

Titre : Note sur les essais d'éclairage électrique faits à la gare de La Chapelle depuis le 15  
Janvier 1877

Auteur : Sartiaux, Albert

Mots-clés : Installations électriques

Description : 1 vol. (15 p. ; 1 pl. dépl.) ; 30 cm

Adresse : Paris : Dunod, 1878

Cote de l'exemplaire : CNAM-BIB 4 Sar 120

URL permanente : <http://cnum.cnam.fr/redir?4SAR120>

Sar. 120

Collection de Monsieur  
André SARTIAUX

# NOTE

SUR LES

ESSAIS D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE

FAITS A LA GARE DE LA CHAPELLE

DEPUIS LE 15 JANVIER 1875

PAR

*Albert-Henri-Alphonse*

**M. A. SARTIAUX**

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES, SOUS-CHEF DE L'EXPLOITATION DU CHEMIN DE FER DU NORD



PARIS

DUNOD, ÉDITEUR

LIBRAIRE DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES

49, QUAI DES AUGUSTINS, 49

1878

Droits de propriété et de traduction réservés.



## NOTE SUR LES ESSAIS D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE FAITS A LA GARE DE LA CHAPELLE, DEPUIS LE 15 JANVIER 1875

Par M. A. SARTIAUX

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES, SOUS-CHIEF DE L'EXPLOITATION DU CHEMIN DE FER DU NORD

*Considérations générales.* — Les nombreuses applications de l'éclairage électrique qui ont été faites depuis quelque temps, ont eu assez de retentissement pour qu'il ne soit pas inutile de faire connaître les résultats obtenus à la gare de la Chapelle (Paris-Nord), où ce système fonctionne depuis près de deux ans, et de donner quelques renseignements précis sur le prix de revient réel de cet éclairage.

Les considérations qui, primitivement, avaient conduit la Compagnie du Nord à faire un essai, assez restreint d'ailleurs, de l'application de la lumière électrique étaient les suivantes :

Dans plusieurs des halles à marchandises de la Chapelle (Paris-marchandises), le travail de nuit, dont la durée moyenne est de 10 heures et qui, en hiver, fonctionne pendant 15 et 16 heures, a une grande importance. Des comptages répétés, opérés sous la direction de M. Létienne, chef des gares de la Chapelle, avaient démontré que ce travail était très-inférieur au travail de jour.

Sous une des halles, le n° 7, par exemple, le travail fait pendant la journée était d'environ 850 kilogr. par homme et par heure, tandis que la nuit, sous la même halle <sup>(1)</sup>, éclairée par 21 becs de gaz débitant 120 litres à l'heure et par 4 lanternes à main à l'huile, le travail ne ressortait qu'à 530 kilogr. par homme et par heure.

Il est évident que le travail de nuit, ne serait-ce que par le sentiment de fatigue que l'homme éprouve à ce moment de la journée, doit être inférieur au travail de jour ; mais il paraissait certain qu'une partie notable de l'écart (soit plus de 37 p. 100) devait être attribuée à l'insuffisance d'éclairage.

(1) Cette halle a une longueur de 70 mètres et une largeur de 20 mètres, soit une superficie de 1400 mètres carrés.

Comme, d'un autre côté, il ne semblait pas facile de placer dans la halle le nombre de becs de gaz <sup>(1)</sup> qu'il eût fallu pour obtenir le maximum possible de travail de nuit, que cette multiplicité de becs à placer assez près du sol eût pu gêner la manutention, qu'il eût fallu remanier la canalisation, etc., etc..., on se décida à essayer l'éclairage électrique.

Après avoir fait, dans la salle des bagages à l'arrivée quelques expériences ayant pour but : d'évaluer la force motrice consommée par des becs électriques de diverses puissances, de déterminer l'usure des charbons des lampes, etc., on établit une installation pouvant faire fonctionner normalement 5 machines magnéto-électriques, plus une de rechange, et l'on commença l'essai avec 3 lampes seulement.

*Résultats obtenus.* — Une seule lampe, placée dans la halle dont il a été question plus haut et installée comme il sera décrit ci-dessous, modifia les conditions du travail de nuit de telle sorte qu'il passât de 530 kilogr. à 680 kilogr. par homme et par heure.

Il y avait amélioration de 30 pour 100, c'est-à-dire qu'avec le même personnel, la manutention se faisait plus vite, et que, par suite, la surface des quais de la halle était mieux utilisée.

Depuis le 15 janvier 1875, c'est-à-dire depuis plus de 22 mois, l'expérience se continue dans des conditions satisfaisantes. Un mécanicien, fourni par le service de la Traction, est chargé de la conduite de la locomobile qui met en mouvement les machines *magnéto-électriques*, et le lampiste de nuit <sup>(2)</sup> surveille la marche de ces machines et des lampes, les nettoie, etc., etc.

I. *Source d'électricité.* — La source d'électricité est la machine de M. Gramme (type *A du prix courant*), connue sous le nom de machine à 100 becs Carcel, consommant, *en moyenne*, une force de un peu moins de 3 chevaux-vapeur <sup>(3)</sup> et coûtant à Paris 1500 francs.

II. *Régulateurs.* — Le régulateur employé le plus longtemps jusqu'à ce jour, comme lampe, est celui de M. Serrin, coûtant 450 francs, muni de charbons taillés dans du coke de cornue, à section carrée de 0<sup>m</sup>,009 de côté; les baguettes de 0<sup>m</sup>,33 de longueur, soit 0<sup>m</sup>,22 pour le pôle positif, et 0<sup>m</sup>,11 pour le

---

(1) Ce nombre a été évalué à, au moins, 50 ou 55 becs brûlant 120 litres à l'heure.

(2) La présence d'un lampiste de nuit, existant déjà, constitue évidemment une condition favorable au fonctionnement régulier.

(3) Au départ, il faut une force un peu plus grande qu'il faut évaluer à 3 chevaux pour ne pas avoir de mécompte.

pôle négatif, durent, en moyenne, à peu près 3 heures et demie, déchet compris.

La dépense moyenne est de 0<sup>m</sup>,10, soit de 0 fr. 15 par heure, le mètre coûtant 1 fr. 50. On a fait l'essai des charbons agglomérés; ils donnent une belle lumière et sont d'une marche très-régulière; mais, jusqu'à ce jour, la consommation est beaucoup plus rapide.

Plusieurs autres systèmes de régulateur ont été expérimentés :

1° La lampe Régnier, à disques de charbon, pouvant fonctionner 24 heures; la difficulté d'avoir des disques convenables en a rendu l'emploi presque impossible;

2° La lampe Dubos, qui est très-simple de construction; elle marche bien et longtemps, mais elle exige un entretien attentif; elle coûte environ 200 francs;

3° La lampe Suisse, qui n'est qu'une modification ou plutôt une simplification du régulateur Serrin; elle permet d'employer des charbons très-longs et marche ainsi *plus de douze heures sans que l'on ait besoin d'y toucher*. Les essais que l'on en fait depuis longtemps déjà avec des charbons de 13<sup>m</sup>/<sub>m</sub> donnent des résultats très-satisfaisants sous le rapport de la régularité de la marche et de la beauté de l'arc voltaïque; le prix de l'appareil serait de 500 francs. La dépense des charbons en 12 heures est, jusqu'à ce jour, un peu inférieure à 0<sup>m</sup>,55, soit par heure 0<sup>m</sup>,046, ce qui, à raison de 5 fr. 25 par mètre, fait ressortir la dépense à 0 fr. 15 par heure.

On n'a fait usage ni du dernier système de lampe de M. Régnier ni des bougies Jablochkoff, qui, malgré leur admirable simplicité, ne paraissent pas donner encore des résultats aussi économiques que ceux obtenus avec des régulateurs.

III. *Précautions prises pour éviter l'éblouissement.* — Les efforts de la Compagnie ont été principalement dirigés vers le but d'obtenir dans les halles à marchandises et même sur les voies un éclairage suffisant, modéré, aussi uniforme que possible et *ne fatiguant pas les yeux des employés*. On a donc cherché à éviter l'action directe des rayons lumineux et, au contraire, à utiliser surtout les rayons réfléchis ou diffusés. A cet effet, la lampe est enfermée dans une *grande* lanterne de plus de 1 mètre de hauteur et de 0<sup>m</sup>,50 environ de côté, à verres ordinaires barbouillés de blanc de zinc. Cette couche de peinture est assez épaisse, et elle s'étend assez haut sur les verres pour que, lorsque la lanterne est en place, on ne puisse d'aucun point apercevoir l'arc voltaïque. *Au point éblouissant fourni par les pointes de charbon, est donc substitué un grand corps éclairant, dont l'action ne peut offenser la rétine.*

Dans les halles, les rayons qui s'échappent par la partie supérieure de la lanterne sont envoyés avec toute leur intensité vers le plafond et le haut des parois qui ont été blanchis à la chaux et servent de réflecteur diffusant ; on obtient ainsi, même en n'employant qu'une lampe placée au milieu de la halle et dont le foyer est à 4<sup>m</sup>,50 de hauteur, un éclairage général très-favorable à la manutention rapide et à la reconnaissance facile des colis, sans ombre portée gênante, et très-suffisant dans un rayon de 35 à 40 mètres.

En plein air, la lanterne est fermée à la partie supérieure par un chapeau en tôle blanchi, qui sert beaucoup plus comme abri que comme réflecteur. Les parois de la lanterne sont alors formées de deux verres superposés avec un intervalle de 0<sup>m</sup>,01 entre eux, de façon que le verre extérieur ne s'échauffe jamais assez pour être brisé par un brusque refroidissement ou par la pluie, et protège le verre intérieur. Un seul des deux verres est blanchi ; une lampe, dans ces conditions, placée à 6 ou 7 mètres de hauteur, donne, dans un rayon de 60 mètres au moins, un éclairage suffisant pour que la manœuvre des wagons se fasse commodément, rapidement et avec sécurité.

Les lanternes sont à fond plein et prismatique de 0<sup>m</sup>,45 de côté et ont 1 mètre à 1<sup>m</sup>,10 de hauteur. Il vaudrait mieux qu'elles fussent cylindriques, ou mieux encore en pyramide ou en cône renversé. Leur prix est de 100 francs environ.

*Prix de revient.* — L'installation de la gare de la Chapelle est faite avec 6 machines Gramme ; la machine à vapeur peut en mettre en mouvement 5 à la fois, de telle sorte que l'on peut faire fonctionner simultanément 5 lampes et 5 machines Gramme et en avoir une de rechange.

D'après les résultats donnés par une marche continue de près de deux ans, on peut évaluer ainsi qu'il suit la dépense, dans le cas où 4 lampes sont en service chaque jour, pendant une moyenne de 10 heures, qui est celle de la gare de la Chapelle.

Force motrice 400 kilos à 25 francs la tonne (1). . . . .	=	40 fr. 00
Fagots d'allumage . . . . .		0 fr. 45
Mécanicien à 0 fr. 50 l'heure . . . . .	=	5 fr. 00
Huile à graisser. . . . .		0 fr. 80
Charbon des lampes 4 × 10 × 0,40 × 1 fr. 50. . . . .	=	6 fr. 00
Éclairage du hangar abritant la locomobile et les machines . . . .		0 fr. 50
Total de la dépense par jour. . . .		22 fr. 25

soit par lampe et par heure environ 0 fr. 556.

(1) La locomobile employée est une locomobile Calla ordinaire dont la consommation de charbon est considérable. En employant les machines demi-fixes à détente variable de la même maison, on ferait marcher à 8 lampes sans augmenter la dépense de combustible.

Si l'on tient compte de l'intérêt et de l'amortissement de la dépense de premier établissement qui a été de 55 500 francs et qui à 10 pour 100 est de 9 fr. 72 par jour ou de 0 fr. 245 par bec et par heure, la dépense totale ressort à 0 fr. 80, soit le prix de 22 becs de gaz débitant à l'heure 120 litres coûtant 0 fr. 50 le mètre cube.

Avec les 5 lampes en marche (il reste encore *une machine magnéto-électrique et plusieurs lampes de rechange*), la dépense descend de 0 fr. 555 à 0 fr. 525 par bec et par heure, et en tenant compte de l'intérêt et de l'amortissement, de 0 fr. 80 à 0 fr. 72, soit au prix de 20 becs dépensant à l'heure 120 litres de gaz coûtant 0 fr. 50 le mètre cube. Cette dépense est à très peu près celle qui était faite anciennement pour l'éclairage de la halle n° 7, quand cet éclairage était obtenu avec 21 becs de gaz et 4 lanternes à huile. Mais, si la dépense est restée la même, le travail par homme et par heure est, comme nous l'avons dit plus haut, passé de 550 kilog. à 680 kilog., et il eût fallu, pour obtenir ce résultat, installer sous la halle 50 à 55 becs de gaz.

*Comparaison avec le gaz.* — Dans le cas qui nous occupe, on peut donc dire que, pour obtenir le même effet utile, l'éclairage électrique n'eût pu être remplacé par l'éclairage au gaz qu'à la condition de dépenser à peu près deux fois autant.

Cependant il est bon de faire ressortir que si, comme nous le verrons plus tard, l'intensité, mesurée au photomètre, de la lumière produite par chaque bec électrique, varie entre 100 et plus de 600 becs Carcel, suivant l'inclinaison du rayon lumineux, l'intensité *utile* ne dépasse pas 50 à 55 becs, soit à peu près un huitième <sup>(1)</sup> de l'intensité mesurée au photomètre et évaluée en moyenne à 400 becs Carcel.

Ainsi que le faisait remarquer M. Malézieux, ingénieur en chef des ponts et chaussées, dans un très-intéressant article paru dans les *Annales des Ponts et Chaussées* (cahier 7, année 1876), cela tient à ce que l'intensité utile d'une lumière n'est pas *la somme de lumière émise, le nombre total des rayons qui,*

---

(1) Ce résultat confirme, en modifiant le chiffre toutefois, l'appréciation de M. Malézieux (pages 150 et 151 de son mémoire), disant que, « ayant égard à l'absorption partielle de la lumière par les verres dépolis et à la perte « qui résulte de l'éloignement des lampes, on pourrait, dans les circonstances ordinaires, éclairer au même degré, « c'est-à-dire doter l'unité de surface d'une même quantité minimum de lumière en demandant au gaz  $\frac{1}{8}$  ou « 20 p. 100 environ de la lumière produite par l'électricité. » M. Malézieux suppose que cette lumière est de 150 becs Carcel.

Les expériences dont nous rendons compte donnent  $\frac{1}{8}$  au lieu de  $\frac{1}{8}$  de ce nombre. Ce rapport est essentiellement variable; il dépend des lieux où l'on opère, du travail à produire et par suite de l'intensité de lumière que l'on veut obtenir, etc., etc.



s'éparpillant à mesure qu'ils s'éloignent du foyer, éclairent au même degré toutes les portions de chaque enveloppe sphérique dont le foyer occuperait le centre.

L'intensité utile, c'est la quantité de lumière qu'en recevrait l'unité de surface placée à l'unité de distance, la lampe Carcel étant prise pour unité. Or, comme cette quantité varie en raison inverse du carré de la distance que la lumière a parcourue, un bec unique d'une intensité théorique donnée, mesurée au photomètre, ne peut avoir l'intensité utile de plusieurs becs dispersés dont la somme des intensités serait égale à l'intensité théorique du bec unique.

Quoi qu'il en soit, les chiffres cités ci-dessus montrent que le prix de revient diminue notablement avec le nombre de becs allumés et font voir de quelle importance est, dans le prix de revient total de l'éclairage électrique, l'intérêt et l'amortissement des dépenses d'établissement, puisque, dans le cas qui nous occupe, il n'est pas inférieur au tiers de la dépense totale. Cette influence est d'autant plus considérable que la durée de l'éclairage est plus courte ; elle diminue avec l'augmentation de cette durée. — Avec 7 ou 8 lampes, la dépense, dans laquelle l'intérêt et l'amortissement de la dépense d'établissement interviennent pour le tiers environ, est à peu près celle de 100 becs de gaz brûlant 120 litres à l'heure (non compris l'intérêt et l'amortissement de l'installation des becs de la canalisation) et remplacerait utilement plus de 200 becs de gaz.

*Dépenses d'établissement.* — Il est vrai que, dans l'expérience faite à la Chapelle, les dépenses d'installation ont été assez importantes. Elles se décomposent ainsi qu'il suit :

Bâtiment pour abriter la machine locomobile et les machines magnéto-électriques de 40 <sup>m</sup> de surface. . . . .	2 200 fr. »
Bâti pour recevoir six machines Gramme, transmission, courroies, etc. . . . .	8 400 fr. »
Fils conducteurs (matériel et pose) (1) . . . . .	700 fr. »
Machine locomobile Calla de 10 chevaux pouvant donner 15 chevaux et installation, bâti, etc. . . . .	9 800 fr. »
6 machines Gramme. . . . .	9 000 fr. »
6 lampes Serrin . . . . .	2 700 fr.
5 lanternes avec poulies et chaînes. . . . .	500 fr. »
Travaux divers et somme à valoir. . . . .	2 200 fr. »
Total. . . . .	55 500 fr. »

(1) Ces fils, en cuivre pur, ont un diamètre de 3 <sup>m</sup>/<sub>m</sub> pour un éloignement de la lampe de 79 à 80 mètres ; pour 150 mètres d'éloignement, le diamètre est de 4 <sup>m</sup>/<sub>m</sub> ; il est de 5 <sup>m</sup>/<sub>m</sub> pour 250 mètres ; de 6 <sup>m</sup>/<sub>m</sub> pour 355 mètres ;

Dans un grand nombre de cas, on pourrait éviter la dépense de l'abri, et même assez souvent celle du moteur. Dans l'espèce, on n'a pas reculé devant cette dépense, qui pouvait être utilisée autrement en cas de suppression de l'éclairage électrique. L'importance du bâti supportant les machines Gramme pourrait être réduite dans une installation nouvelle.

*Variation de l'intensité lumineuse avec l'inclinaison du rayon lumineux.* — Pour terminer, il n'est peut-être pas sans intérêt de rendre compte de quelques expériences qui ont été faites pour déterminer le pouvoir éclairant des lampes électriques employées.

Elles ont donné ce résultat curieux et très-intéressant au point de vue pratique que, comme avec la flamme ordinaire, le pouvoir éclairant varie avec l'inclinaison du rayon lumineux, mais qu'il varie dans un sens inverse ; l'intensité *croît* avec l'inclinaison au lieu de *décroître* ; et, si l'intensité est  $I$  pour le rayon horizontal, elle est à peu près

$$I (5,25 \sin \alpha + 1)$$

pour un rayon faisant un angle  $\alpha$  avec l'horizontale et placé en dessous. Les expériences n'ont été faites que jusque  $\alpha = 45^\circ$ .

Ce résultat curieux et très-avantageux au point de vue de l'éclairage est caractéristique des machines magnéto-électriques à *courant continu*, comme la machine Gramme ; il tient probablement à ce que le charbon positif se creuse et forme une sorte de réflecteur concave qui renvoie les rayons lumineux avec une intensité variable, selon l'angle d'incidence.

Il résulte de là que, si l'on place le charbon positif à la partie supérieure, le sol reçoit une lumière bien plus intense que les autres parties du milieu ambiant.

S'il s'agissait, au contraire, d'éclairer le plafond et de s'en servir comme d'un réflecteur, par exemple dans le cas où la hauteur de la pièce serait insuffisante, il faudrait alors placer le charbon positif à la partie inférieure (1).

Dans les expériences qui ont été faites à ce sujet, par M. Lartigue, dans la gare de la Chapelle, on a reconnu que l'intensité lumineuse des rayons envoyés était à l'horizontale de 100 becs Carcel environ, qu'elle était de 337 pour un angle incliné de  $20^\circ$  au-dessous de l'horizontale et qu'elle atteignait 471 pour

---

de 7 m pour 400 mètres. Cette distance de 400 mètres ne paraît pas devoir être dépassée avec des fils nus. Au delà, il faut employer des câbles recouverts, qui sont chers. Les fils de 3, 4, 5, 6 et 7 m coûtent 20 fr. 50, 36 fr. 40, 62 fr. 50, 84 fr. 25 et 108 fr. 30 les 100 mètres et il faut une longueur de fil double de l'éloignement.

(1) Cette propriété pourrait être utilement employée dans les phares et, en général, dans tous les cas où il serait utile d'éclairer une partie de l'atmosphère plus qu'une autre.

une inclinaison de 45°. En admettant la loi théorique citée plus haut, l'intensité serait de 550 et de 610 becs Carcel pour les inclinaisons de 60° et de 80 degrés au-dessous de l'horizontale. En outre, les expériences directes ont paru montrer que la hauteur la plus avantageuse à laquelle il convenait de placer le point lumineux renfermé dans une caisse de verre blanchi était de 4 à 5 mètres sous la halle de manutention et de 6 à 7 mètres en plein air.

*Conclusions.* — Tels sont, en résumé, les résultats des essais faits à la gare de la Chapelle depuis plus de vingt-deux mois.

Faut-il en conclure la supériorité de l'éclairage électrique sur l'éclairage au gaz ou inversement? Je ne le crois pas. Comme dans tant d'autres cas c'est une question d'espèce, et l'on peut répéter le mot si heureux et si vrai de Stephenson : *it depends*.

Cela dépend des dimensions de la salle à éclairer, de la nature du travail à y faire et, par suite, de l'intensité à obtenir, de la durée de ce travail, etc....

Dans l'état actuel de la science, l'éclairage électrique et l'éclairage ordinaire au gaz ou à l'huile répondent à des besoins d'un ordre tout à fait différent. Ainsi que le fait remarquer l'*Économiste français* du 16 novembre en reproduisant les paroles de M. Fontaine, « il y a là deux industries toutes différentes » qui peuvent prospérer chacune de son côté sans s'entraver réciproquement « et si l'une empiète de temps en temps sur le domaine de l'autre, cela ne saurait en aucun cas avoir de graves conséquences. »

Dans tous les cas, il ne faut pas se hâter de conclure, parce que ni l'un ni l'autre de ces éclairages n'ont dit leur dernier mot, et l'avenir nous réserve peut-être, à cet égard, à bien des surprises.

---

#### ANNEXE A LA NOTE SUR LES ESSAIS D'ÉCLAIRAGE ÉLECTRIQUE A LA GARE DE LA CHAPELLE

Par **M. BERNARD**

INSPECTEUR DE L'EXPLOITATION DE LA COMPAGNIE DU NORD, ANCIEN ÉLÈVE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE.

(Pl. XXIV.)

---

Les considérations suivantes permettent de déterminer théoriquement l'éclairement produit par une lampe électrique à feu nu dans une direction donnée, et la hauteur à laquelle il convient de placer cette lampe pour obtenir l'éclairage le plus favorable.

Considérons une lampe électrique à *courant continu* dont le charbon positif est placé à la partie supérieure. Lorsque le courant passe, les extrémités des charbons portées à l'incandescence produisent la lumière, le charbon négatif s'effile et le charbon positif se creuse : la source lumineuse se compose donc d'une surface concave BDC et du sommet S du cône formé par le charbon négatif (Pl. XXIV, fig. 1).

Si nous considérons des points situés à une même distance de cette source, l'intensité de la lumière reçue par chacun d'eux dépendra seulement de la quantité de lumière envoyée par le sommet S et par la surface BDC.

Les dimensions du sommet lumineux S sont toujours très-petites, nous pouvons donc considérer la quantité de lumière envoyée par le charbon négatif comme constante.

La quantité de lumière envoyée par le charbon positif est proportionnelle à la surface du segment BD, déterminé par l'intersection de la surface concave BDC avec un cône dont le sommet est le point considéré, et la base, la section droite BC du charbon positif.

Si la distance AB est suffisamment grande, par rapport aux dimensions de la surface concave éclairante (et c'est le cas qui se présente toujours dans la pratique), on peut remplacer la surface BD par sa projection BE sur un plan perpendiculaire à la direction des rayons lumineux.

Or on a très-sensiblement :

$$\text{Surf. BD} = \text{surf. BC} \cos \text{CBE} = \text{surf. BC} \sin \alpha,$$

$\alpha$  étant l'inclinaison du rayon considéré sur l'horizontale.

Posons  $\text{surf. BC} = S$ , désignons par  $i$  l'intensité du rayon horizontal envoyé par le sommet S, et par  $I$  l'intensité de la lumière reçue au point A, nous aurons

$$I = S \sin \alpha + i$$

ou

$$I = i \left( \frac{S}{i} \sin \alpha + 1 \right).$$

Nous pouvons déterminer la constante S en remplaçant, dans la formule ci-dessus, I par la valeur de l'intensité obtenue expérimentalement pour une valeur donnée de  $\alpha$ .

Si l'on fait  $\alpha = 45^\circ$ , on a :

$$\sin \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2},$$

et les mesures photométriques ont donné  $I = i \times 4,71$ .

S sera donc déterminé par l'équation

$$4,71 \times i = i \left( \frac{S}{i} \frac{\sqrt{2}}{2} + 1 \right);$$

d'où

$$\frac{S}{i} = \frac{3,71 \times 2}{\sqrt{2}} = 5,25.$$

Nous pourrions donc mettre la formule ci-dessus sous la forme :

$$I = i (5,25 \sin \alpha + 1). \quad [1]$$

Nous avons représenté graphiquement les résultats donnés par la formule [1], au moyen de la courbe GNK (Pl. XXIV, fig. 2), dont les rayons vecteurs tels que LN sont proportionnels aux valeurs de I tirées de la formule [1], pour des inclinaisons variant de 0 à 90 degrés. Ces rayons s'obtiennent immédiatement par la construction géométrique suivante :

Si nous portons sur l'horizontale une longueur LJ égale à 5,25 en prenant pour unité l'intensité  $i$  suivant l'horizontale, la perpendiculaire JH abaissée du point J sur le rayon LH faisant un angle  $\alpha$  avec l'horizontale sera égale à LJ sin  $\alpha$  ou à :  $\frac{S}{i} \sin \alpha$ ;

la longueur LN = JH + 1 représentera donc l'intensité de la lumière reçue suivant LH à l'unité de distance, et le point N sera un point de la courbe.

M. Lartigue, inspecteur du service télégraphique de la Compagnie du Nord, et M. Rouderon, chef du service de l'éclairage et du chauffage, ont mesuré, au moyen du photomètre Schütté, l'intensité de la lumière émise par une lampe Serrin, dans des directions inclinées sur l'horizontale depuis 0° jusqu'à 45°. Les résultats numériques de ces expériences sont indiqués dans le tableau ci-après. On voit qu'ils diffèrent très-peu des résultats obtenus au moyen de la formule [1] et que la différence peut être mise sur le compte d'erreurs d'observations faites avec un instrument qui ne présente pas une sensibilité absolue.

TABLEAU DES INTENSITÉS DES RAYONS LUMINEUX ENVOYÉS PAR UNE LAMPE ÉLECTRIQUE A COURANT CONTINU.		
INCLINAISON du RAYON SUR L'HORIZONTALE	VALEUR DE L'INTENSITÉ DÉTERMINÉE	
	THÉORIQUEMENT.	EXPÉRIMENTALEMENT.
0°	1	1
10°	2,16	2,0
20°	3,37	2,90
30°	4,01	3,70
45°	4,71	4,71
50°	5,00	"
60°	5,52	"
70°	5,92	"
80°	6,08	"
90°	6,25	"

On peut, en s'appuyant sur les résultats précédents, déterminer la quantité de lumière reçue en chaque point d'un plan horizontal PQ éclairé par la lampe L (Pl. XXIV, fig. 2).

L'éclairement en M dépend : 1° de la distance LM et de l'angle d'incidence  $\alpha$  suivant des lois connues ; 2° de l'intensité propre du rayon LM exprimée par la formule [1.]

L'éclairement  $e$  au point M sera donc représenté par la formule

$$e = \frac{i (5,25 \sin \alpha + 1) \sin \alpha}{LM^2}.$$

On peut construire la valeur de  $e$  assez simplement de la manière suivante :

Pour faciliter la construction, prenons pour unité de lumière la valeur  $e_1$  de l'éclairement correspondant à  $\alpha = 90^\circ$ , c'est-à-dire, la quantité de lumière reçue sur l'unité de surface au point A situé sur l'axe de la lampe. Si l'on pose

$$LA = h, LM = d,$$

on aura

$$e_1 = \frac{i \times 6,25}{h^2},$$

par suite

$$\frac{e}{e_1} = \frac{(5,25 \sin \alpha + 1) \sin \alpha \times h^2}{6,25 \times d^2}.$$

Si on prend  $e_1$  pour unité, on voit que  $e$  sera proportionnel à l'expression

$$\frac{h^2 (5,25 \sin \alpha + 1) \sin \alpha}{d^2}.$$

Soit LN l'intensité propre du rayon LM (N est un point de la courbe des intensités) du point N abaissons la perpendiculaire NB sur l'horizontale, nous aurons d'après la formule [1] :

$$BN = LN \sin \alpha = i (5,25 \sin \alpha + 1) \sin \alpha;$$

menons l'horizontale NC = NL et joignons CB, du point N abaissons la perpendiculaire ND sur BC, et du point C la perpendiculaire CE sur l'horizontale, joignons DE et menons, par le point B, BF parallèle à DE ; on a par suite de la similitude des triangles BNL et LAM :

$$\frac{EF}{CE} = \frac{BD}{DC} = \frac{\overline{BN}^2}{\overline{NC}^2} = \frac{\overline{BN}^2}{\overline{LN}^2} = \frac{h^2}{d^2};$$

ou en remplaçant CE par BN qui lui est égal :

$$\frac{EF}{BN} = \frac{h^2}{d^2};$$

remplaçons BN par sa valeur indiquée ci-dessus, nous aurons :

$$EF = \frac{h^2}{d^2} \times i \times (5,25 \sin \alpha + 1) \sin \alpha ;$$

en comparant cette expression à la valeur de  $e$  indiquée ci-dessus, on voit que EF est proportionnel à l'éclairement au point M.

Élevons en M une perpendiculaire, Mm, égale à EF ; m sera un point de la courbe dont les ordonnées sont proportionnelles à l'éclairement produit en chaque point du plan PQ. Cette courbe se déduit donc immédiatement de celle que nous avons déterminée en premier lieu.

Les courbes tracées sur la planche XXIV, figure 2, représentent l'éclairement produit sur le plan horizontal PQ par une lampe placée à des hauteurs variant de mètre en mètre depuis 4 jusqu'à 8 mètres. L'inspection de ces courbes montre que la lumière augmente très-rapidement à mesure que l'on se rapproche de l'axe de la lampe. L'éclairement des points voisins de l'axe étant toujours plus que suffisant, ce que l'on a intérêt à augmenter, c'est celui des points situés à une certaine distance, variable avec l'étendue de la surface à éclairer, et que l'on peut déterminer ainsi qu'il suit :

On voit par l'inspection des courbes tracées : 1° que pour une hauteur donnée l'éclairement des points situés à plus de 6 mètres de l'axe de la lampe varie assez lentement avec l'éloignement, tandis que celui des points moins éloignés augmente très-rapidement à mesure que l'on se rapproche de l'axe de la lampe ; 2° que quand la hauteur de la lampe augmente, l'éclairement des points voisins du pied diminue très-vite, tandis que celui des points éloignés augmente. L'éclairement se répartit donc d'autant plus uniformément que les zones à éclairer sont plus étendues.

Dans la pratique, on a intérêt à avoir un éclairage aussi uniforme que possible, sans trop le diminuer ; nous ne nous occuperons donc pas des points situés plus près que 6 mètres du pied de l'axe. Si l'on considère par exemple les halles de la Chapelle, qui ont 70 mètres de long sur 20 mètres de large, les points les plus éloignés de l'axe de la lampe en sont distants en moyenne d'environ 25 mètres. Dans ce cas, la partie intéressante de la courbe est donc limitée par les ordonnées menées par les points 6 et 25 de l'horizontale PQ, et l'aire comprise entre ces deux ordonnées et la courbe peut être prise comme mesure de l'éclairement.

Il est visible, d'après le tracé, que la courbe qui correspond à une hauteur de lampe comprise entre 5 et 6 mètres est celle dont l'aire est maxima. Théoriquement la hauteur la plus convenable dans une halle est donc comprise

entre 5 et 6 mètres. Si l'on considère une lampe placée à l'air libre, le rayon d'éclairement est plus grand que celui d'une lampe placée sous halle; il atteint environ 50 mètres : la partie intéressante de la courbe est donc plus étendue que dans le cas précédent, et l'ordonnée qui la limite éloignée du pied d'environ 50 mètres au lieu de 25 mètres. On voit, d'après le tracé, que l'aire maxima sera limitée par une courbe correspondant à une hauteur plus grande que celle que nous avons trouvée dans le cas d'une halle.

Dans la pratique on a reconnu que la meilleure hauteur à l'air libre était, comme l'indique la théorie, de 7 à 8 mètres; mais que sous halle elle était plus faible que celle donnée par les conditions qui précèdent. Cette différence tient évidemment à deux causes : la première est l'installation du point lumineux dans une lanterne à verres blanchis qui répartissent la lumière plus uniformément; la seconde est la réflexion du toit et des parois blanchies de la halle qui ont pour effet d'augmenter l'éclairement des points les plus éloignés de la lampe.







Courbes représentant l'éclairement produit  
sur une surface plane horizontale par une lampe électrique  
placée à différentes hauteurs



