'électricité définie par la condition qu'un ampère donne un coulomb en une seconde.

Cela posé, on aura

$$1 \text{ farad} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ volt}}$$

mais

$$1 \text{ coulomb} = 1 \text{ ampère} \times 1 \text{ seconde}$$

et

$$1 \text{ volt} = 1 \text{ ampère} \times 1 \text{ ohm légal.}$$

(*) Congrès international des Electriciens. Comptes rendus des travaux. Paris, G. Masson, 1882, p. 249.

Donc :
$$1 \text{ farad} = \frac{1 \text{ seconde}}{1 \text{ ohm légal}}$$

Et on doit en déduire qu'à la rigueur, en faisant abstraction des perturbations dues aux diélectriques solides, la mesure *légal* d'une capacité serait fournie mieux par les méthodes qui demandent la détermination d'un temps (3° et 4° essais) que par celles qui partent d'un coefficient d'induction (5° essai).

Après cette digression, nous concluons que *le microfarad suisse est certainement moindre de 4 pour cent du microfarad légal.*

SIXIÈME ESSAI.

Mesure de la résistance apparente des condensateurs.

Une pile de force électro-motrice assez constante et très bien isolée charge le condensateur à travers un galvanomètre de grande résistance, et on observe les déviations du galvanomètre de minute en minute. Ensuite on ferme la même pile sur une grande résistance métallique sur laquelle on prend une faible dérivation, en réglant les résistances de manière à obtenir à peu près les mêmes déviations qu'on a observées pendant la charge du condensateur.

Afin de lire de temps en temps le zéro du galvanomètre sans suspendre la charge du condensateur, et pour conduire commodément les observations, j'ai disposé les appareils comme l'indique la figure 31.

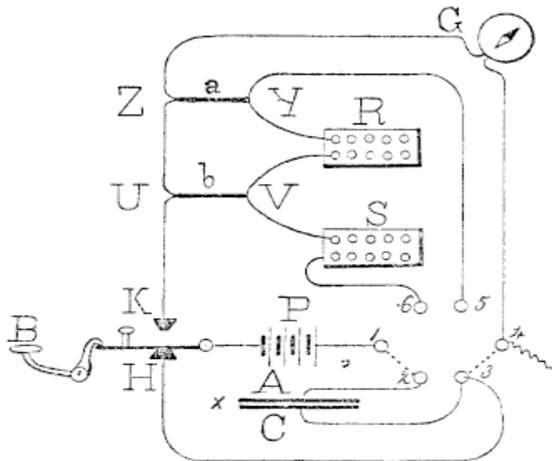


Fig. 31.

Un pôle de la pile *P* communique avec le manipulateur *B*, qui dans le cas actuel était une clef de Kempe, et l'autre pôle communique avec un commutateur de Pohl à six godets de mercure placés dans une plaque d'ébonite bien polie. Dans la position représentée par la figure, les godets 1..2 et 3..4 sont réunis entre eux; alors, le contact *H* du manipulateur *B* étant fermé, la pile charge le condensateur *AC*, sans que le courant passe par le galvanomètre *G* :

on pourra par conséquent lire le zéro de cet appareil.

Si ensuite on appuie sur le bouton B du manipulateur, le contact H est interrompu et le contact K s'établit : le pôles de la pile continuent à communiquer avec les armatures du condensateur; mais le courant de charge passe par le galvanomètre et on pourra lire la déviation due au courant :

$$(7) \quad I_1 = \frac{E}{P + G + x}$$

où E, P , sont la force électro-motrice et la résistance de la pile; G et x la résistance du galvanomètre et la résistance apparente du condensateur à l'instant de l'observation.

La série des observations avec le condensateur étant terminée, on intervertit le commutateur de Pohl de manière à établir les communications $1...6$ et $4...5$, alors la pile est ouverte si le contact K est interrompu; mais quand celui-ci est établi, le courant de la pile passe par $1, 6, S, b, K$. Sur ce circuit de résistance $P + S + b$, on a choisi deux points de dérivation U, V , entre lesquels est comprise la petite résistance b , et le courant dérivé passe de V par le rhéostat R et par a en U . Sur ce conducteur, on prend deux nouveaux points de dérivation Y, Z , comprenant la petite résistance a , et le nouveau courant dérivé va de Y à Z par $\delta, 4$, et le galvanomètre.

L'intensité du courant dans la dernière dérivation est

$$(8) \quad I = \frac{a}{G + a} \frac{b}{R + b + a'} \frac{E}{S + P + b'}$$

où

$$a' = \frac{G a}{G + a}; \quad b' = \frac{(R + a) b}{R + b + a'}$$

En éliminant E entre les équations (7) et (8) et en observant que G, R, S , sont de quelques milliers d'ohms tandis que a et b sont de peu d'unités, on obtient avec une approximation plus que suffisante :

$$(9) \quad x = \frac{(G + a) (R + a + b) (S + P + b) I}{a b I_1}$$

Dans cet essai, la pile était composée de 36 éléments Daniell et le galvanomètre était celui de Siemens et Halske avec les quatre bobines en série.

Pour être certain que les charges résiduelles avaient disparu, je n'observais qu'après avoir laissé le condensateur fermé sur lui-même au moins pendant 5 heures, tandis que la durée de la charge n'atteignait jamais 20 minutes.

Je commençais chaque fois par faire une série d'observations des intensités correspondantes à différentes valeurs de R . Ensuite je fermais la pile sur le condensateur et, observant le chronomètre, je notais les valeurs I que prenait avec le temps le courant de charge. Je terminais l'expérience par une nouvelle série d'observations des I , et pour éliminer les erreurs provenant des petites variations de force électro-

motrice, j'introduisais dans la formule (9) la moyenne des valeurs de I obtenues pour une résistance donnée, avant et après avoir observé le courant de charge.

Pour chaque condensateur on a fait au moins quatre de ces expériences en intervertissant la pile et le condensateur. Mais je répète qu'entre deux expériences je laissais passer au moins 5 heures; malgré ces précautions, les résultats n'étaient pas aussi concordants entre eux que je l'aurais désiré, probablement à cause de la température.

Les courbes tracées dans la figure 32 représentent les valeurs moyennes trouvées et enregistrées dans le tableau XI, pour chaque condensateur. Dans les abscisses, 5 millim. représentent une minute; dans les ordonnées, ils représentent 1000 mégohms. La courbe I se rapporte au microfarad suisse subdivisé que j'ai indiqué

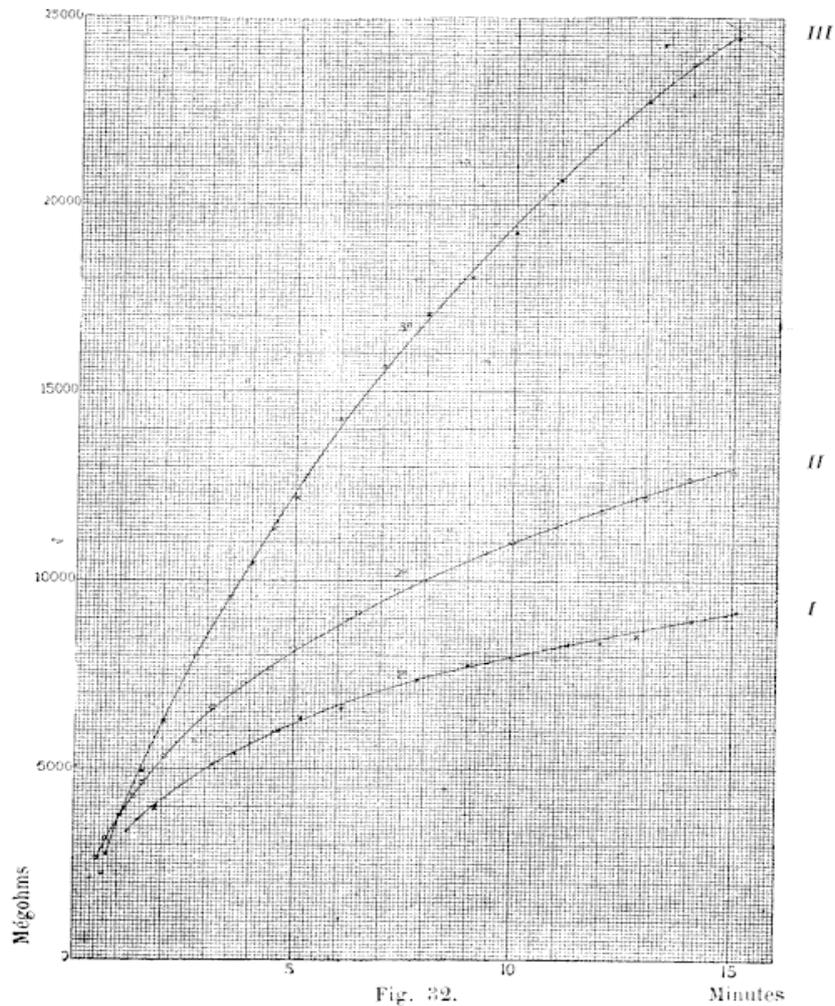


Fig. 32.

Minutes

par (1,0); la courbe *II* au microfarad simple (1,0)', et la courbe *III* à un microfarad à feuilles paraffinées de Elliott Brothers.

TABLEAU XI.

Résistance apparente de trois condensateurs ayant la capacité nominale d'un microfarad.

Condensateur suisse (1,0)		Condensateur suisse (1,0)'		Condensateur à paraffine 1 microfarad nominal	
minutes.	mégohms.	minutes.	mégohms.	minutes.	mégohms.
1,22	3361	0,55	2624	0,76	2774
1,55	3678	0,79	3170	1,03	3793
1,81	3978	1,08	3799	1,54	4909
3,17	5118	1,31	4227	2,00	6226
3,67	5404	1,54	4615	3,50	9546
4,63	6014	2,06	5324	4,00	10476
5,13	6284	3,12	6619	4,50	11330
6,12	6605	3,87	7228	5,00	12151
7,88	7341	4,50	7750	6,00	14215
9,00	7745	5,00	8201	7,00	15641
10,00	7949	6,50	9135	8,00	17068
11,25	8288	7,40	9724	9,00	18023
12,00	8391	8,00	9996	10,00	19271
12,88	8567	9,40	10721	11,00	20610
14,12	8966	10,00	11000	13,00	22753
15,13	9202	12,00	11818	14,00	23768
		13,00	12166	15,00	24442
		15,00	12817		

De ces courbes on déduit que le condensateur simple (1,0)' est mieux isolé que le condensateur subdivisé (1,0). On voit en outre que les trois condensateurs, de

capacités à peu près égales, présentent à peu près la même résistance apparente (3500 mégohms) après une minute de charge; mais après 15 minutes, la résistance apparente du condensateur à feuilles paraffinées est presque double de celle du meilleur condensateur suisse.

CONCLUSIONS.

Les résultats de ces essais faits sur les condensateurs de la *Société des câbles système Berthoud, Borel et C^{ie}, à Cortaillod, Suisse*, peuvent se résumer comme il suit :

1° Les erreurs *relatives* des deux microfarads nominaux et de leurs fractions sont inférieures à 1 pour cent.

2° Le microfarad suisse est inférieur au microfarad légal au moins de quatre pour cent.

3° Pour des charges de durée inférieure à une minute, les armatures des condensateurs suisses sont isolées presque comme celles des bons condensateurs à feuilles paraffinées, et un peu moins que dans les condensateurs à lames de mica.

4° La résistance apparente qui, pour la pénétration de la charge augmente avec la durée de la charge même, est, entre 16° et 17° C. et pour un microfarad nominal suisse, de 3500 mégohms environ après 1 minute, mais elle croît plus lentement que pour un microfarad à feuilles paraffinées, de sorte qu'après 15 minutes le microfarad suisse subdivisé arrive à une résistance de 9000 mégohms seulement, tandis que le microfarad simple atteint dans le même temps 13000 mégohms et un microfarad à feuilles paraffinées dépasse 24000 mégohms.

5° Ces imperfections des condensateurs suisses n'empêchent pas qu'ils puissent servir utilement dans la pratique, et sont compensées par le bas prix, qui n'est que de 75 francs pour le microfarad simple, et de 200 francs pour celui qui comprend quatre fractions, comme l'a déclaré M. E. Dumoulinneuf, représentant des constructeurs pour la Belgique.

Florence, mai 1886.

COMPTE RENDU DES TRAVAUX DU DEUXIÈME SOUS-COMITÉ

chargé des essais photométriques.

Composition du 2^{me} sous-comité : MM. GODY (Belgique),
MELSENS id.,
ROUSSEAU, id.,
WÜLLNER (Allemagne).

Adjoints : MM. BOULVIN,
DUMONT,
LAMBOTTE.

Rapporteur : M. ROUSSEAU.

INTRODUCTION.

Par suite du nombre considérable de demandes adressées au Comité institué par l'arrêté royal du 23 février 1885 pour effectuer les essais sur les appareils servant à la production et à l'utilisation de la force électrique, exposés à Anvers, et en raison du temps limité qui pouvait être consacré à ces essais dans le laboratoire électro-technique de l'Exposition, ce Comité décida, dans l'une de ses premières séances, qu'il se partagerait en sections; et un sous-comité fut spécialement chargé des expériences photométriques à exécuter sur les lampes à arc et sur les lampes à incandescence.

Ce sous-comité était composé de :

MM. E. ROUSSEAU, professeur à l'Université de Bruxelles, président;
L. GODY, capitaine d'artillerie, professeur à l'École militaire;
MELSENS, membre de l'Académie royale des sciences, professeur émérite à l'École vétérinaire, examinateur émérite à l'École militaire;
WÜLLNER, directeur de l'École polytechnique d'Aix-la-Chapelle, délégué de l'Allemagne.

Ces deux derniers, après nous avoir apporté le concours de leur savoir et de leur expérience dans les travaux préliminaires d'installation, ne purent malheureusement assister qu'à un petit nombre de séances d'expérimentation, M. Melsens, que nous avons eu la douleur de perdre depuis lors, ayant été retenu à Bruxelles par son état de santé, et M. Wüllner ayant été rappelé en Allemagne par ses fonctions; le sous-comité, privé de leur collaboration, trouva les auxiliaires les plus actifs et les plus intelligents en MM. Boulvin, Dumont et Lambotte, ingénieurs des télégraphes; M. Nothomb, qui faisait partie d'un autre sous-comité, eut aussi l'obligeance, après l'achèvement des travaux de celui-ci, de se joindre à nous pour les expériences qui furent faites à l'Université de Bruxelles, le temps n'ayant pas permis de terminer à Anvers les essais des lampes soumises à notre examen.

Nous devons également de vifs remerciements à M. Joseph Gérard, préparateur de physique à l'Université de Bruxelles, qui voulut bien se charger de la plupart des détails d'installation des chambres photométriques d'Anvers et de Bruxelles, ainsi que du montage des appareils, dont plusieurs ont été construits par lui d'après nos indications.

Ce travail, dans lequel je me propose de résumer les méthodes employées, les expériences faites et les résultats obtenus, sera naturellement divisé en deux parties, ayant respectivement pour objets, la première l'étude des lampes à arc, la seconde l'étude des lampes à incandescence.

Pour les deux systèmes de lampes, nous avons adopté comme étalon de lumière la lampe carcel brûlant 42 grammes d'huile de colza épurée par heure. Pendant toute la durée des essais photométriques ayant pour objet la détermination en carcels de l'intensité lumineuse horizontale des foyers expérimentés, la lampe carcel étalon était suspendue à l'une des extrémités du fléau d'une balance construite spécialement pour ce genre d'essais; un aide chargé de régler cette lampe et de la faire marcher dans les conditions de fonctionnement normal, relevait d'une manière continue au moyen d'un chronomètre à pointage les temps employés à la consommation de 5 grammes d'huile. Dans les nombreuses déterminations qui en ont été faites, ce temps ne s'est écarté que fort peu de 7'8" correspondant à une consommation de 42 grammes par heure. Dans les cas où la consommation a différé de ce chiffre, on a corrigé les intensités mesurées, à l'effet d'évaluer en *carcels normales* le pouvoir éclairant des lampes essayées, en admettant que, dans les limites étroites où les écarts se sont maintenus, le pouvoir éclairant de la carcel est proportionnel à la consommation d'huile.

Pour la mesure des intensités lumineuses horizontales nous nous sommes servis d'un photomètre de Bunsen, construit par M. A. Krüss, de Hambourg, et appartenant à l'Institut électro-technique Montefiore.

Les intensités des courants et les différences de potentiels aux bornes des lampes ont été mesurées au moyen d'un ampèremètre et d'un voltmètre de

Thompson, d'un galvanomètre de Deprez et d'un galvanomètre de Deprez et d'Arsonval. Les indications de ces instruments, dont l'étalonnage a été vérifié à diverses reprises pendant le cours des expériences, étaient relevées en même temps que les indications du banc photométrique.

Nous avons fait aussi usage d'ampèremètres et de voltmètres du D^r Hümmel; mais on n'a pas relevé les indications de ces derniers instruments qui n'ont été employés que pour reconnaître si les lampes se trouvaient dans les conditions de fonctionnement indiquées par les exposants.

Le tableau ci-dessous, donnant quelques résultats de l'une des séries de déterminations relatives à une lampe Gramme de 16 ampères présentée par la " Compagnie générale d'Électricité de Bruxelles „ suffira pour faire comprendre la marche suivie dans ces expériences.

Lampe Gramme de 16 ampères.

Charbons Siemens de 16mm/16mm (*).

(Expérience faite le 22 mars 1886 à l'Université de Bruxelles.)

<i>P</i>	<i>L</i>	<i>A</i>	<i>V</i>	<i>I</i>	<i>E</i>	<i>C</i>
220	73,1	94	21	16,2	46,2	
219	71,6	93	21	16,0	46,2	
217	68,7	92	21	15,8	46,2	
216	67,2	91	21	15,6	46,2	
220	73,1	93	20,8	16,0	45,8	
221	74,1	94	20,5	16,2	45,1	
220	73,1	95	20,5	16,4	45,1	
220	73,1	95	20,5	16,4	45,1	
221	74,7	96	20,5	16,6	45,1	
220	73,1	93	20,8	16,0	45,8	
218	70,1	92	20,9	15,8	46,0	7' 5"

(*) Les deux nombres ci-dessus indiquent respectivement le diamètre du charbon supérieur et le diamètre du charbon inférieur.

La colonne P donne l'indication du banc photométrique correspondant à l'égalité d'éclairage des deux faces du papier, c'est-à-dire la distance en centimètres à laquelle celui-ci se trouve alors du zéro du banc; ce dernier, dans l'expérience, se trouvait à 6^m,78 de la lampe à arc et à 3^m,25 de la lampe carcel; L donne l'intensité lumineuse en carcels; A l'indication du galvanomètre Deprez et d'Arsonval employé comme ampèremètre; 5,8 divisions de déviation correspondent à un courant de 1 ampère; la colonne V donne l'indication du voltmètre dont chaque division correspondait à une différence de potentiels de 2,2 volts; I l'intensité du courant en ampères; E la différence de potentiels en volts; C le temps au bout duquel la lampe carcel employée comme étalon consommait 5 grammes d'huile.

PREMIÈRE PARTIE.

LAMPES A ARC.

INSTALLATION DE LA CHAMBRE PHOTOMÉTRIQUE.

Dans les expériences faites à l'Exposition d'Anvers, les intensités lumineuses horizontales des lampes à arc n'ont pas été comparées directement à la carcel étalon, mais à un bec Siemens, servant d'étalon intermédiaire, dont on déterminait en même temps l'intensité par rapport à la carcel.

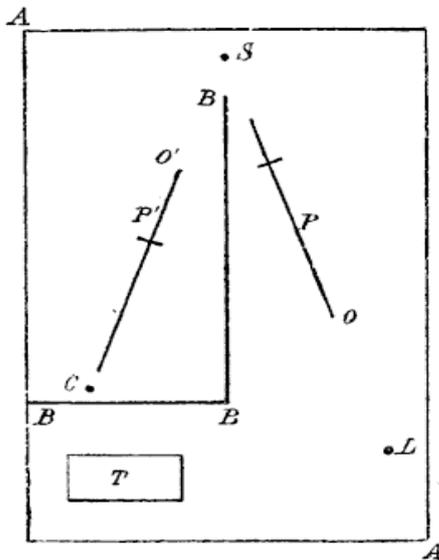


Fig. 33.

La chambre photométrique AA était divisée, comme l'indique le croquis ci-contre, par une cloison BBB formée d'une draperie noire descendant du plafond jusqu'au plancher de la chambre. Un premier banc photométrique P servait à comparer la lampe à arc L au bec Siemens placé en S ; un second banc était disposé en P' ; les écrans des deux bancs photométriques étaient observés simultanément par deux expérimentateurs, et leurs positions relevées en même temps que les indications de l'ampèremètre et du voltmètre de Thomson;

ces derniers étaient fixés sur une table représentée en T , et les lectures en étaient faites par deux autres observateurs.

Un rhéostat placé dans le voisinage de la lampe L était employé pour amener cette lampe au régime indiqué par l'exposant.

La division zéro du banc P était en 0 à 4^m,435 de la lampe à arc L et à 4^m,095 du bec Siemens S ; la division zéro du banc P' était en 0' à 2^m,095 du bec Siemens et à 3^m,165 de la lampe carcel.

Dans les expériences faites à l'Université de Bruxelles, les intensités horizontales ont été comparées directement à l'intensité lumineuse de la lampe carcel; celle-ci était installée près de l'une des extrémités du banc, et dans la direction de son axe, à 3^m,25 de la division zéro; le point lumineux de la lampe à arc se trouvait à 6^m,78 de la même division, les deux lampes ayant ainsi entre elles une distance totale de 10^m,03. Les observateurs chargés de relever les indications du voltmètre et de l'ampèremètre se trouvaient dans un local communiquant avec la chambre photométrique, dont il était seulement séparé par une draperie noire.

Observations relatives à la détermination de l'intensité lumineuse horizontale.

L'intensité de la lumière émise par une lampe à arc, dans une direction horizontale déterminée, est loin d'avoir une valeur constante. Dans les meilleures conditions de fonctionnement, nous avons constaté des variations plus ou moins rapides, plus ou moins considérables, provenant soit du rapprochement ou de l'éloignement des charbons, et par suite des changements d'intensité et de force électro-motrice, soit de l'instabilité de l'arc, soit des modifications plus lentes que présente la taille des charbons, etc.

L'observation a démontré en outre que, en général, les intensités lumineuses ont, à chaque instant, des valeurs inégales dans les différentes directions horizontales passant par le foyer.

Le tableau ci-dessous dans lequel sont donnés les résultats de quatre séries d'observations faites sur une lampe Piette et Krizik de 10 ampères, dans quatre directions horizontales perpendiculaires deux à deux, montrent combien peuvent être considérables dans certains cas les variations ci-dessus mentionnées. La lampe fonctionnait avec une régularité parfaite, les intensités de courant et les différences de potentiels avaient à fort peu près des valeurs égales pour les quatre azimuts; mais le cratère avait une légère obliquité, phénomène qui se présente du reste d'une manière fréquente dans le fonctionnement des meilleures lampes.

Lampe Piette et Krizik de 10 ampères.

Charbons Schmelzer de 12^{mm}/10^{mm}. Intensité lumineuse horizontale en carcels.

(Expérience faite à l'Université de Bruxelles, le 13 mars 1886.)

1 ^{er} azimut.	2 ^e azimut.	3 ^e azimut.	4 ^e azimut.
83,4	28,6	67,2	45,1
83,4	28,6	67,2	44,3
81,6	27,8	65,8	41,3
81,6	28,8	64,8	41,3
81,6	28,4	66,5	40,0
76,3	29,9	66,5	40,0
78,0	30,1	65,2	40,0
77,1	30,4	65,8	39,6
76,3	30,9	64,8	39,3
79,8	29,7	65,8	38,6
.....
.....

Dans cet essai, la durée d'une série d'observations faites dans une direction horizontale a été en moyenne de 7 à 8 minutes; et chaque série a été immédiatement suivie d'une autre série d'observations relatives à une direction horizontale perpendiculaire ou diamétralement opposée à la première.

On voit par l'inspection de ce tableau que les variations d'intensités constatées pendant une série d'observations relatives à une direction horizontale donnée ont été relativement beaucoup plus faibles que celles que l'on constate entre les valeurs moyennes de deux séries d'observations correspondant à des directions horizontales différentes.

Le phénomène inverse se produit parfois aussi. Ainsi, une lampe Gramme dont les conditions de fonctionnement normal ont été données comme correspondant à un courant de 16 ampères, ayant été, à la demande de l'exposant, expérimentée avec un courant de 12,5 ampères, a présenté dans chacun des azimuts où elle a été essayée des variations d'intensité beaucoup plus grandes que les différences obtenues entre les valeurs moyennes de l'intensité correspondante à ces différents azimuts. Dans le premier azimut, par exemple, l'intensité a varié, pendant un intervalle de quelques minutes, entre 37,4 et 73 carcels; dans le

second, entre 38 et 70, dans le troisième, entre 35,6 à 73, tandis que les valeurs moyennes de l'intensité dans ces trois azimuts ont été 51,5, 50,1 et 52,8.

Dans les conditions de fonctionnement anomal auxquelles la lampe a été soumise, l'arc manquait de stabilité. Pour la plupart des lampes essayées, l'arc a présenté une fixité plus grande, et, le plus habituellement nous avons reconnu des différences moindres entre les valeurs de l'intensité lumineuse correspondant à une même série d'observations faites, pendant un intervalle de quelques minutes, dans une direction horizontale donnée, qu'entre les valeurs moyennes des résultats correspondant à des séries d'observations faites successivement et à des intervalles rapprochés, dans diverses directions.

En général les déterminations de l'intensité horizontale des lampes essayées ont été faites dans quatre directions perpendiculaires entre elles, et l'on a pris la moyenne des valeurs obtenues comme représentant approximativement la valeur moyenne de l'intensité horizontale pendant la durée de l'expérience.

Mesure des intensités relatives des rayons émis sous différentes inclinaisons. — Méthode suivie. — Appareil employé.

Les intensités relatives des rayons émis par un même foyer suivant diverses directions situées dans un plan vertical passant par le point lumineux peuvent être déterminées en comparant, pour chaque direction, cette intensité à celle des rayons émis horizontalement par une lumière étalon, telle que la lampe carcel ou la bougie normale.

Mais cette détermination et, par suite, celle de la relation qui lie entre elles ces intensités relatives, et qui peut être représentée soit par un diagramme, soit par la " formule photométrique „ du foyer, peut aussi être obtenue directement; et, ainsi que je l'ai fait remarquer dans une communication faite à la Conférence des unités électriques, et dans une série d'articles parus en 1883 et 1884 dans " l'Ingénieur Conseil „ elle ne présente pas les difficultés pratiques que soulève la mesure même de l'intensité lumineuse, soit à cause de la différence de teintes des lumières émises par le foyer électrique et par l'étalon auquel on le compare, soit par suite des variations que peut présenter l'intensité lumineuse de l'étalon choisi, puisqu'il ne s'agit ici que de comparer entre eux, non les pouvoirs éclairants de sources différentes, mais les pouvoirs éclairants d'une même source, ou de sources semblables, rayonnant dans des directions différentes.

C'est ce procédé de détermination des intensités relatives sous différentes inclinaisons qui a été suivi dans les essais faits à l'Exposition d'Anvers et à l'Université de Bruxelles, sur les lampes à arc soumises à l'examen du Comité.

L'appareil employé aux mesures est celui que j'ai fait construire par mon prépa-

rateur, M. Gérard, pour le laboratoire de physique de l'Université. Il permet de déterminer, pour les directions déterminées, les distances auxquelles une surface placée normalement aux rayons serait également éclairée, et que j'appellerai les *distances d'égal éclairage* de la source lumineuse; on en déduit les intensités correspondant aux mêmes directions, puisque ces intensités sont proportionnelles aux carrés de ces distances. Cet appareil figurait au nombre des instruments exposés à Anvers par l'Université de Bruxelles, et j'en ai donné la description dans un article paru le 15 avril 1884, dans "l'Ingénieur Conseil". Quelques modifications de détails y ont été apportées depuis la publication de cet article; mais les dispositions essentielles n'en ont pas été changées, et il me suffira, pour le décrire sous sa forme actuelle, de reproduire presque textuellement la description ci-dessus mentionnée.

Un cercle vertical gradué $EEEE$ est fixé par quatre tiges boulonnées perpendiculaires à son plan à deux glissières mobiles le long des montants verticaux en bois LL, LL' , supportés par un pied en vis calantes, ce qui permet de le placer à la hauteur la plus commode pour les observations photométriques relatives aux rayons émis soit au-dessous, soit au-dessus de l'horizontale passant par le point lumineux.

Au centre de ce cercle et perpendiculairement à son plan, est une petite plaque de bois ou de métal, peinte en blanc ou recouverte de papier blanc. Cette plaque, représenté en CD dans la figure 35 peut tourner autour d'un axe normal au plan du cercle et passant par son centre. Autour du même axe horizontal tournent deux règles métalliques IF, KG qui se meuvent dans le plan du cercle divisé, et servent à mesurer les angles que font, soit avec la verticale soit avec l'horizontale les directions pour lesquelles on se propose de déterminer les distances d'égal éclairage. Des vis de pression servent à serrer ces règles contre la circonférence graduée et à les maintenir dans des directions parallèles aux directions considérées. Une troisième règle OH est fixée perpendiculairement à la plaque CD ; cette règle présente une fente longitudinale, le long de laquelle peut se mouvoir le point d'articulation de deux autres règles IH, KH d'égale longueur et s'articulant en I et en K aux deux règles OF, OG . Les deux points d'articulation I et K sont également distants du point O . Le quadrilatère articulé $OIHK$ est donc dans un plan normal à la plaque CD , et ses côtés adjacents OI, OK font avec cette plaque des angles égaux. M et N sont deux petits miroirs plans, coupés dans la même glace, et mobiles le long des deux règles IF, KG , auxquelles ils sont perpendiculaires; deux tiges étroites sont fixées aux mêmes règles en m et en n perpendiculairement au plan du cercle divisé $EEEE$, et sur les directions des droites menées du centre O parallèlement aux deux règles. Ces tiges peuvent être remplacées par des plaques noircies, dont les bords intérieurs seraient sur les mêmes directions, et fixées aussi perpendiculairement aux règles. Mais les différences de coloration des rayons émis par une lampe dans diverses directions ont alors une influence beaucoup plus sensible

sur les observations photométriques; et c'est pour cette raison que nous avons préféré l'emploi des tiges étroites dont nous venons de parler. Il peut aussi y avoir

avantage, surtout pour les foyers intenses, à employer en *M* et en *N*, au lieu de miroirs étamés, des glaces noires.

Le foyer lumineux est placé derrière le cercle gradué, en regard de son centre *O* et à une distance aussi petite que le comporte la forme de la lampe étudiée (fig. 34).

L'appareil photométrique de l'Université de Bruxelles présentait à l'origine des dispositions spéciales pour l'étude des lampes portées par un pied, que l'on plaçait sur un support horizontal construit de manière à permettre d'élever ou d'abaisser la lampe, de la placer dans la position la

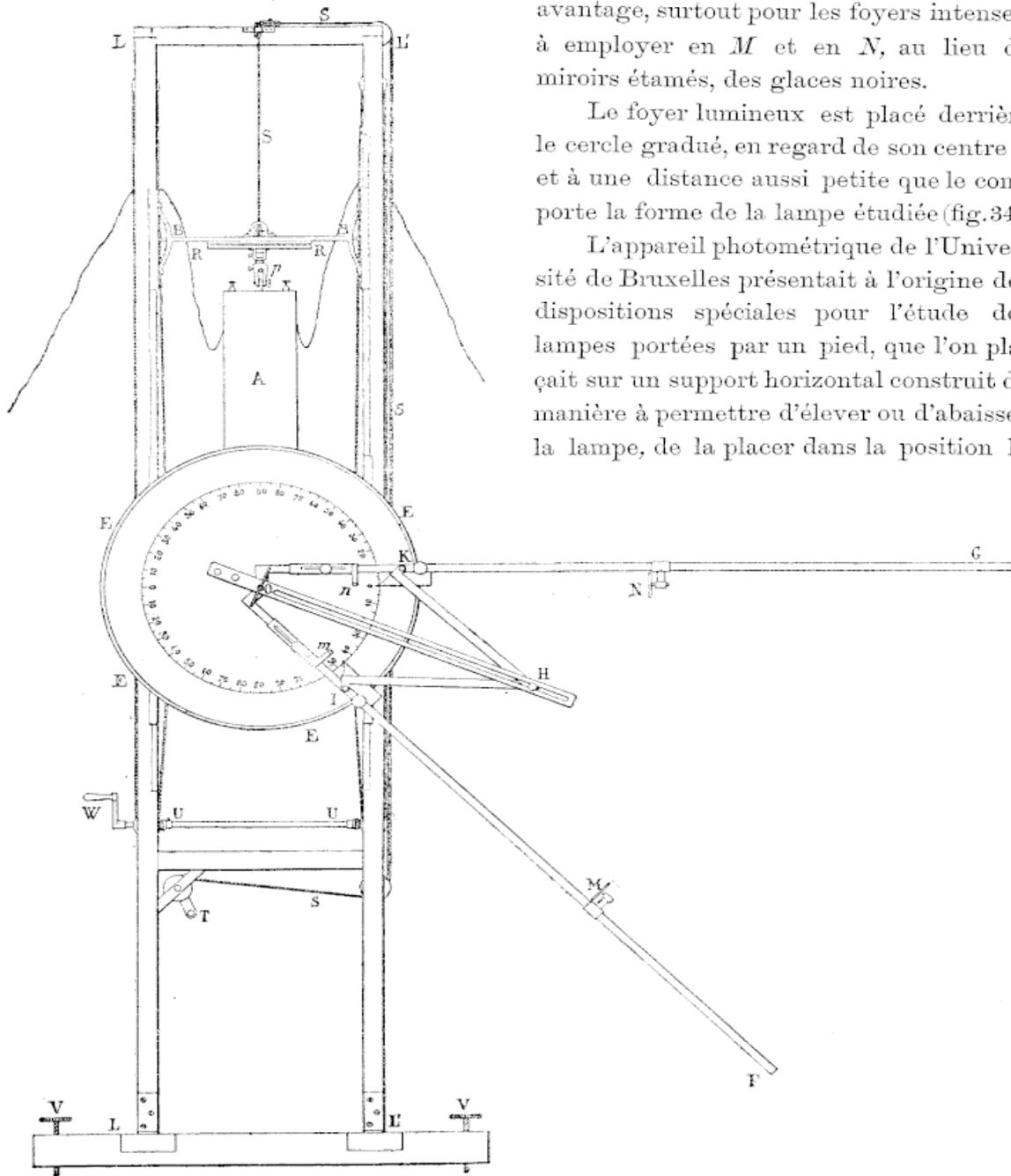


Fig. 34.

plus convenable pour les observations, et enfin de la faire tourner autour d'un axe vertical passant par le point lumineux, et d'étudier ainsi les variations de l'intensité des rayons émis dans différents plans verticaux passant par le foyer.

Toutes les lampes soumises à l'examen du Comité étant construites pour être suspendues, ces dispositions ont été supprimées.

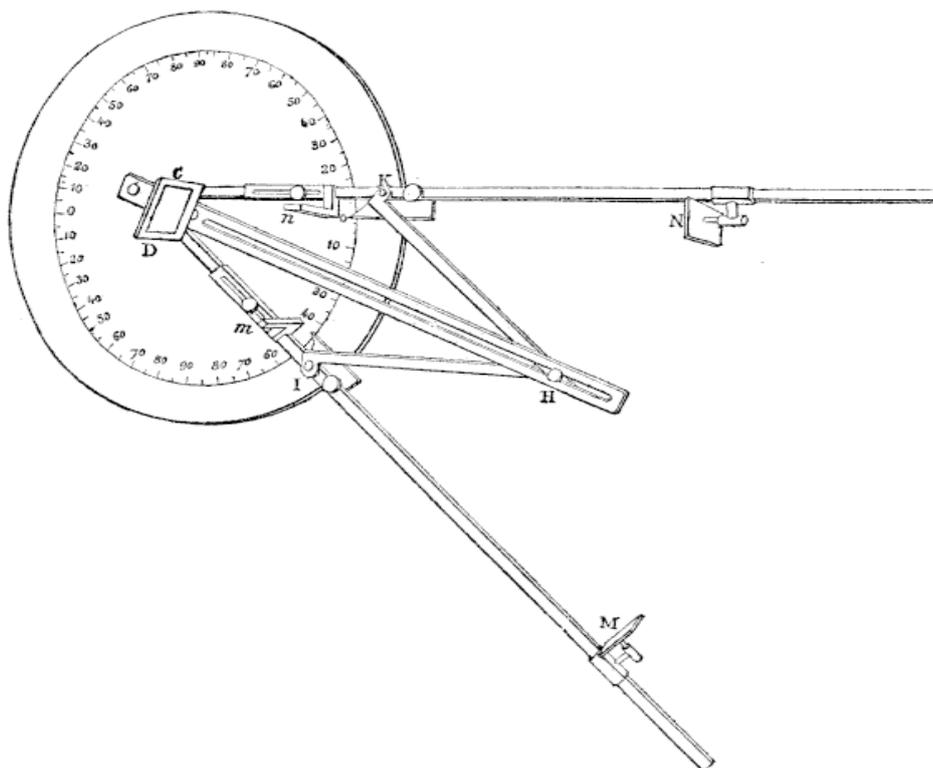


Fig. 35.

La lampe à étudier A est attachée par une pince p à un disque horizontal RR ; celui-ci est mobile autour de la verticale passant par son centre, ce qui permet de placer successivement la lampe dans divers azimuts. De plus, le disque RR est fixé à une traverse à glissière BB , que l'on peut faire monter ou descendre au moyen de la corde SSS qui, après avoir passé sur plusieurs poulies de renvoi, s'enroule sur un treuil auquel est adaptée la manivelle T . Ces dernières dispositions servent à amener le point lumineux à la hauteur du centre du cercle gradué EEE .

Pour assurer au même point une position invariable, lorsque l'on fait tourner le disque RR , on doit l'amener en outre à se trouver sur la verticale menée par le centre de ce disque; on y arrive au moyen d'un double mouvement de la pince p ,

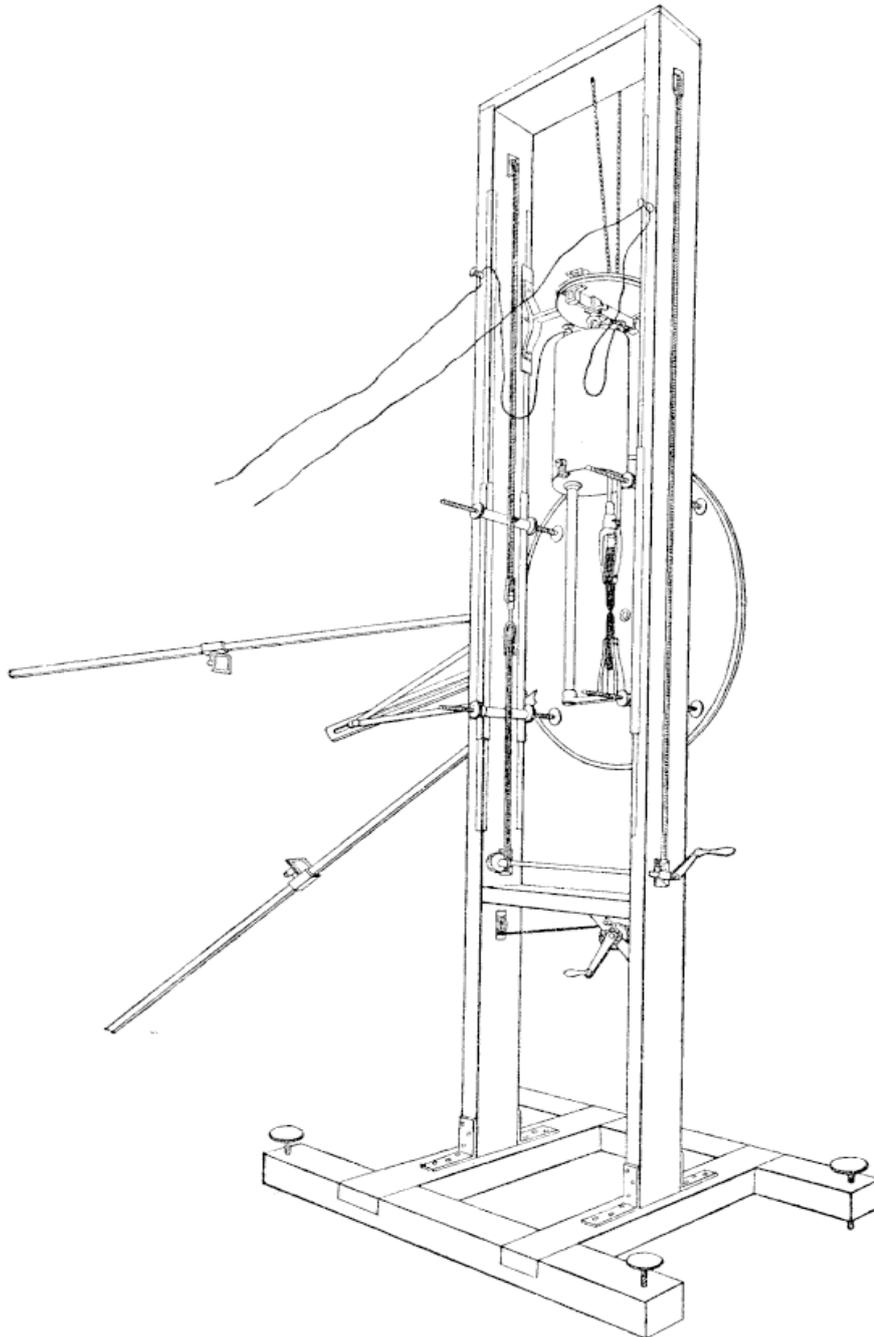


Fig. 36.

laquelle peut tourner autour d'un axe vertical et glisser le long d'une règle horizontale fixée au disque RR ; le mouvement de rotation permet de donner au point lumineux une position située dans le plan vertical de la règle, plan passant par le centre du disque; et le déplacement le long de la règle sert ensuite à faire coïncider avec la verticale menée par ce centre l'axe des charbons de la lampe.

Deux chaînes de Gall, que l'on fait mouvoir simultanément par l'intermédiaire de l'arbre horizontal UU , actionné par la manivelle W , sert à faire monter ou descendre le cercle gradué EEE .

Le point lumineux de la lampe à essayer ayant été amené à la hauteur du point O , sur la perpendiculaire menée de ce point au plan du cercle $EEEE$ et le plus près possible de ce plan, les rayons, tels que OM , émis par la source dans la direction de la règle OF étant réfléchis par le miroir M projettent sur la moitié de gauche de la plaque CD l'ombre de la tige m . De même, les rayons réfléchis par le miroir N projettent sur la moitié de droite l'ombre de la tige n .

L'un des miroirs restant fixe, il est facile, en déplaçant le second miroir, de l'amener dans une position telle que les deux ombres ainsi projetées soient égales. Les distances auxquelles les miroirs doivent être placés pour satisfaire à cette condition sont les distances d'égal éclairage correspondant aux directions des deux règles; elles sont données par une graduation en centimètres tracée sur celles-ci.

En faisant varier la direction des règles OF , OG , on déterminera les distances d'égal éclairage pour toutes les directions situées dans un plan vertical parallèle au plan du cercle gradué, et l'on en déduira les intensités relatives des rayons émis dans ce plan. En faisant tourner le foyer autour de son axe vertical, et en répétant pour chacune des positions données ainsi à la lampe la même série d'observations, on obtient les intensités relatives des rayons émis dans les différents plans verticaux passant par le foyer.

Ces intensités relatives ont été déterminées de 10° en 10° pour les directions situées au-dessous de l'horizontale, et de 30° en 30° seulement pour les directions situées au-dessus, les intensités correspondant à ces dernières directions étant beaucoup plus faibles, et n'ayant qu'une influence secondaire dans l'évaluation de l'intensité moyenne sphérique.

L'inspection des tableaux ci-dessous, dans lesquels sont indiqués les résultats obtenus pour l'une des lampes étudiées, dans quatre plans verticaux perpendiculaires entre eux, fera suffisamment comprendre la marche des expériences.

Lampe Gramme fonctionnant à 12,5 ampères.

(Expérience du 23 mars 1886.)

Intensités relatives sous différentes inclinaisons.

1^{re} SÉRIE.

Angle des rayons avec l'horizontale —	Distances d'égal éclairage		Intensités relatives	
	règle horizontale.	règle mobile.	l'intensité horizontale étant prise pour unité.	l'intensité maximum étant prise pour unité.
au-dessous de l'horizon.				
0°	"	"	1,00	0,212
10°	0m,80	1m,19	2,21	0,468
20°	0m,80	1m,46	3,33	0,705
30°	0m,72	1m,50	4,34	0,920
40°	0m,69	1m,50	4,72	1,000
50°	0m,80	1m,30	2,64	0,559
60°	0m,80	0m,90	1,27	0,269
70°	"	"	"	"
90°	"	"	0,00	0,00
au-dessus de l'horizon				
0°	"	"	1,00	0,212
30°	0m,80	0m,61	0,58	0,123
60°	0m,98	0m,45	0,21	0,044
90°	"	"	0,00	0,00

2^e SÉRIE.

Angle des rayons avec l'horizontale —	Distances d'égal éclairage		Intensités relatives	
	règle horizontale.	règle mobile.	l'intensité horizontale étant prise pour unité.	l'intensité maximum étant prise pour unité.
au-dessous de l'horizon.				
0°	"	"	1,00	0,212
10°	0m,80	1m,12	1,96	0,415
20°	0m,80	1m,42	3,15	0,667
30°	0m,73	1m,50	4,22	0,894
40°	0m,69	1m,50	4,72	1,00
50°	0m,83	1m,50	3,27	0,693
60°	0m,80	1m,08	1,82	0,385
70°	0m,80	0m,75	0,88	0,186
90°	"	"	0,00	0,00
au-dessus de l'horizon				
0°	"	"	1,00	0,212
30°	0m,80	0m,73	0,83	0,176
60°	0m,99	0m,45	0,21	0,044
90°	"	"	0,00	0,00

3^e SÉRIE.

Angle des rayons avec l'horizontale —	Distances d'égal éclairage		Intensités relatives	
	règle horizontale.	règle mobile.	l'intensité horizontale étant prise pour unité.	l'intensité maximum étant prise pour unité.
au-dessous de l'horizon.				
0°	"	"	1,00	0,200
10°	0m,80	0m,98	1,50	0,300
20°	0m,80	1m,20	2,25	0,450
30°	0m,80	1m,50	3,52	0,704
40°	0m,68	1m,50	4,86	0,972
50°	0m,67	1m,50	5,00	1,00
60°	0m,73	1m,50	4,22	0,840
70°	0m,80	0m,97	1,47	0,294
90°				
au-dessus de l'horizon				
0°	"	"	1,00	0,200
30°	0m,80	0m,72	0,81	0,162
60°	1m,04	0m,45	0,19	0,038
90°	"	"	0,00	0,00

4^e SÉRIE.

Angle des rayons avec l'horizontale —	Distances d'égal éclairage		Intensités relatives	
	règle horizontale.	règle mobile.	l'intensité horizontale étant prise pour unité.	l'intensité maximum étant prise pour unité.
au-dessous de l'horizon.				
0°	"	"	1,00	0,182
10°	0m,80	1m,30	2,64	0,481
20°	0m,76	1m,50	3,90	0,610
30°	0m,70	1m,50	4,59	0,836
40°	0m,65	1m,50	5,32	0,969
50°	0m,64	1m,50	5,49	1,000
60°	0m,76	1m,50	3,90	0,710
70°	"	"	"	"
90°	"	"	0,00	0,00
au-dessus de l'horizon				
0°	"	"	1,00	0,182
30°	0m,80	0m,54	0,46	0,084
60°	0m,90	0m,45	0,25	0,046
90°	"	"	0,00	0,00

Il est facile de reconnaître que les rayons qui, après avoir été émis par le foyer dans les directions des règles, sont ensuite réfléchis par les deux miroirs et viennent

éclairer les deux ombres projetées sur la plaque CD font des angles égaux avec le plan de cette plaque. Il en résulte que, pour que les rayons diffusés par les parties de la plaque correspondant à ces deux ombres arrivent à l'œil de l'observateur dans des conditions semblables, ce qui est indispensable pour procéder avec exactitude à la comparaison des deux éclairages, l'œil doit être placé sur la normale menée du point O à la plaque CD , c'est-à-dire dans la direction de la règle OH . Nous avons constaté en effet, que, lorsque les deux ombres vues d'un point situé dans cette direction semblent également éclairées, il suffit que l'observateur déplace l'œil vers la droite pour voir l'ombre située à gauche plus fortement éclairée que l'ombre qui se trouve à droite; si, au contraire, l'observateur déplace l'œil vers la gauche, c'est l'ombre de droite qui semble plus fortement éclairée que l'ombre de gauche.

Je ferai remarquer encore que, le point lumineux étant placé derrière le cercle $EEEE$, tandis que les ombres projetées sur l'écran CD se trouvent en avant du même cercle, il faudrait, pour que les rayons émis dans des directions parallèles aux deux règles fussent renvoyés sur l'écran dans des conditions absolument identiques, remplacer chacun des deux miroirs M et N par deux miroirs à angle droit, faisant des angles de 45° avec le plan des deux règles, et dont l'arête d'intersection serait perpendiculaire à la règle le long de laquelle on peut les faire glisser. Un rayon émis par le foyer dans une direction parallèle à l'une des règles rencontrerait alors sous un angle de 45° le premier miroir, qui le renverrait dans une direction perpendiculaire au plan des deux règles sur le second miroir, lequel à son tour le renverrait à l'écran CD dans une direction parallèle à la règle.

Lorsque l'on n'emploie qu'un seul miroir pour chaque règle, il faut, pour que les rayons émis par le foyer dans des directions parallèles aux deux règles soient renvoyés par les deux miroirs de manière à projeter au centre de l'écran CD les ombres des tiges m et n , que les directions des miroirs ne coïncident pas avec les directions normales aux rayons, mais fassent avec celles-ci des angles très petits, et différents pour les deux miroirs, s'ils sont inégalement distants du point O .

Cependant, comme dans ce cas l'incidence des rayons s'écarte fort peu de l'incidence normale, nous avons cru pouvoir, avec une exactitude suffisante pour ce genre de mesures, faire abstraction de la légère différence qu'ils présentent sous ce rapport et ne faire usage que d'un seul miroir pour chaque règle, ainsi qu'il a été indiqué dans la description donnée plus haut.

Variations que présentent les intensités relatives des rayons émis par les lampes à arc dans diverses directions.

La comparaison directe des intensités lumineuses des rayons émis par un même foyer dans diverses directions permet de reconnaître aisément les variations que

présentent les valeurs relatives de ces intensités. Ces variations sont de la même nature, et l'expérience nous a prouvé qu'elles sont du même ordre de grandeur que celles que l'on observe dans la mesure de l'intensité horizontale.

Si, par exemple, l'on compare les intensités des rayons émis sous différentes inclinaisons dans un même plan vertical, on constate que, l'intensité des rayons correspondant à une direction donnée étant rapportée à l'intensité horizontale, le nombre qui représente le rapport de ces intensités change d'un moment à l'autre, et parfois assez rapidement et assez considérablement pour rendre les observations fort incertaines; c'est ainsi qu'une lampe de 16 ampères nous a donné pour l'intensité des rayons émis à 30°, mesurée à des intervalles très rapprochés les valeurs 5,00 — 6,25 — 6,69 — 5,49 — 5,16, l'intensité horizontale étant représentée par 1; qu'une autre lampe a donné pour l'intensité des rayons émis à 60° les valeurs 0,97 — 0,72 — 0,77 — 1,10 — 1,05, etc.

Toutefois, pour la plupart des lampes expérimentées, les intensités relatives des rayons émis dans un même plan n'ont présenté que des changements assez lents et assez faibles pour qu'on ait pu les regarder comme sensiblement constantes pendant une même série d'observations se succédant à intervalles très rapprochés, et faites, comme nous l'avons déjà dit, de 10 en 10 degrés pour l'hémisphère inférieur et de 30 en 30 degrés pour l'hémisphère supérieur. Les résultats observés permettent alors de tracer un diagramme assez exact des intensités relatives pendant la durée de l'essai.

Lorsque, immédiatement après une semblable série d'observations, on détermine les intensités relatives des rayons émis sous différentes inclinaisons dans un plan vertical faisant avec le premier un angle plus ou moins grand, on reconnaît que cette deuxième série conduit à un diagramme qui, en général, diffère assez notablement du premier diagramme obtenu.

On conçoit du reste que par suite des irrégularités que peut présenter la taille des charbons, du défaut de coïncidence des axes, de l'obliquité du cratère, etc., la distribution de la lumière à un moment donné doit en général être différente dans les différents azimuts.

Je donnerai comme exemple les résultats obtenus en mesurant les intensités relatives des rayons émis dans deux azimuts opposés, par une lampe Jaspar fonctionnant du reste avec une grande régularité, mais dont le cratère, au moment de l'expérience, était légèrement incliné.

1^{er} AZIMUT.

Angle des rayons avec l'horizontale —	Distances d'égal éclairage.		Intensités relatives	
	règle horizontale.	règle mobile.	l'intensité horizontale étant prise pour unité.	l'intensité maximum étant prise pour unité.
au-dessous de l'horizon.				
0°	"	"	1,00	0,243
10°	0m,80	1m,11	1,92	0,467
20°	0m,80	1m,37	2,93	0,713
30°	0m,74	1m,50	4,11	1,000
40°	0m,75	1m,50	4,00	0,973
50°	0m,85	1m,50	3,12	0,759
60°	1m,05	1m,50	2,04	0,496
70°	0m,80	0m,50	0,00	0,095
90°	"	"	0,39	0,00
au-dessus de l'horizon				
0°	"	"	1,00	0,243
30°	0m,80	0m,60	0,56	0,112
60°	0m,82	0m,43	0,27	0,066
90°	"	"	0,00	0,00

2^e AZIMUT.

Angle des rayons avec l'horizontale —	Distances d'égal éclairage.		Intensités relatives.	
	règle horizontale.	règle mobile.	l'intensité horizontale étant prise pour unité.	l'intensité maximum étant prise pour unité.
au-dessous de l'horizon.				
0°	"	"	1,00	0,120
10°	0m,80	1m,36	2,89	0,348
20°	0m,76	1m,50	3,90	0,469
30°	0m,59	1m,50	6,46	0,777
40°	0m,52	1m,50	8,31	1,000
50°	0m,57	1m,50	6,92	0,833
60°	0m,64	1m,50	5,49	0,660
70°	0m,57	1m,00	3,08	0,370
75°	0m,89	1m,00	1,26	0,152
90°	"	"	0,00	0,00
au-dessus de l'horizon				
0°	"	"	1,00	0,120
30°	0m,80	0m,66	0,68	0,082
60°	0m,96	0m,43	0,20	0,024
90°	"	"	0,00	0,00

Observation relative à la surface photométrique des lampes à arc.

Il résulte de ces observations une conséquence importante au point de vue de la détermination de la *surface photométrique* des lampes à arc, c'est-à-dire de la surface formée en prenant sur les diverses directions passant par le foyer des longueurs mesurant les intensités des rayons émis dans ces directions, et en cherchant le lieu des points ainsi obtenus.

Cette surface, considérée à un moment quelconque, est généralement asymétrique par rapport à l'axe commun des charbons; ce n'est qu'en considérant les valeurs moyennes des intensités correspondant aux diverses directions passant par le point lumineux que, lorsque la lampe ne présente pas de causes permanentes d'asymétrie, telles, par exemple, qu'un défaut d'homogénéité des charbons, de coïncidence des axes, etc., on peut considérer la surface photométrique ainsi obtenue comme étant de révolution autour de la verticale. La connaissance de la courbe méridienne de cette surface suffit alors pour déterminer la loi de la distribution moyenne de la lumière dans la sphère ayant le foyer pour centre; la forme de cette courbe méridienne étant déduite elle-même d'un nombre suffisant d'observations faites dans un même plan vertical. Mais comme les causes d'asymétrie mentionnées plus haut se produisent fréquemment, même par les lampes les mieux construites et placées dans les meilleures conditions de fonctionnement, nous avons cru nécessaire, pour déterminer les intensités relatives des rayons émis sous différentes inclinaisons, d'étudier dans plusieurs plans verticaux les lampes soumises aux essais; la plupart ont été expérimentées successivement au moins dans deux azimuts opposés, et un certain nombre dans quatre azimuts perpendiculaires deux à deux.

Observations relatives à l'intensité maximum. — Calcul des valeurs moyennes des intensités relatives.

Dans ces essais, nous avons constaté que les changements que présentent, lorsque l'on passe d'un azimut à un autre, les intensités relatives des rayons émis dans une direction faisant avec l'horizon un angle déterminé, changements très considérables pour les rayons horizontaux, dont l'intensité à un même instant peut varier du simple au double et même au delà, deviennent plus faibles ou même insensibles à mesure que l'on se rapproche de la direction d'intensité maximum. C'est ainsi que dans plusieurs séries d'essais faits sur deux lampes, marchant l'une à 6, l'autre à 16 ampères, et observées dans deux azimuts opposés pour lesquels les diagrammes des intensités relatives sous diverses inclinaisons avaient des formes bien différentes, les valeurs simultanées de l'intensité maximum ont été sensiblement les mêmes dans les deux azimuts. En effet, les deux alidades de l'appareil

photométrique ayant été disposés de part et d'autre de la verticale, et les deux miroirs fixés à des distances égales du centre du cercle, nous avons reconnu que, l'une des règles étant successivement inclinée à 10° , 20° , 30° , 40° , 50° , etc., il existait, pour chacune de ces positions, une direction de la seconde règle pour laquelle les deux ombres projetées sur l'écran étaient égales entre elles. Les intensités lumineuses des rayons émis sous les diverses inclinaisons données à la première règle étaient donc respectivement égales aux intensités correspondant aux inclinaisons différentes données, dans l'azimut opposé, à la seconde règle; et, par conséquent, l'intensité maximum présentait une valeur commune dans les deux azimuts, bien que la répartition de la lumière et les inclinaisons des directions d'intensité maximum n'y fussent pas les mêmes.

L'observation ci-dessus, relative aux valeurs simultanées de l'intensité maximum dans les différents azimuts ne peut être appliquée, du reste, qu'à des lampes marchant dans des conditions de fonctionnement normal, telles que celles qui ont été étudiées par le comité, et non aux lampes dont le cratère, par suite d'une position défectueuse des charbons ou de toute autre cause, présenterait une obliquité un peu considérable.

Une observation semblable peut être faite concernant les valeurs successives de l'intensité maximum observées dans un azimut. Les différences que présentent entre elles ces valeurs successives sont relativement faibles, et en tout cas bien moindres que celles que l'on constate entre les valeurs successives de l'intensité horizontale.

Enfin, j'ajouterai que les changements de coloration des rayons, changements que notre appareil photométrique permet de suivre aisément par les variations qu'ils entraînent dans les colorations des ombres projetées sur l'écran, ont paru également moins sensibles pour les rayons d'intensité maximum que pour les rayons émis dans d'autres directions et surtout dans les directions voisines de la verticale.

C'est pour ces motifs que, dans l'évaluation des intensités relatives de chaque lampe essayée, ainsi que dans les diagrammes qui les représentent, nous avons pris comme unité l'intensité maximum qui, ainsi que nous l'avons vu plus haut, a pu être regardée comme ayant à peu près la même valeur dans les différents azimuts. Les valeurs moyennes des nombres représentant les intensités relatives ainsi calculées sont les intensités relatives moyennes qui ont servi à tracer les courbes méridiennes des surfaces photométriques des foyers expérimentés.

**Diagrammes représentant les intensités relatives des rayons et
la répartition de l'éclairage dans les différentes zones de la sphère
ayant pour centre le foyer lumineux.**

Dans la figure 37 ci-contre, la ligne $ABCDEF$ représente la courbe méridienne de la surface photométrique de l'une des lampes essayées. Afin de faciliter le tracé de cette ligne pour les diverses lampes, on s'est servi de canevas préparés d'avance,

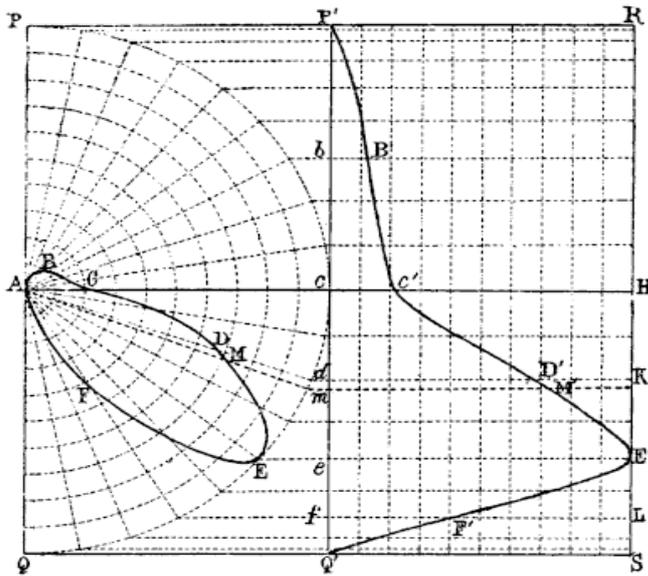


Fig. 37.

formés, comme l'indique la fig., de circonférences concentriques décrites du point A comme centre, et ayant respectivement pour rayons $0,1—0,2—0,3$, etc., la longueur OP étant prise comme unité; et de droites menées par le même point A , et faisant des angles de $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$, etc., au-dessus et au-dessous de l'horizontale AH . Sur ces diverses droites, ainsi que sur l'horizontale, on a pris des longueurs représentant les intensités relatives des rayons émis dans les directions de ces droites, l'intensité maximum AE étant prise comme unité. Un simple

coup d'œil jeté sur la ligne $ABCDEF$ passant par les points ainsi déterminés permet d'apprécier l'intensité relative des rayons émis dans une direction donnée, telle que AD , par la position qu'occupe relativement aux circonférences concentriques mentionnées plus haut l'extrémité D de cette droite.

De la ligne $ABCDEF$ on déduit, par une construction très simple, une autre ligne $P'B'C'D'...$ que nous avons cru utile de tracer aussi pour les diverses lampes essayées et au moyen de laquelle peut être représentée la répartition de l'éclairage dans les différentes zones de la sphère ayant pour centre le point lumineux.

Pour déterminer les différents points de cette ligne, il suffit de mener, par les points où les prolongements des rayons AB, AC, AD , etc., rencontrent la circonférence PEQ , des horizontales, et de prendre sur ces droites à partir de leur rencontre avec la verticale $P'Q'$, menée à une distance 1 du point A , des longueurs égales à celles des rayons vecteurs qui mesurent les intensités relatives, c'est-à-dire

que l'on a : $bB' = AB$, $cC' = AC$, $dD' = AD$, etc. Le tracé de la ligne $P' B' C' D' E' F'$ est facilité, de même que celui de la ligne $ABCD\dots$ par des canevas consistant en lignes horizontales menées par les points de rencontre des rayons et de la circonférence PEQ et en traits verticaux, dont les distances à $P' Q'$ sont respectivement égales à $0,1 - 0,2$, etc.

On reconnaîtra aisément que, si l'on considère sur la surface de la sphère de rayon $AQ = 1$, ayant pour centre le point lumineux A , une zone comprise entre deux plans horizontaux menés par deux points quelconques, par exemple d et f , l'éclairage moyen de cette zone rapporté à l'éclairage produit par les rayons d'intensité maximum, est représenté par le rapport de la surface $dD'E'F'f$ (limitée par la ligne $P' B' C' D' E' F'$, par la verticale $P' Q'$ et les deux horizontales dD' , fF' menées par les points d et f) à la surface du rectangle $dKlf$ ayant pour base df et pour hauteur l'unité.

L'intensité moyenne sphérique serait représentée par le rapport de la surface totale comprise entre la ligne $P' C' E' Q'$ et la droite $P' Q'$, à la surface du rectangle $P' RSQ'$.

Pour démontrer cette propriété de la ligne $P' C' E' Q'$, considérons la zone limitée par des rayons infiniment voisins tels que AD et AM faisant avec l'horizontale les angles θ et $\theta + d\theta$. La hauteur de cette zone est égale à $\cos \theta d\theta$ et sa surface à $2\pi \cos \theta d\theta$. En désignant par i l'intensité des rayons envoyés dans les directions faisant l'angle θ avec l'horizontale, on a donc pour la quantité de lumière qui éclaire la zone considérée $2\pi i \cos \theta d\theta$ ou $2\pi i d \sin \theta$; et dès lors la quantité de lumière qui tombe sur une zone limitée par les deux cônes de rayons faisant avec l'horizontale les angles θ_1 et θ_2 aura pour valeur $\int_{\theta_1}^{\theta_2} 2\pi i \cos \theta d\theta$.

Remarquons maintenant qu'aux deux points D et M du diagramme des intensités relatives correspondent les points D' et M' de la ligne $P' C' E' F'$, et que, conformément à ce qui a été dit relativement au tracé de cette ligne, ces points D' et M' sont obtenus en menant par les points de rencontre des rayons AD , AM avec la circonférence PEQ deux lignes horizontales sur lesquelles on prend, à partir de leur intersection avec $P' Q'$, les longueurs dD' , mM' égales à AD et à AM ; dm est donc égale à la hauteur $\cos \theta d\theta$ de la zone infiniment petite considérée ci-dessus et dD' à l'intensité i des rayons faisant avec l'horizontale l'angle θ . On a donc surf. $dD'M'm = i \cos \theta d\theta$, et par suite le produit de la surface $dD'M'm$ par 2π représente la quantité de lumière envoyée sur la zone. En appliquant le même raisonnement aux surfaces élémentaires dans lesquelles on peut décomposer la surface $dD'E'F'f$, on verra que cette surface a pour expression $\int_{\theta_1}^{\theta_2} i \cos \theta d\theta$, et que par conséquent le produit de cette surface par 2π représente la quantité de lumière qui éclaire la zone correspondante, limitée par les cônes de rayons faisant avec l'horizontale les angles θ_1 et θ_2 .

Enfin, le produit $2 \pi \times \text{surf. } P' C' E' Q'$ représente la quantité de lumière envoyée par le foyer sur toute la surface de la sphère dont ce foyer occupe le centre.

L'éclairage moyen de la zone s'obtiendra en prenant le quotient de la quantité de lumière qu'elle reçoit divisée par la surface de la zone, c'est-à-dire

$$\frac{\int_{\theta_1}^{\theta_2} 2 \pi i \cos \theta d\theta}{2 \pi (\cos \theta_2 - \cos \theta_1)} = \frac{\text{surf. } dD'E'F'f}{df}.$$

Or, ce quotient n'est autre que le rapport de la surface $dD'E'F'f$ à celle du rectangle $dKLf$ qui a pour hauteur l'unité.

De même l'intensité moyenne sphérique serait le quotient de la quantité totale de lumière qui éclaire la sphère et qui a pour expression $2 \pi \text{ surf. } P' C' E' Q'$, divisée par la surface de la sphère 4π ; or, ce quotient qui a pour valeur $\frac{\text{surf. } P' C' E' Q'}{2}$ est également le rapport de la surface $P' C' E' Q'$ à celle du rectangle $P' R S Q'$ qui a pour base $P' Q' = 2$ et pour hauteur $Q' S = 1$.

Le rapport des quantités de lumière émises par le foyer dans l'hémisphère supérieur et dans l'hémisphère inférieur est celui de la surface $P' C' c$ à la surface $c C' E' Q'$. On voit par là combien, pour les lampes à arc marchant avec des courants continus, la quantité de lumière émise dans l'hémisphère supérieur est faible relativement à celle qui est envoyée par le foyer dans l'hémisphère inférieur.

Il existe d'autres lignes, d'un tracé très simple également, par lesquelles on peut représenter géométriquement la répartition de la lumière dans les diverses parties d'une sphère éclairée par un foyer placé en son centre. On en trouvera la description dans les articles publiés par l' "Ingénieur Conseil," sous le titre : "Note sur la détermination de la formule photométrique des foyers électriques, et l'appréciation comparative de ces foyers dans des cas déterminés d'éclairage, par E. Rousseau." Nous croyons donc inutile de les rappeler ici, et nous nous bornons, pour les différents foyers dont nous donnons le diagramme des intensités relatives, à y joindre le diagramme de la répartition de l'éclairage sphérique, construit suivant les règles qui viennent d'être indiquées pour le tracé de la ligne $P' C' E' Q'$.

Calcul de l'intensité moyenne sphérique.

Ce dernier diagramme fera comprendre aisément la marche qui a été suivie pour le calcul de l'intensité moyenne sphérique. Ne connaissant la ligne $P' C' E' Q'$ que par un certain nombre de points, correspondant aux rayons faisant avec l'horizon des angles $0, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$, etc., on a admis, pour le calcul, que, entre deux points consécutifs, cette ligne ne s'écarte pas sensiblement de la ligne droite qui

joint ces deux points. On a ainsi remplacé la ligne de répartition de l'éclairage par une ligne polygonale, ce qui revient à regarder, pour chacune des zones dans lesquelles la sphère a été partagée, l'intensité lumineuse moyenne comme étant égale à la moyenne arithmétique des intensités correspondant aux rayons envoyés dans les directions des circonférences de bases.

En désignant par θ et θ' les angles formés par ces rayons avec l'horizontale, par i et i' leurs intensités lumineuses, on a ainsi pour la quantité de lumière que reçoit la zone, l'expression

$$2 \pi h \frac{i + i'}{2} = 2 \pi (\sin \theta - \sin \theta') \frac{i + i'}{2}.$$

Soient maintenant $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$ des valeurs de l'angle θ pour lesquelles les intensités lumineuses des rayons soient respectivement $i_1, i_2, i_3, \dots, i_n$. Les quantités de lumière que recevront les zones limitées par les angles θ_1 et θ_2, θ_2 et $\theta_3, \dots, \theta_{n-1}$ et θ_n seront :

$$\begin{aligned} & 2 \pi (\sin \theta_2 - \sin \theta_1) \frac{i_1 + i_2}{2} \\ & 2 \pi (\sin \theta_3 - \sin \theta_2) \frac{i_2 + i_3}{2} \\ & \dots \dots \dots \\ & 2 \pi (\sin \theta_n - \sin \theta_{n-1}) \frac{i_{n-1} + i_n}{2} \end{aligned}$$

et leur somme représentera la quantité de lumière qui éclaire la zone totale déterminée par les angles extrêmes θ_1 et θ_n .

L'éclairage moyen de la zone totale, c'est-à-dire le rapport de la quantité de lumière qu'elle reçoit à la quantité qu'elle recevrait si elle était éclairée dans toute son étendue par une lumière d'intensité 1, aura pour valeur :

$$\begin{aligned} & \frac{2 \pi \left[(\sin \theta_2 - \sin \theta_1) \frac{i_1 + i_2}{2} + (\sin \theta_3 - \sin \theta_2) \frac{i_2 + i_3}{2} + \dots + (\sin \theta_n - \sin \theta_{n-1}) \frac{i_{n-1} + i_n}{2} \right]}{2 \pi (\sin \theta_n - \sin \theta_1)} \\ & = \frac{(\sin \theta_2 - \sin \theta_1) \frac{i_1 + i_2}{2} + (\sin \theta_3 - \sin \theta_2) \frac{i_2 + i_3}{2} + \dots + (\sin \theta_n - \sin \theta_{n-1}) \frac{i_{n-1} + i_n}{2}}{\sin \theta_n - \sin \theta_1}. \end{aligned}$$

Enfin, si l'on compare la quantité de lumière qui tombe sur la zone totale considérée à celle qui éclairerait avec une intensité 1 la sphère entière, on obtient, en remarquant que le dénominateur est alors égal à $\sin \frac{\pi}{2} - \sin \left(-\frac{\pi}{2}\right) = 2$, l'expression :

$$\frac{\sin \theta_2 - \sin \theta_1}{4} (i_1 + i_2) + \frac{\sin \theta_3 - \sin \theta_2}{4} (i_2 + i_3) + \frac{\sin \theta_4 - \sin \theta_3}{4} (i_3 + i_4) + \dots$$

dont les différents termes représentent la répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires.

Dans les expériences faites sur les lampes à arc exposées à Anvers, les intensités ayant été mesurées de 10 en 10° pour l'hémisphère inférieur, et de 30 en 30° pour l'hémisphère supérieur, on avait pour le premier :

$$\theta_1 = 0^\circ \quad \theta_2 = 10^\circ \quad \theta_3 = 20^\circ \quad . \quad . \quad .$$

et pour le second :

$$\theta'_1 = 0^\circ \quad \theta'_2 = 30^\circ \quad \theta'_3 = 60^\circ .$$

L'intensité hémisphérique, calculée en prenant le rapport de la quantité de lumière éclairant chaque hémisphère à la quantité de lumière éclairant avec une intensité 1 la sphère entière, se déterminait donc par les expressions suivantes :

1° pour l'hémisphère inférieur :

$$\frac{\sin 10^\circ - \sin 0^\circ}{4} (i_1 + i_2) + \frac{\sin 20^\circ - \sin 10^\circ}{4} (i_2 + i_3) + \frac{\sin 30^\circ - \sin 20^\circ}{4} (i_3 + i_4) + \dots$$

ou $0,0434 (i_1 + i_2) + 0,0421 (i_2 + i_3) + 0,0395 (i_3 + i_4) + \dots$

2° pour l'hémisphère supérieur :

$$\frac{\sin 30^\circ - \sin 0^\circ}{4} (i'_1 + i'_2) + \frac{\sin 60^\circ - \sin 30^\circ}{4} (i'_2 + i'_3) + \frac{\sin 90^\circ - \sin 60^\circ}{4} (i'_3 + i'_4),$$

ou $0,1250 (i'_1 + i'_2) + 0,0915 (i'_2 + i'_3) + 0,0335 i'_3,$

en remarquant que i'_4 , qui représente l'intensité dans la direction verticale est égale à zéro.

Dans le tableau ci-dessous nous donnons, comme exemple, les résultats obtenus pour l'une des lampes essayées.

Lampe Piette et Krizik de 16 ampères.

4^e série d'observations.

Angle des rayons avec l'horizontale.	Intensités relatives		Valeurs de $i_n + i_{n+1}$	Valeurs de $\sin \theta_{n+1} - \sin \theta_n$ en dix-millièmes.	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
	l'intensité horizontale étant prise pour unité.	l'intensité maximum étant prise pour unité.			
au-dessous de l'horizon.					
0°	1,00	0,188			
10°	1,86	0,350	0,538	434	232
20°	2,98	0,560	0,910	421	383
30°	3,52	0,662	1,222	395	483
40°	5,32	1,000	1,662	357	593
50°	4,22	0,793	1,793	308	552
60°	2,85	0,536	1,329	250	332
70°	0,39	0,073	0,609	181	112
90°	0,00	0,000	0,073	151	11
au-dessus de l'horizon.					
0°	1,00	0,188			
30°	0,52	0,098	0,286	1250	357
60°	0,36	0,068	0,166	915	152
90°	0,00	0,000	0,068	335	23

La dernière colonne fait connaître la répartition de l'éclairage total entre les zones élémentaires en donnant pour chacune de ces zones le rapport de la quantité de lumière reçue à la quantité de lumière qui éclairerait la sphère entière si tous les rayons avaient une intensité égale à l'intensité maximum 1.

On déduit de ces nombres les valeurs suivantes :

Intensités hémisphériques	}	hémisphère inférieur	0,270
		hémisphère supérieur	0,053
Intensité sphérique totale			0,323

Un autre mode de calcul de ces intensités consisterait à déterminer, pour les diverses observations des intensités relatives, les valeurs du produit $y = i \cos \theta$ de l'intensité des rayons par le cosinus de l'angle qu'ils forment avec l'horizontale. Si l'on représente par $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots, \theta_n$, comme précédemment, des valeurs assez rapprochées de l'angle θ pour lesquelles les valeurs de $i \cos \theta$ soient respectivement égales à y_1, y_2, y_3, y_n , on aura pour la quantité de lumière qui éclaire la zone déterminée par les angles θ_1 et θ_2 l'expression :

$$2 \pi \int_{\theta_1}^{\theta_2} i \cos \theta d \theta = 2 \pi \int_{\theta_1}^{\theta_2} y d \theta .$$

Si les limites θ_1 et θ_2 de l'intégrale sont suffisamment rapprochées, on peut regarder cette intégrale comme différant assez peu de celle que l'on obtiendrait en y substituant à y la moyenne $\frac{y_1 + y_2}{2}$ des valeurs correspondant aux deux limites θ_1 et θ_2 ; ce qui donne pour les valeurs approximatives des quantités de lumière tombant sur les zones élémentaires déterminées par les angles θ_1 et θ_2, θ_2 et $\theta_3, \dots, \theta_{n-1}$ et θ_n , les expressions

$$\begin{aligned} & 2 \pi \frac{y_1 + y_2}{2} (\theta_2 - \theta_1) \\ & 2 \pi \frac{y_2 + y_3}{2} (\theta_3 - \theta_2) \\ & \dots \dots \dots \\ & 2 \pi \frac{y_{n-1} + y_n}{2} (\theta_n - \theta_{n-1}) \end{aligned}$$

dont la somme est la quantité de lumière qui éclaire la zone totale limitée par les angles θ_1 et θ_n .

Si l'on suppose $\theta_2 - \theta_1 = \theta_3 - \theta_2 = \theta_4 - \theta_3 = \dots = \Delta \theta$, cette somme devient égale à

$$\pi (y_1 + 2 y_2 + 2 y_3 + \dots + 2 y_{n-1} + y_n) \Delta \theta .$$

L'intensité moyenne de l'éclairage de la zone totale rapportée à l'intensité maximum prise comme unité serait :

$$\frac{\pi (y_1 + 2 y_2 + 2 y_3 + \dots + 2 y_{n-1} + y_n) \Delta \theta}{2 \pi \int_{\theta_1}^{\theta_n} \cos \theta d \theta}$$

ou
$$\frac{y_1 + 2 y_2 + 2 y_3 + \dots + 2 y_{n-1} + y_n}{2 (\sin \theta_n - \sin \theta_1)} \Delta \theta .$$

Enfin le rapport de la quantité de lumière reçue par cette zone totale à la quantité de lumière qui éclairerait la sphère entière, si tous les rayons avaient une intensité égale à l'intensité maximum 1, a pour valeur

$$\frac{y_1 + 2 y_2 + 2 y_3 + \dots + 2 y_{n-1} + y_n}{4} \Delta \theta .$$

Dans les expériences de l'Exposition d'Anvers, $\Delta \theta$ était égal à $\frac{\pi}{18}$ pour les observations relatives à l'hémisphère inférieur et à $\frac{\pi}{6}$ pour les observations relatives à l'hémisphère supérieur.

Nous citerons encore un troisième procédé de calcul, employé dans les expériences faites à l'Exposition d'électricité de Paris, et dont le rapport de MM. Allard, Leblanc, Joubert, Potier et Tresca donne la description ci-dessous :

“ 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 appellerons 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 degrés, 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 différents modes d'évaluation qui viennent d'être exposés, et qui sont à peu près également simples, conduisent sensiblement aux mêmes résultats; nous avons choisi le premier parce qu'il n'était en quelque sorte que la traduction en nombres des diagrammes par lesquels nous avons représenté pour chaque lampe la répartition de la lumière entre les différentes zones de la sphère éclairée.

Observations générales sur les diagrammes qui représentent les intensités relatives et la répartition de l'éclairage.

L'examen des diagrammes qui représentent les intensités relatives des rayons émis sous différentes inclinaisons montre que pour le plus grand nombre des lampes expérimentées, les courbes d'intensité offrent une assez grande similitude de forme.

Cette similitude peut être remarquée surtout pour les lampes dont les intensités relatives ont été étudiées dans plusieurs azimuts. Les diagrammes qui s'écartent sensiblement de cette forme générale correspondent pour la plupart à des lampes pour lesquelles les essais photométriques ont eu lieu dans un azimut seulement. Peut-être serait-il permis d'en conclure que les différences considérables que les expériences photométriques indiquent parfois entre les courbes des intensités relatives de différentes lampes proviennent de circonstances spéciales qui se sont produites pendant les essais dans l'azimut choisi, et dont l'influence disparaîtrait ou s'affaiblirait beaucoup si les observations étaient plus nombreuses et faites dans plusieurs azimuts. Nous avons constaté, en effet, pour certaines lampes, que, alors que les intensités relatives observées dans un azimut conduisaient à un diagramme notablement différent de la forme générale dont nous venons de parler, les valeurs moyennes des intensités mesurées dans différents azimuts étaient au contraire représentées par une ligne se rapprochant beaucoup de cette forme commune.

Nous en donnerons, comme exemple, deux diagrammes, l'un représentant les

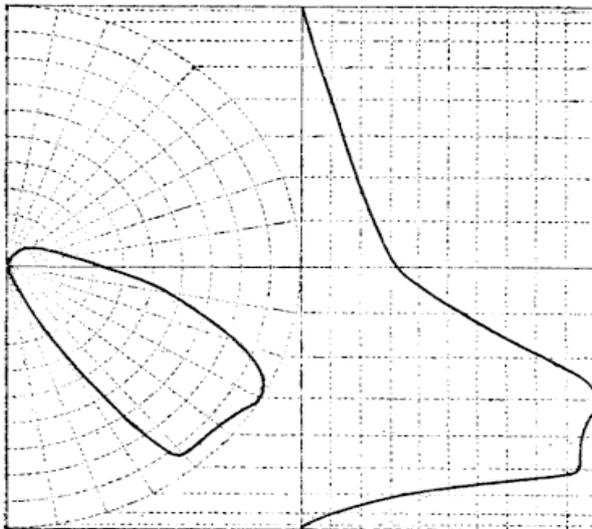


Fig. 38.

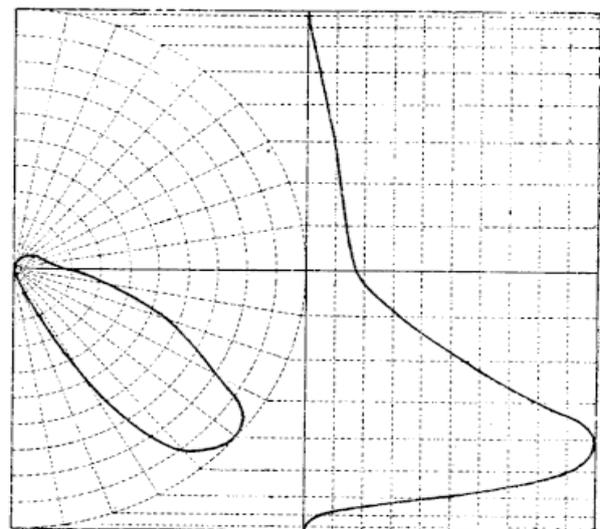


Fig. 39.

intensités relatives des rayons émis par une lampe De Puydt, observées dans un azimut, le second donnant, pour la même lampe, les valeurs moyennes des intensités relatives observées dans trois azimuts. Les notes d'observations concernant cette lampe indiquent que, dans la série de mesures représentées par le premier diagramme, le cratère présentait une inclinaison sensible; l'azimut pour lequel les intensités étaient observées était celui dans lequel, par suite de cette inclinaison, le foyer émettait le maximum de lumière.

On remarquera que, pour la plupart des lampes, les courbes des intensités relatives présentent, dans le voisinage de l'horizontale passant par le foyer, un point d'inflexion nettement indiqué. Cette particularité, que l'on peut observer sur le diagramme par lequel M. H. Fontaine a représenté les intensités relatives des rayons émis par un arc voltaïque, mais que nous ne retrouvons pas dans les diagrammes des essais photométriques des Expositions d'Electricité de Paris et de Munich, nous a paru se présenter d'une manière beaucoup trop constante pour être due à des circonstances fortuites. Nous pensons qu'elle s'explique par ce fait que, pour les rayons émis dans l'hémisphère supérieur, en même temps que l'intensité des radiations envoyées par le charbon supérieur diminue rapidement, l'intensité des rayons émis par le charbon négatif augmente au contraire jusqu'à un certain point à partir de l'horizontale, ce qui rend nécessairement moins rapide le décroissement de l'intensité totale. Nous avons même constaté que, dans certains cas, lorsqu'il se formait au sommet du cône inférieur un champignon lumineux, l'intensité augmentait au lieu de diminuer, à partir de l'horizontale; et que la courbe des intensités relatives présentait alors deux maximums, l'un dans l'hémisphère inférieur, le second, beaucoup plus petit que le premier, dans l'hémisphère supérieur. Nous avons cru qu'il ne serait pas sans intérêt de mentionner cette observation, bien qu'elle n'ait du reste qu'une importance fort secondaire au point de vue de la détermination de l'intensité moyenne sphérique.

En examinant les diagrammes représentant la répartition de la lumière entre les différentes zones de la sphère éclairée, on voit que les lignes de répartition de l'éclairage sont en général formées de trois parties fort distinctes : la première, faisant avec la verticale un angle assez faible, indique la répartition de la lumière dans l'hémisphère supérieur; la seconde, dont l'inclinaison est beaucoup moindre et à peu près constante pour plusieurs des foyers essayés, correspond à la partie de l'hémisphère inférieur comprise entre l'horizon et les rayons d'intensité maximum; elle se raccorde par un arc généralement assez court à une troisième partie qui correspond à la partie de la sphère comprise entre les rayons d'intensité maximum et la verticale inférieure, et dans laquelle la ligne de répartition s'incline en sens inverse et se rapproche rapidement de la verticale prise pour axe des abscisses dans les diagrammes.

Formules approximatives.

En se bornant à une grossière approximation, on pourrait se faire une idée assez exacte de la répartition de la lumière entre les différentes zones en remplaçant chacune des trois parties dont nous venons de parler par la ligne droite qui passe par ses extrémités. On obtiendrait ainsi d'une manière extrêmement simple les

quantités de lumière émises dans les différentes parties de la sphère, ainsi que les rapports de ces quantités à la quantité de lumière qui éclairerait la sphère entière avec une intensité égale à l'intensité maximum 1. Pour l'hémisphère supérieur, par exemple, ce rapport serait représenté par la moitié de la surface d'un triangle ayant pour hauteur l'unité de longueur et pour base l'intensité horizontale, c'est-à-dire par $\frac{H}{4}$, en désignant par H l'intensité horizontale; pour la zone située dans l'hémisphère inférieur et comprise entre l'horizontale et les rayons d'intensité maximum, le même rapport serait mesuré par la moitié de la surface d'un trapèze ayant pour hauteur la hauteur h de cette zone, et pour bases l'intensité horizontale H et l'intensité maximum M , c'est-à-dire par l'expression $\frac{H+M}{4}h$, etc. Les résultats que donne, pour les différentes lampes, ce calcul approximatif appliqué à la détermination de l'intensité moyenne sphérique concordant assez bien avec les résultats obtenus par la méthode plus exacte exposée dans le paragraphe précédent.

La formule empirique $S = \frac{H}{2} + \frac{M}{4}$, dont on fait un fréquent usage, donne aussi dans la plupart des cas des valeurs qui ne diffèrent que fort peu de celles que fournit le calcul exact. Cette dernière formule peut s'écrire sous la forme $S = \frac{H}{4} + \frac{H+M}{4}$, expression dont les deux termes représentent assez bien en général les intensités hémisphériques moyennes.

C'est ainsi que, dans les expériences faites à l'Exposition de Paris, pour lesquelles les intensités ont été mesurées de 15 en 15 degrés dans l'hémisphère supérieur, sur 14 foyers expérimentés, l'intensité hémisphérique supérieure ainsi déterminée a donné les valeurs suivantes : 0,29 H , 0,28 H , 0,26 H , 0,30 H , 0,29 H , 0,26 H , 0,24 H , 0,25 H , 0,21 H , 0,22 H , 0,19 H , 0,29 H , 0,19 H , 0,19 H dont la moyenne est à fort peu près $\frac{H}{4}$. Nous avons adopté cette valeur comme représentant approximativement l'intensité hémisphérique supérieure dans le calcul de l'intensité moyenne sphérique de trois lampes pour lesquelles les observations ne faisaient connaître que les intensités relatives des rayons émis dans l'hémisphère inférieur.

On reconnaîtra de même que, dans un grand nombre de cas, on arrive à une évaluation assez satisfaisante des intensités relatives des rayons émis dans la zone comprise entre l'horizontale et les rayons d'intensité maximum, en admettant que ces intensités y augmentent proportionnellement au sinus de l'angle formé par les rayons avec l'horizon, c'est-à-dire qu'elles peuvent être représentées par des expressions de la forme : $i = H + a \sin \theta$; en d'autres termes que, dans le diagramme représentant la répartition de l'éclairage, la partie de la ligne de répartition comprise entre les limites considérées ne s'écarte pas beaucoup d'une ligne droite.

Nous indiquons ci-dessous, pour un certain nombre de lampes, les résultats de l'observation comparés avec ceux que l'on obtient en calculant les intensités relatives au moyen d'expressions de la formule donnée plus haut.

Lampe Cramer et Dornfeld.

Formule photométrique $i = 0,307 + 1,25 \sin \theta$.

Angles d'inclinaison	0°	10°	20°	30°
Valeurs observées	0,307	0,510	0,734	0,944
Valeurs calculées	0,307	0,524	0,734	0,932

Lampe Piette et Krizik de 8 ampères.

Formule photométrique $i = 0,150 + 1,34 \sin \theta$.

Angles d'inclinaison	0°	10°	20°	30°	40°
Valeurs observées	0,150	0,396	0,593	0,824	1,000
Valeurs calculées	0,150	0,383	0,600	0,820	1,010

Lampe Pieper de 4 ampères (charbons 9mm/9mm).

Formule photométrique $i = 0,356 + 1,26 \sin \theta$.

Angles d'inclinaison	0°	10°	20°	30°
Valeurs observées	0,356	0,574	0,786	1,000
Valeurs calculées	0,356	0,574	0,787	0,986

Lampe Gulcher de 8 ampères.

Formule photométrique $i = 0,215 + 1,2 \sin \theta$.

Angles d'inclinaison	0°	10°	20°	30°	40°
Valeurs observées	0,215	0,419	0,574	0,848	1,000
Valeurs calculées	0,215	0,423	0,625	0,815	0,985

Lampe de Puydt.

Formule photométrique $i = 0,160 + 1,2 \sin \theta$.

Angles d'inclinaison	0°	10°	20°	30°	40°
Valeurs observées	0,170	0,322	0,559	0,795	1,000
Valeurs calculées	0,170	0,378	0,580	0,770	0,940

Lampe Jaspar.

Formule photométrique $i = 0,184 + 1,3 \sin \theta$.

Angles d'inclinaison	0°	10°	20°	30°	40°
Valeurs observées	0,184	0,413	0,599	0,901	1,000
Valeurs calculées	0,184	0,410	0,628	0,834	1,019

Lampe Piette et Krizik de dix ampères.

Formule photométrique $i = 0,203 + 1,25 \sin \theta$.

Angles d'inclinaison	0°	10°	20°	30°	40°
Valeurs observées	0,203	0,424	0,631	0,779	1,000
Valeurs calculées	0,203	0,420	0,630	0,828	1,005

Lampe Piette et Krizik de 10 ampères (autres charbons).

Formule photométrique $i = 0,134 + 1,35 \sin \theta$.

Angles d'inclinaison	0°	10°	20°	30°	40°
Valeurs observées	0,134	0,351	0,633	0,788	1,000
Valeurs calculées	0,134	0,369	0,596	0,809	1,001

Lampe Gulcher de 16 ampères.

Formule photométrique $i = 0,288 + \sin \theta$.

Angles d'inclinaison	0°	10°	20°	30°
Valeurs observées	0,288	0,437	0,612	0,820
Valeurs calculées	0,288	0,462	0,630	0,788

Lampe Dulait.

Formule photométrique $i = 0,172 + 1,3 \sin \theta$.

Angles d'inclinaison	0°	10°	20°	30°	40°
Valeurs observées	0,172	0,380	0,608	0,870	1,000
Valeurs calculées	0,172	0,398	0,617	0,822	1,007

Lampe Piette et Krizik de 8 ampères.

Formule photométrique $i = 0,165 + 1,3 \sin \theta$.

Angles d'inclinaison	0°	10°	20°	30°	40°
Valeurs observées	0,165	0,360	0,589	0,824	1,000
Valeurs calculées	0,165	0,391	0,610	0,815	1,000

Lampe Gramme de 6 ampères.

Formule photométrique $i = 0,154 + 1,3 \sin \theta$.

Angles d'inclinaison	0°	10°	20°	30°	40°
Valeurs observées	0,154	0,372	0,571	0,852	1,000
Valeurs calculées	0,154	0,380	0,599	0,804	0,989

Lampe Gramme de 16 ampères.

Formule photométrique $i = 0,154 + 1,5 \sin \theta$.

Angles d'inclinaison	0°	10°	20°	30°
Valeurs observées	0,154	0,426	0,640	0,920
Valeurs calculées	0,154	0,435	0,667	0,904

Lampe Gramme de 13 ampères

Formule photométrique $i = 0,204 + 1,25 \sin \theta$.

Angles d'inclinaison	0°	10°	20°	30°	40°
Valeurs observées	0,204	0,422	0,617	0,850	1,000
Valeurs calculées	0,204	0,421	0,631	0,829	1,006

Lampe Piette et Krizik de 16 ampères.

Formule photométrique $i = 0,206 + 1,24 \sin \theta$.

Angles d'inclinaison	0°	10°	20°	30°	40°
Valeurs observées	0,206	0,387	0,594	0,869	1,000
Valeurs calculées	0,206	0,421	0,630	0,820	1,002

Lampe Pieper de 4 ampères.

Formule photométrique $i = 0,190 + 1,6 \sin \theta$.

Angles d'inclinaison	0°	10°	20°	30°
Valeurs observées	0,190	0,483	0,746	0,960
Valeurs calculées	0,190	0,468	0,747	0,990

Lampe Pieper de 6 ampères.

Formule photométrique $i = 0,267 + 1,34 \sin \theta$.

Angles d'inclinaison	0°	10°	20°	30°
Valeurs observées	0,267	0,499	0,730	0,935
Valeurs calculées	0,267	0,499	0,725	0,937

Résumé général des observations relatives à la distribution de l'éclairage.

En résumé, il résulte de l'ensemble des observations faites sur la distribution de l'éclairage autour du foyer lumineux que, pour les lampes soumises à nos essais, on peut en général distinguer dans la sphère dont le foyer occupe le centre quatre zones assez nettement définies.

1° L'hémisphère supérieur, qui ne reçoit qu'une faible partie de l'éclairage total, et dans lequel, en moyenne, et en se bornant à une grossière approximation, on peut regarder l'intensité comme variant à peu près proportionnellement au sinus de l'angle d'inclinaison, relation représentée par une expression de la forme $i = H(1 - \sin \theta)$, l'angle θ formé par les rayons avec la direction horizontale étant compté positivement au-dessus de cette direction.

2° Dans l'hémisphère inférieur, une zone d'intensités croissantes, pour laquelle les intensités ont des valeurs qui, en moyenne, sont assez bien représentées par des expressions de la forme $i = H + a \sin \theta$, θ étant l'angle formé par les rayons avec l'horizontale compté positivement au-dessous de cette droite, et a une constante dont la valeur pour la majorité des lampes essayées a été comprise entre 1,2 et 1,3.

3° Dans le même hémisphère une zone d'intensités décroissantes, dans laquelle les intensités diminuent rapidement pour devenir nulles dans le voisinage de la verticale inférieure. En remplaçant, pour cette zone, la ligne de répartition de l'éclairage par la ligne droite qui s'en écarte le moins, on aurait pour représenter les intensités relatives une expression d'une forme semblable aux précédentes, savoir $i = b - c \sin \theta$.

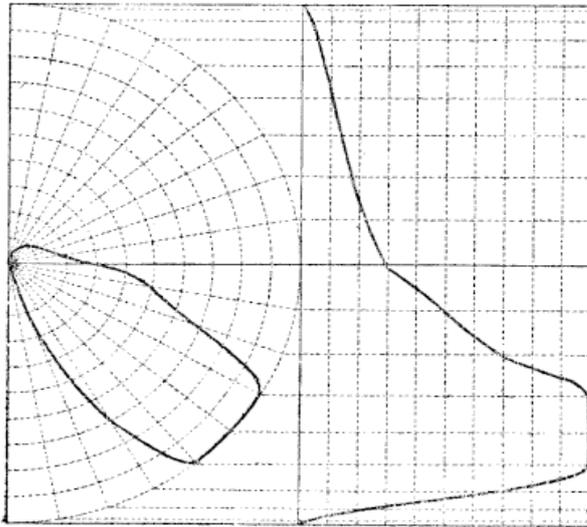


Fig. 40.

4° Enfin les deux zones d'intensités croissantes et d'intensités décroissantes sont reliées l'une à l'autre par une dernière zone plus étroite, dans laquelle les variations d'intensité lumineuse étant beaucoup moins rapides, on peut regarder l'éclairage comme à peu près uniforme dans toute l'étendue de la zone, que nous appellerons zone d'intensité maximum; l'intensité des rayons pourra y être représentée par $i = M$.

La hauteur de cette dernière zone, généralement faible, peut cependant prendre en certain cas

une valeur assez considérable, notamment lorsque le cratère est incliné dans le sens de l'émission des rayons, comme on peut le constater dans le diagramme de la page 103 ainsi que dans le diagramme figure 39, représentant l'une des séries d'observations faites sur une lampe Piette et Krizik de 16 ampères.

RÉSULTATS DES ESSAIS.

Les lampes à arc successivement expérimentées sont les suivantes :

- 1° Une lampe Cramer et Dornfeld présentée par la maison Spieker ;
- 2° Une lampe de M. Dulait ;
- 3° Une lampe Gramme de 16 ampères ;
- 4° Une lampe Gramme de 6 ampères ;
- 5° Une lampe Gramme de 4 ampères ;
- 6° Une lampe Gramme de 13 ampères ;
- 7° Une lampe Gulcher de 16 ampères ;
- 8° Une lampe Gulcher de 8 ampères ;

Les lampes désignées sous les numéros 2 et 8 étaient soumises à l'examen du Comité par la Compagnie générale d'électricité.

- 9° Une lampe de Puydt ;
- 10° Une lampe Jaspar, présentées par M. Jaspar ;
- 11° Une lampe Piette et Krizik de 16 ampères ;
- 12° Une lampe Piette et Krizik de 10 ampères ;
- 13° Une lampe Piette et Krizik de 8 ampères ;

Les trois lampes Piette et Krizik étaient présentées par MM. Schuckert et Bouckaert et C^{ie}.

- 14° Une lampe Crompton, par la Société des forges et fonderies de Gilly.
- 15° Une lampe Brush de 20 ampères ;
- 16° Une lampe Brush de 10 ampères ;
- 17° Une lampe Brush à mouvement d'horlogerie ;
- 18° Une lampe Brush à deux charbons (type 9 ampères) ;

présentées par la Société l'Electrique.

Enfin 19° la lampe Pieper qui a été successivement essayée à des intensités de 4, 6, 7 et 8 ampères.

De plus, un certain nombre de lampes ont successivement fonctionné avec des charbons de divers diamètres.

Nous donnons ci-après pour chacun de ces essais variés l'intensité lumineuse horizontale, le tableau et le diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons, les intensités moyennes hémisphériques ou sphériques, en même temps que les valeurs correspondantes de l'intensité du courant, des différences de

potentiel aux bornes, de la puissance dépensée dans l'arc, de la puissance en watts par carcel et du nombre de carcels par cheval. Nous avons cru qu'il ne serait pas sans intérêt d'y joindre les valeurs comparées de l'intensité moyenne sphérique calculée, soit par l'intégration des diagrammes, soit par la formule empirique $\frac{H}{2} + \frac{M}{4}$ et rapportée à l'intensité maximum prise pour unité.

Lampe Cramer et Dornfeld.

Régime indiqué : 50 volts, 9 ampères. Charbons Siemens de 11mm/11mm.

Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.
(Moyenne de deux séries d'observations.)

Angle des rayons avec l'horizontale au-dessous de l'horizon.	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
0°	0,307	
10°	0,510	353
20°	0,734	524
30°	0,944	663
35°	1,000	358
40°	0,881	323
50°	0,572	447
60°	0,143	179
90°	0,000	49

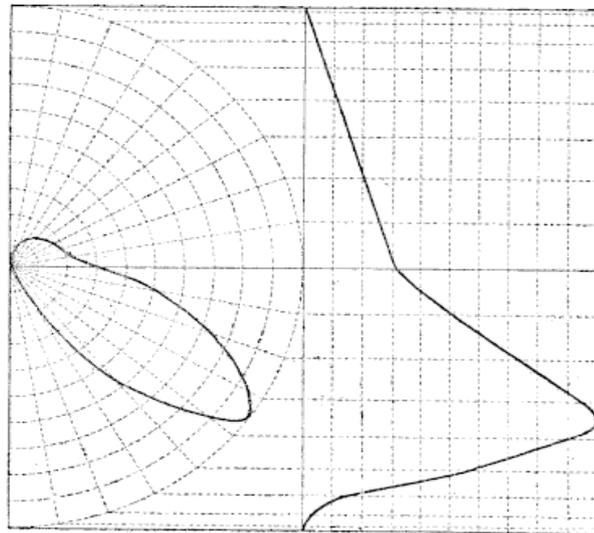


Fig. 41.

Intensité horizontale 57 carcels (moyenne de quatre séries d'observations).

Intensité maximum 185 carcels.

Intensité hémisphérique supérieure. Les intensités des rayons au-dessus de l'horizon n'ayant pas été mesurées, nous admettons pour le calcul de l'intensité moyenne sphérique, que l'intensité hémisphérique supérieure est approximativement égale à $\frac{H}{4}$ ou 14,25 carcels.

Intensité hémisphérique inférieure $M \times 0,29 = 54$ carcels.

Intensité moyenne sphérique 68,25.

Intensité du courant 8,6 ampères.

Différence des potentiels aux bornes 47,6 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 409 watts.

Puissance en watts par carcels 5,99.

Nombre de carcels par cheval 123.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,367.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$. . . 0,403

Lampe Dulait.

Charbons Siemens de 16mm/16mm à âme au positif.

Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.
(Moyennes de quatre séries d'observations.)

Angle des rayons avec l'horizontale au-dessous de l'horizon.	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
0°	0,172	
10°	0,380	240
20°	0,608	416
30°	0,870	584
40°	1,000	668
50°	0,700	324
60°	0,217	229
70°	0,047	49
90°	0,000	7
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,172	
30°	0,112	355
60°	0,063	162
90°	0,000	22

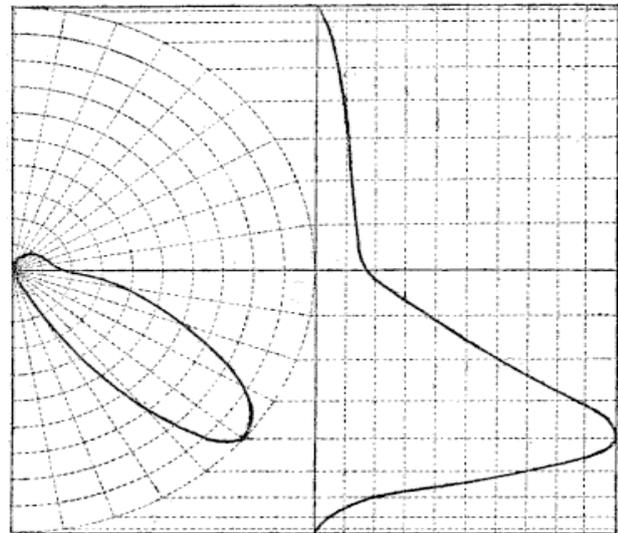


Fig. 42.

Intensité horizontale 72,8 carcels (moyenne de trois séries d'observations).

Intensité maximum 423 carcels.

Intensité hémisphérique supérieure 23 carcels.

Intensité hémisphérique inférieure 114 carcels.

Intensité moyenne sphérique 137 carcels.

Intensité du courant en ampères 14,6.

Différence des potentiels aux bornes 47 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 686 watts.

Puissance en watts par carcel 5,00.

Nombre de carcels par cheval 147.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,326

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$. . . 0,336.

Lampe Gramme de 16 ampères.

Charbons Siemens de 16mm/16mm à âme au positif.

Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.

(Moyennes de quatre séries d'observations.)

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,154	
40°	0,426	252
20°	0,640	449
30°	0,920	616
40°	1,000	683
50°	0,806	556
60°	0,499	326
90°	0,000	167
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,154	
30°	0,410	330
60°	0,029	127
90°	0,000	10

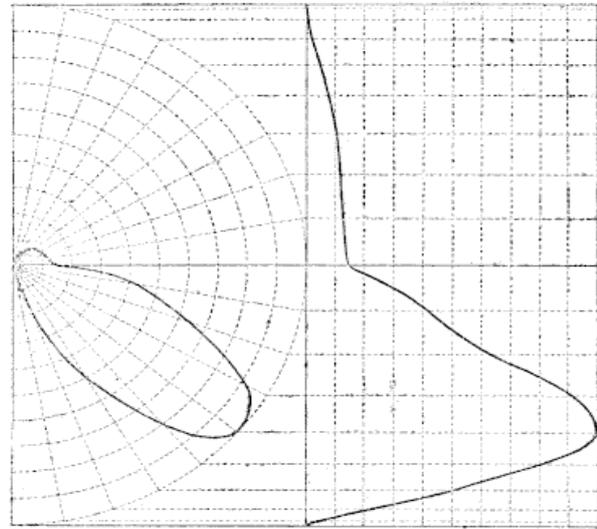


Fig. 43.

Intensité horizontale 72,5 carrels (moyenne de trois séries d'observations).

Intensité maximum 471 carrels.

Intensité hémisphérique supérieure 22 carrels.

Intensité hémisphérique inférieure 144 carrels.

Intensité moyenne sphérique 166 carrels.

Intensité du courant 15,9 ampères.

Différence de potentiels aux bornes 46,2 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 735 watts.

Puissance en watts par carcel 4,43.

Nombre de carrels par cheval 166.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,352

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$. . . 0,327.

Lampe Gramme de 16 ampères, fonctionnant avec un courant de 12,5 ampères.

Charbons Siemens de 16mm/16mm à âme au positif.

*Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.
(Moyennes de quatre séries d'observations.)*

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,204	
10°	0,422	272
20°	0,617	437
30°	0,850	579
40°	1,000	660
50°	0,825	562
60°	0,559	346
70°	0,207	144
90°	0,000	32
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,204	
30°	0,138	427
60°	0,044	166
90°	0,000	15

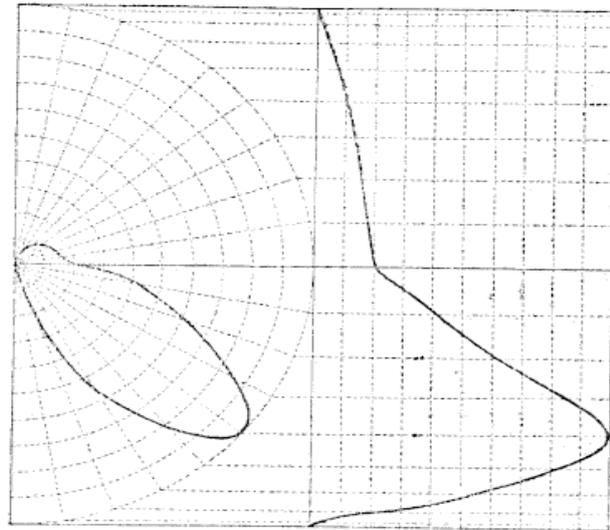


Fig. 44.

Intensité horizontale 53,7 carcels (moyenne de quatre séries d'observations).

Intensité maximum 265 carcels.

Intensité hémisphérique supérieure 16,2 carcels.

Intensité hémisphérique inférieure 80,2 carcels.

Intensité moyenne sphérique 96,4.

Intensité du courant 12,5 ampères.

Différence de potentiels aux bornes 47,3 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 591 watts.

Puissance en watts par carcel 6,13.

Nombre de carcels par cheval 120.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,364.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,352.

Lampe Gramme de 6 ampères.

Charbons Siemens de 10mm/10mm.

*Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.
(Moyennes de quatre séries d'observations.)*

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,454	
10°	0,372	228
20°	0,371	397
30°	0,832	362
40°	1,000	661
50°	0,817	360
60°	0,229	261
70°	0,044	50
90°	0,000	7
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,454	
30°	0,143	333
60°	0,037	137
90°	0,000	42

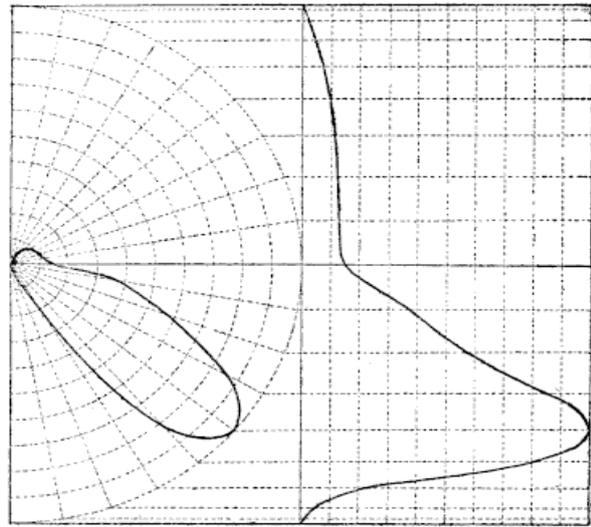


Fig. 45.

Intensité horizontale 22,4 carrels (moyenne de quatre séries d'observations).

Intensité maximum 145,4 carrels.

Intensité hémisphérique supérieure 8,4 carrels.

Intensité hémisphérique inférieure 39,7 carrels.

Intensité moyenne sphérique 48,1 carrels.

Intensité du courant 5,6 ampères.

Différence de potentiels aux bornes 46,2 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 259 watts.

Puissance en watts par carrel 5,38.

Nombre de carrels par cheval 137.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,331.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$. 0,327.

Lampe Gramme de 4 ampères.

La lampe Gramme de 4 ampères, fonctionnant avec des charbons de 10^{mm}/10^{mm}, 7^{mm}/7^{mm}, 10^{mm}/6^{mm} a donné les résultats ci-dessous :

Charbons $10^{\text{mm}}/10^{\text{mm}}$:

Intensité du courant 3,88 ampères.

Différence de potentiels aux bornes 46,9 volts.

Intensité lumineuse horizontale 9 carcels.

Charbons $7^{\text{mm}}/7^{\text{mm}}$:

Intensité du courant 4,02 ampères.

Différence de potentiels aux bornes 44,3 volts.

Intensité lumineuse horizontale 17,7 carcels.

Pendant les déterminations relatives à ces dernières conditions de fonctionnement, l'intensité du courant et la différence de potentiels aux bornes de la lampe ont présenté des variations considérables.

Charbons $10^{\text{mm}}/6^{\text{mm}}$:

Intensité du courant 3,64 ampères.

Différence de potentiels aux bornes 46,4 volts.

Intensité lumineuse horizontale 5,7 carcels.

Les intensités relatives sous différentes inclinaisons n'ont pas été déterminées pour les deux premiers modes de fonctionnement de la lampe.

Pour la lampe fonctionnant avec des charbons de $10^{\text{mm}}/6^{\text{mm}}$, on n'a mesuré que quelques intensités relatives dans l'hémisphère inférieur seulement et dans deux azimuts opposés. Nous les donnons dans le tableau ci-dessous, en même temps que le diagramme qui les représente. Dans l'hémisphère supérieur, l'intensité lumineuse devenait insensible à partir de directions faisant un angle assez faible avec l'horizon. L'éclairage de cet hémisphère peut donc être considéré comme ne faisant qu'une fraction très petite et négligeable de l'éclairage total.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,653	
10°	"	
20°	0,487	462
30°	0,774	498
40°	1,000	633
50°	"	"
60°	0,933	1079
70°	0,599	282
90°	0,000	90

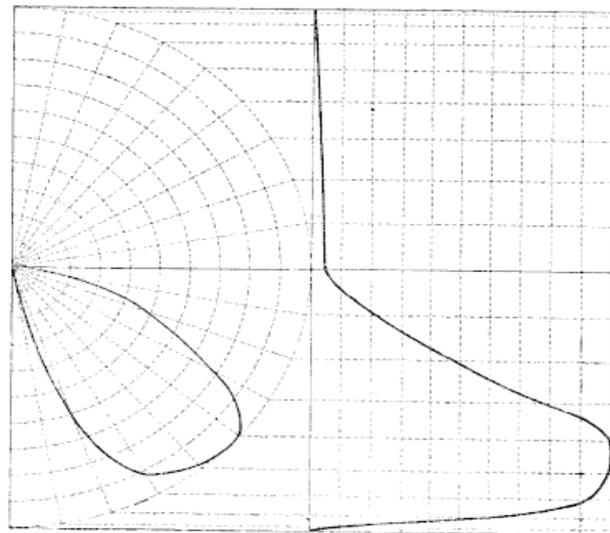


Fig. 46.

En s'appuyant sur ces données et en négligeant l'éclairage de l'hémisphère supérieur, on trouverait pour l'intensité moyenne sphérique 32,6 carcels.

La puissance dépensée dans l'arc étant de 169 watts, la puissance en watts par carcel serait de 5,2. Nous ne donnons toutefois ces résultats que sous réserve, les mesures des intensités relatives nous paraissant présenter une incertitude assez grande par suite de l'extrême rapidité avec laquelle l'intensité lumineuse variait dans le voisinage de la direction horizontale.

Lampe Gramme de 13 ampères.

*Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.
(Moyennes de deux séries d'observations.)*

Angle des rayons avec l'horizontale au-dessous de l'horizon	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
0°	0,361	
10°	0,637	433
26°	0,883	640
30°	1,000	744
40°	0,974	703
50°	0,891	574
60°	0,546	332
70°	0,138	124
90°	0,000	24

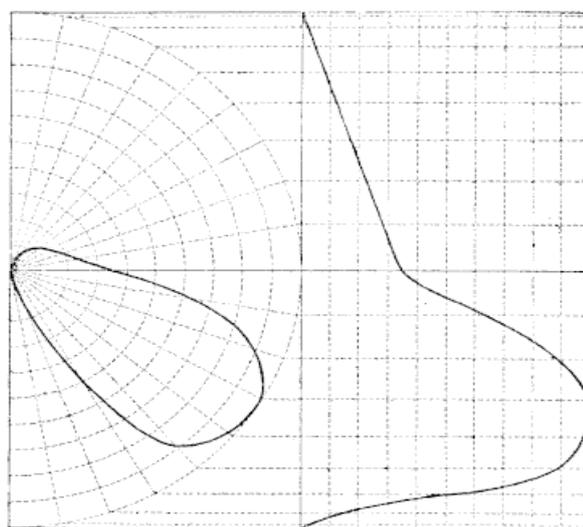


Fig. 47.

Intensité horizontale 95,5 carcels (moyenne de deux séries d'observations).

Intensité maximum 265 carcels.

Intensité hémisphérique supérieure 23,9 carcels (*).

Intensité hémisphérique inférieure 95,4 carcels.

Intensité moyenne sphérique 119,3.

Intensité du courant 12,9 ampères.

Différence de potentiels aux bornes 45,5 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 587 watts.

(*) Les intensités relatives au-dessus de l'horizon n'ayant pas été mesurées, on a pris pour l'intensité hémisphérique supérieure le quart de l'intensité horizontale.

Puissance par carcel 4,92 watts.

Nombre de carcels par cheval 149.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,450

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,430.

Lampe Gulcher de 16 ampères.

Charbons Siemens de 16mm/16mm.

Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.

(Moyennes de deux séries d'observations.)

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.	0,290	
0°	0,440	328
10°	0,616	443
20°	0,826	570
30°	1,000	652
40°	0,869	576
50°	0,475	336
60°	0,272	137
70°	0,000	44
90°		
au-dessus de l'horizon.	0,290	
0°	0,172	367
30°	0,116	263
60°	0,000	39
90°		

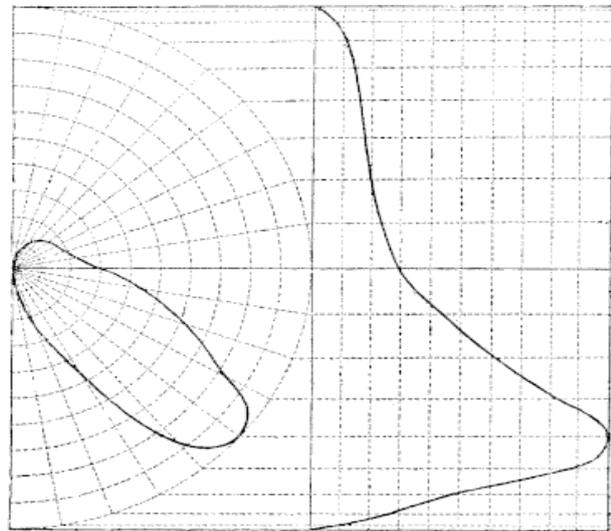


Fig. 48.

Intensité horizontale 93,8 carcels (moyenne de quatre séries d'observations).

Intensité maximum 323 carcels.

Intensité hémisphérique supérieure 28 carcels.

Intensité hémisphérique inférieure 100 carcels.

Intensité moyenne sphérique 128 carcels.

Intensité du courant 15,1 ampères.

Différence de potentiels aux bornes 41,2 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 622 watts.

Puissance par carcel 4,86 watts.

Nombre de carcels par cheval 151.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,396.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$. . . 0,395.

Observation. — Le fonctionnement de la lampe a manqué de régularité. Il s'est produit pendant les essais des variations considérables dans les valeurs de l'intensité du courant, de la différence de potentiels ainsi que de l'intensité horizontale dans chacun des azimuts où elle a été mesurée.

Lampe Gulcher de 8 ampères.

Charbons Siemens de 10mm/10mm.

*Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.
(Moyennes de deux séries d'observations.)*

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairement dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,213	
10°	0,419	274
20°	0,374	418
30°	0,848	362
40°	1,000	660
50°	0,373	433
60°	0,073	411
90°	0,000	24
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,213	
30°	0,069	333
60°	0,023	84
90°	0,000	8

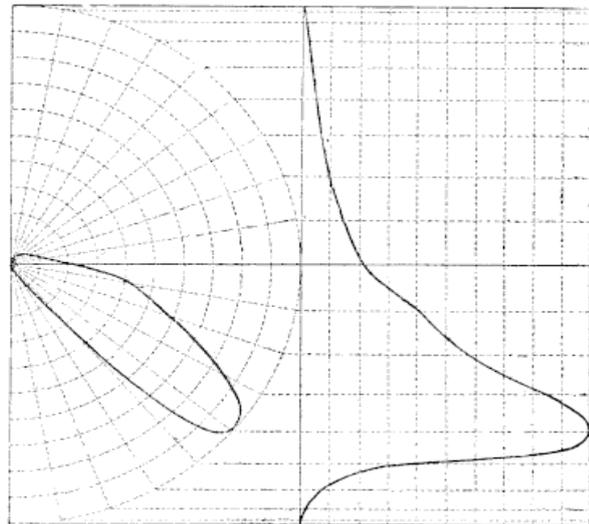


Fig. 49.

Intensité horizontale 44,5 carrels (moyennes de quatre séries d'observations).

Intensité maximum 207 carrels.

Intensité hémisphérique supérieure 9,3 carrels.

Intensité hémisphérique inférieure 51,3 carrels.

Intensité moyenne sphérique 60,6 carrels.

Intensité du courant 7,6 ampères.

Différence de potentiels aux bornes 46 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 350 watts.

Puissance par carcel 5,78 watts.

Nombre de carrels par cheval 127.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,293.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$. . . 0,357.

Lampe De Puydt.

Charbons Siemens de 12mm/12mm.

*Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.
(Moyennes de trois séries d'observations.)*

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,170	
10°	0,322	213
20°	0,539	371
30°	0,793	574
40°	1,000	676
50°	0,929	594
60°	0,450	345
70°	0,064	95
90°	0,000	40
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,170	
30°	0,094	330
60°	0,022	406
90°	0,000	7

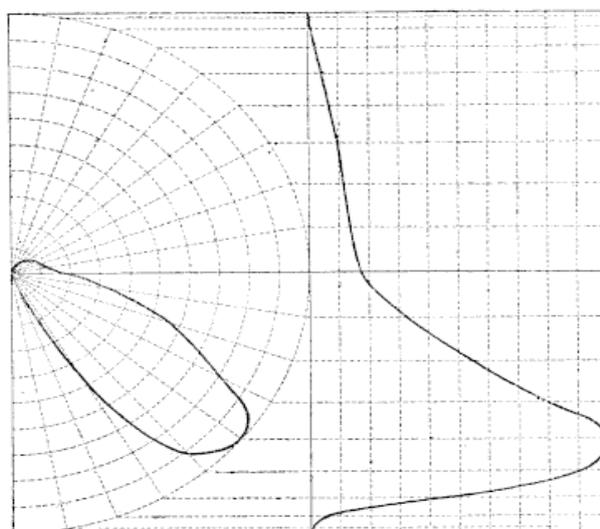


Fig. 50.

Intensité horizontale 61 carrels (moyenne de quatre séries d'observations).

Intensité maximum 362 carrels.

Intensité hémisphérique supérieure 15,9 carrels.

Intensité hémisphérique inférieure 104,3 carrels.

Intensité moyenne sphérique 120,2 carrels.

Intensité du courant 14,8 ampères.

Différence de potentiels aux bornes de la lampe 44,9 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 664,5 watts.

Puissance par carrel 5,53.

Nombre de carrels par cheval 133.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,332.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$. . . 0,335.

Lampe Jaspar.

Charbons Siemens de 14mm/14mm.

Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.

(Moyennes de deux séries d'observations.)

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,184	
10°	0,413	259
20°	0,599	426
30°	0,901	592
40°	1,000	678
50°	0,807	556
60°	0,586	348
70°	0,233	134
90°	0,000	33
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,184	
30°	0,098	332
60°	0,046	132
90°	0,000	43

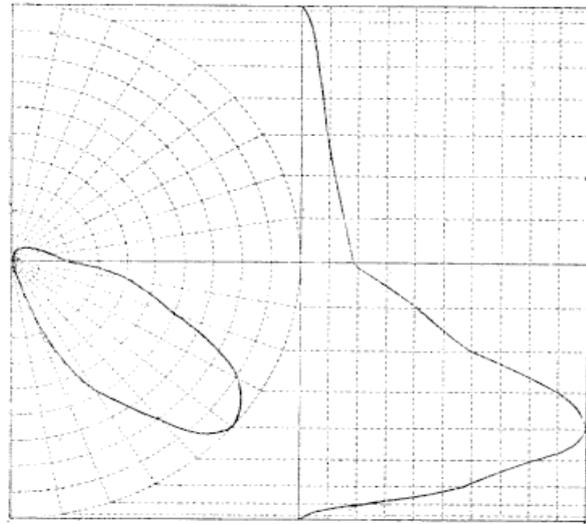


Fig. 31.

Intensité horizontale 102,4 carcels (moyenne de quatre séries d'observations).

Intensité maximum 557 carcels.

Intensité hémisphérique supérieure 28 carcels.

Intensité hémisphérique inférieure 170 carcels.

Intensité moyenne sphérique 198 carcels.

Intensité du courant 20,7 ampères.

Différence de potentiels aux bornes de la lampe 47,5 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 983 volts.

Puissance par carcel 4,96 watts.

Nombre de carcels par cheval 148.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,355.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,342.

Lampe Piette et Krizik de 16 ampères.

Charbons Schmelzer de 14mm/14mm.

Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.

(Moyennes de quatre séries d'observations.)

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millèmes.
au-dessous de l'horizon		
0°	0,206	
10°	0,387	257
20°	0,594	413
30°	0,869	578
40°	1,000	667
50°	0,913	589
60°	0,606	380
70°	0,138	137
90°	0,000	21
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,206	
30°	0,116	402
60°	0,037	138
90°	0,000	19

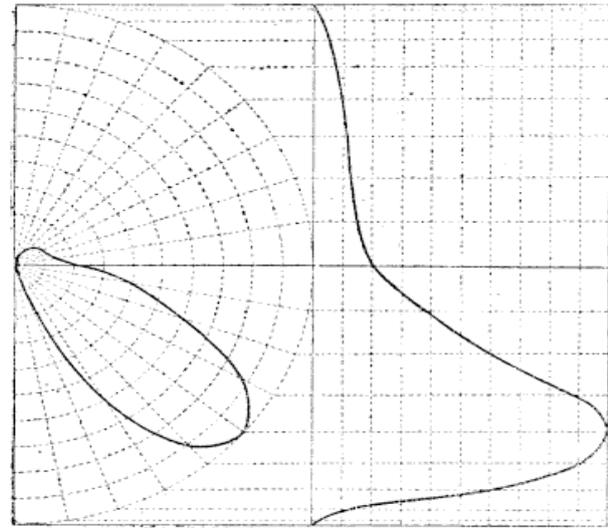


Fig. 32.

Intensité horizontale 91,9 carcels (moyenne de quatre séries d'observations).

Intensité maximum 446 carcels.

Intensité hémisphérique supérieure 25,9 carcels.

Intensité hémisphérique inférieure 135,6 carcels.

Intensité moyenne sphérique 161,5 carcels.

Intensité du courant 15,6 ampères.

Différence de potentiels aux bornes de la lampe 46,4 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 724 watts.

Puissance par carcel 4,48 watts.

Nombre de carcels par cheval 164.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,362

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,353.

Lampe Piette et Krizik de 10 ampères.

Charbons Siemens de 12mm/10mm.

Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.

(Moyennes de deux séries d'observations.)

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horiz.n.		
0°	0,203	
40°	0,424	272
20°	0,631	444
30°	0,779	337
40°	1,000	633
30°	1,000	616
60°	0,594	398
70°	0,463	450
75°	0,403	48
90°	0,000	9
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,203	
30°	0,417	400
60°	0,028	132
90°	0,000	9

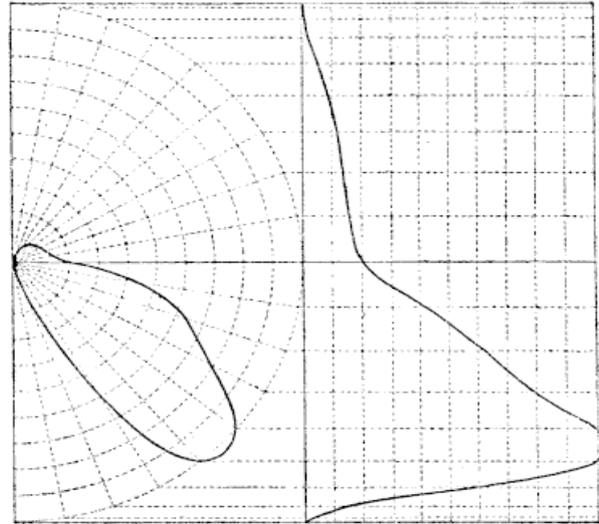


Fig. 53.

Intensité horizontale 56,1 carcel (moyenne de quatre séries d'observations).

Intensité maximum 276 carcel.

Intensité hémisphérique supérieure 15 carcel.

Intensité hémisphérique inférieure 85 carcel.

Intensité moyenne sphérique 100 carcel.

Intensité du courant 10,8 ampères.

Différence de potentiels aux bornes de la lampe 45,5 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 491 watts.

Puissance par carcel 4,91 watts.

Nombre de carcel par cheval 149.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,363

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,351.

Lampe Piette et Krizik de 10 ampères.

Charbons Schmelzer de 12mm/10mm.

Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.

(Voir l'observation ci-dessous.)

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,134	
10°	0,331	210
20°	0,633	414
30°	0,788	561
40°	1,000	638
50°	0,869	576
60°	0,531	333
70°	0,212	140
75°	0,128	22
90°	0,000	41
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,134	
30°	0,081	269
60°	0,019	91
90°	0,000	6

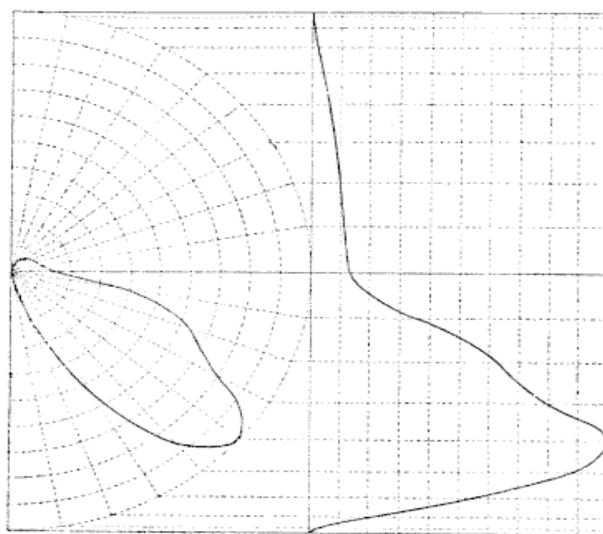


Fig. 34.

Intensité horizontale 52,7 carcel (moyenne de quatre séries d'observations).

Intensité maximum (voir l'observation ci-dessous) 260 carcel.

Intensité hémisphérique supérieure 14 carcel.

Intensité hémisphérique inférieure 80,3 carcel.

Intensité moyenne sphérique 94,3 carcel.

Intensité du courant 10,4 ampères.

Différences de potentiels aux bornes de la lampe 15,1 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 469 watts.

Puissance par carcel 4,97 watts.

Nombre de carcel par cheval 148.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,363.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,351.

Observation.— Le diagramme et le tableau ci-dessus sont donnés comme simple renseignement, les intensités relatives n'ayant été mesurées que dans un azimut, et le cratère ayant présenté une obliquité sensible pendant les deux séries d'obser-

vations faites dans cet azimut. L'intensité moyenne sphérique donnée plus haut a été calculée au moyen du diagramme obtenu dans le fonctionnement de la lampe avec des charbons Siemens.

Lampe Piette et Krizik de 8 ampères.

Charbons Schmelzer de 10mm/10mm.

*Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.
(Moyennes de deux séries d'observations.)*

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Repartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,450	
10°	0,396	237
20°	0,593	416
30°	0,824	560
40°	1,000	634
50°	0,720	530
60°	0,426	286
70°	0,131	103
90°	0,000	23
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,450	
30°	0,404	317
60°	0,027	120
90°	0,000	9

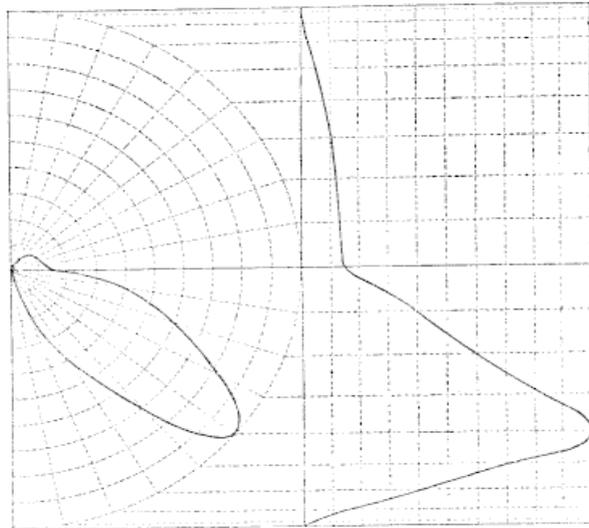


Fig. 53.

Intensité horizontale 26,5 carcel (moyenne de quatre séries d'observations).

Intensité maximum 177 carcel.

Intensité hémisphérique supérieure 8 carcel.

Intensité hémisphérique inférieure 49,7 carcel.

Intensité moyenne sphérique 57,7 carcel.

Intensité du courant 7,6 ampères.

Différence de potentiels aux bornes de la lampe 44,9 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 341 watts.

Puissance par carcel 5,91 watts.

Nombre de carcel par cheval 125.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,326.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,325.

Lampe Piette et Krizik de 8 ampères.

Charbons Schmelzer de 10mm/10mm.

*Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.**(Moyennes de quatre séries d'observations.)*

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.	0,165	
0°	0,360	
10°	0,589	228
20°	0,824	399
30°	1,000	558
40°	0,876	651
50°	0,440	378
60°	0,144	329
70°	0,000	107
90°		22
au-dessus de l'horizon.	0,165	
0°	0,106	
30°	0,070	339
60°	0,000	461
90°		23

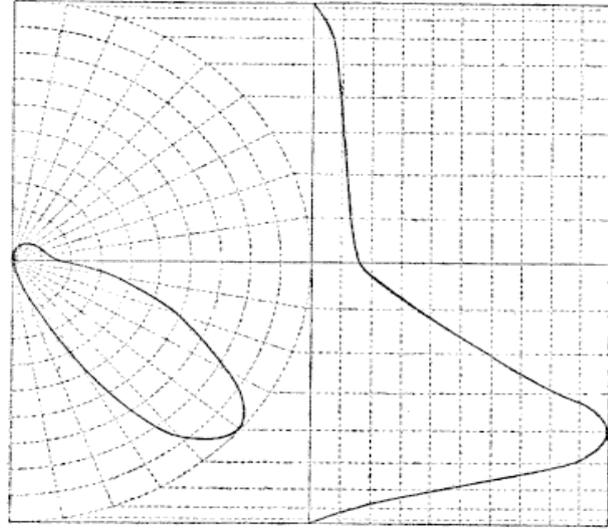


Fig. 56.

Intensité horizontale 33,9 carcels (moyenne de quatre séries d'observations).

Intensité maximum 206 carcels.

Intensité hémisphérique supérieure 10,7 carcels.

Intensité hémisphérique inférieure 59,1 carcels.

Intensité moyenne sphérique 69,8 carcels.

Intensité du courant 7,9 ampères.

Différence de potentiels aux bornes de la lampe 48 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 379 watts.

Puissance par carcel 5,43 watts.

Nombre de carcels par cheval 135.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,339.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,332.

Lampe Piette et Krizik de 8 ampères.

Charbons Siemens de 10mm/10mm.

*Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.**(Moyennes de deux séries d'observations.)*

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,488	
10°	0,339	229
20°	0,539	370
30°	0,818	536
40°	1,000	649
50°	0,916	590
60°	0,498	353
70°	0,143	118
90°	0,000	22
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,488	
30°	0,412	375
60°	0,033	134
90°	0,000	12

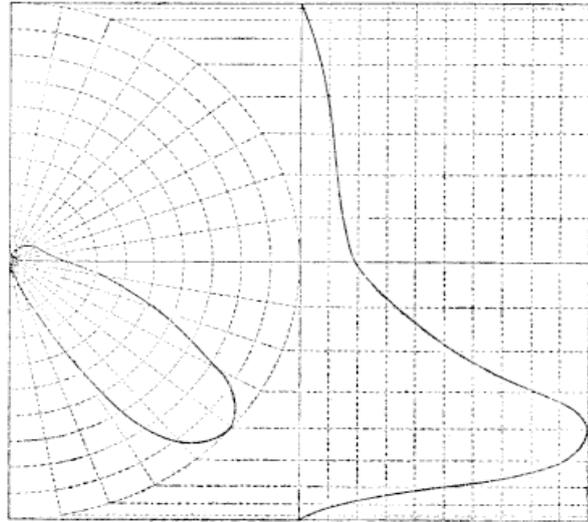


Fig. 57.

Intensité horizontale 35,7 carrels (moyenne de trois séries d'observations).

Intensité maximum 190 carrels.

Intensité hémisphérique supérieure 9,9 carrels.

Intensité hémisphérique inférieure 55,7 carrels.

Intensité moyenne sphérique 65,6 carrels.

Intensité du courant 8,2 ampères.

Différence de potentiels aux bornes de la lampe 47,5 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 389 watts.

Puissance par carcel 5,93 watts.

Nombre de carrels par cheval 124.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,345.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,344.

Lampe Crompton.

Charbons Siemens de 13mm/13mm.

*Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.**(Moyennes de deux séries d'observations.)*

Angle des rayons avec l'horizontale	Intensités relatives $M = 4$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,458	
10°	0,330	212
20°	0,534	364
30°	0,898	566
40°	1,000	678
50°	0,931	595
60°	0,692	406
70°	0,347	191
80°	0,068	47
90°	0,000	3
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,458	
30°	0,403	326
60°	0,048	438
90°	0,000	46

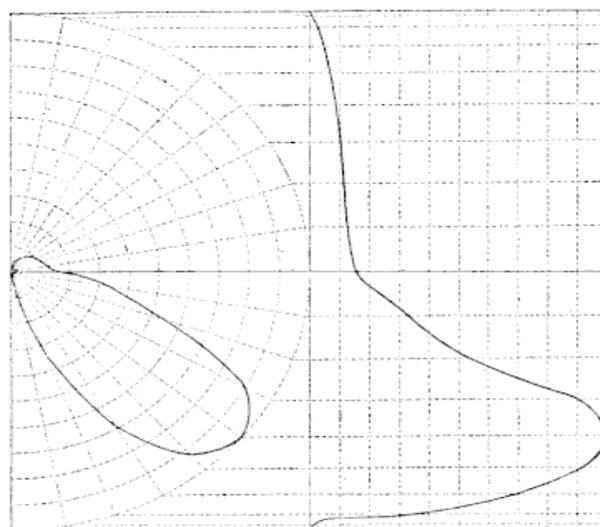


Fig. 58.

Intensité horizontale 60 carrels (moyenne de quatre séries d'observations).

Intensité maximum 373 carrels.

Intensité hémisphérique supérieure 18 carrels.

Intensité hémisphérique inférieure 114 carrels.

Intensité moyenne sphérique 132 carrels.

Intensité du courant 14,9 ampères.

Différence de potentiels aux bornes de la lampe 47,7 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 711 watts.

Puissance par carrel 5,38 watts.

Nombre de carrels par cheval 137.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,354.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,329.

Lampe Brush de 20 ampères.

Charbons Brush de 14mm/14mm à âme au positif non cuivré, négatif cuivré.

Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons
(mesurées dans un azimut).

Angle des rayons avec l'horizontale au-dessous de l'horizon.	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
0°	0,193	
10°	0,397	237
20°	0,488	372
30°	0,793	507
40°	0,973	632
50°	1,000	608
60°	0,871	468
70°	0,549	261
80°	0,000	83

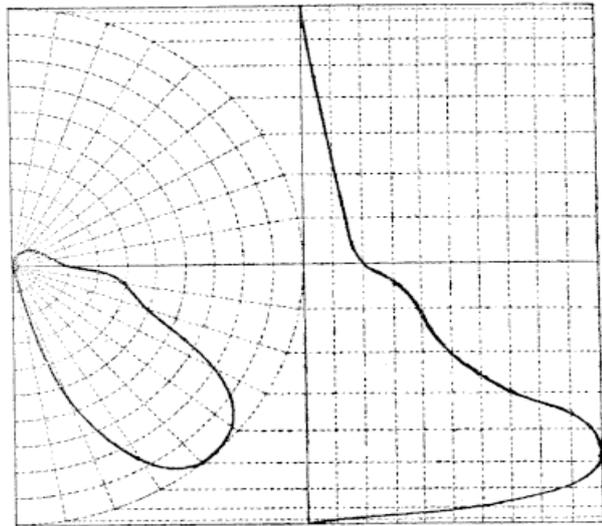


Fig. 59.

Intensité horizontale 102 carrels (moyenne de trois séries d'observations).

Intensité maximum 522 carrels.

Intensité hémisphérique supérieure 25 carrels.

(Les intensités relatives n'ayant été mesurées que dans l'hémisphère inférieur, on a admis pour le calcul de l'intensité hémisphérique supérieure que celle-ci a pour valeur le quart de l'intensité horizontale.)

Intensité hémisphérique inférieure 167 carrels.

Intensité moyenne sphérique 192 carrels.

Intensité du courant 19 ampères.

Différence de potentiels aux bornes de la lampe 50,6 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 961 watts.

Puissance par carcel 5,00 watts.

Nombre de carrels par cheval 147.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,367.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,347.

Lampe Brush de 10 ampères.

Charbons Brush de 11mm/11mm à âme au positif non cuivré, négatif cuivré.

Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.

(Moyennes de deux séries d'observations.)

Angle des rayons avec l'horizontale au-dessous de l'horizon.	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
0°	0,147	
10°	0,119	127
20°	0,330	210
30°	0,552	348
40°	0,759	468
50°	1,000	512
60°	0,637	414
70°	0,297	175
90°	0,000	43

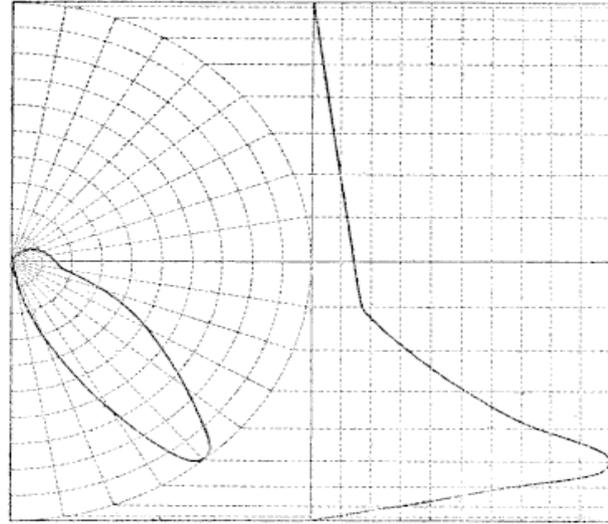


Fig. 60.

On observe des variations considérables dans les intensités relatives.

Intensité horizontale 37,2 carcels (moyenne de quatre séries d'observations).

Intensité maximum 253 carcels.

Intensité hémisphérique supérieure 9,3 carcels.

(Les intensités relatives sous différentes inclinaisons n'ayant été mesurées que pour l'hémisphère inférieur, on a admis pour le calcul de l'intensité moyenne sphérique que l'intensité hémisphérique supérieure était égale au quart de l'intensité horizontale.)

Intensité hémisphérique inférieure 59 carcels.

Intensité moyenne sphérique 68,3 carcels.

Intensité du courant 9,9 ampères.

Différence de potentiels aux bornes de la lampe 47,3 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 468 watts.

Puissance par carcel 6,85 watts.

Nombre de carcels par cheval 107.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,270.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,323.

Lampe Brush à mouvement d'horlogerie.

Charbons Brush de 11mm/11mm.

Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.

(Moyennes de deux séries d'observations.)

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,201	
10°	0,377	231
20°	0,617	431
30°	0,958	624
40°	1,000	699
50°	0,757	544
60°	0,201	239
70°	0,103	36
90°	0,000	15
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,201	
30°	0,696	371
60°	"	
90°	0,000	120

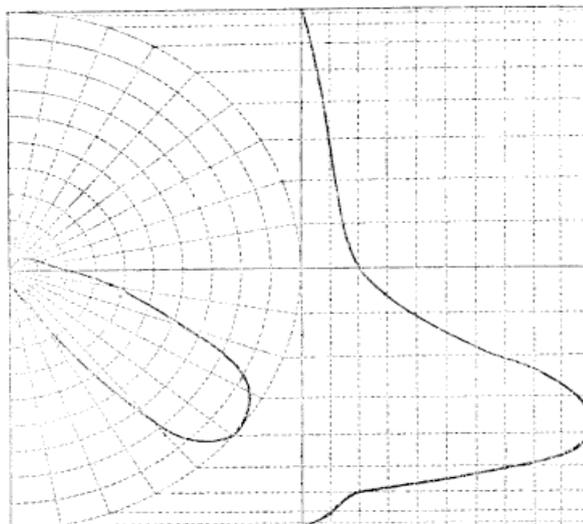


Fig. 61.

Intensité horizontale 42 carcel (moyenne de quatre séries d'observations).

Intensité maximum 209 carcel.

Intensité hémisphérique supérieure 10,2 carcel.

Intensité hémisphérique inférieure 60 carcel.

Intensité moyenne sphérique 70,2 carcel.

Intensité du courant 8 ampères.

Différence de potentiels aux bornes de la lampe 46,3 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 370,4 watts.

Puissance par carcel 5,28 watts.

Nombre de carcel par cheval 139.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,336.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,350.

Lampe Brush à deux charbons.

(Type 9 ampères.) Charbons Brush de 11mm/11mm.

*Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.
(Moyennes de deux séries d'observations.)*

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,312	
10°	0,379	300
20°	0,513	375
30°	0,862	543
40°	1,000	665
50°	0,488	438
60°	0,147	159
90°	0,000	56
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,312	
30°	0,436	583
60°	0,090	225
90°	0,000	30

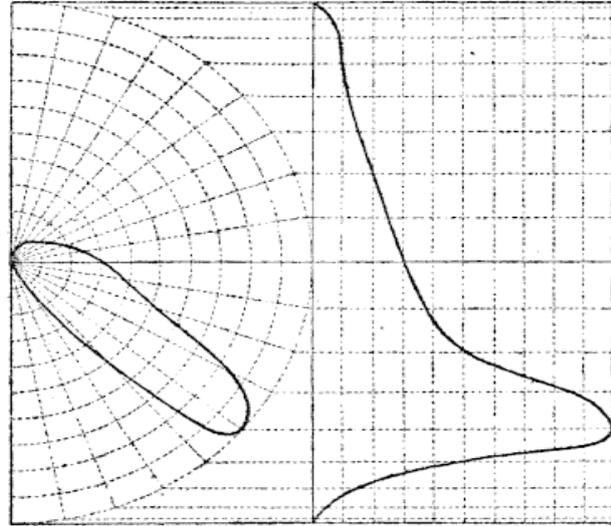


Fig. 62.

Intensité horizontale 31,9 carcels (moyenne de quatre séries d'observations).

Intensité maximum 102,3 carcels.

Intensité hémisphérique supérieure 8,6 carcels.

Intensité hémisphérique inférieure 26,2 carcels.

Intensité moyenne sphérique 34,8 carcels.

Intensité du courant 6,0 ampères.

Différence de potentiels aux bornes de la lampe 47,1 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 282,6 watts.

Puissance par carcel 8,12 watts.

Nombre de carcels par cheval 91.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,340.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,406.

Lampe Pieper.

La lampe Pieper se distingue des lampes dont les résultats viennent d'être donnés, en ce que la différence de potentiels aux bornes, en fonctionnement normal, reste inférieure à 40 volts; dans nos expériences, sa valeur moyenne, dans chacune des conditions variées de fonctionnement auxquelles elle a été soumise, n'a pas dépassé 38,5 volts, tandis que pour les autres lampes la différence des potentiels a été en général de 45 à 50 volts et s'est même élevée à 50,6 volts pour la lampe Brush de 20 ampères.

La même lampe a marché très régulièrement avec des courants de 4, 6, 7 et 8 ampères. Son intensité lumineuse a été mesurée pour chacun de ces régimes. Nous donnons ci-après les résultats de ces mesures, ainsi que les résultats obtenus en faisant marcher la lampe avec des charbons de divers calibres.

Lampe Pieper

marchant à 4 ampères avec des Charbons Siemens de 11mm/8mm.

*Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.
(Moyennes de quatre séries d'observations.)*

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,490	
10°	0,483	292
20°	0,746	517
30°	0,960	674
40°	1,000	700
50°	0,731	533
60°	0,203	234
90°	0,000	69
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,490	
30°	0,073	377
60°	0,000	67
90°	0,000	

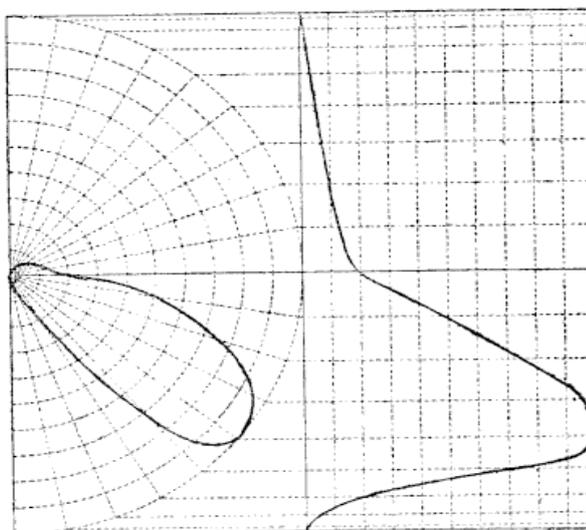


Fig. 63.

Intensité horizontale 9,9 carcels (moyenne de quatre séries d'observations).
 Intensité maximum 52,1 carcels.
 Intensité hémisphérique supérieure 2,3 carcels.
 Intensité hémisphérique inférieure 15,8 carcels.

Intensité moyenne sphérique 18,1 carcels.

Intensité du courant 4,22 ampères.

Différence de potentiels aux bornes de la lampe 37,2 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 157 watts.

Puissance par carcel 8,66 watts.

Nombre de carcels par cheval 85.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,347.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,345.

Lampe Pieper

marchant à 6 ampères, avec des charbons Siemens de 11mm/8mm.

*Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.
(Moyennes de quatre séries d'observations.)*

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 4$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,267	
40°	0,499	332
20°	0,730	517
30°	0,933	638
40°	1,000	691
50°	0,934	596
60°	0,568	375
90°	0,000	490
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,267	
30°	0,089	445
60°	0,000	81
90°	0,000	"

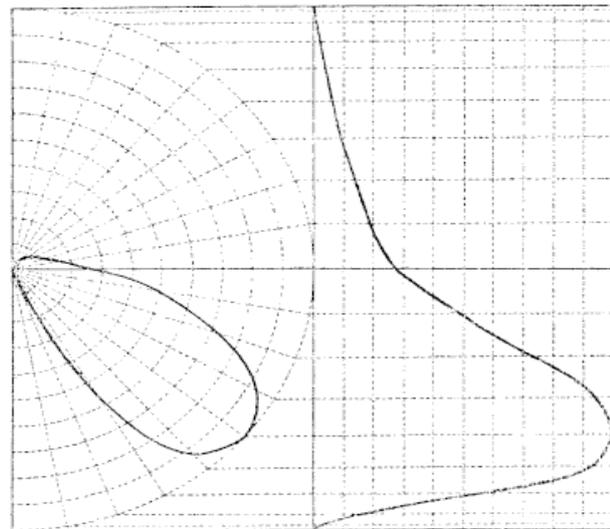


Fig 64.

Intensité horizontale 19,3 carcels (moyenne de quatre séries d'observations).

Intensité maximum 72,3 carcels.

Intensité hémisphérique supérieure 3,8 carcels.

Intensité hémisphérique inférieure 24,3 carcels.

Intensité moyenne sphérique 28,1 carcels.

Intensité du courant 5,93 ampères.

Différence de potentiels aux bornes de la lampe 38,5 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 228 watts.

Puissance par carcel 8,11 watts.

Nombre de carcel par cheval 91.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,389.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$. . . 0,383.

Lampe Pieper

marchant à 4 ampères, avec des charbons Siemens de 10mm/10mm.

Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons.
(Intensités mesurées dans un azimuth.)

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millèmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,455	
10°	0,220	453
20°	0,256	242
30°	0,843	474
40°	1,000	658
50°	0,443	444
90°	0,000	259
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,455	
30°	0,407	327
55°	0,037	445
90°	0,000	17

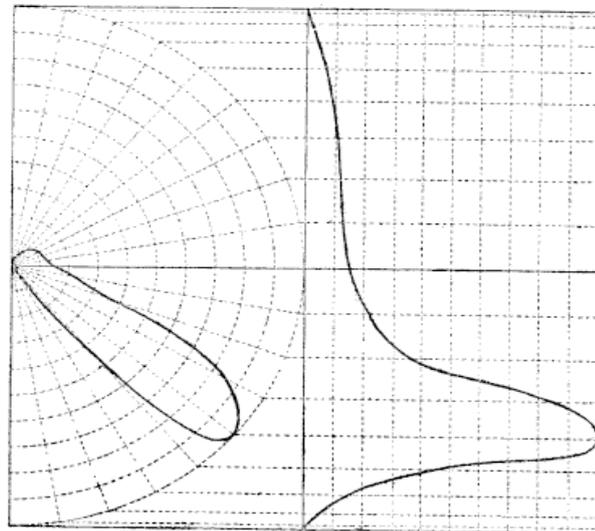


Fig. 63.

Intensité horizontale 9,4 carcel (moyenne de quatre séries d'observations).

Intensité maximum 60,6 carcel.

Intensité hémisphérique supérieure 2,8 carcel.

Intensité hémisphérique inférieure 13,5 carcel.

Intensité moyenne sphérique 16,3 carcel.

Intensité du courant 4,01 ampères.

Différence de potentiels aux bornes de la lampe 38,4 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 154 watts.

Puissance par carcel 9,45 watts.

Nombre de carcel par cheval 78.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,269.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,327.

Lampe Pieper

marchant à 6 ampères, avec des charbons Siemens de 10mm/10mm.

*Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons
(observées dans un azimut).*

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,180	
10°	0,403	234
20°	0,721	474
30°	0,897	639
40°	1,000	677
50°	0,638	504
60°	0,198	209
90°	0,000	66
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,180	
30°	0,124	376
50°	0,049	413
90°	0,000	29

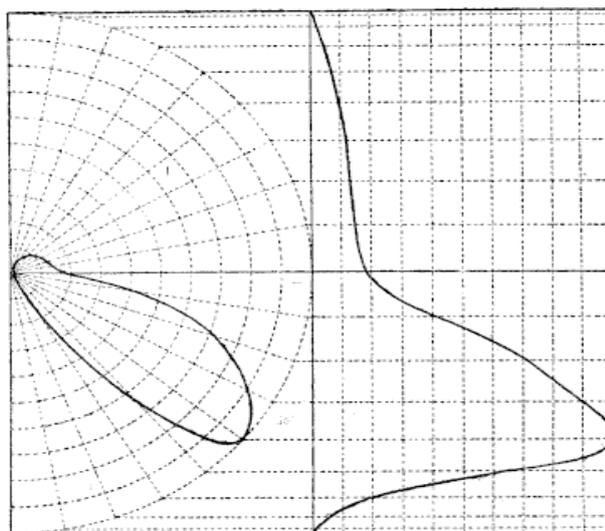


Fig. 66.

Intensité horizontale 17 carcels (moyenne de quatre séries d'observations).

Intensité maximum 94,2 carcels.

Intensité hémisphérique supérieure 4,9 carcels.

Intensité hémisphérique inférieure 26,6 carcels.

Intensité moyenne sphérique 31,5 carcels.

Intensité du courant 6,06 ampères.

Différence de potentiels aux bornes de la lampe 38,24 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 232,1 watts.

Puissance par carcel 7,37 watts.

Nombre de carcels par cheval 100.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,334.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,340.

Lampe Pieper

marchant à 7 ampères, avec des charbons Siemens de 10mm/10mm.

*Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons
(observées dans un azimuth).*

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITES relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,209	
10°	0,424	274
20°	0,667	439
30°	0,838	602
40°	1,000	663
50°	0,726	532
60°	0,416	283
70°	"	"
90°	0,000	139
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,209	
30°	0,403	390
55°	0,039	129
90°	0,000	27

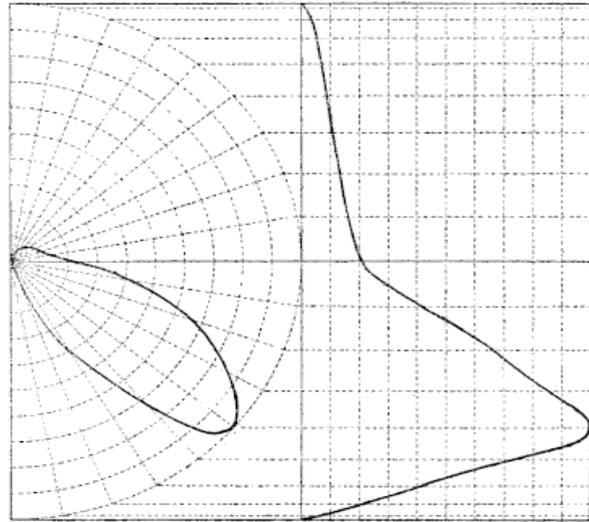


Fig. 67.

Intensité horizontale 21 carcels (moyenne de cinq séries d'observations).

Intensité maximum 100,4 carcels.

Intensité hémisphérique supérieure 5,5 carcels.

Intensité hémisphérique inférieure 29,6 carcels.

Intensité moyenne sphérique 35,1 carcels.

Intensité du courant 7,04 ampères.

Différence de potentiels aux bornes de la lampe 38,4 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 270,3 watts.

Puissance par carcel 7,70 watts.

Nombre de carcels par cheval 96.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,350.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,354.

Lampe Pieper

marchant à 8 ampères, avec des charbons Siemens de 10mm/10mm.

*Tableau et diagramme des intensités relatives sous différentes inclinaisons
(observées dans un azimut).*

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $M = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	0,209	
10°	0,383	238
20°	0,678	447
30°	0,937	638
40°	1,000	691
50°	0,784	549
60°	0,623	352
70°	0,433	139
90°	0,000	20
au-dessus de l'horizon.		
0°	0,269	
30°	0,088	371
55°	0,033	96
90°	0,000	45

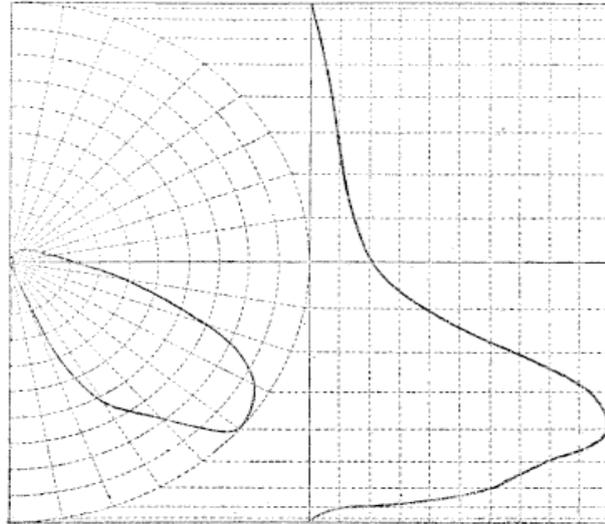


Fig. 68.

Intensité horizontale 25,2 carcels (moyenne de cinq séries d'observations).

Intensité maximum 120,3 carcels.

Intensité hémisphérique supérieure 5,8 carcels.

Intensité hémisphérique inférieure 37,1 carcels.

Intensité moyenne sphérique 42,9 carcels.

Intensité du courant 8,03 ampères.

Différence de potentiels aux bornes de la lampe 38,5 volts.

Puissance dépensée dans l'arc 309,2 watts.

Puissance par carcel 7,22 watts.

Nombre de carcels par cheval 102.

Intensité moyenne sphérique rapportée à l'intensité maximum :

1° d'après le diagramme 0,357.

2° d'après la formule $S = \frac{M}{4} + \frac{H}{2}$ 0,354.

EXPÉRIENCES SUR LES LAMPES A ARC.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Indication des lampes	CRAMER et Dornfeldt Siemens 11/11 9 amp.	Siemens 16/16 15 amp.	Siemens 16/16 16 amp.	Siemens 16/16 16 amp.	Siemens 16/16 6 amp.	Siemens 10/6 4 amp.	Siemens 13 amp.	Siemens 16/16 16 amp.	Siemens 10/10 8 amp.
Nature et diamètre des charbons									
Régime normal indiqué									
horizontale <i>H</i>	57	72,8	72,5	58,7	22,4	5,7	95,5	98,8	44,5
maximum <i>M</i>	185	423	471	265	145,4	107	265	323	207
lumineuse {	14,25	23	22	16,2	8,4	"	23,9	28	9,3
en carrels {	54	114	144	80,2	39,7	32,6	95,4	100	51,3
moyenne sphér. <i>S</i>	68,25	137	166	96,4	48,1	32,6	119,3	128	60,6
Intens. du courant en ampères	8,6	14,6	15,9	12,5	5,6	3,64	12,9	15,1	7,6
Diff. de potentiels aux bornes.	47,6	47	46,2	47,3	46,2	46,4	45,5	41,2	46
Puis. dépensée dans l'arc en watts	409	686	735	591	259	169	587	622	350
Puissance en watts par carcel	5,99	5,00	4,43	6,13	5,38	5,18	4,92	4,86	5,78
Nombre de carrels par cheval	123	147	166	120	137	142	149	151	127
Moyen. sphér. { d'après le diagr.	0,367	0,326	0,352	0,364	0,331	0,304	0,450	0,396	0,293
relative $\frac{S}{M}$ { " la for. $\frac{M}{4} + \frac{H}{2}$	0,403	0,336	0,327	0,352	0,327	0,273	0,430	0,395	0,357

Observations. — (*) Lampe de 16 ampères de la colonne 3, marchant à 12,5 ampères. — (**) Résultat douteux par suite des causes d'erreurs que présente la détermination des intensités relatives. — (***) Marche irrégulière. Variations considérables des intensités de courant et des différences de potentiels aux bornes.

EXPÉRIENCES SUR LES LAMPES A ARC.

	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Indication des lampes	DE PUYDT	JASPAR	PIETTE et Krizik Schmelzer 14/14	PIETTE et Krizik Siemens 12/10	PIETTE et Krizik (*) Schmelzer 12/10	PIETTE et Krizik Schmelzer 10/10	PIETTE et Krizik Schmelzer 10/10	PIETTE et Krizik Siemens 10/10	CROMP- TON Siemens 13/13
Nature et diamètre des charbons	Siemens 12/12	Siemens 14/14	Siemens 14/14	Siemens 12/10	Siemens 12/10	Siemens 10/10	Siemens 10/10	Siemens 10/10	Siemens 13/13
Régime normal indiqué	15 amp.	20 amp.	16 amp.	10 amp.	10 amp.	8 amp.	8 amp.	8 amp.	15 amp.
Intensité	61	102,4	91,9	56,1	52,7	26,5	33,9	35,7	60
lumineuse	362	557	446	276	260	177	206	190	373
en carrels	15,9	28	25,9	15	14	8	10,7	9,9	18
hémisphérique sup.	104,3	170	135,6	85	80,3	49,7	59,1	55,7	114
hémisphérique inf.	120,2	198	161,5	100	94,3	57,7	69,8	65,6	132
moyenne sphér. S.	14,8	20,7	15,6	10,8	10,4	7,6	7,9	8,2	14,9
Intens. du courant en ampères .	44,9	47,5	46,4	45,5	45,1	44,9	48	47,5	47,7
Diff. de potentiels aux bornes .	664,5	983	724	491	469	341	379	389	711
Puis. dépensée dans l'arc en watts	5,53	4,96	4,48	4,91	4,97	5,91	5,43	5,93	5,38
Puissance en watts par carrel .	133	148	164	149	148	125	135	124	137
Nombre de carrels par cheval .	0,332	0,355	0,362	0,363	0,363	0,326	0,339	0,345	0,354
Moyen. sphér. d'après le diagr.	0,335	0,342	0,353	0,351	0,351	0,325	0,332	0,344	0,329
relative $\frac{S}{M}$ } " la for. $\frac{M}{4} + \frac{H}{2}$									

Observation. — (*) Intensité moyenne sphérique calculée au moyen du diagramme de la même lampe marchant avec des charbons Siemens.

EXPÉRIENCES SUR LES LAMPES A ARC.

	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Indication des lampes	BRUSH 14/14	BRUSH (*) 11/11	BRUSH à mouvement d'horlogerie 11/11	BRUSH à 2 charb. (**) 11/11	PIEPER 11/8	PIEPER 11/8	PIEPER 10/10	PIEPER 10/10	PIEPER 10/10	PIEPER 10/10
Nature et diamètre des charbons	20 amp.	10 amp.	"	9 amp.	4 amp.	6 amp.	4 amp.	6 amp.	7 amp.	8 amp.
Régime normal indiqué.	102	37,2	42	31,9	9,9	19,3	9,4	17	21	25,2
Intensité	522	253	209	102,3	52,1	72,3	60,6	94,2	100,4	120,3
luminense	25	9,3	10,2	8,6	2,3	3,8	2,8	4,9	5,5	5,8
en carrels	167	59	60	26,2	15,8	24,3	13,5	26,6	29,6	37,1
	192	68,3	70,2	34,8	18,1	28,1	16,3	31,5	35,1	42,9
	19	9,9	8,0	6,0	4,22	5,93	4,01	6,06	7,04	8,03
Différence de potentiels aux bornes	50,6	47,3	46,3	47,1	37,2	38,5	38,4	38,24	38,4	38,5
Puissance dépensée dans l'arc en watts	961	468	370,4	282,6	157	228	154	232,1	270,3	309,2
Puissance en watts par carcel	5,00	6,85	5,28	8,12	8,66	8,11	9,45	7,37	7,70	7,22
Nombre de carrels par cheval	147	107	139	91	85	91	78	100	96	102
Moyenne sphér. (d'après le diagr.	0,367	0,270	0,336	0,340	0,347	0,359	0,269	0,334	0,350	0,357
relative $\frac{S}{M}$ } la for. $\frac{M}{4} + \frac{H}{2}$	0,347	0,323	0,350	0,406	0,345	0,383	0,327	0,340	0,354	0,354

Observations. — (*) Résultats douteux à cause des variations considérables observées pendant la détermination des intensités relatives. —
 (**) Lampe marchant dans des conditions irrégulières, le régime normal indiqué étant de 9 ampères.

En résumé, si l'on écarte un petit nombre de résultats douteux ou observés dans des conditions de fonctionnement irrégulières, on voit par les tableaux qui précèdent que :

1° Pour les lampes dont la différence de potentiels aux bornes a été de 45 à 50 volts (50,6 pour la lampe Brush de 20 ampères), la puissance en watts par carcel est restée comprise entre 6 et 4,43, et le nombre de carcels par cheval entre 123 et 166.

2° Pour les lampes de même type, mais de forces différentes, le nombre de carcels par cheval augmente avec l'intensité du courant correspondant au régime normal de la lampe. Ainsi, dans les essais des lampes Piette et Krizik, il a été de 124 à 135 pour la lampe de 8 ampères, de 149 pour la lampe de 10 ampères, et de 164 pour la lampe de 16 ampères.

3° Pour la lampe Pieper, dont la différence de potentiels aux bornes est restée comprise entre 37,2 et 38,5 volts, et que pour cette raison nous croyons convenable de classer à part, la puissance en watts par carcel a varié, suivant l'intensité du courant, de 9,45 à 7,22 et le nombre de carcels par cheval de 78 à 102; le rendement le plus faible correspond au régime de 4 ampères (courant minimum) et le rendement le plus fort au régime de 8 ampères (courant maximum); le rendement augmente donc aussi en général avec l'intensité du courant.

DEUXIÈME PARTIE.

LAMPES A INCANDESCENCE.

EXPOSITION DES MÉTHODES SUIVIES ET OBSERVATIONS GÉNÉRALES SUR LES RÉSULTATS OBTENUS.

Observations photométriques faites par le Comité.

Les essais faits sur les lampes à incandescence soumises à l'examen du Comité ont comporté, au point de vue de la photométrie, les déterminations suivantes :

1° La mesure de l'intensité horizontale moyenne.

A cet effet, pour les lampes dont l'intensité horizontale variait d'une manière

sensible avec l'azimut, on a mesuré les intensités lumineuses dans le plan du filament, dans un plan perpendiculaire et dans un plan à 45°. L'intensité horizontale moyenne a été calculée, conformément à la règle donnée par M. Hagenbach dans le rapport sur les expériences faites à l'Exposition d'Electricité de Paris, en ajoutant à la somme des intensités transversale et longitudinale le double de l'intensité à 45°, et en prenant le quart du résultat obtenu.

Pour d'autres lampes dont l'intensité horizontale variait beaucoup moins sensiblement avec la direction des rayons, on s'est contenté de prendre soit la moyenne des intensités de champ et de face, soit l'intensité horizontale mesurée dans une direction pour laquelle il n'y avait pas recouvrement des filaments.

2° Les intensités relatives sous différentes inclinaisons.

Ces intensités ont été mesurées, d'après la méthode qui sera exposée plus loin, pour un certain nombre de lampes appartenant aux différents types expérimentés, dans le plan du filament et dans un plan perpendiculaire.

3° L'intensité moyenne sphérique, que l'on a calculée au moyen des déterminations comprises dans les §§ 1 et 2.

4° Les variations d'intensité lumineuse produites par des changements de force électro-motrice et d'intensité de courant.

Dans toutes ces déterminations, la différence de potentiels aux bornes des lampes et l'intensité du courant ont été relevées en même temps que les indications du photomètre; et par conséquent la puissance dépensée dans les lampes a pu être calculée pour les diverses conditions de fonctionnement auxquelles elles ont été soumises.

Il eût été désirable de pouvoir déterminer aussi la durée des lampes correspondant à ces conditions variées; mais le temps limité consacré aux essais n'a pas permis au Comité de s'occuper de cette question importante.

Mesure de l'intensité lumineuse horizontale.

Dans les déterminations relatives à la mesure directe de l'intensité horizontale, la lampe soumise aux essais, placée à l'une des extrémités du banc photométrique, à une hauteur telle que son centre se trouvât sur l'horizontale passant par le centre de la tache de l'écran de papier, était comparée à la carcel placée de la même manière à l'autre extrémité du banc. Nous rappellerons que, dans l'étude des lampes à incandescence, de même que dans celle des lampes à arc, la consommation de la carcel a été constamment relevée pendant les observations; que cette consommation s'est écartée fort peu du chiffre de 42 grammes par heure, correspondant au fonctionnement de la carcel normale; et que, pour l'évaluation de l'intensité lumineuse des

lampes en carcels normales, on a admis que, dans les limites étroites où les écarts se sont maintenus, le pouvoir éclairant de la carcel est proportionnel à sa consommation.

Un rhéostat placé sur le passage du courant servait à maintenir entre les bornes de la lampe, pendant les observations photométriques relatives à son fonctionnement normal, une différence de potentiels constante et égale à celle qui avait été indiquée par l'exposant. Le même rhéostat a été également employé, dans l'étude des changements d'intensité lumineuse produits par des accroissements ou des diminutions de force électro-motrice, pour faire varier la différence des potentiels entre les bornes de la lampe étudiée.

Mesure des intensités relatives des rayons émis dans diverses directions. — Méthode suivie.

Pour mesurer les intensités relatives des rayons émis par la même lampe dans diverses directions, le Comité a eu recours à la méthode déjà exposée en principe dans la première partie de ce rapport. La lampe étudiée a été comparée, non à la carcel, mais à une lampe de même type et de même force placée en dérivation à l'autre extrémité du banc photométrique.

On a ainsi évité les causes d'erreurs qu'entraînent les changements d'intensité du courant lorsque l'on procède à cette étude comparative au moyen d'un étalon indépendant de la lampe essayée. En effet, la différence de potentiels aux bornes étant constamment la même pour les deux lampes comparées, les variations de force électro-motrice et d'intensité de courant n'avaient d'autre résultat que de faire varier dans la même proportion les intensités lumineuses de ces lampes; l'expérience nous a prouvé, en effet, que des changements, même très considérables, d'intensité de courant n'altéraient pas d'une manière sensible le rapport de ces intensités lumineuses.

C'est au moyen de la même méthode que nous avons aussi comparé entre elles les intensités lumineuses horizontales des divers spécimens de lampes appartenant au même type et fonctionnant avec une même différence de potentiels aux bornes; l'une de ces lampes ayant été mesurée directement en carcels normales, on a calculé les valeurs des autres lampes en carcels par le rapport de leurs intensités à l'intensité de la première.

Appareil employé à la mesure des intensités relatives.

Pour mesurer les intensités relatives des rayons émis, soit par une même lampe dans différentes directions, soit par diverses lampes dans la direction horizontale,

nous nous sommes servis d'un appareil construit, d'après les indications de l'auteur du présent rapport, par M. Gérard, préparateur de physique à l'Université de Bruxelles, que nous nous plaisons à remercier encore une fois de son concours intelligent et dévoué.

Cet appareil se compose d'une planchette *AA*, que l'on fixe verticalement à l'une des extrémités du banc photométrique, et parallèlement à son axe. Contre cette planchette est appliqué un cercle *B* portant, de $22^{\circ},5$ en $22^{\circ},5$, des entailles dans lesquelles peut s'engager une saillie d'une lame flexible tangente à la circonférence du cercle; ce cercle est mobile autour d'un axe horizontal passant par son centre et supportée par la planche *AA*.

Au centre du cercle *B*, est fixé un tube formé de trois branches, la première *D* parallèle au plan du cercle, la seconde *E* perpendiculaire à ce plan, et la troisième *F* parallèle à la première et à une distance suffisante du plan du cercle pour pouvoir fixer à cette dernière branche la lampe que l'on se propose d'étudier.

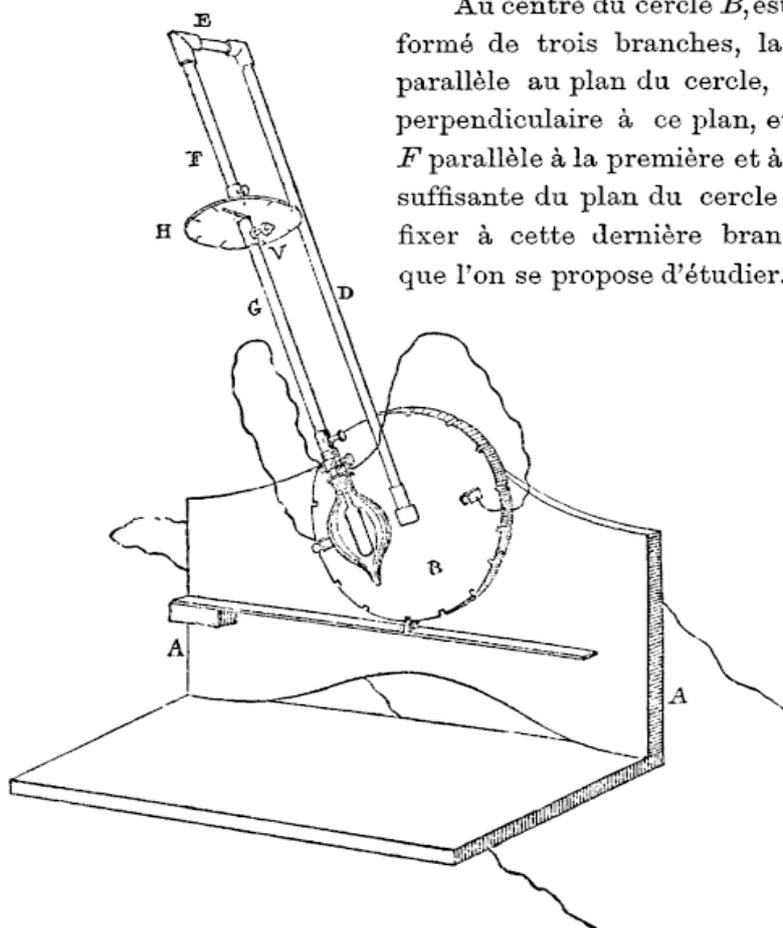


Fig. 69.

A cet effet, le support de cette lampe est ajusté dans un second tube *G*, dont le diamètre intérieur est égal au diamètre extérieur du premier tube, dans la dernière branche duquel il s'engage et peut être fixé à diverses distances au moyen d'une vis

de pression V . Cette disposition permet de faire mouvoir la lampe de manière à en amener le centre exactement en regard du centre du cercle gradué; on peut en outre faire tourner le second tube, et par suite la lampe, autour de son axe qui se confond avec l'axe du filament. Le tube mobile porte un index fixé perpendiculairement à cet axe et servant à mesurer l'angle de rotation; cette détermination se fait à l'aide d'un cercle gradué H percé en son centre d'une ouverture à laquelle est ajustée perpendiculairement au plan du cercle une douille mobile également le long de la dernière branche F' du tube coudé, et que l'on amène en contact avec l'index pendant les observations.

Dans les expériences qui ont pour objet la mesure des intensités horizontales dans divers azimuts, après avoir fait tourner le tube coudé de manière à l'amener dans la position verticale, et fixé la lampe de façon que son centre soit à la hauteur du centre du cercle vertical, on amène, ainsi qu'il vient d'être dit, le second cercle gradué en contact avec l'index, et en faisant tourner celui-ci, on donne successivement à la lampe les positions correspondant aux directions choisies.

Dans les essais relatifs à la mesure des intensités relatives sous différentes inclinaisons, après avoir fixé la lampe dans la position indiquée plus haut, on fait mouvoir le tube coudé et l'on procède aux mesures photométriques pour chacune des inclinaisons données à ce tube.

Déterminations relatives au calcul de l'intensité horizontale moyenne.

Les mesures de l'intensité horizontale faites sur les lampes Siemens, dans les directions longitudinale, transversale et à 45° , nous ont donné les résultats ci-dessous dans lesquels l'intensité à 45° est prise comme unité.

Lampes de 8 bougies.

Numéros des lampes	1	2	3	4	5	6
Intensité longitudinale	0,83	0,89	0,93	0,77	0,76	0,73
Intensité transversale	0,91	0,91	0,96	0,84	0,94	0,86
Intensité moyenne	0,93	0,95	0,97	0,90	0,92	0,90
Moyenne générale						0,92.

Lampes de 16 bougies.

Numéros des lampes	1	2	3	4	5	6
Intensité longitudinale	0,87	0,83	0,86	"	0,83	0,94
Intensité transversale	0,89	0,83	0,87	"	0,88	0,92
Intensité moyenne	0,94	0,915	0,93	"	0,92	0,96
Moyenne générale						0,93

Les intensités relatives des rayons émis horizontalement dans divers azimuts ont été déterminées, pour la lampe de 16 bougies n° 2, de 22°,5 en 22°,5; nous donnons ci-dessus les résultats de ces mesures, ainsi que le diagramme qui les représente.

Angle formé avec					
le plan du filament	0°	22°,5	45°	67°,5	
Intensités relatives	0,83	0,95	1,00	0,92	
Angle formé avec					
le plan du filament	90°	112°,5	135°	157°,5	180°
Intensités relatives	0,83	0,91	1	0,92	0,82

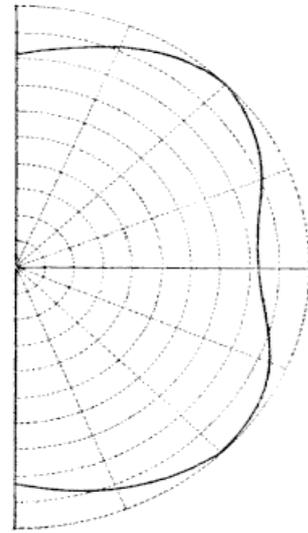


Fig. 70.

L'intensité moyenne déduite de ces résultats est 0,919, donc sensiblement la même que celle qui a été trouvée au moyen des intensités longitudinale, transversale et à 45°.

Pour les lampes Lane Fox, dont le filament est à section sensiblement circulaire, les différences que présentent les intensités des rayons émis horizontalement dans divers azimuts sont beaucoup moins considérables que pour les lampes Siemens dont le filament a une section rectangulaire ou carrée.

Nous donnons ci-dessous les valeurs de ces intensités relatives pour deux types de lampes soumis aux essais, l'intensité à 45° étant, comme ci-dessus, représentée par 1.

Lampes Lane Fox de 10 bougies.

Numéros des lampes	1	2	3	4	5	6
Intensité longitudinale	0,97	0,99	"	1	0,91	0,99
Intensité transversale	1,00	0,99	"	1,01	1,00	1,00
Intensité moyenne	0,992	0,995	"	1,002	0,977	0,997

Lampe Lane Fox de 20 bougies.

Numéros des lampes	1	2	3	4	5	6
Intensité longitudinale	0,97	0,99	1,02	1,00	1,00	1,00
Intensité transversale	1,01	1,00	1,00	1,00	1,03	1,01
Intensité moyenne	0,995	0,997	1,005	1,00	1,007	1,002

On voit que pour toutes ces lampes l'intensité horizontale moyenne diffère fort peu soit de l'intensité prise à 45° ou transversalement, soit de la moyenne des intensités longitudinale et transversale. C'est cette dernière moyenne que nous avons prise comme valeur de l'intensité horizontale pour les lampes Victoria Lane Fox de 100 volts, leur intensité à 45° n'ayant pas été mesurée.

Pour les lampes Cruto, nous avons reconnu également que les intensités lumineuses des rayons émis horizontalement restaient à peu près les mêmes dans les divers azimuts, et l'intensité horizontale n'a été en général mesurée que par des observations faites dans un azimut seulement.

Intensités relatives des rayons émis sous différentes inclinaisons.

Calcul de l'intensité moyenne sphérique.

Les intensités relatives des rayons émis sous différentes inclinaisons ont été déterminées pour un certain nombre de lampes appartenant aux différents types présentés, de 22°,5 en 22°,5 au-dessus et au-dessous de l'horizontale, dans le plan du filament et dans un plan perpendiculaire.

Nous donnons ci-après les résultats de ces mesures pour quelques-unes des lampes essayées, ainsi que les diagrammes des intensités relatives et les courbes représentant la distribution de la lumière dans les diverses zones de la sphère éclairée, en supposant que cette distribution suive la même loi dans les divers azimuts. Nous avons calculé, dans cette hypothèse, et en suivant la méthode qui a été exposée dans la première partie de ce travail, les quantités de lumière réparties dans les différentes zones, soit de l'hémisphère supérieur, soit de l'hémisphère inférieur, ainsi que les intensités moyennes hémisphériques, et l'intensité moyenne sphérique, en nous servant des valeurs obtenues pour les intensités relatives mesurées dans le plan longitudinal et dans le plan transversal. Il résulte de ces déterminations que pour les lampes Siemens, Lane Fox et Cruto l'intensité moyenne sphérique a une valeur à peu près égale à 0,8, l'intensité horizontale moyenne étant prise comme unité: c'est le chiffre que nous avons adopté pour le calcul de l'intensité moyenne sphérique des diverses lampes. La moyenne des résultats obtenus a été de 0,79 pour les lampes Siemens et Cruto, et 0,81 pour les lampes Lane Fox.

Les quantités de lumière émises dans les hémisphères supérieur et inférieur ne diffèrent pas beaucoup l'une de l'autre; nous avons trouvé leur rapport à peu près égal, en moyenne, à $\frac{0,39}{0,41}$, le dénominateur représentant l'éclairage de l'hémisphère inférieur lorsque la lampe est fixée verticalement au-dessous de son support.

Lampe Siemens de 8 bougies n° 2.

Plan du filament.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22°5	0,92	4834
45°	0,62	4250
67°5	0,45	580
90°	0,18	420
au-dessus de l'horizon.		
0°	1,00	
22°5	0,83	1767
45°	0,54	4129
67°5	0,30	453
90°	0,00	57

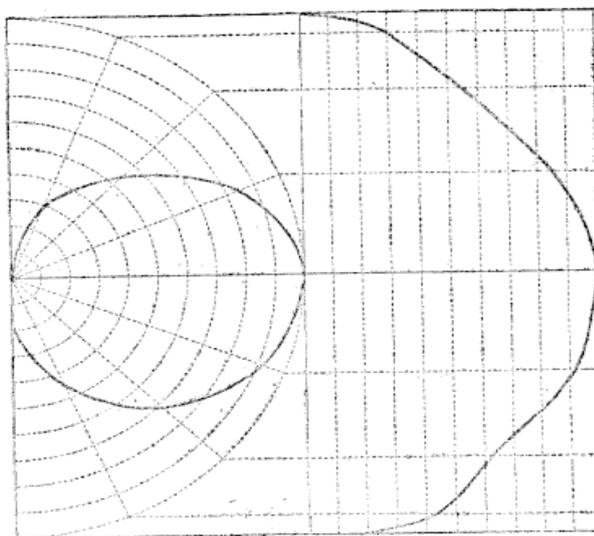


Fig. 71.

Plan perpendiculaire au filament.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22°5	0,94	4833
45°	0,78	4397
67°5	0,56	726
90°	0,18	439
au-dessus de l'horizon.		
0°	1,00	
22°5	0,95	4862
45°	0,74	4372
67°5	0,38	607
90°	0,00	73

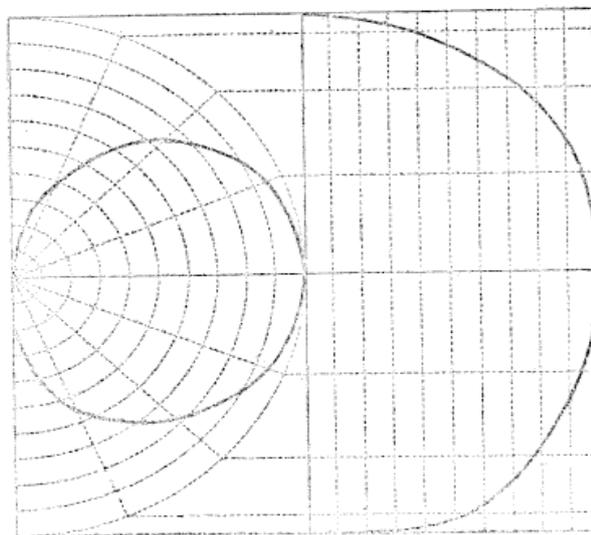


Fig. 72.

Lampe Siemens de 16 bougies n° 2.

Plan du filament.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22°5	0,96	1872
45°	0,82	1445
67°5	0,56	716
90°	0,19	143
au-dessus de l'horizon.		
0°	1,00	
22°5	0,93	1843
45°	0,72	1340
67°5	0,44	629
90°	0,00	84

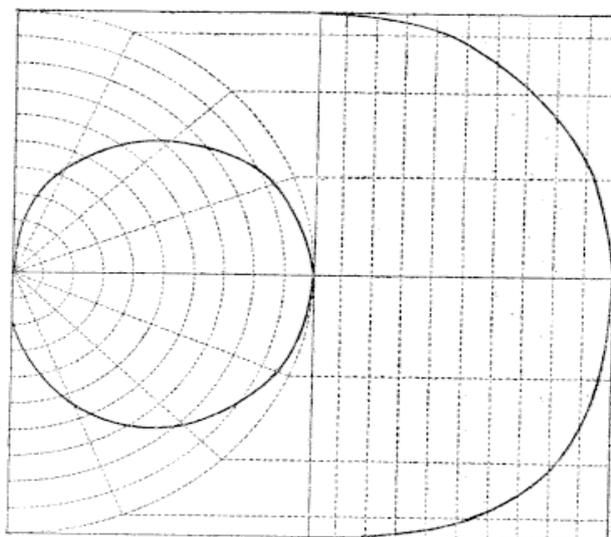


Fig. 73.

Plan perpendiculaire au filament.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22°5	0,91	1824
45°	0,73	1332
67°5	0,52	677
90°	0,19	136
au-dessus de l'horizon.		
0°	1,00	
22°5	0,91	1824
45°	0,68	1291
67°5	0,32	596
90°	0,00	61

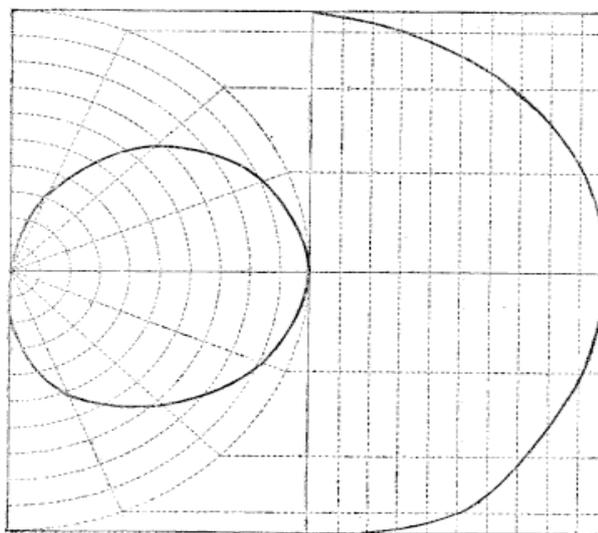


Fig. 74.

Lampe Lane Fox de 10 bougies n° 1.

Plan du Filament.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22°3	0,97	4881
43°	0,73	1397
67°3	0,50	677
90°	0,32	157
au-dessus de l'horizon.		
0°	1,00	
22°3	1,00	4910
43°	0,83	1486
67°3	0,43	694
90°	0,00	86

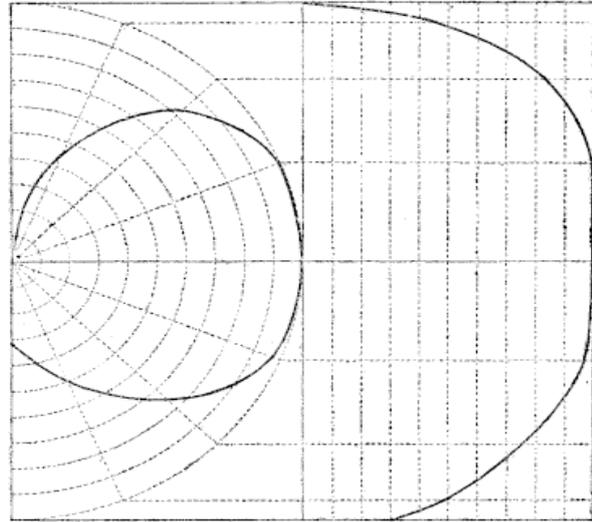


Fig. 75.

Plan perpendiculaire au filament.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22°3	0,83	1767
43°	0,67	1234
67°3	0,47	618
90°	0,32	149
au-dessus de l'horizon.		
0°	1,00	
22°3	1,00	4910
43°	0,83	1535
67°3	0,59	802
90°	0,00	113

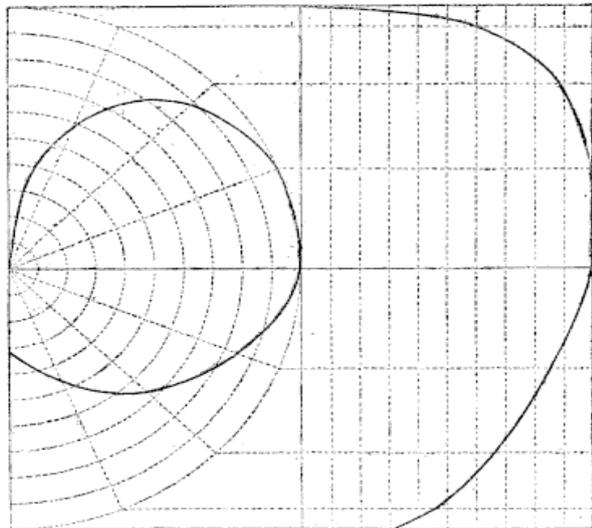


Fig. 76.

Lampe Lane Fox de 10 bougies n° 2.

Plan du filament.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 3'	0,95	1862
43°	0,91	1510
67° 3'	0,61	824
90°	0,40	185
au-dessus de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 3'	0,84	1737
43°	0,61	1177
67° 3'	0,22	430
90°	0,00	42

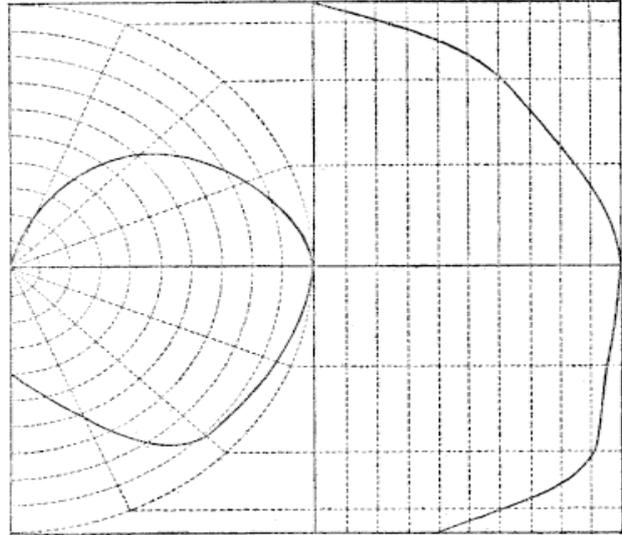


Fig. 77.

Plan perpendiculaire au filament.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 3'	0,91	1824
43°	0,76	1356
67° 3'	0,53	699
90°	0,40	185
au-dessus de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 3'	0,92	1834
43°	0,72	1332
67° 3'	0,31	538
90°	0,00	59

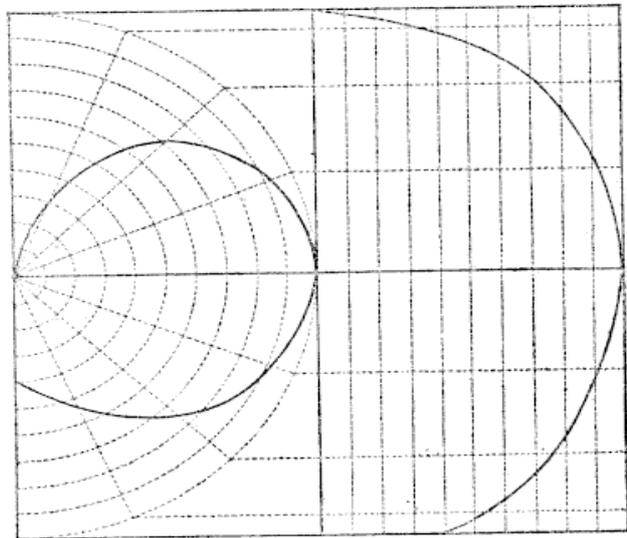


Fig. 78.

Lampe Lane Fox de 20 bougies n° 1.

Plan du filament.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 5	0,94	1853
45°	0,76	1380
67° 5	0,58	726
90°	0,30	166
au-dessus de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 5	0,88	1795
45°	0,70	1283
67° 5	0,00	531
90°	0,28	53

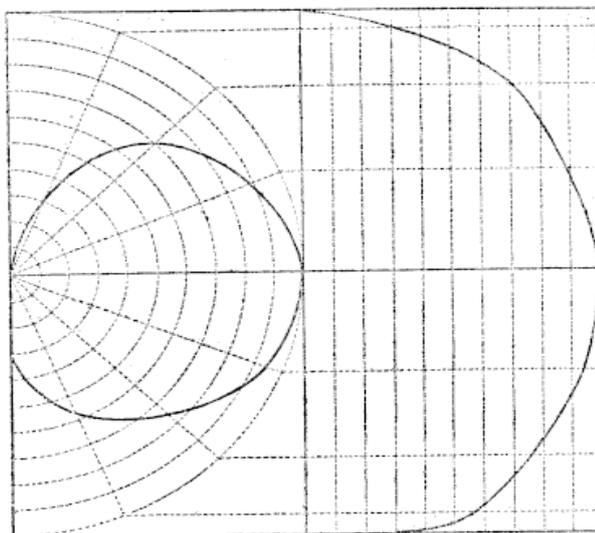


Fig. 79.

Plan perpendiculaire au filament.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 5	0,94	1853
45°	0,76	1380
67° 5	0,34	705
90°	0,30	164
au-dessus de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 5	0,95	1862
45°	0,67	1315
67° 5	0,31	531
90°	0,00	59

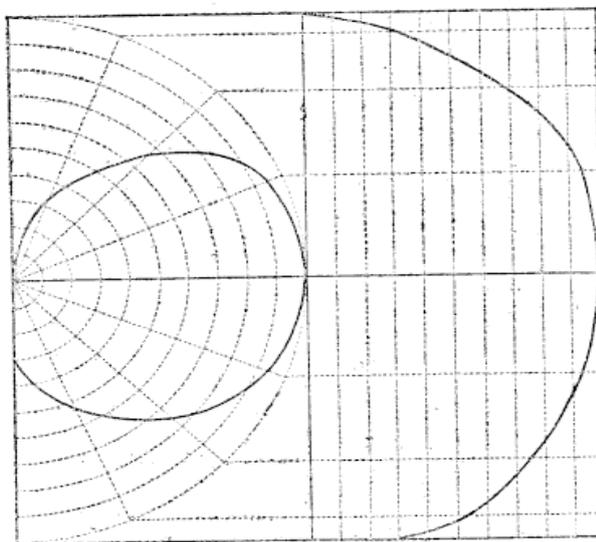


Fig. 80.

Lampe Lane Fox de 20 bougies n° 5.

Plan du filament.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22°5	0,96	1872
45°	0,80	1429
67°5	0,62	770
90°	0,32	179
au-dessus de l'horizon.		
0°	1,00	
22°5	0,96	1872
45°	0,72	1364
67°5	0,42	648
90°	0,00	80

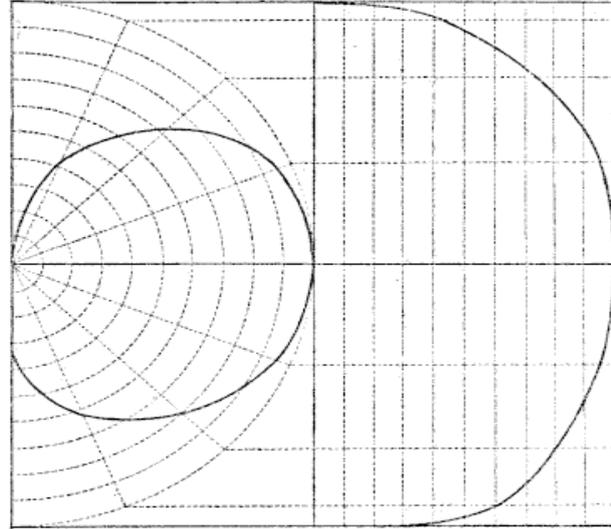


Fig. 81.

Plan perpendiculaire au filament.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22°5	0,93	1843
45°	0,77	1380
67°5	0,47	672
90°	0,32	151
au-dessus de l'horizon.		
0°	1,00	
22°5	0,96	1872
45°	0,72	1364
67°5	0,36	583
90°	0,00	69

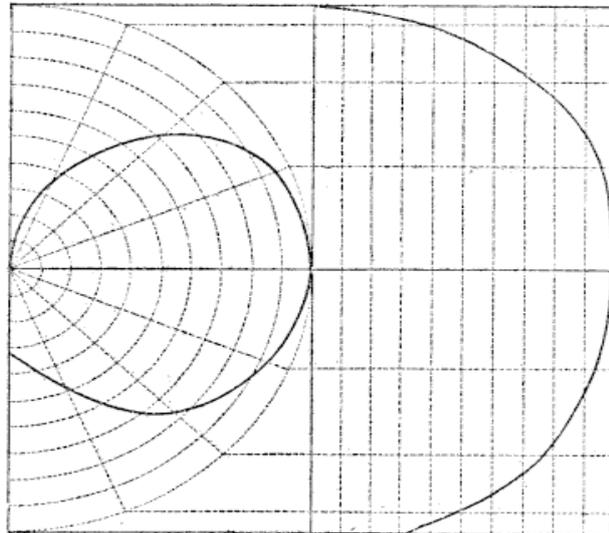


Fig. 82.

Lampe Lane Fox de 10 bougies n° 4.

Plan perpendiculaire au filament.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 5'	0,97	4881
45°	0,79	4429
67° 5'	0,63	770
90°	0,46	208
au-dessus de l'horiz.n.		
0°	1,00	
22° 5'	0,97	4881
45°	0,77	4413
67° 5'	0,33	607
90°	0,00	67

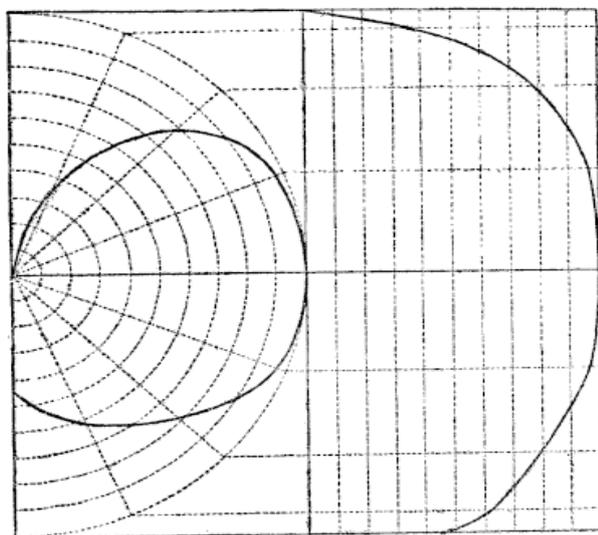


Fig. 83.

Lampe Victoria Lane Fox n° 1.

Plan perpendiculaire au filament.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 5'	0,95	4862
45°	0,80	4421
67° 5'	0,62	770
90°	0,53	220
au-dessus de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 5'	0,95	482
45°	0,78	4403
67° 5'	0,41	643
90°	0,00	78

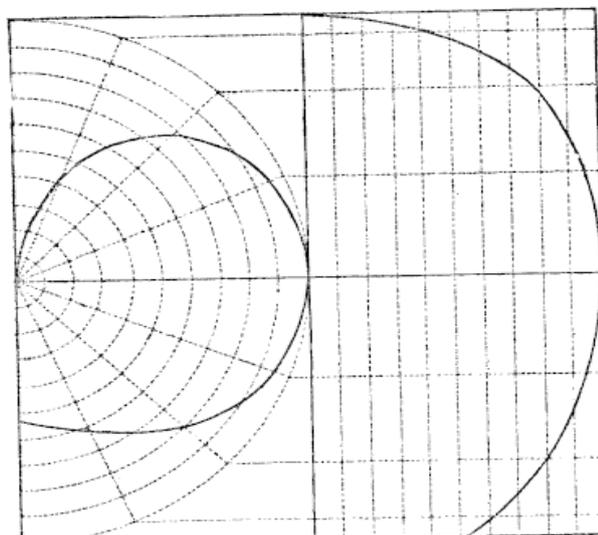


Fig. 84.

Lampe Cruto D n° 1.

Plan du filament.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 3'	0,89	1803
43°	0,71	1299
67° 3'	0,41	607
90°	0,20	416
au-dessus de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 3'	0,96	1872
43°	0,72	1364
67° 3'	0,41	612
90°	0,00	78

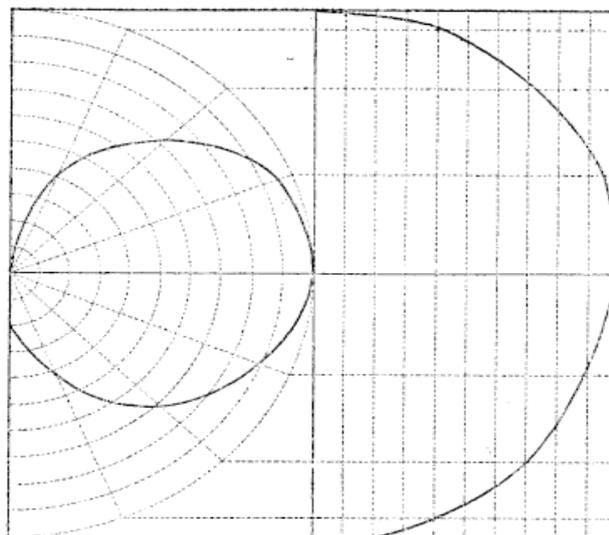


Fig. 85.

Plan perpendiculaire au filament.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 3'	0,91	1824
43°	0,71	1315
67° 3'	0,43	618
90°	0,20	420
au-dessus de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 3'	1,00	1910
43°	0,78	1445
67° 3'	0,57	732
90°	0,00	109

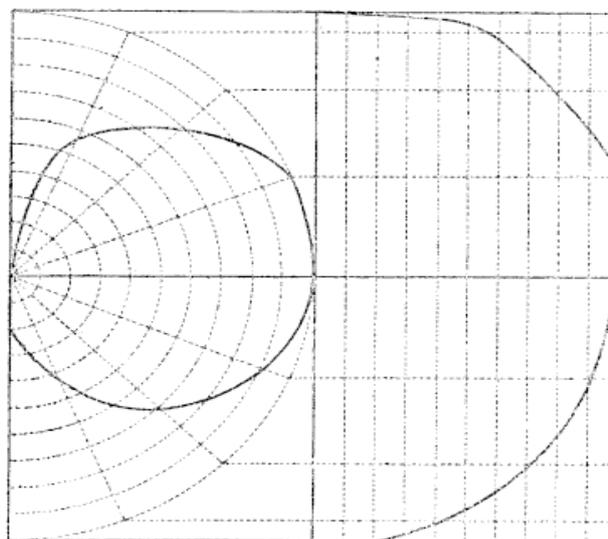


Fig. 86.

Lampe Cruto G n° 6.

Plan du filament.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 5	0,84	4757
43°	0,62	4183
67° 5	0,49	602
90°	0,17	426
au-dessus de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 5	0,93	4843
43°	0,69	4343
67° 5	0,39	583
90°	0,00	74

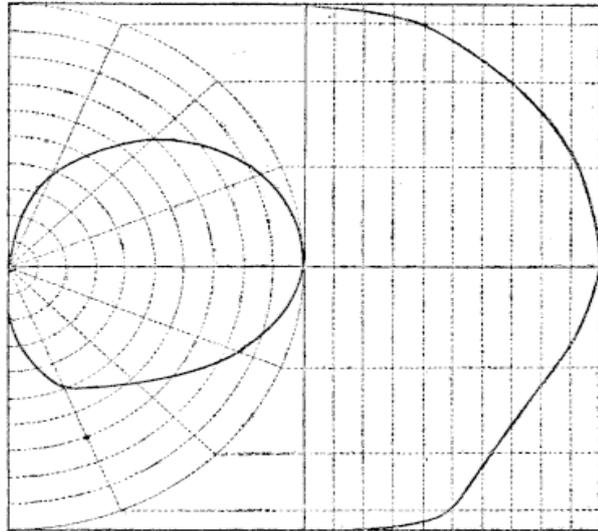


Fig. 87.

Plan perpendiculaire au filament.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 5	0,87	4786
43°	0,65	4234
67° 5	0,44	574
90°	0,17	413
au-dessus de l'horizon.		
0°	1,00	
22° 5	0,93	4843
43°	0,69	4315
67° 5	0,49	639
90°	0,00	93

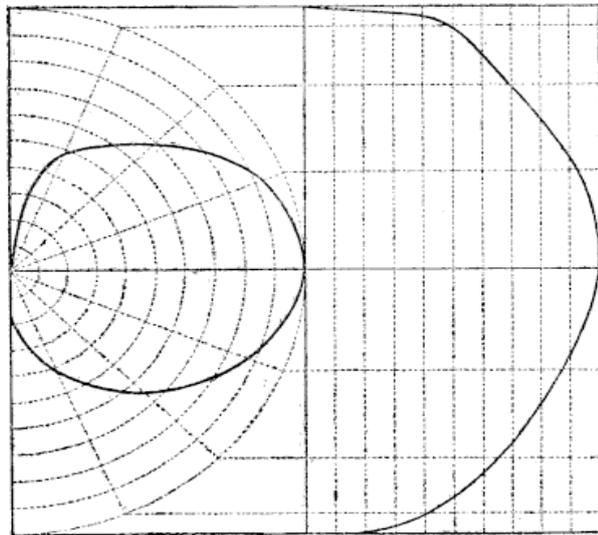


Fig. 88.

On pourra remarquer que la forme générale des courbes des intensités relatives des rayons émis par les lampes Siemens et Cruto, dans un plan vertical passant par le foyer, ne s'écarte pas beaucoup de celle d'une circonférence de cercle dont le foyer occuperait l'extrémité du diamètre horizontal, et que la ligne de répartition de l'éclairage présente assez bien la forme d'une demi-circonférence au centre de laquelle serait placé le point lumineux. Les diagrammes des lampes Lane Fox rappellent aussi les mêmes formes, tout en s'en écartant cependant un peu plus, à cause de l'intensité relative un peu plus grande des rayons dans la direction de la verticale inférieure.

Lampe Shippey.

Angle des rayons avec l'horizontale	INTENSITÉS relatives $H = 1$	Répartition de l'éclairage dans les zones élémentaires en dix-millièmes.
au-dessous de l'horizon.		
0°	1,00	
22°3	1,00	1910
45°	0,88	1326
67°3	0,82	921
93°	0,80	309
au-dessus de l'horizon.		
0°	1,00	
22°3	0,99	1900
45°	0,98	1600
67°3	1,00	1073
90°	0,00	191

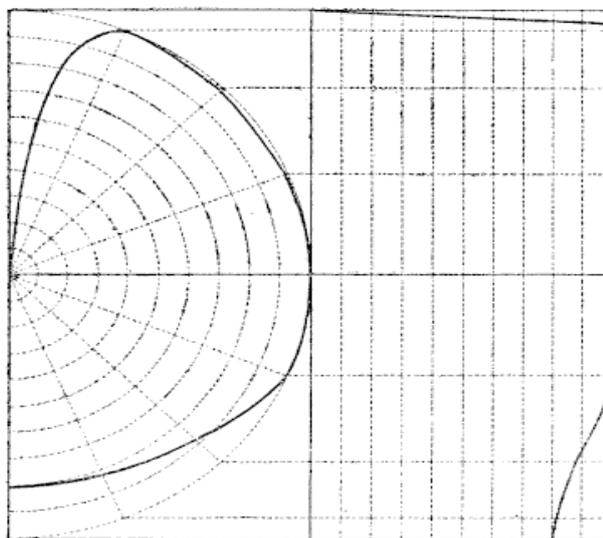


Fig. 89.

Les intensités relatives des rayons émis sous différentes inclinaisons par la lampe Shippey, intensités qui ont été déterminées dans un azimuth seulement, et dont nous donnons ci-dessus le tableau et le diagramme représentatif, suivent une loi toute différente. Par suite de la forme donnée au filament, contourné suivant une courbe hélicoïdale, et de la forme de l'ampoule, dont la partie inférieure est exactement hémisphérique, sans renforcement du verre, l'intensité lumineuse a des valeurs à peu près égales sous toutes les inclinaisons, et par suite la ligne des intensités relatives se rapproche d'une circonférence de cercle dont le foyer occuperait le centre, à l'exception toutefois des rayons émis dans des directions voisines de la

verticale, dont l'intensité est plus ou moins rapidement décroissante. Pour la même raison la ligne de répartition de la lumière dans les zones élémentaires est à peu près parallèle à la verticale, sauf les parties correspondant aux rayons voisins de la verticale.

L'intensité moyenne sphérique déduite de ce diagramme serait égale à 0,943, l'intensité horizontale étant prise pour unité. Nous ne donnons toutefois ce résultat que comme une simple indication, les intensités relatives de cette lampe n'ayant été déterminées que sur un seul spécimen et, comme on l'a dit plus haut, dans un azimut seulement.

Variations d'intensité lumineuse produites par les changements de la différence de potentiels aux bornes et de l'intensité du courant.

Les variations d'intensité lumineuse produites par les changements de la différence de potentiels aux bornes et de l'intensité de courant ont été mesurées pour un certain nombre de lampes appartenant aux différents types présentés.

Nous donnons ci-après les résultats de ces essais; on remarquera que, pour quelques-unes des lampes expérimentées, l'intensité lumineuse a varié entre des limites très étendues, par exemple dans le rapport de

1 à 18,5	pour une lampe Siemens de 8 bougies.
1 à 23	» » de 16 bougies.
1 à 18,3	» lampe Lane Fox de 10 bougies.
1 à 14,6	» » de 20 bougies.
1 à 35	» lampe Victoria Lane Fox.
1 à 220	pour une lampe Cruto <i>F</i> .
1 à 407	» » <i>G</i> .

Bien que ces expériences ne permettent pas d'établir des relations simples et générales entre l'intensité lumineuse des lampes et les autres grandeurs, mécaniques ou électriques, correspondant à cette intensité, telles que la différence de potentiels, l'intensité de courant, la puissance dépensée, la puissance par carcel, etc., on peut cependant, entre des limites assez étendues, représenter les relations dont il s'agit par des formules empiriques dont les résultats concordent passablement bien avec ceux des observations.

Si, par exemple, dans une série d'observations d'intensités lumineuses croissantes on désigne par E_0, I_0, T_0 les valeurs de la différence des potentiels, de l'intensité du courant et de la puissance dépensée dans la lampe correspondant à une intensité lumineuse initiale L_0 , et que l'on représente par E, I, T les valeurs des mêmes quantités correspondant à l'intensité lumineuse L , on reconnaît que le quotient que

l'on obtient en divisant l'accroissement $E - E_0$ de la différence de potentiels par l'accroissement $\log L - \log L_0$ du logarithme de l'intensité lumineuse conserve une valeur à peu près constante, et que l'on peut poser

$$E - E_0 = \alpha (\log L - \log L_0).$$

Pour les valeurs de l'intensité lumineuse auxquelles cette formule est applicable, cette intensité varierait donc avec la différence de potentiels aux bornes suivant une loi semblable à celle qui a été établie par M. E. Becquerel entre l'intensité lumineuse d'un corps incandescent et sa température.

La relation de l'intensité lumineuse et de l'intensité du courant peut aussi, dans la plupart des cas, être représentée par une formule semblable :

$$I - I_0 = b (\log L - \log L_0).$$

On trouvera ci-dessous les résultats des observations comparés à ceux que l'on obtient en calculant E et I par les formules précédentes.

Lampes Siemens.

1. *Lampe Siemens de 8 bougies portée de 0,36 à 1,09 carcel. $a = 20$, $b = 0,25$.*

Valeurs de L	. . . . .	0,36	0,43	0,62	0,89	1,03	1,09
"	E observées	58,2	59,7	62,5	66,0	67,2	68,0
"	E calculées	58,2	59,6	63,0	66,2	67,5	68,0
"	I observées	0,56	0,58	0,62	0,66	0,677	0,685
"	I calculées	0,56	0,58	0,62	0,66	0,676	0,681

2. *Lampe Siemens de 16 bougies portée de 0,71 à 2,22 carcels. $a = 20$, $b = 0,4$.*

Valeurs de L	. . . . .	0,71	0,99	1,41	1,84	2,22
"	E observées	57,5	60,5	63,2	65,7	67,5
"	E calculées	57,5	60,5	63,6	65,9	67,5
"	I observées	0,92	0,98	1,04	1,09	1,12
"	I calculées	0,92	0,98	1,05	1,09	1,13

3. *Lampe Siemens de 8 bougies portée de 0,367 à 6,78 carcels. $a = 25$.*

Valeurs de L	. . . . .	0,367	0,898	3,05	6,78
"	E observées	56,3	65,2	78,9	88,2
"	E calculées	56,3	66,0	79,3	88,0

4. *Lampe Siemens de 16 bougies portée de 0,57 à 13,1 carcels. $a = 22$.*

Valeurs de L	. . . . .	0,57	1,58	5,12	13,1
"	E observées	56,3	64,2	78,9	88,2
"	E calculées	56,3	66,0	77,3	88,4

Pour les grandes variations d'intensités lumineuses auxquelles ont été soumises les lampes 3 et 4, les intensités de courant ne sont que très imparfaitement repré-

sentées par des expressions de la forme $I = I_0 + b (\log L - \log L_0)$; les quotients que l'on obtient en divisant l'accroissement de l'intensité du courant par celui du logarithme de l'intensité lumineuse deviennent de plus en plus grands à mesure que cette dernière augmente.

Lampes Lane Fox.

5. *Lampe de 10 bougies portée de 1,60 à 2,29 carcels. $a = 24$, $b = 0,25$.*

Valeurs de L	1,60	1,75	2,01	2,29
" E observées.	65,2	65,7	67,5	68,7
" E calculées	65,2	66,1	67,6	68,8
" I observées	0,62	0,625	0,64	0,66
" I calculées	0,62	0,63	0,64	0,66

6. *Lampe de 20 bougies portée 2,03 à 7,02 carcels. $a = 24$, $b = 0,5$.*

Valeurs de L	2,03	2,68	3,72	4,88	7,02
" E observées	60,5	63,2	66,8	69,7	73,5
" E calculées	60,5	63,0	66,5	69,7	73,5
" I observées	1,00	1,06	1,13	1,19	1,27
" I calculées	1,00	1,05	1,12	1,19	1,27

7. *Lampe de 10 bougies portée de 0,82 à 15 carcels. $a = 25$.*

Valeurs de L	0,82	1,40	2,28	6,33	15,0
" E observées	57,7	63,7	68,1	78,9	90,2
" E calculées	57,7	63,5	68,8	79,9	89,2
" I observées	0,55	0,59	0,68	0,85	1,23

Les valeurs de I sont passablement bien représentées de 0,82 à 6,33 carcels par $I = I_0 + 0,33 (\log L - \log L_0)$; mais, pour les intensités plus grandes, il faut donner au coefficient une valeur plus considérable.

8. *Lampe de 20 bougies portée de 1,51 à 22 carcels. $a = 28,5$, $b = 0,6$.*

Valeurs de L	1,51	4,25	10,1	22,0
" E observées.	56,8	69,1	79,9	90,2
" E calculées	56,8	69,6	80,3	90,2
" I observées	0,90	1,11	1,40	1,64
" I calculées	0,90	1,17	1,39	1,60

9. *Lampe Victoria Lane Fox portée de 0,163 à 4,03 carcels. $a = 25$, $b = 0,214$.*

Valeurs de L	0,163	0,430	1,05	2,00	4,03
" E observées	68,6	78,4	89,7	96,5	106,8
" E calculées	68,6	79,1	88,8	95,8	106,0
" I observées	0,35	0,44	0,54	0,58	0,67
" I calculées	0,35	0,44	0,54	0,58	0,67

Lampes Cruto.

10. Lampe du type A portée de 1,58 à 3,54 carrels. $a = 22,5$, $b = 0,4$.

Valeurs de L	1,58	2,04	2,38	2,86	3,54
" E observées	47,0	49,2	50,7	52,8	55,0
" E calculées	47,0	49,5	51,0	52,8	54,9
" I observées	1,03	1,07	1,10	1,14	1,18
" I calculées	1,03	1,07	1,10	1,13	1,17

11. Lampe du type B portée de 0,071 à 1,31 carcel. $a = 24$, $b = 0,21$.

Valeurs de L	0,071	0,152	0,438	1,31
" E observées.	57,2	65,3	76,5	87,1
" E calculées	57,2	65,1	76,2	87,2
" I observées	0,65	0,72	0,81	0,92
" I calculées	0,65	0,72	0,82	0,92

12. Lampe B portée de 1,41 à 5,47 carrels. $a = 40$.

Valeurs de L	1,41	2,42	3,88	5,47
" E observées	89,6	98,0	107,3	113,2
" E calculées	89,6	99,0	107,2	113,2
" I observées	"	1,00	1,07	1,13

La valeur de I correspondant à l'intensité lumineuse initiale de 1,41 carcel n'a pas été relevée; d'après les autres valeurs de I qui ont été observées, le coefficient b aurait une valeur voisine de 0,4.

13. Lampe du type E portée de 1,04 à 2,46 carrels. $a = 20$, $b = 0,4$.

Valeurs de L	1,04	1,21	1,61	1,92	2,46
" E observées	46,7	48,7	50,7	52,2	54,2
" E calculées	46,7	48,0	50,5	52,0	54,2
" I observées	0,92	0,96	1,00	1,02	1,06
" I calculées.	0,92	0,95	1,00	1,03	1,07

14. Lampe du type F portée de 1,17 à 2,03 carrels. $a = 24$, $b = 0,33$.

Valeurs de L	1,17	1,39	1,60	2,03
" E observées	48,0	50,0	51,2	53,5
" E calculées	48,0	49,8	51,3	53,7
" I observées	0,64	0,68	0,69	0,71
" I calculées	0,64	0,665	0,69	0,72

Pour une lampe du même type dont les intensités lumineuses ont été portées de 0,098 à 21,6 carrels, les quotients $a = \frac{E - E_0}{\log L - \log L_0}$ $b = \frac{I - I_0}{\log L - \log L_0}$, présen-

tent des valeurs sensiblement croissantes à mesure que l'intensité lumineuse augmente. On trouve pour a les valeurs :

18,5 19,5 20,8 23,6 27,1

et pour b les valeurs :

0,239 0,239 0,250 0,305 0,329

correspondant aux intensités lumineuses :

1,20 3,78 8,87 16,4 et 21,6 carcels.

15. *Lampe du type G portée de 0,218 à 88,8 carcels.*

On trouve pour a et pour b les valeurs :

15,4 16,6 18,1 20,4

0,722 0,872 1,026 1,272

correspondant aux intensités lumineuses :

7,49 17,0 55,7 88,8 carcels

et aux différences de potentiels :

54,9 62,7 74,7 84,5 volts.

Dans ce dernier état, le filament était complètement tordu et la lampe s'est brisée lorsque la différence de potentiels a été portée à 93 volts.

16. *Lampe du type A portée de 0,158 à 36,6 carcels.*

On trouve pour a et pour b les valeurs :

17,1 19,5 20,3 23,4 25,7

0,340 0,421 0,483 0,582 0,643

correspondant aux intensités lumineuses :

2,54 6,85 19,55 32,8 36,6

et aux différences de potentiels :

52,9 64,2 74,7 85,7 93,0

Dans ce dernier état, la lampe est tout à fait détériorée; le verre, fondu par suite de son contact avec le filament, est déprimé par la pression atmosphérique.

Lampes Shippey.

17. *Lampe portée de 0,47 à 1,85 carcels $a = 14, b = 0,35$.*

Valeurs de L	0,47	0,83	1,29	1,85
" E observées	33,7	37,5	40,0	41,7
" E calculées	33,7	37,2	39,8	42,0
" I observées	0,87	0,96	1,03	1,07
" I calculées	0,87	0,96	1,02	1,08

18. *Lampe portée de 0,31 à 0,73 carcel. $a = 13, b = 0,24$.*

Valeurs de L	0,31	0,51	0,66	0,73
" E observées	37,2	40,0	41,2	42,2
" E calculées	37,2	40,0	41,5	42,0
" I observées	0,57	0,62	0,64	0,66
" I calculées	0,57	0,62	0,65	0,66

En résumé, il résulte de ce qui précède que, dans les cas où l'intensité lumineuse n'a varié qu'entre des limites restreintes, plus étendues du reste que celles qui peuvent se présenter dans la pratique, et n'a pas été portée à des valeurs très grandes relativement à celle qui correspond aux conditions de fonctionnement normal, les différences de potentiels et les intensités de courant sont assez bien représentées par des expressions de la forme $E - E_0 = a (\log L - \log L_0)$, $I - I_0 = b (\log L - \log L_0)$, au moyen desquelles on calculera aisément pour chaque lampe la différence de potentiels, l'intensité de courant, et par suite le travail électrique relatifs à une intensité lumineuse donnée lorsque l'on connaîtra les valeurs de ces quantités pour une autre intensité lumineuse.

Dans un certain nombre de cas où le pouvoir éclairant a été porté à des valeurs extrêmement considérables par rapport au pouvoir éclairant correspondant au régime normal des lampes, les formules données plus haut ne représentent les différences de potentiels et les intensités de courant qu'à la condition d'y donner à a et b des valeurs graduellement croissantes. Toutefois nous avons vu que, même pour de très grandes valeurs du pouvoir éclairant, les variations de a ont été assez faibles dans certains cas, notamment pour les lampes Siemens et Lane Fox, pour que l'on ait pu représenter avec assez d'exactitude la différence de potentiels par la formule $E - E_0 = a (\log L - \log L_0)$ dans laquelle a était supposée constante.

Nous ferons remarquer encore que lorsque les rapports $\frac{E}{E_0}$, $\frac{I}{I_0}$ restent voisins de l'unité, ce qui a généralement lieu pour les lampes placées dans les conditions ordinaires de fonctionnement, les valeurs de E et de I peuvent être évaluées, à peu près avec le même degré d'approximation, par des expressions d'une forme toute différente et d'un calcul aussi simple.

La différentiation des équations

$$E - E_0 = a (\log L - \log L_0)$$

$$I - I_0 = b (\log L - \log L_0)$$

donne en effet

$$dE = a M \frac{dL}{L}$$

$$dI = b M \frac{dL}{L}$$

ou

$$\frac{dE}{E_0} = a' \frac{dL}{L}$$

$$\frac{dI}{I_0} = b' \frac{dL}{L}, \text{ en posant}$$

$$\frac{a M}{E_0} = a'$$

$$\frac{b M}{I_0} = b';$$

ou bien encore

$$\frac{dE}{E} = a' \left(\frac{E_0}{E} \right) \frac{dL}{L}$$

$$\frac{dI}{I} = b' \left(\frac{I_0}{I} \right) \frac{dL}{L}.$$

Si les rapports $\frac{E_0}{E}$, $\frac{I_0}{I}$ sont peu différents de l'unité, les équations différentielles ci-dessus pourront être remplacées approximativement par

$$\frac{dE}{E} = a' \frac{dL}{L} \qquad \frac{dI}{I} = b' \frac{dL}{L}$$

d'où l'on déduit

$$\frac{E}{E_0} = \left(\frac{L}{L_0}\right)^{a'} \qquad \frac{I}{I_0} = \left(\frac{L}{L_0}\right)^{b'}$$

et par suite

$$\frac{EI}{E_0 I_0} = \left(\frac{L}{L_0}\right)^{a'+b'}$$

$$\text{ou } \frac{L}{L_0} = \left(\frac{EI}{E_0 I_0}\right)^{\frac{1}{a'+b'}} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{\frac{1}{a'+b'}}$$

en désignant par T la puissance dépensée dans la lampe.

On a de même

$$\frac{L}{L_0} = \left(\frac{E}{E_0}\right)^{\frac{1}{a'}} \qquad \frac{L}{L_0} = \left(\frac{I}{I_0}\right)^{\frac{1}{b'}}$$

L'intensité lumineuse varierait donc proportionnellement à des puissances déterminées de la puissance dépensée, de la différence de potentiels aux bornes et de l'intensité du courant.

On reconnaîtra aisément que, dans les limites restreintes que nous avons indiquées, les résultats donnés plus haut pour les diverses lampes expérimentées sont assez bien représentés par les formules ci-dessus, quand on y donne à a' et b' des valeurs comprises entre 0,14 et 0,20.

C'est ainsi que pour les lampes Siemens 1 et 2 on a à fort peu près

$$\frac{E}{E_0} = \left(\frac{L}{L_0}\right)^{0,14} \qquad \frac{I}{I_0} = \left(\frac{L}{L_0}\right)^{0,18} \qquad \frac{T}{T_0} = \left(\frac{L}{L_0}\right)^{0,32}$$

Pour la lampe Lane Fox n° 5, il faudrait faire $a' = 0,15$, $b' = 0,17$; pour la lampe n° 6 $a' = 0,16$, $b' = 0,19$.

Pour la lampe Cruto	$E,$	$a' = 0,17$	$b' = 0,17$
	"	$G,$	$a' = 0,16$
	"	$A,$	$a' = 0,19$
			$b' = 0,17, \text{ etc.}$

On obtiendrait une évaluation plus grossière, mais suffisante pour donner une idée approximative des changements d'intensité lumineuse produits par des variations de différence de potentiels et d'intensité de courant, lorsque ces variations ne sont pas très considérables, en faisant abstraction des changements qu'elles amènent dans la résistance électrique des lampes à chaud, et en attribuant à a' et à b' une même valeur égale à leur valeur moyenne, laquelle diffère peu de 0,17 ou de 1/6 pour les diverses lampes expérimentées, ce qui conduit à la formule connue

$$\frac{L}{L_0} = \left(\frac{E}{E_0}\right)^6 = \left(\frac{I}{I_0}\right)^6 = \left(\frac{T}{T_0}\right)^5$$

Lampes Siemens.

Type 16 bougies.

	1	2	3	4	5	6
Intensité lumineuse horizontale en carrels .	1,94	1,68	1,67	—	1,82	2,44
Intensité moyenne sphérique	1,55	1,34	1,34	—	1,46	1,95
Différence de potentiels aux bornes	65	65	65	—	65	65
Courant en ampères	4,07	4,15	4,11	—	4,13	4,10
Puissance dépensée dans la lampe.	69,6	74,7	72,1	—	73,4	71,5
Puissance en watts par carcel	44,9	55,7	53,8	—	50,3	36,7
Nombre de carrels par ch. dép. d ^s les lampes	16,4	13,2	13,7	—	14,6	23,1
Résistance à froid	106,0	102,5	108,3	—	99,4	106,5
Résistance à chaud	60,7	56,5	58,6	—	57,5	59,1

Observations. — On constate que le verre de la lampe n° 5, type 8 bougies, est un peu noirci à l'intérieur. — Les essais relatifs à la lampe n° 4, type 16 bougies, ont été incomplets, l'intensité lumineuse horizontale n'ayant été mesurée que dans un azimut.

Lampes Lane Fox.

Type 10 bougies.

	1	2	3	4	5	6
Intensité lumineuse horizontale en carrels .	1,69	1,55	1,57	1,49	1,44	1,41
Intensité moyenne sphérique	1,35	1,24	1,26	1,19	0,91	1,14
Différence de potentiels aux bornes	65	65	65	65	65	65
Courant en ampères	0,69	0,65	0,63	0,60	0,60	0,49
Puissance dépensée dans la lampe.	44,8	42,2	40,95	39,0	39,0	44,8
Puissance en watts par carcel	33,2	34,0	32,5	32,8	42,8	39,3
Nombre de carrels par ch. dép. d ^s les lampes	22,2	21,6	22,6	22,4	17,2	18,7
Résistance à froid	190,8	201,7	198,8	198,9	202,2	190,6
Résistance à chaud	94,2	100,0	103,2	108,3	108,3	94,2

Lampes Lane Fox.

Type 20 bougies.

	1	2	3	4	5	6
Intensité lumineuse horizontale en carrels .	3,38	3,09	2,97	3,00	2,49	3,25
Intensité moyenne sphérique	2,70	2,47	2,38	2,40	1,75	2,60
Différence de potentiels aux bornes	65	65	65	65	65	65
Courant en ampères	1,10	1,10	1,14	1,06	1,01	1,10
Puissance dépensée dans la lampe.	71,5	71,5	74,1	68,9	65,6	71,5
Puissance en watts par carcel	26,5	28,9	31,1	28,7	37,5	27,5
Nombre de carrels par ch. dép. d ^s les lampes	27,7	25,5	23,7	25,6	19,6	26,7
Résistance à froid	122,1	121,9	122,7	123,8	123,5	120,9
Résistance à chaud	59,1	59,1	57,0	61,3	64,3	59,1

Lampe Victoria Lane Fox.

	1	2	3	4	5	6	7
Intensité lumineuse horiz. en carrels	2,37	2,70	2,78	2,58	3,25	3,10	2,83
Intensité moyenne sphérique	1,90	2,16	2,22	2,06	2,60	2,48	2,26
Différence de potentiels aux bornes .	100	100	100	100	100	100	100
Courant en ampères.	0,65	0,69	0,65	0,63	0,70	0,69	0,67
Puissance dépensée dans la lampe .	65	69	65	63	70	69	67
Puissance en watts par carcel . .	34,3	31,9	29,3	30,6	26,9	27,8	29,6
N. de carc. par ch. dép. d ^s les lamp.	21,4	23,0	25,1	24,0	27,3	26,5	24,9
Résistance à froid	310,1	299,0	313,6	303,0	306,0	303,0	305,0
Résistance à chaud	153,9	144,9	153,9	158,7	142,9	144,9	149,3

Lampes Cruto.

Type A.

	1	2	3	4	5	6
Intensité lumineuse horizontale en carrels .	2,23	2,23	2,12	2,77	2,07	2,35
Intensité moyenne sphérique	1,80	1,78	1,70	2,22	1,66	1,88
Différence de potentiels aux bornes	50	50	50	50	50	50
Courant en ampères	1,14	1,08	1,08	1,12	1,06	1,07
Puissance dépensée dans la lampe.	57,0	54,0	54,0	56,0	53,0	53,5
Puissance en watts par carcel	31,7	30,3	31,8	25,2	31,3	28,4
Nombre de carrels par ch. dép. d ^s les lampes	23,2	24,1	23,1	29,2	23,5	25,9
Résistance à froid	39,9	34,0	37,1	40,5	38,1	36,3
Résistance à chaud	43,8	46,3	46,3	44,6	47,1	46,7

Type B.

	1	2	3	4	5	6
Intensité lumineuse horizontale en carrels .	3,11	2,39	4,10	2,92	2,41	3,70
Intensité moyenne sphérique	2,49	1,91	3,28	2,34	1,93	2,91
Différence de potentiels aux bornes	100	100	100	100	100	100
Courant en ampères	1,10	1,06	1,15	1,10	1,06	1,14
Puissance dépensée dans la lampe	110	106	115	110	106	114
Puissance en watts par carcel	44,2	35,5	35,4	47,0	54,9	38,5
Nombre de carrels par ch. dép. d ^s les lampes	16,6	13,2	20,9	15,7	13,4	19,1
Résistance à froid	70,0	77,0	69,7	76,5	76,1	73,1
Résistance à chaud	90,9	94,2	86,9	90,9	94,2	87,6

Lampes Cruto.

Type C.

	1	2	3	4	5
Intensité lumineuse horizontale en carrels	3,04	4,88	2,90	3,36	2,86
Intensité moyenne sphérique	2,42	4,50	2,32	2,69	2,29
Différence de potentiels aux bornes	100	100	100	100	100
Courant en ampères	4,10	4,00	4,03	4,12	4,10
Puissance dépensée dans la lampe	110	100	103	112	110
Puissance en watts par carrels	43,4	66,6	43,2	41,6	48,0
Nombre de carrels par cheval dépensé dans les lampes . .	16,2	11,0	16,3	17,7	13,2
Résistance à froid	68,1	90,3	78,6	72,1	70,6
Résistance à chaud	90,9	100	93,2	89,3	90,9

Type D.

	1	2	3	4	5	6
Intensité lumineuse horizontale en carrels	3,51	3,09	3,28	3,83	3,90	3,37
Intensité moyenne sphérique	2,81	2,47	2,62	3,06	3,12	2,70
Différence de potentiels aux bornes	100	100	100	100	100	100
Courant en ampères	4,52	4,52	—	4,61	—	4,37
Puissance dépensée dans la lampe	152	152	—	161	—	157
Puissance en watts par carcel	54,1	61,4	—	52,6	—	58,1
Nombre de carrels par ch. dép. d ^s les lampes	13,6	12,0	—	14,0	—	12,7
Résistance à froid	73,3	60,4	67,2	72,0	66,4	76,2
Résistance à chaud	65,8	65,8	—	62,1	—	63,6

Observation. — Les intensités de courant n'ont pas été relevées pour les lampes n° 3 et n° 5 du type *D*.

Lampes Cruto.

Type E.

	1	2	3	4	5	6
Intensité lumineuse horizontale en carrels .	1,69	1,86	1,57	1,54	1,52	2,04
Intensité moyenne sphérique	1,35	1,49	1,26	1,23	1,22	1,63
Différence de potentiels aux bornes . . .	50	50	50	50	50	50
Courant en ampères	0,98	1,03	0,96	1,00	0,98	1,00
Puissance dépensée dans la lampe	49	52,5	48	50	49	50
Puissance en watts par carcel.	36,4	35,2	38,1	40,6	40,2	30,7
Nombre de carrels par ch. dép. d ^s les lampes	20,2	20,9	19,3	18,1	18,2	24,0
Résistance à froid	40,7	38,1	43,1	45,2	38,0	46,1
Résistance à chaud	51,0	47,6	52,1	50,0	51,0	50,0

Type F.

	1	2	3	4	5	6
Intensité lumineuse horizontale en carrels .	1,39	1,01	1,45	0,90	1,32	1,01
Intensité moyenne sphérique	1,11	0,81	1,16	0,72	1,05	0,81
Différence de potentiels aux bornes . . .	50	50	50	50	50	50
Courant en ampères	0,68	0,59	0,66	0,60	0,66	0,60
Puissance dépensée dans la lampe	34,0	29,5	33,0	30,0	33,0	30,0
Puissance en watts par carcel.	30,6	36,4	28,4	41,6	31,1	37,0
Nombre de carrels par ch. dép. d ^s les lampes	24,0	20,2	25,9	17,7	23,7	19,9
Résistance à froid	57,2	69,3	52,6	56,1	53,0	57,5
Résistance à chaud	73,5	84,7	75,7	83,3	75,7	83,3

Lampes Cruto.

Type G.

	1	2	3	4	5	6
Intensité lumineuse horizontale en carrels .	5,97	—	5,88	5,83	6,57	5,43
Intensité moyenne sphérique	4,78	—	4,70	4,66	5,36	4,34
Différence de potentiels aux bornes . . .	50	—	50	50	50	50
Courant en ampères	2,27	—	2,22	2,26	2,35	2,21
Puissance dépensée dans la lampe.	113,5	—	111,0	113,0	117,5	110,5
Puissance en watts par carcel	23,8	—	23,6	24,2	21,9	25,5
Nombre de carrels par ch. dép. d ^e les lampes	30,9	—	31,2	30,4	33,6	29,0
Résistance à froid	25,3	—	29,7	30,9	27,8	25,8
Résistance à chaud	22,0	—	22,1	22,1	21,2	22,6

RAPPORT SUR LES
ESSAIS DES FILS DE BRONZE PHOSPHOREUX
de l'Usine Montefiore, à Anderlecht,

par M. E. ROUSSEAU.

Le sous-comité chargé de procéder aux essais des fils de bronze phosphoreux, présentés par l'usine Montefiore, fut composé de MM. Rousseau, président, et L. Gody, membre, auxquels voulut bien s'adjoindre M. Boulvin, ingénieur des télégraphes.

Les fils examinés par le sous-comité ont été pris au hasard parmi les échantillons exposés et comprenaient :

1° Quatre rouleaux de fils de haute conductibilité, ayant environ 5 millimètres de diamètre, pour éclairage électrique et transmission de force ;

2° Deux rouleaux de fil télégraphique d'environ 1,6 millimètre de diamètre ;

3° Quatre rouleaux de fil téléphonique d'environ $\frac{5}{4}$ de millimètre de diamètre.

L'examen de ces fils comportait essentiellement un essai mécanique ayant pour objet de déterminer leur résistance à la traction et leur allongement, et un essai électrique servant à mesurer leur conductibilité comparativement à celle du cuivre pur, étalon Matthiessen.

Ces essais ont amené le sous-comité à s'occuper incidemment de deux autres éléments dont la détermination a servi au calcul exact de la conductibilité électrique et de la résistance mécanique des fils : le premier est le coefficient d'accroissement de la résistance électrique des fils avec la température, dont la connaissance est nécessaire pour ramener à 0° les conductibilités mesurées à une température quelconque ; le second est la densité des fils, dont on se sert avantageusement pour calculer la section et le diamètre des fils minces, en mesurant le poids et la longueur.

**Fils de haute conductibilité, de 5 millimètres environ de diamètre,
pour lumière électrique et transport de force.**

Vérification de la jauge.

Les diamètres des fils de haute conductibilité employés pour éclairage électrique et transport de force, ont été mesurés au moyen d'une jauge à cadran, dont chaque division correspond à 0^{mm}01 d'épaisseur. Pour vérifier l'exactitude de cette jauge, mise obligeamment à notre disposition par le directeur de l'usine Montefiore, et en corriger, le cas échéant, les indications, le sous-comité a eu recours à la méthode suivante :

Le diamètre d'un fil de 0^m50 de longueur (longueur déterminée au moyen d'un mètre étalon fourni par M. Ducretet et appartenant à l'Université de Bruxelles), fut mesuré à la jauge, de 10 en 10 centimètres, dans deux directions perpendiculaires. Ces mesures ont donné les résultats ci-dessous :

1 ^{re} direction.	2 ^e direction.	
4mm96	5mm00	} Diamètre moyen : 4mm963
4mm952	4mm97	
4mm95	4mm97	
4mm95	4mm978	
4mm952	4mm97	
4mm95	4mm96	

Le volume du fil, calculé à l'aide de ces données, serait de 9672,7 millim. cubes, la température de la salle au moment des mesures étant de 18°.

Le volume du même fil fut ensuite déterminé au moyen de deux pesées du fil, faites successivement dans l'air et dans l'eau distillée privée d'air par une ébullition prolongée. En outre, pour cette dernière pesée, de même que pour toutes les pesées faites dans l'eau auxquelles le comité a eu à procéder dans l'étude des fils télégraphiques ou téléphoniques, le bocal contenant l'eau et le fil a été placé sous le récipient d'une machine pneumatique, et l'eau maintenue en ébullition pendant un temps suffisant pour faire disparaître toute trace de bulle d'air qui aurait pu rester adhérente au fil.

Ces pesées ont donné les résultats ci-dessous :

Poids du fil dans l'air	87,3234 gr.
Température de l'air	17°5
Poids du fil dans l'eau	77,5451 gr.
Température de l'eau	20°
Perte de poids	9,7783 gr.

En tenant compte des corrections résultant du poids de l'air déplacé et de la densité de l'eau à la température de 20°, on trouve pour le volume du fil à la tempé-

rature de 20° : 9804,7 millimètres cubes. Le volume à 18°, résultant de cette donnée, serait 9803,6 millimètres cubes en prenant 0,000054 pour le coefficient de dilatation cubique du fil.

Une seconde détermination ayant donné pour le volume du même fil, à la même température de 18° : 9802 millimètres cubes, on a pris la moyenne de ces deux résultats, c'est-à-dire 9802,8 millimètres cubes, comme représentant le volume du fil à 18°.

La section moyenne du fil, calculée d'après ce résultat, est de 19,6056 millimètres carrés, et le diamètre moyen 4,996 millimètres.

Le diamètre moyen mesuré à la jauge ayant été de 4^{mm}963, il en résulte que les indications de la jauge pour les fils de ce diamètre ont dû être affectées d'une correction additive de 0^{mm}033.

Densité du fil.

Les résultats des pesées faites dans l'air et dans l'eau donnent pour la densité du fil à la température de 18° : 8,91.

Essai mécanique.

La résistance à la traction offerte par les fils de 5 millimètres a été mesurée au moyen d'un banc dynamométrique de Kirkaldy, employé à l'établissement d'Anderlecht; l'exactitude des indications de cet instrument a été vérifiée par comparaison avec celles d'un dynamomètre de traction étalonné directement par le sous-comité.

Pour obtenir avec plus de précision le diamètre des fils essayés, au point où avait lieu la rupture, nous avons, avant chaque essai mécanique, mesuré suivant deux directions perpendiculaires les diamètres de ces fils, de 10 en 10 centimètres, indiqué par des traits à l'encre les points où les mesures avaient été faites, et tenu note des diamètres correspondant à chacun des traits marqués. De la position du point de rupture par rapport à ces traits, il était facile de déduire le diamètre correspondant du fil.

Dans une première série d'essais de résistance mécanique, les fils expérimentés ont été préalablement redressés au maillet pour la détermination de leur longueur; dans une seconde série, les fils ont été redressés par une traction initiale de 245 kil. et ramenés à une traction de 147 kilogs pour le mesurage de la longueur.

Dans chaque série d'essais, les expériences ont été faites sur huit échantillons de fils pris aux deux extrémités de chacun des quatre rouleaux; nous les désignerons par les numéros 1 et 2 pour le 1^{er} rouleau, 3 et 4 pour le 2^e, 5 et 6 pour le 3^e, 7 et 8 pour le 4^e rouleau.

RÉSULTATS DES ESSAIS MÉCANIQUES.

Fils redressés au maillet.

Diamètres des fils, mesurés de 10 en 10 centimètres dans deux directions perpendiculaires, avant l'essai mécanique. (Les nombres en noir donnent les diamètres dans le voisinage des points où la rupture a eu lieu.)

1 ^{er} rouleau.				2 ^e rouleau.			
Fil n° 1.		Fil n° 2.		Fil n° 3.		Fil n° 4.	
4,965	4,965	4,985	4,975	5,001	5,003	4,988	4,993
4,965	4,968	4,986	4,983	5,009	5,017	4,994	4,993
4,963	4,956	4,982	4,985	5,008	5,010	5,003	4,985
4,965	4,963	4,983	4,987	5,011	5,013	5,001	4,983
4,965	4,963	4,973	4,985	5,008	5,013	5,005	4,983
4,963	4,963	4,979	4,983	5,020	5,013	4,993	4,981
4,965	4,963	4,983	4,978	5,015	5,019	4,995	4,988
4,966	4,963	4,980	4,983	5,015	5,015	4,993	4,985

3 ^e rouleau.				4 ^e rouleau.			
Fil n° 5.		Fil n° 6.		Fil n° 7.		Fil n° 8.	
5,051	5,043	5,013	5,015	5,022	5,015	5,043	5,033
5,052	5,053	5,020	5,013	5,005	5,004	5,041	5,031
5,050	5,053	5,023	5,015	5,014	5,014	5,043	5,033
5,045	5,044	5,024	5,012	5,015	4,999	5,045	5,025
5,033	5,045	5,011	5,000	5,017	5,001	5,041	5,033
5,042	5,045	5,013	5,006	5,023	5,002	5,035	5,025
5,049	5,043	5,003	5,001	5,013	5,005	5,043	5,025
5,047	5,043	5,005	5,005	5,016	5,013	5,043	5,035

Résistance à la traction.

	1 ^{er} rouleau.		2 ^e rouleau.		3 ^e rouleau.		4 ^e rouleau.	
Fils essayés.	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.	N° 6.	N° 7.	N° 8.
Longueur du fil essayé . . .	0m,697	0m,697	0m,6975	0m,692	0m,693	0m,697	0m,698	0m,699
Diam. au point de rupture, m/m	4,965	4,984	5,002	4,994	5,039	5,002	5,009	5,037
Section en m/m ²	19,36	19,51	19,65	19,59	19,94	19,65	19,71	19,93
Indication du banc	17,41	17,65	17,69	17,57	18,33	17,69	17,81	18,28
Résistance à la rupture en kil.	853,09	864,85	866,81	860,93	898,17	866,81	872,69	895,72
Résistance en kil. par m/m ² .	44,06	44,33	44,21	43,95	45,04	44,21	44,27	44,94
Allongement maxim. en m/m .	12,5	17,5	12,5	15,5	13,7	16,2	17,7	17

Fils non redressés.

*Diamètre des fils, mesuré de 10 en 10 centimètres, dans deux directions
perpendiculaires, avant l'essai mécanique.*

1 ^{er} rouleau.				2 ^e rouleau.			
Fil n° 1.		Fil n° 2.		Fil n° 3.		Fil n° 4.	
4,960	4,923	4,963	4,973	5,005	5,005	4,983	4,983
4,960	4,928	4,963	4,973	5,005	5,003	4,978	4,983
4,960	4,925	4,970	4,965	5,013	4,998	4,973	4,975
4,960	4,925	4,963	4,963	5,003	5,003	4,968	4,968
4,953	4,931	4,973	4,973	5,001	5,008	4,988	4,983
4,948	4,931	4,968	4,963	5,005	5,018	4,983	4,983
4,948	4,923	4,963	4,963	5,003	5,003	4,993	4,978
4,953	4,941	4,973	4,965				

3 ^e rouleau.			4 ^e rouleau.			
Fil n ^o 5.		Fil n ^o 6.	Fil n ^o 7.		Fil n ^o 8.	
5,033	5,038	Le bout n ^o 6, présentant une paille s'étendant sur une grande longueur, n'a pas été expérimenté.	4,993	4,986	5,013	5,023
5,038	5,033		4,993	4,993	5,023	5,023
5,038	5,033		4,993	4,993	5,028	5,023
5,033	5,028		4,995	5,003	5,028	5,023
5,043	5,025		4,993	5,003	5,015	5,015
5,043	5,038		4,983	4,993	5,003	5,008
5,043	5,033		4,993	5,003	5,023	5,013

Résistance à la traction.

	1 ^{er} rouleau.		2 ^e rouleau.		3 ^e rouleau.		4 ^e rouleau.	
Fils essayés.	N ^o 1.	N ^o 2.	N ^o 3.	N ^o 4.	N ^o 5.	N ^o 6.	N ^o 7.	N ^o 8.
Longueur du fil essayé . . .	0m,719	0m,707	0m,755	0m,705	0m,7065	„	0m,706	0m,705
Diam. au point de rupture, m/m	4,935	4,966	5,004	4,970	5,035	„	4,989	5,012
Section en m/m ²	19,13	19,37	19,67	19,40	19,91	„	19,55	19,73
Indication du banc	17,58	17,80	17,84	17,65	18,46	„	17,78	18,17
Résistance à la rupture en kil.	861,42	872,20	874,16	864,85	904,54	„	871,22	889,33
Résistance en kil. par m/m ² .	45,03	45,03	44,44	44,58	45,43	„	44,56	45,07
Allongement maxim. en m/m .	16,2	18,6	16,9	15,6	17,2	„	17,3	16

Les fils n^{os} 1 et 2 ayant été cassés dans la pince, les essais ont été recommencés sur des bouts voisins que nous désignerons par *1bis* et *2bis*, et ont donné les résultats suivants :

Diamètre des fils 1 bis et 2 bis, mesuré de 10 en 10 centimètres avant l'essai mécanique.				Résistance à la traction.		
Fil 1bis		Fil 2bis			N° 1 bis	N° 2 bis
4,968	4,933	4,973	4,963	Fils essayés		
4,960	4,931	4,963	4,958	Longueur du fil essayé . . .	0m,715	0m,719
4,963	4,923	4,963	4,953	Diam. au point de rupture, m/m	4,940	4,955
4,968	4,921	4,953	4,954	Section en m/m ²	19,17	19,28
4,953	4,921	4,963	4,948	Indication du banc	17,60	17,79
4,963	4,931	4,963	4,963	Résistance à la rupture en kil.	862,40	871,71
4,968	4,923	4,953	4,963	Résistance en kil. par m, m ² .	44,98	45,26
4,958	4,923	4,958	4,968	Allongement maxim. en m/m.	17	17,4

En mettant en regard l'une de l'autre les résistances à la traction par millimètre carré pour les fils redressés au maillet et pour les fils non redressés, on obtient les résultats suivants :

Numéros des fils.	Résistance à la rupture en kil. par millim. carré.	
	Fils redressés au maillet.	Fils non redressés.
1	44,06	44,98
2	44,33	45,26
3	44,21	44,44
4	43,95	44,58
5	45,04	45,43
6	44,21	(non mesuré)
7	44,27	44,56
8	44,94	45,07

On voit donc que dans tous les essais la résistance à la rupture par traction a été un peu plus grande pour les fils non redressés que pour les fils redressés au maillet.

Pour les premiers la résistance a varié, pour les divers échantillons soumis aux essais, de 44,44 kil. à 45,43 kil. et la valeur moyenne est de 44,9 kil.

ESSAI ÉLECTRIQUE.

Le sous-comité ne possédant pas d'instrument pour la mesure de résistances électriques aussi faibles que celles des fils expérimentés, les déterminations relatives à la conductibilité électrique ont été faites à l'Institut électro-technique Montefiore,

au moyen du pont double de Thomson, sur huit bouts de fils pris aux extrémités des quatre rouleaux expérimentés, et immédiatement à la suite des bouts choisis pour les essais mécaniques.

Les mesures faites au laboratoire de cet institut sont consignées dans le tableau ci-dessous.

Mesures électriques faites au laboratoire de l'Institut électro-technique Montefiore.

Fils essayés	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.	N° 6.	N° 7.	N° 8.
Longueur du fil	0m,50	0m,50	0m,50	0m,50	0m,50	0m,50	0m,50	0m,50
Diamètre moyen en m/m . . .	4,968	4,980	5,018	4,993	5,059	5,022	5,005	5,036
Résistance à 20° C (microhms) .	449,4	443,4	436,4	442,4	436,4	443,3	440,4	434,4
Résistance à 0°	417,0	411,5	404,9	410,5	404,9	411,5	408,7	403,1
Résist. d'un fil cuivre de mêmes longueur et section.	412,1	410,1	403,9	407,9	397,4	403,3	406,0	400,9
Conduct. par rapport au cuivre pur (étalon Matthiessen) . .	0,9882	0,9966	0,9975	0,9937	0,9815	0,9801	0,9934	0,9945

La conductibilité électrique rapportée au cuivre pur (étalon Matthiessen), est comprise, pour les divers échantillons expérimentés, entre 98,01 et 99,75 %.

FILS TÉLÉGRAPHIQUES ET TÉLÉPHONIQUES.

Marche suivie dans les expériences.

La marche suivante a été adoptée dans les essais électriques et mécaniques des fils téléphoniques et télégraphiques :

1° On déterminait au moyen du pont d'Elliot, et en opérant successivement sur deux bouts pris aux extrémités de chaque rouleau, une longueur de fil dont la résistance électrique était égale à celle d'un fil étalon de Matthiessen, de 1 mètre de longueur, pesant un gramme.

On notait la température de la boîte et celle de l'air pendant l'essai ; la première variant plus lentement que la seconde, ces deux températures ont présenté en général entre elles une légère différence.

2° Les longueurs des fils définies ci-dessus étaient mesurées directement. A cet effet, ces fils étaient tendus au-dessus d'une table portant, de mètre en mètre, des

plaques de laiton sur chacune desquelles était tracé un trait mince. La vérification et la correction des indications données au moyen de ces traits avait été faite préalablement au moyen du mètre étalon de la maison Ducretet, et les traits retracés à des équidistances de 1 mètre.

L'un des bouts du fil était serré entre deux plaques terminées par des bords plans perpendiculaires à la longueur de la table, l'extrémité du fil affleurant le plan commun des deux bords extérieurs qui correspondait exactement au zéro de la graduation. L'autre bout était serré, à une petite distance de son extrémité, entre les mâchoires d'une pince qui servait à le tendre, et la distance de l'extrémité libre au point de repère voisin de la table mesurée au moyen du mètre étalon.

3° Les fils à essayer étant trop minces pour que le diamètre moyen pût en être déterminé avec une précision suffisante au moyen de la jauge, on a déduit ce diamètre, ainsi que la section moyenne, du volume du fil, volume que l'on a calculé pour chacune des prises d'essais, par les résultats des pesées faites dans l'air et dans l'eau.

Ces dernières déterminations ont permis d'évaluer la densité de tous les fils expérimentés. Pour les fils télégraphiques, cette densité, à la température de l'expérience, a été de 8,91 de même que pour les fils de 5 millimètres de diamètre; pour les fils téléphoniques de conductibilités variées soumis aux essais, elle est restée comprise entre 8,90 et 8,92.

4° La résistance à la traction des fils téléphoniques a été déterminée par l'essai de trois fragments de chaque fil; pour l'essai de la résistance mécanique des fils télégraphiques, on a opéré sur quatre fragments de chacune des prises d'essai.

Calcul de la conductibilité relative des fils expérimentés.

En désignant par t la température de la boîte d'Elliott au moment de l'essai électrique d'un fil, par R la résistance à 0° du fil étalon de Matthiessen de 1 mètre de longueur, pesant un gramme, employé dans cette boîte, et par α le coefficient d'augmentation de la résistance du cuivre pur avec la température, on a pour la résistance électrique r de la prise d'essai à la température de l'expérience :

$$r = R (1 + \alpha t).$$

La résistance r_0 du même fil à la température de 0° s'obtiendrait en divisant l'expression ci-dessus par $1 + \beta t$, t étant la température du fil au moment de l'essai et β le coefficient d'augmentation de la résistance électrique avec la température pour le fil expérimenté.

Connaissant, au moyen des déterminations exposées plus haut, la longueur et la section de ce fil, il est facile de calculer la résistance r_0 à 0° d'un fil de cuivre pur

de même longueur et de même section, et d'en déduire la conductibilité relative $\frac{r_c}{r_o}$ du fil essayé par rapport à la conductibilité du cuivre étalon de la boîte d'Elliott, à la température de 0°.

En admettant, ce qui est très sensiblement exact pour tous les fils expérimentés, que la densité du fil étalon soit égale à la densité du fil essayé, et en désignant par l la longueur et par p le poids de ce dernier, on a $r_c = R \frac{l^2}{p}$, et par suite:

$$\frac{r_c}{r_o} = \frac{l^2 (1 + \beta t)}{p (1 + \alpha t)}.$$

Pour effectuer les calculs nous avons pris $\alpha = 0,00388$. Quant au coefficient β dont la valeur ne nous était pas connue par des expériences antérieures, il a été évalué, pour un bout de chaque rouleau, au moyen du procédé ci-dessous décrit, proposé par l'auteur du présent rapport, et qui sans être d'une extrême précision, a donné des résultats d'une concordance satisfaisante, et nous a paru suffisamment exact pour l'objet que nous avons en vue.

Détermination du coefficient d'augmentation de la résistance électrique des fils avec la température.

Méthode employée.

Le fil dont on avait à déterminer le coefficient d'accroissement de la résistance électrique était divisé en deux parties ayant à peu près la même longueur, d'environ 4 mètres, et enroulées en boudins; ces deux moitiés, BC et CD étaient reliées aux extrémités des deux branches de proportion AB et AD d'un pont de Wheatstone de la maison Elliott, branches à chacune desquelles on donnait une résistance de 10 ohms. Suivant les résistances relatives de BC et de CD l'une ou l'autre des deux branches de proportion, par exemple AB , était shuntée par le rhéostat du pont de Wheatstone employé.

Les communications du pont avec la pile P et avec le galvanomètre G étant établies à la manière ordinaire, on a, lorsque la

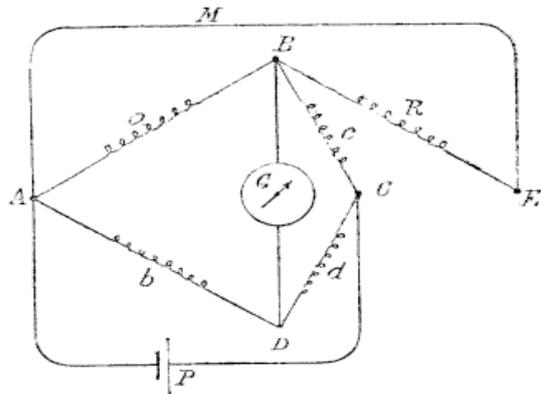


Fig. 90.

déviations du galvanomètre est égale à zéro, la relation suivante entre les résistances c et d des deux moitiés du fil essayé, les résistances a et b des deux branches de

proportion AB et AD , et la résistance R du rhéostat :

$$\frac{c}{d} = \frac{a \frac{R}{R+a}}{b},$$

et, en y remplaçant a et b par 10 :

$$\frac{c}{d} = \frac{R}{R+10}.$$

La résistance du fil de communication AME a été considérée comme négligeable par rapport à la résistance du rhéostat formant shunt, celle-ci ayant été, dans tous les essais, de plusieurs centaines d'ohms.

Les deux moitiés c et d du fil étant plongées dans deux bocalx pleins d'huile de pétrole, de 10 litres de capacité chacun environ, à des températures différant de quelques degrés, on faisait varier la résistance R de manière à amener le galvanomètre à zéro. Deux observateurs relevaient aussitôt les températures de l'huile dans les deux bocalx, températures qui ne variaient qu'avec une certaine lenteur à cause de la grande capacité des bocalx employés, et qui étaient mesurées au moyen de deux thermomètres très concordants divisés en dixièmes de degré. Les deux bocalx étant substitués l'un à l'autre, et la différence des températures des deux moitiés du fil essayé étant dès lors établie en sens inverse, on procédait à une nouvelle détermination de la résistance qu'il fallait donner au rhéostat pour amener le galvanomètre à zéro, ainsi que des températures auxquelles se trouvaient alors les deux moitiés du fil.

Pour montrer comment on a, de ces données, déduit le coefficient d'augmentation de la résistance électrique du fil, je distinguerai deux cas : 1° celui où, dans les deux expériences, il faut shunter la même branche de proportion, a par exemple, pour amener le galvanomètre à zéro ; 2° le cas où il faut, dans l'une des déterminations, shunter la branche a , et dans l'autre la branche b .

1^{er} cas. — Soit, dans la première expérience, t la température de la moitié c , t' la température de la moitié d , R la résistance qu'il faut donner au rhéostat formant shunt pour amener le galvanomètre à zéro ; soit de même, dans la 2^e expérience θ et θ' respectivement les températures des parties c et d du fil, et R' la résistance du rhéostat ; on aura, en désignant par r la résistance à 0° de la branche c , par r' la résistance à 0° de la branche d , et par x le coefficient d'accroissement de la résistance électrique du fil essayé :

$$\frac{r(1+xt)}{r'(1+xt')} = \frac{R}{R+10}$$

$$\frac{r(1+x\theta)}{r'(1+x\theta')} = \frac{R'}{R'+10}, \quad \text{d'où}$$

$$\frac{(1+x t)(1+x \theta)}{(1+x t)(1+x \theta)} = \frac{R(R+10)}{R(R+10)}$$

$$[1+x(t+\theta)+x^2 t \theta](10 R+R R') = [1+x(t+\theta)+x^2 t \theta](10 R+R R').$$

Cette équation étant du second degré, nous avons employé, pour en déduire la valeur de x , la méthode des approximations successives.

On en tire :

$$x = \frac{10(R-R')}{(t+\theta+x t \theta)(R R'+10 R) - (t+\theta+x t \theta)(R R'+10 R)},$$

équation qui donne une première valeur approximative α de x , que l'on obtient en négligeant dans le dénominateur les termes $x t \theta$ et $x t \theta$ dont la valeur est très faible relativement aux termes $t+\theta$ et $t+\theta$, à cause de la petitesse du coefficient x , d'où résulte l'équation :

$$\alpha = \frac{10(R-R')}{(t+\theta)(R R'+10 R) - (t+\theta)(R R'+10 R)};$$

on substitue ensuite cette valeur α à la place de x dans le dénominateur du deuxième membre de l'équation à résoudre, ce qui donne pour x la valeur :

$$x = \frac{10(R-R')}{(t+\theta+x t \theta)(R R'+10 R) - (t+\theta+x t \theta)(R R'+10 R)}$$

dont la différence avec la valeur exacte de x est inférieure aux erreurs d'observations.

2^e cas. — En adoptant les mêmes notations, et en remarquant que dans ce second cas la résistance R' est employée comme shunt de la branche b du pont, on a

$$\frac{r(1+x t)}{r'(1+x t)} = \frac{R}{R+10}$$

$$\frac{r(1+x \theta)}{r'(1+x \theta)} = \frac{R'+10}{R'}$$

$$\text{d'où} \quad \frac{(1+x t)(1+x \theta)}{(1+x t)(1+x \theta)} = \frac{R R'}{(R+10)(R'+10)}$$

$$(1+x t)(1+x \theta)(R+10)(R'+10) = (1+x t)(1+x \theta) R R'$$

$$(R+10)(R'+10) + x(t+\theta+x t \theta)(R+10)(R'+10) = R R' + x(t+\theta+x t \theta) R R'$$

$$x = \frac{10 R+10 R'+100}{(t+\theta+x t \theta) R R' - (t+\theta+x t \theta)(R+10)(R'+10)}$$

équation que l'on traite ainsi qu'il a été dit plus haut.

Résultats des expériences sur la variation des résistances électriques des fils de bronze phosphoreux produite par les changements de température.

Les expériences ayant pour objet la détermination du coefficient x ont été faites sur quatre échantillons de fil téléphonique pris sur les quatre rouleaux, à proximité des bouts de fil que nous avons désignés par les numéros 1, 3, 5 et 7.

Fil n° 1.

<i>1^{re} expérience.</i>	$t = 20$ $R = 1326 \omega$ d'où	$t' = 14$ $R' = 452 \omega$ $x = 0,00125.$	$\theta = 14,1$	$\theta' = 19,8$
<i>2^e expérience.</i>	$t = 14,2$ $R = 457 \omega$ d'où	$t' = 19,75$ $R' = 1067 \omega$ $x = 0,00115.$	$\theta = 19,65$	$\theta' = 14,35$
<i>3^e expérience.</i>	$t = 19,3$ $R = 986 \omega$ d'où	$t' = 14,75$ $R' = 483 \omega$ $x = 0,00116.$	$\theta = 14,75$	$\theta' = 19,3$

La valeur moyenne du coefficient x , résultant des trois expériences, est 0,00119 pour le fil n° 1.

Fil n° 3.

<i>1^{re} expérience.</i>	$t = 15$ $R = 638 \omega$ d'où	$t' = 19,1$ $R' = 1723 \omega$ $x = 0,00125.$	$\theta = 19,05$	$\theta' = 15,15$
<i>2^e expérience.</i>	$t = 18,9$ $R = 1548 \omega$ d'où	$t' = 15,4$ $R' = 665 \omega$ $x = 0,00126.$	$\theta = 15,5$	$\theta' = 18,9$
<i>3^e expérience.</i>	$t = 15,6$ $R = 675 \omega$ d'où	$t' = 18,9$ $R' = 1449 \omega$ $x = 0,00124.$	$\theta = 18,85$	$\theta' = 15,7$

Valeur moyenne résultant des trois expériences $x = 0,00125.$

Fil n° 5.

<i>1^{re} expérience.</i>	$t = 19,5$ $R = 783 \omega$ d'où	$t' = 14,6$ $R' = 401 \omega$ $x = 0,00128.$	$\theta = 14,85$	$\theta' = 19,5$
<i>2^e expérience.</i>	$t = 19,35$ $R = 711 \omega$ d'où	$t' = 15$ $R' = 392 \omega$ $x = 0,00136.$	$\theta = 15,2$	$\theta' = 19,3$
<i>3^e expérience.</i>	$t = 20,8$ $R = 887 \omega$ d'où	$t' = 13,5$ $R' = 348 \omega$ $x = 0,00122.$	$\theta = 13,7$	$\theta' = 20,45$

Moyenne des trois essais $x = 0,00128.$

Fil n° 7.

<i>1^{re} expérience.</i>	$t = 18,8$ $R = 896 \omega$ d'où	$t = 15,8$ $R = 514 \omega$ $x = 0,00147.$	$\theta = 16$	$\theta' = 18,8$
<i>2^o expérience.</i>	$t = 16,1$ $R = 520 \omega$ d'où	$t = 18,7$ $R' = 786 \omega$ $x = 0,00128.$	$\theta = 18,7$	$\theta' = 16,2$
<i>3^e expérience.</i>	$t = 21,85$ $R = 1106 \omega$ d'où	$t = 16,4$ $R' = 427 \omega$ $x = 0,00138.$	$\theta = 16,5$	$\theta' = 21,6$

Moyenne des trois essais $x = 0,00138.$

On remarquera que le fil n° 1 qui a la plus faible conductibilité est aussi, comme il était permis de le prévoir, celui pour lequel le coefficient d'accroissement de la résistance électrique 0,00119 a la plus petite valeur; les deux fils n° 3 et n° 5 qui ont des conductibilités électriques peu différentes ont aussi des coefficients à peu près égaux 0,00125 et 0,00128; enfin la valeur la plus forte du coefficient (0,00138) correspond au fil n° 7 qui est aussi le plus conducteur.

Par suite des causes d'erreurs qui peuvent affecter la détermination des températures des deux branches *c* et *d* de chacun des fils essayés, erreurs dont l'importance relative est d'autant plus grande que la différence de ces températures est toujours restée assez faible, les expériences que nous venons de rapporter ne comportent pas une précision permettant de déterminer trois chiffres significatifs du coefficient cherché. Toutefois elles nous semblent suffisantes pour admettre que, en se bornant à deux chiffres, le coefficient d'accroissement de la résistance électrique peut être représenté assez exactement par 0,0012 pour le fil n° 1 appartenant au premier rouleau; par 0,0013 pour les fils n° 3 et n° 5 appartenant au deuxième et au troisième rouleau; et par 0,0014 pour le fil n° 7 appartenant au quatrième rouleau. Ce sont ces valeurs approximatives que nous avons adoptées pour ramener à 0° la conductibilité des fils essayés.

Fils télégraphiques.

Trois essais faits sur un échantillon pris à l'un des rouleaux présentés ont donné les résultats ci-dessous :

<i>1^{re} expérience.</i>	$t = 17,2$ $R = 533 \omega$ d'où	$t = 19,25$ $R' = 1957 \omega$ $x = 0,00389.$	$\theta = 19,05$	$\theta' = 17,4$
-----------------------------------	----------------------------------------	-----------------------------------------------------	------------------	------------------

2 ^e expérience.	$t = 12,7$	$t' = 14,9$	$\theta = 15,1$	$\theta' = 13,15$
	$R = 446 \omega$	$R' = 1565 \omega$		
	d'où $x = 0,00400.$			
3 ^e expérience.	$t = 13,9$	$t' = 20,05$	$\theta = 19,8$	$\theta' = 14,25$
	$R = 1200 \omega$	$R' = 278 \omega$		

Dans cette troisième expérience, les deux branches de proportion ont été successivement shuntées, le shunt R correspond à la branche a et le shunt R' à la branche b .

On en déduit $x = 0,00394.$

La valeur moyenne déduite des trois essais serait 0,00394. Elle diffère fort peu de la valeur admise pour le coefficient d'accroissement de la résistance du cuivre pur, dont la conductibilité est du reste à peu près la même.

Dans les calculs de réduction à 0° des conductibilités des fils essayés, nous avons donc admis, pour ces fils de haute conductibilité, de même que pour les fils de 5 millimètres, que le coefficient d'augmentation de la résistance avait la même valeur que pour le cuivre pur.

RÉSULTATS DES ESSAIS ÉLECTRIQUES ET MÉCANIQUES DES FILS MINCES.

Fils téléphoniques.

1^{er} ROULEAU.

Essai électrique et détermination de la densité.

	Fil n° 1	Fil n° 2
Longueur du fil ayant une résistance égale à celle du fil étalon de la boîte	3m,084	2m,882
Température de la boîte	14°5	14°7
Température de l'air	15°7	15°5
Poids du fil dans l'air	35,883 gr.	31,9115 gr.
Poids du fil dans l'eau	31,8627 gr.	28,340 gr.
Température de l'air	14°7	15°2
Température de l'eau	18°	17°5
Densité	8,91	8,91
Section moyenne (millim. carrés)	1,303	1,242
Diamètre moyen (millim.)	1,288	1,257
Résistance à 0° en ohms	0,1476	0,1478
Résist. d'un fil de cuivre de mêmes long. et section à 0°	0,03782	0,03708
Conductibilité par rapport au fil de cuivre étalon . . .	0,256	0,251

Essai mécanique.

Fils essayés	1 ^a	1 ^b	1 ^c	2 ^a	2 ^b	2 ^c
Longueur du fil	0,73	0,716	0,6645	0,6855	0,70	0,6845
Section en millim. carrés . . .	1,303	1,303	1,303	1,242	1,242	1,242
Diamètre en millim.	1,288	1,288	1,288	1,257	1,257	1,257
Indication du banc	16,01	16,4	16,13	15,00	15,37	15,22
Résistance à la rupture en kilog.	112,07	114,8	112,91	105,00	107,59	106,54
Résist. en kilog. par millim. carré	86,01	88,10	86,66	84,54	86,6	85,78
Allongement maximum (millim.)	10,2	10,5	9,2	10,2	10,3	9,9
Allongement par mètre.	13,7	14,6	13,8	14,8	15,0	14,4

Les fils 1^a, 1^c, 2^b et 2^c se sont cassés dans la pince.

2^e ROULEAU.*Essai électrique et détermination de la densité.*

	Fil n° 3	Fil n° 4
Longueur du fil ayant une résistance égale à celle du fil étalon de la boîte	3m,4567	3m,4558
Température de la boîte	14°7	14°7
Température de l'air	13°5	14°8
Poids du fil dans l'air	40,1997 gr.	39,1279 gr.
Poids du fil dans l'eau	35,6985 gr.	34,7515 gr.
Température de l'air	14°7	16°4
Température de l'eau	18°5	18°5
Densité	8,912	8,919
Section moyenne (mill. carrés)	1,305	1,269
Diamètre moyen (millim.)	1,289	1,271
Résistance à 0° en ohms	0,1478	0,1478
Résist. d'un fil de cuivre de mêmes long. et section à 0°	0,04236	0,04351
Conductibilité par rapport au fil de cuivre étalon . . .	0,287	0,294

Essai mécanique.

Fils essayés	3 ^a	3 ^b	3 ^c	4 ^a	4 ^b	4 ^c
Longueur du fil	0,701	0,7135	0,740	0,6522	0,667	0,6795
Section en millim. carrés . . .	1,305	1,305	1,305	1,269	1,269	1,269
Diamètre en millim.	1,289	1,289	1,289	1,271	1,271	1,271
Indication du banc	15,52	15,22	15,22	14,88	14,88	14,74
Résistance à la rupture en kilog.	108,64	106,54	106,54	104,16	104,16	103,18
Résist. en kilog. par millim. carré	83,25	81,64	81,64	82,08	81,31	81,31
Allongement maximum (millim.)	10,6	10,4	9,5	11,4	10,9	10,5
Allongement par mètre	15,1	14,6	12,8	17,5	16,3	15,4

Les fils 3^a, 3^b, 3^c, 4^a et 4^c se sont cassés dans la pince.

3^e ROULEAU.*Essai électrique et détermination de la densité.*

Longueur du fil ayant une résistance égale à celle du fil étalon de la boîte	Fil n° 5.	Fil n° 6.
	3m,4225	3m,363
Température de la boîte	14°3	14°3
Température de l'air	15°7	15°9
Poids du fil dans l'air	40,1267 gr.	37,9141 gr.
Poids du fil dans l'eau	35,6251 gr.	33,6743 gr.
Température de l'air	16°7	17°9
Température de l'eau	13°	19°5
Densité	8,90	8,919
Section moyenne (millim. carrés)	1,317	1,264
Diamètre moyen (en millim.)	1,294	1,268
Résistance à 0° en ohms	0,1474	0,1474
Résist. d'un fil de cuivre de mêmes long. et section à 0°	0,04152	0,04251
Conductibilité par rapport au fil de cuivre étalon . .	0,282	0,288

Essai mécanique.

Fils essayés	5 ^a	5 ^b	5 ^c	6 ^a	6 ^b	6 ^c
Longueur du fil	0,6905	0,705	0,718	0,7355	0,7485	0,764
Section en millim. carrés	1,317	1,317	1,317	1,264	1,264	1,264
Diamètre en millim.	1,294	1,294	1,294	1,268	1,268	1,268
Indication du banc	15,99	15,60	15,78	14,71	15,14	14,90
Résistance à la rupture en kilog.	111,93	109,20	110,46	102,97	105,98	104,30
Résist. en kilog. par millim. carré	84,99	82,92	83,87	81,46	83,84	82,52
Allongement maximum (millim.)	8,5	8,0	9,7	7,7	8,0	9,0
Allongement par mètre	12,3	11,3	13,5	10,5	10,7	12,0

Les fils 5^a, 5^b et 6^b se sont cassés dans la pince.

4° ROULEAU.

Essai électrique et détermination de la densité.

	Fil n° 7	Fil n° 8
Longueur du fil ayant une résistance égale à celle du fil étalon de la boîte	3m,3125	3m,450
Température de la boîte	14°5	14°5
Température de l'air	15°6	14°7
Poids du fil dans l'air	35,9958 gr.	38,985 gr.
Poids du fil dans l'eau	31,9673 gr.	34,6267 gr.
Température de l'air	16°3	15°9
Température de l'eau	13°9	21°
Densité	8,92	8,919
Section moyenne (millim. carrés)	1,218	1,267
Diamètre moyen (en millim.)	1,245	1,270
Résistance à 0° en ohms	0,1476	0,1477
Résist. d'un fil de cuivre de mêmes long. et section à 0°	0,04346	0,04351
Conductibilité par rapport au fil de cuivre étalon . . .	0,294	0,295

Essai mécanique.

Fils essayés	7 ^a	7 ^b	7 ^c	8 ^a	8 ^b	8 ^c
Longueur du fil	0,7435	0,7552	0,7745	0,792	0,6915	0,7112
Section en millim. carrés . . .	1,218	1,218	1,218	1,267	1,267	1,267
Diamètre en millim.	1,245	1,245	1,245	1,270	1,270	1,270
Indication du banc	14,18	14,10	14,43	15,00	14,95	15,11
Résistance à la rupture en kilog.	99,26	98,70	101,01	105,00	104,65	105,77
Résist. en kilog. par millim. carré	81,5	81,0	82,9	82,8	82,5	83,4
Allongement maximum (millim.)	7,9	non mes.	9,5	11,8	10,5	10,5
Allongement par mètre	10,6	"	12,2	14,9	15,2	14,8

Les fils 7^c et 8^b se sont cassés dans la pince.

Fils télégraphiques.*Détermination de la densité.*

	1 ^{er} rouleau.	2 ^e rouleau.
Poids du fil dans l'air.	39,2783 gr.	39,4111 gr.
Température de l'air.	19°3	19°2
Poids du fil dans l'eau	34,884 gr.	35,000 gr.
Température de l'eau.	21°	21°
Densité	8,91	8,91

1^{er} ROULEAU.*Essai électrique.*

	Fil n° 1	Fil n° 2
Longueur du fil ayant une résistance égale à celle du fil étalon de la boîte	17m,842	18m,212
Température de la boîte	15°7	14°8
Température de l'air	16°	16°5
Poids du fil dans l'air	321,3883 gr.	334,8964 gr.
Température de l'air au moment de la pesée	17°4	18°5
Section moyenne du fil (millim. carrés)	2,022	2,064
Diamètre moyen en millim.	1,604	1,621
Résistance à 0° en ohms	0,1422	0,1415
Résist. d'un fil de cuivre de mêmes long. et section à 0°	0,1410	0,1410
Conductibilité par rapport au fil de cuivre étalon . . .	0,991	0,996

Essai mécanique.

Fils essayés	1 ^a	1 ^b	1 ^c	1 ^d	2 ^a	2 ^b	2 ^c	2 ^d
Longueur du fil	0,731	0,6955	0,710	0,671	0,7112	0,6942	0,707	0,6965
Section en millim. carrés	2,022	2,022	2,022	2,022	2,064	2,064	2,064	2,064
Diamètre en millim.	1,604	1,604	1,604	1,604	1,621	1,621	1,621	1,621
Indication du banc	13,98	13,88	13,725	13,85	13,53	14,05	13,95	14,02
Résist. à la rupture en kilog.	97,86	97,16	96,075	96,95	94,71	98,35	97,65	98,14
Résist. en kilog. par mill.carré	48,4	48,1	47,5	48,0	45,9	47,6	47,3	47,5
Allong. maximum (millim.)	10,9	10,1	9,7	9,5	10,5	11,0	9,9	11,0
Allongement par mètre	14,9	14,5	13,7	14,1	14,8	15,8	14,0	15,8

Observation. — Le fil n° 1^c s'est cassé dans la pince.

2^e ROULEAU.*Essai électrique.*

	Fil n° 3	Fil n° 4
Longueur du fil ayant une résistance égale à celle du fil étalon de la boîte	17m,573	18m,218
Température de la boîte	12°8	13°2
Température de l'air	14°	14°5
Poids du fil dans l'air	312,0706 gr.	334,9531 gr.
Température de l'air au moment de la pesée	15°7	15°7
Section moyenne du fil (millim. carrés)	1,994	2,064
Diamètre moyen en millim.	1,593	1,621
Résistance à 0° en ohms	0,1418	0,1417
Résist. d'un fil de cuivre de mêmes long. et section à 0°	0,1408	0,1410
Conductibilité par rapport au fil de cuivre étalon . .	0,993	0,995

Essai mécanique.

Fils essayés	3 ^a	3 ^b	3 ^c	3 ^t	4 ^a	4 ^b	4 ^c	4 ^d
Longueur du fil	0,695	0,705	0,719	0,717	0,6935	0,696	0,702	0,695
Section en millim. carrés . .	1,994	1,994	1,994	1,994	2,064	2,064	2,064	2,064
Diamètre en millim.	1,593	1,593	1,593	1,593	1,621	1,621	1,621	1,621
Indication du banc	13,91	14,08	14,13	13,45	13,33	14,30	13,90	14,21
Résist. à la rupture en kilog.	97,37	98,56	98,91	94,15	93,31	100,10	97,30	99,47
Résist. en kilog. par mill.carré	48,8	49,4	49,6	47,3	45,2	48,5	47,1	48,2
Allong. maximum (millim.) .	8,0	9,7	9,0	10,5	6,5	9,5	9,2	10,0
Allongement par mètre . . .	11,5	13,7	12,5	14,6	9,4	13,6	13,1	14,4

Observation. Le fil n° 3^c s'est cassé dans la pince; le fil n° 4^a s'est cassé à une paille.

ACCUMULATEURS A GRILLES

présentés par la société l'Électrique de Bruxelles (système Julien).

Essais exécutés à l'Institut Electro-technique de Liège, par M. Eric Gerard,
assisté de M. L. Zunini.

La société l'Électrique a soumis à l'examen du Comité une batterie de 24 petits éléments secondaires du système Julien, fabriqués dans le courant de mai 1885. Cette pile a fonctionné à l'Exposition d'Anvers où elle servait à alimenter un groupe de lampes à incandescence que l'on allumait dans les moments d'affluence. Il n'a pas été tenu compte du service de ces accumulateurs antérieurement à l'époque où ils ont été présentés au Comité; à ce moment, ils paraissaient en excellent état.

Considérant le peu de temps dont il disposait, le Comité s'est vu dans l'impossibilité de procéder aux essais à l'Exposition même, il a remis ce soin à M. Eric Gerard. Les expériences effectuées à l'Institut Electro-technique de Liège ont duré du 25 janvier au 9 avril 1886. Après vingt charges et décharges, les électrodes ont été retirées des éléments en bon état de conservation.

Description des éléments. — Chaque élément comprend 7 plaques positives et 6 plaques négatives de 9 cent. de haut sur 11 de large et 0,25 cent. d'épaisseur. Les supports de la matière active, en forme de grille, sont composés de plomb, d'antimoine et de mercure, suivant une proportion combinée par M. Julien dans le but d'empêcher la détérioration des grilles pendant le fonctionnement de la pile. Les grilles, dont les trous ont environ 0,6 cent. de côté, sont remplies d'oxydes de plomb, de minium et de litharge, à raison de 80 grammes pour chaque plaque positive, et de 85 grammes pour chaque plaque négative.

Les plaques de même polarité étaient réunies à l'aide d'un fil de cuivre étamé, recouvert de vernis. Ce mode d'attache a été reconnu défectueux par suite de la formation, au-dessus des anodes, de sels de cuivre qui ne tardent pas à ronger complètement le fil de connexion. On peut éviter cet inconvénient en réunissant les électrodes à l'aide de lames de plomb.

Les vases contenant les éléments sont en ébonite. Chaque récipient, pesant 0,765 kilogr., est divisé par une cloison en deux compartiments renfermant chacun

un élément et dans lesquels on verse 0,815 kilog. d'eau acidulée à raison de 15 parties d'acide sulfurique marquant 1,84 au densimètre.

Voici le détail des poids d'un double élément prêt à fonctionner :

réipient	0,765 kilog.
14 plaques positives (après décharge)	3,460
12 plaques négatives	2,590
eau acidulée	<u>1,630</u>
	8,455

Méthode d'essai. — Les essais ont eu lieu au cours de vingt charges et décharges, espacées dans une période d'environ deux mois et demi. Le chargement des accumulateurs a été effectué à l'aide d'une machine Edison de petites dimensions à excitation dérivée, mise en marche au moyen d'un moteur hydraulique rotatif d'une grande régularité d'allure. Le déchargement s'opérait sur un rhéostat industriel composé de boudins en fil de fer de 3 millim. de diamètre.

Pendant chaque opération, on notait : 1° l'intensité du courant,
2° la force électro-motrice aux bornes des accumulateurs,
3° la variation de poids des électrodes d'un élément.

Afin de faciliter les mesures et de réduire les erreurs personnelles, on a fait usage d'appareils enregistreurs pour toutes les déterminations.

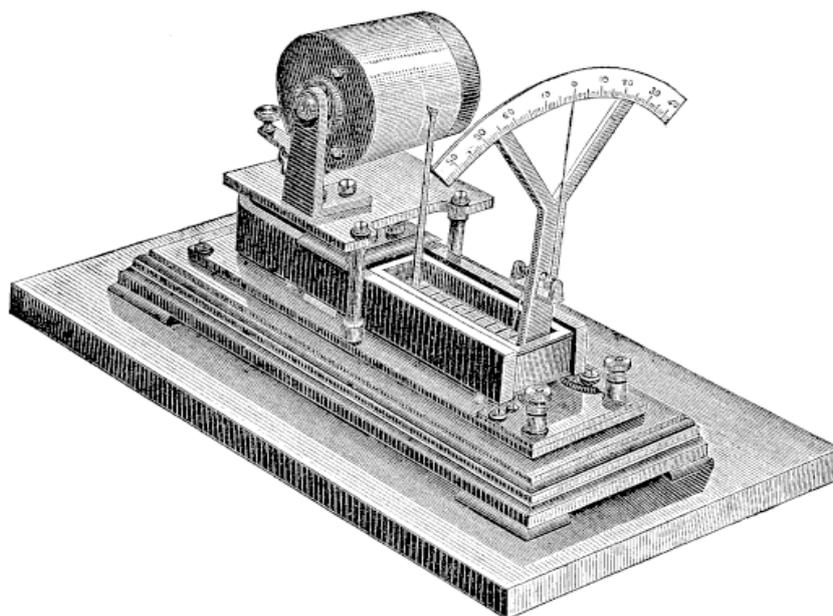
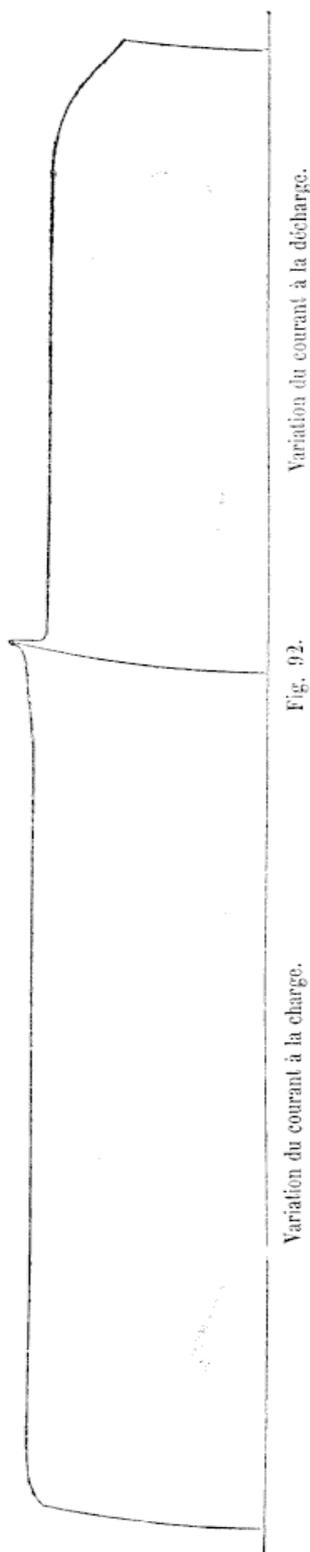


Fig. 91.

Pour relever la différence de potentiel borne à borne et l'intensité du courant, on a employé deux galvanomètres à arête de poisson de Deprez, munis d'enregistreurs du système Richard (fig. 91). Les galvanomètres de Deprez sont trop connus pour



Variation du courant à la décharge.

Fig. 92.

Variation du courant à la charge.

qu'il soit nécessaire d'en donner la description. La palette mobile est munie d'une lamelle verticale en aluminium, terminée par une plume de forme spéciale, laquelle est chargée d'une encre à base d'aniline et de glycérine. La plume appuie très légèrement sur une feuille de papier tendue sur un tambour cylindrique mû par un mécanisme d'horlogerie. Pendant la rotation du tambour, la plume trace sur le papier une courbe dont les ordonnées, rapportées à la ligne de déviation nulle, sont proportionnelles aux intensités des courants qui traversent l'appareil, dans les limites des déviations observées.

L'opération terminée, on retire la feuille de papier du tambour, et à l'aide du planimètre, on détermine l'ordonnée moyenne de la courbe, laquelle représente, selon les cas, l'intensité ou la force électro-motrice moyenne observée. La distance entre les abscisses extrêmes est proportionnelle à la durée de l'opération. La figure 92 montre un fac-simile des tracés obtenus.

Les deux galvanomètres servant respectivement d'ampèremètre et de voltmètre, ont été gradués trois fois pendant le cours des essais, par comparaison avec les appareils étalons de l'Institut Electro-technique.

L'emploi de ces appareils enregistreurs ne permet pas une très grande précision dans les lectures, mais ils sont suffisants pour des essais industriels et ils présentent une grande commodité.

L'enregistreur est un observateur patient et fidèle qui relève d'une manière *continue* les éléments à recueillir. En consacrant une à deux heures par jour à l'installation et à la surveillance de ces appareils, une seule personne peut exécuter de cette manière les essais d'accumulateurs qui demanderaient, par la méthode de lecture directe, au moins deux observateurs occupés exclusivement à ce travail.

La détermination des variations de poids des électrodes d'un élément a été faite à l'aide de la balance enregistreuse de Richard. Dans ce but, les électrodes sont

suspendues à l'un des bras d'une balance de Roberval (fig. 93) ; elles plongent dans une grande auge en verre contenant une dizaine de litres d'eau acidulée et peuvent se déplacer librement. Les électrodes restent en communication avec le circuit des autres éléments, par l'intermédiaire de deux coupes à mercure dans lesquelles

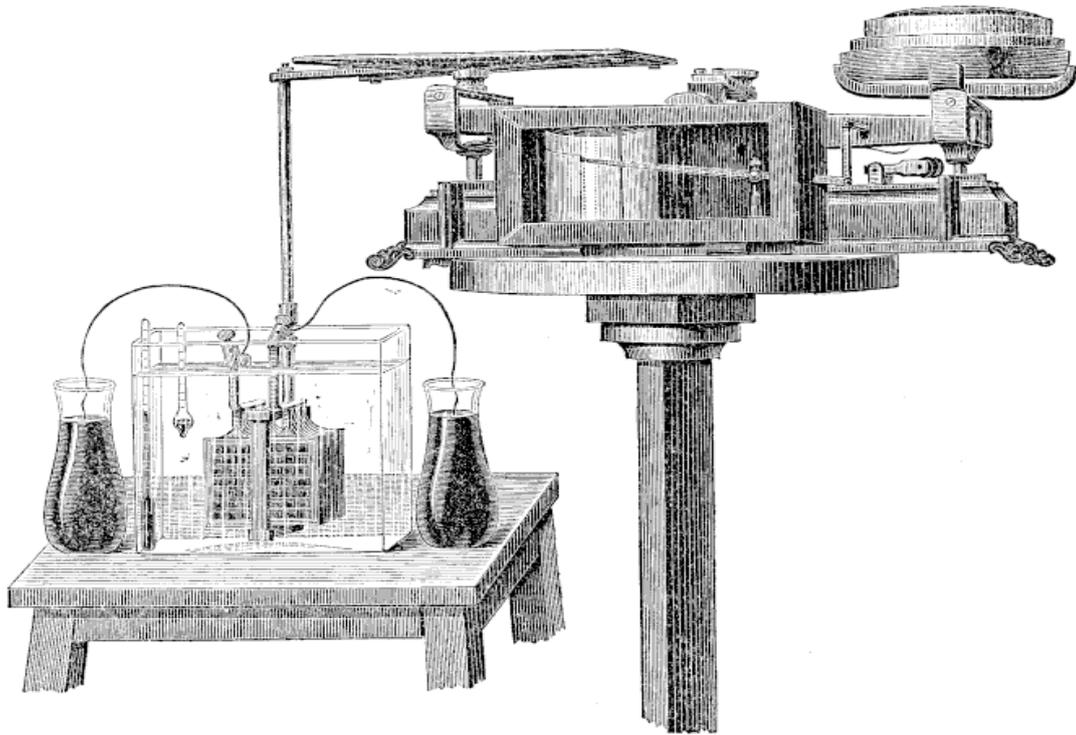


Fig. 93.

plongent des fils de cuivre reliés aux électrodes. Celles-ci sont équilibrées au moyen de contrepois portés par l'autre extrémité du fléau. Ce dernier est en commu-

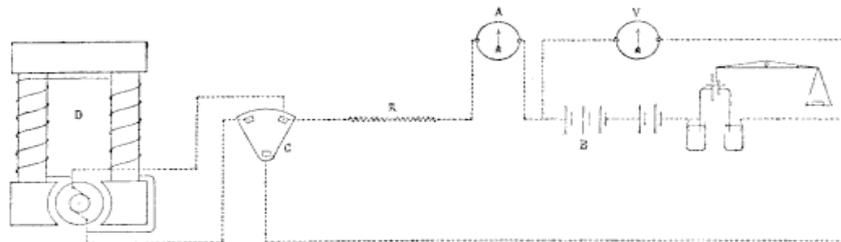
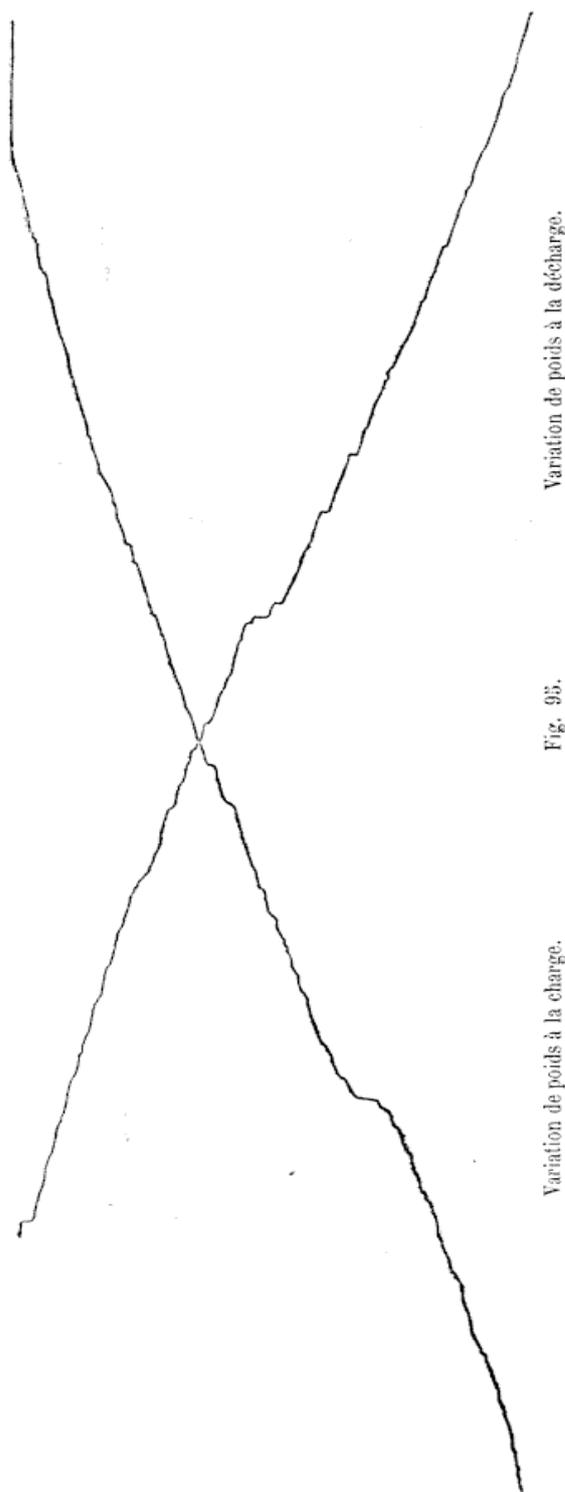


Fig. 94.

nication par un système de tringles articulées avec une plume enregistrante, dont les déplacements sont proportionnels à ceux du fléau et s'inscrivent sur un tambour mobile, comme dans les galvanomètres précédents.



Variation de poids à la décharge.

Fig. 95.

Variation de poids à la charge.

La courbe tracée par la plume sur le tambour et dont un spécimen est représenté figure 95, marque les variations de poids des électrodes. On peut constater que l'allure de ces variations est très régulière. Les petits ressauts de la courbe doivent être attribués à la paresse de l'appareil et au dégagement brusque des gaz accumulés en grosses bulles sur les supports des électrodes. Afin d'obtenir la variation de poids total, il suffit de ramener le fléau de la balance dans sa position initiale à l'aide de poids.

Cette observation présente deux causes d'erreurs principales provenant 1° de la variation de température, 2° de la variation de composition du liquide, par suite des réactions au contact des électrodes. Ces deux causes modifient la densité du liquide et par suite la poussée verticale sur les électrodes. Toutefois, le calcul montre que les erreurs ainsi produites ne peuvent dépasser au maximum un gramme, limite de sensibilité de la balance dans les conditions où elle était installée.

La disposition générale des appareils de mesure et leurs liaisons sont représentées figure 94.

D représente la dynamo servant au chargement des accumulateurs ;

B, la batterie d'accumulateurs dont un élément est supporté par la balance enregistrante ;

A, l'ampèremètre enregistreur ;

N° d'ordre.	Charge.					Décharge.					Observations				
	DATE.	DURÉE en heures. t	Diminution de poids des électrod. d'un élém. de ch. i	Intens. moy. du courant en amp. du moy. aux bornes électrod. volts. e	Force élect. mot. finale par élém. en circ. ouv. ampères. heure.	Force élect. mot. finale par élém. en circ. ouv. ampères. heure.	DURÉE en heures. t	Augmen- tation de poids des électrod. d'un élém. de ch. i	Intensité moy. du courant en amp. du moy. aux bornes électrod. volts. e	Force élect. mot. finale par élém. en circ. ouv. ampères. heure.		ENERGIE utile en chev.-h. $\frac{e \cdot t}{736}$	Rendement $\frac{e \cdot t}{e \cdot t}$		
1	26-27 janv.	41.30	84	4.300	50.2	43.590	2.470	3.3141	8.00	45.4	40.800	4.347	2.3167	75.94	
2	29-30	7.55	75	5.580	49.8	42.129	2.350	2.8167	6.80	47.6	35.428	4.840	2.2910	81.34	
3	1er fév.	7.86	70	4.830	49.5	37.964	2.300	2.5533	8.03	46.6	34.4275	4.620	2.1608	84.63	
4	3	6.23	65	5.660	50.3	35.260	2.310	2.4096	4.77	48.9	29.6217	4.790	1.9680	81.66	
5	8-9	7.90	61	4.090	50.9	32.314	2.345	2.2340	4.85	56.00	5.59	4.123	1.6357	73.22	
6	10	7.15	69	5.290	49.0	37.823	2.230	2.5180	5.17	58.00	5.80	4.630	1.8860	74.90	
7	12	7.50	76	5.275	52.4	39.560	2.370	2.8000	6.95	62.00	4.86	4.656	2.1294	76.05	
8	15-22	6.62	45	4.580	50.8	30.330	2.190	2.0930	6.50	52.00	4.12	4.66	1.845	81.01	
9	24	40.12	»	4.270	51.6	43.2124	2.345	3.0300	7.72	*	4.36	47.1	33.639	71.09	
10	26	8.03	78	4.810	51.9	38.624	2.370	2.7240	6.92	65.00	4.80	4.650	2.0805	76.38	
11	1er mars	8.67	70	4.510	53.5	39.102	2.380	2.8410	6.73	68.00	4.97	47.1	33.448	75.34	
12	3	7.22	62	4.520	50.3	32.630	2.270	2.2303	5.62	52.00	4.94	47.2	27.760	79.87	
13	5	7.30	58	4.260	51.2	31.950	2.270	2.2226	5.63	48.00	4.645	47.3	28.170	75.67	
14	16-17	14.40	58	2.410	50.5	34.700	2.270	2.3810	7.22	53.00	3.81	47.3	27.500	74.26	
15	19-20	13.65	56	2.348	50.3	32.054	2.200	2.1906	7.30	56.00	3.95	46.2	28.835	82.62	
16	23-24	16.47	69	2.385	50.9	39.281	2.250	2.7166	7.70	62.00	4.16	45.6	32.030	73.00	
17	26-27	14.73	67	2.490	48.5	36.677	2.180	2.4170	6.95	57.00	4.11	45.0	28.560	72.26	
18	31 m. 1 a.	15.40	56	2.580	48.6	39.732	2.110	2.6236	6.67	51.00	4.50	45.7	30.015	71.04	
19	5-6	14.68	53	2.335	48.2	34.278	2.020	2.2448	6.23	50.00	4.38	45.1	27.287	74.49	
20	8-9	13.47	46	2.260	47.7	30.442	2.150	1.9730	6.33	44.00	4.30	45.3	27.219	84.91	
Moyennes		10.33	64.16	3.920	50.20	36.500	2.265	2.4897	6.55	58.72	4.721	4.687	1.9202	77.13	

* Cette opération n'étant pas complète a été exclue des moyennes.

V , le voltmètre enregistreur;

R , le rhéostat permettant de régler l'intensité du courant de charge et d'absorber l'énergie électrique utilisable à la décharge;

C , un commutateur à deux contacts.

Calcul des observations. —

Appelons t la durée de la charge en heures,

„ i l'intensité moyenne du courant de charge,

„ e la différence de potentiels aux bornes à la charge,

„ t' , i' , e' , les éléments correspondants à la décharge.

Le produit $\frac{eit}{736}$ représente en chevaux-heure l'énergie électrique absorbée par les accumulateurs à la charge;

Le produit $\frac{e'i't'}{760}$ représente en chevaux-heure l'énergie électrique utilisable dans le circuit extérieur, à la décharge.

Le rapport $\frac{e'i't'}{eit}$ est le rendement des accumulateurs.

Le tableau précédent indique les résultats de 20 opérations successives ainsi que les moyennes générales.

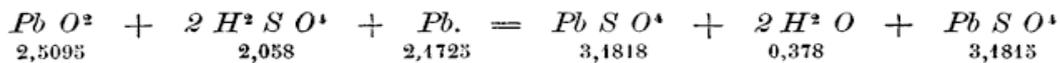
Discussion des résultats. — Différentes conséquences intéressantes résultent du tableau que nous venons de donner.

La quantité de matière engagée par ampère-heure est moyennement de

$$\frac{64,16}{36,50} = 1,757 \text{ à la charge}$$

et de $\frac{58,72}{30,604} = 1,917$ à la décharge.

Plusieurs physiciens, se basant sur les résultats de l'analyse des électrodes, ainsi que sur des calculs effectués au moyen de données thermo-chimiques, ont établi que l'énergie électrique fournie par les accumulateurs est due à la sulfatation des deux électrodes pendant la décharge, les sulfates formés étant réduits lors de la charge. Ces actions sont exprimées par la formule chimique suivante, sous laquelle nous avons inscrit les poids, en grammes, de matière intéressée par ampère-heure :



D'après cette formule, la perte de poids des électrodes est, à la charge, de 1,68 gr. par ampère-heure, nombre assez voisin de 1,757 gr., trouvé par expérience. A la décharge, on a constaté un gain de 1,917 gr., notablement supérieur au poids théorique déduit de la formule. La différence peut être attribuée à une action secondaire sur les électrodes, entraînant une formation de sulfate de plomb sans profit

pour le développement de l'énergie électrique. Les électrodes ont, en effet, accusé un gain notable pendant la durée totale des opérations.

Le poids de matière utile intéressée dans les réactions est au maximum de

$$(2,5095 + 2,1735) 36,5 = 170,83 \text{ gr.}$$

Or, les électrodes contiennent environ $82,5 \times 13 = 1075,2$ gr. de matières pulvérulentes. On n'utilise donc en réalité que $\frac{170,83}{1072,5}$, soit un peu plus d'un sixième des matières supportées par les grilles de plomb. Ce chiffre donne une idée des progrès que l'on peut encore réaliser dans la construction des accumulateurs.

Les 12 accumulateurs doubles pèsent $8,455 \times 12 = 101,46$ kilogr. dans lesquels le poids des électrodes est de $6,06 \times 12 = 72,72$ kilogr.

La batterie a donné en moyenne 1,92 chevaux-heure utiles recueillis dans le circuit extérieur aux accumulateurs.

Il en résulte que pour obtenir un cheval-heure utile, il faudrait $\frac{101,46}{1,92} = 52,81$ kilogr. d'accumulateurs, renfermant $\frac{72,72}{1,92} = 37,87$ kilogr. d'électrodes.

Courants de charge et de décharge.—Les premières opérations ont été faites à l'aide d'un courant de charge de 5 ampères environ. On a pu remarquer dans ces conditions, favorables au point de vue de la rapidité de l'opération, que le dégagement gazeux était très abondant à la fin de la charge et que les cathodes paraissaient se détériorer assez rapidement. Pour cette raison, on a réduit de moitié le courant de charge dans les dernières expériences, en doublant la durée de l'opération. Il faut observer toutefois que le rendement n'a pas souffert de l'accélération de la charge.

Il a été reconnu que le courant de décharge peut atteindre 4 à 6 ampères, soit environ 2 ampères par kilogr. d'électrodes.

Indices de fin de charge et de décharge.— Il est très important, tant au point de vue de la bonne utilisation des accumulateurs, qu'au point de vue de leur conservation, d'arrêter en temps utile la charge et la décharge des éléments. A cet égard, il est intéressant d'analyser les phénomènes qui se produisent pendant deux opérations consécutives, en s'aidant particulièrement de l'observation de la différence de potentiels aux bornes de l'élément.

Les courbes recueillies aux enregistreurs (fig. 28) permettent de suivre les variations de force électro-motrice avec fidélité. Au début de la charge, supposée faite avec un courant inférieur à 2 ampères par kilogr. d'électrodes, on observe un accroissement brusque de la différence de potentiels aux bornes, laquelle prend une valeur voisine de 2 volts et croît ensuite très lentement jusque vers la fin de la charge; à ce moment, on remarque un accroissement plus rapide et la force électro-motrice

prend une valeur qui a été en moyenne de 2,265 volts dans les essais et qui a atteint jusque 2,47. En même temps que cette rapide élévation de potentiel, on constate un dégagement de plus en plus abondant de gaz aux électrodes et particulièrement aux cathodes.

La balance accuse une perte de poids croissante et sensiblement uniforme des électrodes pendant toute la durée de la charge; cette perte ne paraît pas diminuée à la fin de l'opération, soit que les réactions chimiques se poursuivent au sein des matières utiles, soit que les gaz se condensent dans les pores de celles-ci et déterminent une poussée verticale sur le fléau de la balance.

La variation de poids du liquide observé au moyen d'un densimètre fournit des indications extrêmement utiles sur la fin de la charge; mais il faut remarquer que les données ainsi recueillies dépendent de la quantité totale d'acide contenu dans l'élément.

Le voltmètre accuse la fin de la charge lorsque celle-ci s'opère sous un régime de courant modéré. Il convient d'arrêter l'opération lorsque la force électro-motrice de l'élément est 2,25 à 2,30 au moment où l'on rompt le circuit.

Si le courant de charge n'a pas une intensité trop grande, le dégagement abondant de gaz fournit, dans beaucoup de cas pratiques, une indication suffisante de la fin de la charge.

Lorsqu'un élément chargé est abandonné à lui-même, la force électro-motrice tombe graduellement jusque 2 volts environ. Si l'élément est déchargé aussitôt après le chargement, cette chute est très rapide, ainsi que le montre le diagramme (fig. 92). Quand le courant de décharge ne dépasse pas 2 ampères par kilogramme d'électrodes, la force électro-motrice diminue graduellement et très lentement jusque vers la fin de la décharge utile, on observe alors une baisse rapide. Dans les expériences relatées, on a arrêté la décharge à des moments assez différents de cette période. En moyenne, la décharge a été suspendue lorsque la force électro-motrice à circuit ouvert est tombée à 1,68 volt. Ce chiffre peut être considéré comme une limite inférieure qui ne paraît pas devoir être dépassée de beaucoup dans les applications.

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
Introduction	5
Description du laboratoire de l'Exposition	13
COMPTE RENDU DES TRAVAUX DU PREMIER SOUS-COMITÉ	18
Méthodes de mesures employées. — Graduation des galvanomètres	18
Ampèremètre et voltmètre, système Hümmel	22
Ampèremètre et voltmètre, système Hartmann et Braun, de Francfort	24
Compteur d'intensité, système Ferranti	25
Essais des dynamos	27
Déterminations mécaniques	27
Déterminations électriques.	29
Dynamo Brush.	33
Dynamo Crompton	35
Dynamo Gramme, type d'atelier.	37
Dynamo Gramme, type supérieur	38
Dynamo Jaspar	39
Dynamo Victoria	41
Dynamo Gülcher	42
Electro-moteur Immisch	45
Essais des piles	49
Pile Warnon	49
Pile thermo-électrique, système Lantensack, Laske et Kohn, de Vienne	50
Câble sous plomb, système Berthoud, Borel et Cie.	50
Condensateurs, système Berthoud, Borel et Cie.	55
COMPTE RENDU DES TRAVAUX DU DEUXIÈME SOUS-COMITÉ	77
<i>Première partie. — Lampes à arc.</i>	80
Installation de la chambre photométrique	80
Observations relatives à la détermination de l'intensité lumineuse horizontale	81
Mesure des intensités relatives des rayons émis sous différentes inclinaisons. — Méthode suivie, appareil employé	83

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
Variations que présentent les intensités relatives des rayons émis par les lampes à arc dans diverses directions	91
Calcul des valeurs moyennes des intensités relatives	94
Diagrammes représentant les intensités relatives des rayons et la répartition de l'éclairage dans les différentes zones de la sphère ayant pour centre le foyer lumineux	96
Calcul de l'intensité moyenne sphérique	98
Observations générales sur les diagrammes qui représentent les intensités relatives et la répartition de l'éclairage.	102
Formules approximatives	104
Résumé général des observations relatives à la distribution de l'éclairage	109
Résultats des essais	110
Lampe Cramer et Dornfeld.	111
Lampe Dulait	112
Lampes Gramme	113
Lampes Gülcher	118
Lampe De Puydt	120
Lampe Jaspar	121
Lampe Piette et Krizik	122
Lampe Crompton	128
Lampes Brush.	129
Lampes Pieper.	133
Tableaux résumant les résultats des essais sur les lampes à arc	139
<i>Deuxième partie. — Lampes à incandescence</i>	<i>142</i>
Mesure de l'intensité lumineuse horizontale	143
Mesure des intensités relatives des rayons émis dans diverses directions	144
Déterminations relatives au calcul de l'intensité horizontale moyenne	146
Calcul de l'intensité moyenne sphérique	148
Résultats des essais	149
Lampes Siemens	149
Lampes Lane Fox.	151
Lampes Victoria Lane Fox.	155
Lampes Cruto	156
Lampe Shippey	158
Variations d'intensité lumineuse produites par les changements de la différence de potentiels aux bornes et de l'intensité du courant	159
Tableaux résumant les résultats des essais sur les lampes à incandescence	166
Essais des fils de bronze phosphoreux, système Montefiore.	173
Essais des accumulateurs à grilles, système Julien	194
COMPTE RENDU DES TRAVAUX DU TROISIÈME SOUS-COMITÉ	203



