

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 79 (1953)  
**Heft:** 9-10: École polytechnique de l'Université de Lausanne: publication du centenaire 1853-1953, fasc. no 1  
  
**Artikel:** Voies publiques éclairées en fluorescence  
**Autor:** Roy-Pochon, C.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-59751>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 04.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## VOIES PUBLIQUES ÉCLAIRÉES EN FLUORESCENCE

par M<sup>me</sup> C. ROY-POCHON, ingénieur E. P. U. L.  
Conseil à la Société Visseaux, Paris

### Principe de l'éclairage public

Si l'on voulait traiter un problème d'éclairage public comme un problème d'éclairage intérieur, on aboutirait à une somme de dépenses si élevée qu'aucune collectivité ne pourrait la prendre en charge. Force est donc de s'en tenir à l'essentiel, qui est avant tout de rendre la circulation plus sûre et plus aisée.

Le principal danger de la voie publique est, comme on le sait, l'automobile. En raison de l'accroissement du trafic et, par voie de conséquence, de celui de la vitesse tolérée en ville, l'éclairage public doit permettre de percevoir instantanément les obstacles. L'expérience a prouvé que le meilleur moyen d'y parvenir était d'utiliser l'effet silhouette : l'obstacle est perçu non pas dans ses détails mais en silhouette, par contraste entre sa brillance (qu'il faut appeler maintenant luminance) et celle de la chaussée. Contrairement à ce qui se passe sur route, où l'on éclaire aux phares, l'obstacle, dans une rue éclairée, se détache en sombre sur fond clair. L'éclairage public a essentiellement pour but de réaliser ce fond clair continu, sans introduire un autre danger : l'éblouissement. On comprend facilement que le problème n'est pas simple, car il ne suffit pas d'éclairer uniformément une chaussée pour qu'elle paraisse uniformément brillante. La nature du revêtement et son état d'usure créent de grandes différences d'une chaussée à l'autre, même à égalité d'éclairement, parce que la lumière qui tombe sur la chaussée ne se réfléchit ni en totalité, ni également dans toutes les directions. On sait, par exemple, qu'un pavé mosaïque clair absorbe moins la lumière et la diffuse plus uniformément qu'un revêtement bitumeux. Pour une chaussée donnée, l'effet varie suivant que le temps est sec ou pluvieux. Une installation d'éclairage ne peut donc garantir une luminance (brillance) donnée et uniforme mais elle doit assurer, quel que soit le temps, un niveau d'éclairement tel qu'en tout point de la chaussée, l'obstacle se distingue nettement du fond. On y parvient par un choix approprié des foyers, de leur emplacement, de leur orientation et de leur espacement.

Autre condition : les sources ne doivent pas éblouir. Bien que placées en général assez haut, les sources peuvent être éblouissantes si leur luminance est trop élevée par rapport à celle du fond. On voit donc que l'on a avantage à utiliser des sources de grande surface qui, à égalité de flux lumineux, sont moins brillantes que les sources concentrées et qui, de plus, se prêtent mieux à une répartition uniforme de l'éclairement. Pour ces diverses raisons, on ne s'étonnera pas de voir les lampes fluorescentes tubulaires utilisées en éclairage public. Il va sans dire que cette application ne s'est pas faite sans une sérieuse mise au point. Il fallait, en particulier, adapter les lampes au fonctionnement en plein air, où elles sont exposées à de gros écarts de tem-

pérature et parfois à des froids intenses (à Paris, les appareils d'éclairage public doivent être garantis jusqu'à  $-15^{\circ}$  C). Elles sont aussi exposées à l'humidité, qui détériore, entre autres, les isolants.

### Lampes fluorescentes

Un bref rappel du principe d'une lampe fluorescente fera mieux comprendre l'influence de la température sur le comportement de la lampe, à l'allumage et en fonctionnement. Une lampe fluorescente est une lampe à décharge fonctionnant en régime d'arc dans la vapeur de mercure à basse pression. Lorsque le courant passe d'une extrémité de la lampe à l'autre, l'énergie consommée par la décharge est transformée, en majeure partie, en lumière ultraviolette qui se concentre presque totalement dans la raie de résonance du mercure de longueur d'ondes égale à 2537 angstroms. Ce rayonnement ultraviolet est absorbé par la couche de produit fluorescent qui tapisse intérieurement la lampe ; il excite la fluorescence du produit : la lampe est allumée.

On sait qu'une lampe fluorescente nécessite des appareils auxiliaires ; l'un pour stabiliser le courant de l'arc et créer la surtension d'amorçage : c'est le « bal-

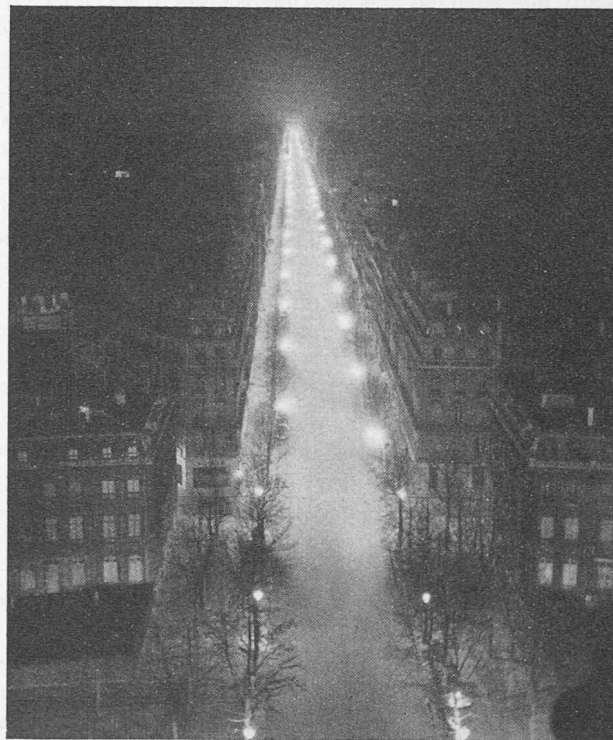


Photo Neuhaus.  
Fig. 14. — Avenue Victor-Hugo éclairée par fluorescence, sauf aux abords de la place de l'Etoile où subsiste encore l'incandescence (bas de la photo).

last»; l'autre pour amorcer la décharge : c'est l'interrupteur d'allumage ou « starter ». Les lampes fluorescentes du commerce, leurs ballasts et leurs starters sont prévus pour obtenir l'allumage certain et le maximum d'efficacité lumineuse dans les conditions normales d'un éclairage général intérieur, c'est-à-dire à une température ambiante d'environ 25° C (température de l'air au voisinage des lampes, généralement à l'intérieur d'un luminaire). Si la température s'élève au-delà de 25°, l'efficacité diminue d'environ 10 % pour un accroissement de 20°. Si la température baisse, la perte d'efficacité est beaucoup plus importante : on observe une perte d'environ 10 % pour un premier abaissement de 10° et si la température baisse encore de 10°, la perte totale est de 30 %. De plus, à basse température, l'allumage n'est pas assuré. Il faut donc préserver les lampes du froid. En plaçant les lampes à l'intérieur d'un appareil entièrement clos, on peut, grâce à la chaleur qu'elles dégagent, faire remonter la température de l'air à l'intérieur. Mais cela ne vaut que pour les lampes en fonctionnement ; l'allumage a lieu, inévitablement, à basse température. Pour faciliter l'amorçage de l'arc (dans la vapeur de mercure à pression très réduite puisqu'elle correspond à la tension de vapeur à la température ambiante), on a recours à divers procédés. Un moyen simple consiste à fabriquer des lampes spéciales dont la tension d'allumage est inférieure à celle des lampes normales. Utilisées avec des ballasts et starters normaux, ces lampes bénéficient ainsi pour l'allumage d'une surtension plus élevée.

Un autre facteur défavorable est l'humidité. On a remarqué, à l'usage, que les condensateurs au papier, qui sont logés à l'intérieur des starters, ne résistent pas longtemps à l'humidité. Un perfectionnement important, mis au point par un constructeur français, a été apporté par l'emploi de condensateurs à diélectrique en céramique, qui sont absolument inaltérables.

Un avantage de la fluorescence est de permettre le choix de la puissance, de la longueur et aussi de la couleur des lampes. Pour l'éclairage public, on utilise couramment des lampes de 40 watts de 1,20 m de longueur, groupées par trois ou quatre à l'intérieur d'un même appareil. Sur les voies très larges et sur les grandes places, les appareils sont pourvus de lampes plus puissantes. On utilise par exemple à Paris des lampes de 100 watts de 1,50 m de longueur (quatre lampes par appareil).

Bien que toutes les lampes fluorescentes usuelles émettent de la lumière qui paraît blanche, on peut choisir entre différentes nuances de « blanc ». Les lampes à « ton chaud » (le warmtone américain) qui, en comparaison avec le jour paraissent jaunâtres, s'harmonisent bien avec l'incandescence. C'est le plus souvent ce genre de lumière que l'on choisit pour l'éclairage public. Elle présente en outre l'avantage d'être la plus efficace. Dans certains cas cependant, on préfère éclairer avec une lumière blanche plus riche en rayonnement vert et bleu, c'est-à-dire plus proche de la lumière du jour. La lampe « blanc 4500 » du commerce convient à cela ; elle donne un meilleur rendu des couleurs ; en particulier, le feuillage des arbres devient plus clair et se montre sous un aspect plus naturel que sous l'éclairage par incandescence.



Photo Neuhaus.

Fig. 1. — Appareil d'éclairage public à 3 lampes fluorescentes 40 watts.

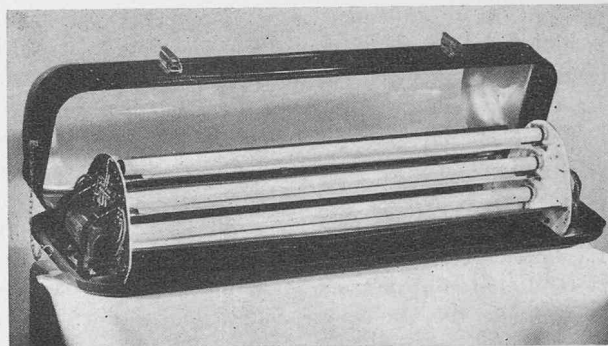


Photo Neuhaus.

Fig. 2. — Appareil d'éclairage public à 3 lampes fluorescentes 40 watts.

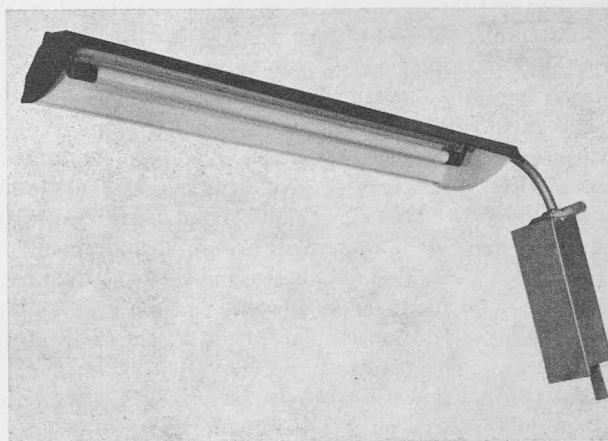


Photo Neuhaus.

Fig. 3. — Appareils pour rues étroites : une lampe 40 watts.

### Appareils d'éclairage

Les lampes fluorescentes, nous l'avons vu, doivent obligatoirement être montées à l'intérieur d'appareils étanches. Quant à leurs auxiliaires, on les place soit dans l'appareil même, soit dans la borne du candélabre si l'on veut réduire le poids et l'encombrement des appareils.

Les appareils d'éclairage fluorescent n'ont pas seulement pour rôle de supporter les lampes et de les mettre à l'abri du froid, du vent et de la pluie; ils servent aussi à diriger le flux lumineux vers la chaussée. C'est pourquoi ils comprennent presque toujours un ou plusieurs réflecteurs de forme cylindro-parabolique. On construit généralement ces réflecteurs en aluminium très pur, traité électrolytiquement en surface pour augmenter le pouvoir réflecteur et la résistance à la corrosion. On verra sur les figures 1 et 2 que ces nouvelles lanternes sont d'une construction simple et qu'elles ne comprennent aucun élément fragile. Le modèle représenté est bien connu des Parisiens. C'est un appareil conçu pour recevoir trois lampes fluorescentes de 1,20 m (40 watts). Le toit et les flasques d'extrémité sont en tôle emboutie émaillée. Il y a un réflecteur par lampe, qui se fixe aux flasques, à chaque extrémité. Les flasques portent en outre, du côté intérieur, les douilles pour les lampes et, du côté extérieur, les ballasts et starters. L'appareil se ferme par un vitrage en matière plastique qui, monté sur un cadre en tôle profilée et émaillée, est attaché par charnière à l'un des grands côtés du toit. De l'autre côté se trouve la fermeture par boucle et crochet. Une bande en caoutchouc mousse, collée sous le toit, assure l'étanchéité. Cet appareil se fixe par brides sur une console.

La figure 3 montre un modèle économique, à une seule lampe, qui convient à l'éclairage des rues étroites. Quant à la figure 4, elle représente un appareil d'un genre très différent, adapté surtout à l'éclairage localisé: cours, allées, terrasses de cafés, plages, par exemple. C'est une lanterne verticale tubulaire qui renferme quatre tubes de 1,20 m.

#### Disposition des foyers

L'appareil d'éclairage public par fluorescence se place à environ 7,50 m de hauteur dans une rue de largeur moyenne. Dans les larges avenues ou sur les grandes places, on l'élève jusqu'à 9 m. L'axe longitudinal de l'appareil se trouve dans un plan perpendiculaire à l'axe de la chaussée et forme en général avec l'horizontale un angle plutôt faible: 15 à 25°.

Les candélabres sont placés, comme pour l'incandescence, des deux côtés de la chaussée et en quinconce. Dans les voies larges à grande circulation on les dispose quelquefois vis-à-vis. L'espacement est d'environ 25 m pour une hauteur de foyer de 7,50 m, c'est-à-dire moins de quatre fois la hauteur du foyer lumineux. C'est un rapport un peu plus faible que pour l'incandescence. Cela tient à ce que le faisceau de lumière fluorescente est plus large et moins concentré que celui d'un appareil à incandescence. Il éclaire toute la largeur de la chaussée mais il porte un peu moins loin.

#### Quelques exemples de réalisations françaises

Contrairement à ce qu'on pourrait croire, l'éclairage public par fluorescence est, à l'heure actuelle, moins développé aux Etats-Unis qu'en Europe. L'Angleterre a été l'un des premiers pays à adapter ce mode d'éclairage des voies publiques. Son exemple a été suivi par d'autres pays, entre autres par la Hollande, la Belgique et surtout la France.

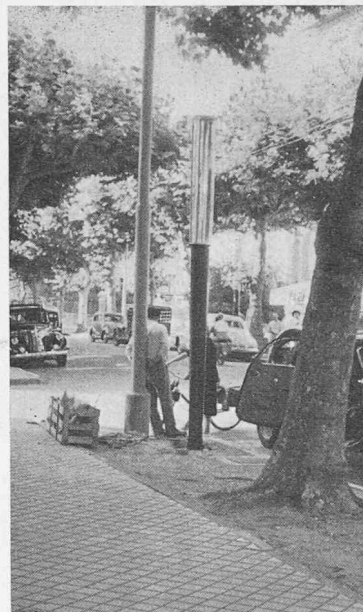


Photo Neuhaus.

Fig. 4. — Appareil pour éclairage localisé:  
4 lampes 40 watts verticales.

Nous ne croyons pas nous tromper en affirmant que Paris, parmi toutes les villes du monde, présente à l'heure actuelle le plus grand nombre de voies éclairées en fluorescence et les installations les mieux réussies. Le mérite en revient à M. Gaymard, ingénieur en chef à Electricité de France, qui s'est fait le protagoniste de l'éclairage public par fluorescence et a démontré, par ses réalisations, tous les avantages de ce mode d'éclairage. M. Gaymard a eu l'obligeance de nous remettre,



Photo M. Gaymard.

Fig. 5. — Candélabre double (avenue de la Grande-Armée). 2 appareils à 4 lampes Sylvania de 100 watts, 1,50 m.

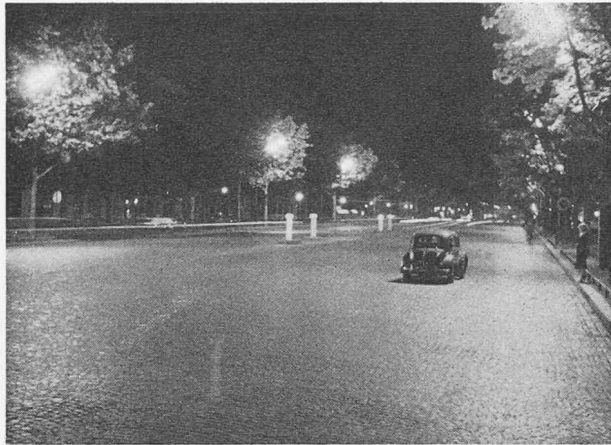


Fig. 6. — Avenue de la Grande-Armée éclairée en fluorescence. Appareils Neuhaus à 4 lampes Sylvania de 100 watts. Flux : 18 000 lumens.

pour le *Bulletin technique*, un certain nombre de photos de voies parisiennes éclairées en fluorescence. Nous avons reçu également des photos des Etablissements Neuhaus, constructeurs d'appareils d'éclairage public, de la Société Visseaux, qui fabrique des lampes spéciales pour éclairage public et de la Société Claude, Paz et Silva.

Pour l'éclairage des grandes avenues, M. Gaymard a fait choix de lampes de 100 watts qui sont groupées par quatre dans des appareils placés à 9 m de hauteur. On aura une idée de la puissance de ces foyers si l'on sait que quatre lampes fournissent 18 000 lumens, soit 3000 lumens de plus qu'une lampe à incandescence de 750 watts. La figure 5 montre un candélabre double équipé de cette façon et placé à l'avenue de la Grande-Armée, au droit de la rue Lesueur. Par la figure 6, on pourra juger du niveau élevé de l'éclairement et de sa bonne répartition, sur toute la largeur de l'avenue de la Grande-Armée. On remarquera combien ces foyers, placés à hauteur des arbres, font ressortir le feuillage.

Ce sont également les longs tubes de 100 watts qui

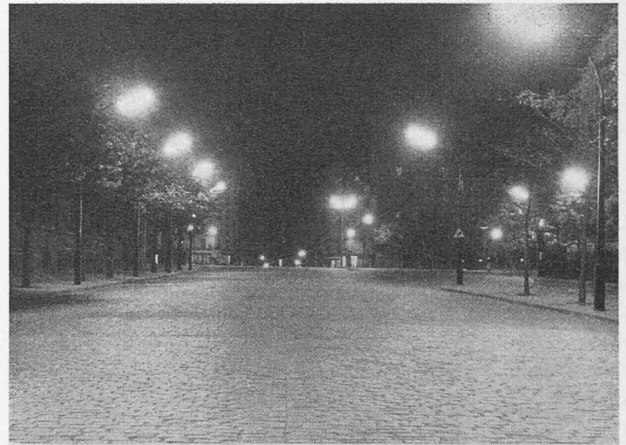


Fig. 8. — Cours de Vincennes éclairé par appareils à 4 lampes de 100 watts.

ont été choisis pour l'éclairage du Cours de Vincennes (fig. 7). Les photos figures 8 et 9 ont été prises au carrefour Cours de Vincennes, rue des Pyrénées. Le Cours (fig. 8) est éclairé au moyen des appareils représentés figure 7 et, au carrefour même, par des appareils montés sur candélabre à trois branches (fig. 9).

La première avenue parisienne éclairée en fluorescence a été l'avenue du Président-Wilson, qui a servi de terrain d'expériences. La figure 10 montre le type d'appareil qu'on y voit actuellement et la figure 11, l'avenue éclairée.

Les figures 12, 13 et 14 montrent l'avenue Victor-Hugo éclairée par des appareils à trois lampes de 40 watts (1,20 m), rayonnant 7500 lumens (appareil des figures 1 et 2). La figure 14 met en évidence, d'une façon frappante, l'uniformité de l'éclairement et son niveau élevé (9 lux en moyenne) par rapport à l'éclairage par incandescence qui subsiste à l'une des extrémités de l'avenue (bas de la photo).

Plusieurs villes de province ont suivi l'exemple de Paris et placé des appareils à lampes fluorescentes sur des ponts, des places et des avenues. On retrouve, par



Fig. 9. — Carrefour Vincennes-Pyrénées. Candélabre à trois branches. Appareils Neuhaus à 4 lampes Sylvania 100 watts.



Fig. 11. — Avenue du Président-Wilson éclairée par appareils Philips à 3 lampes de 40 watts.

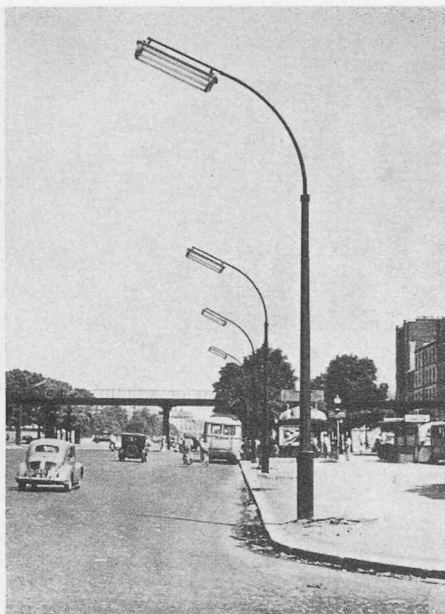


Photo Neuhaus.  
Fig. 7. — Appareils d'éclairage du Cours  
de Vincennes  
(4 lampes 100 watts par appareil).

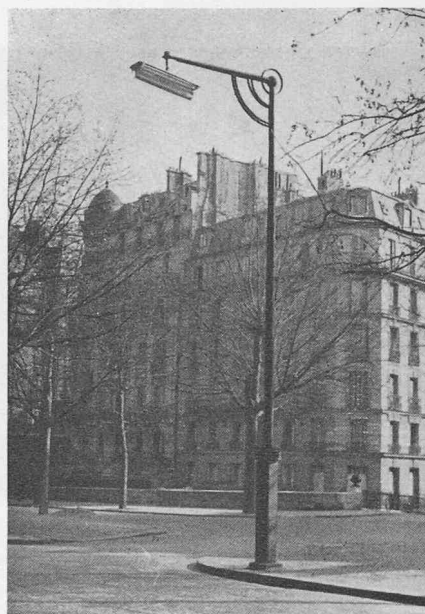


Photo M. Gaymard.  
Fig. 10. — Avenue du Président-Wilson  
(Paris).  
Appareil Philips à 3 lampes de 40 watts.

exemple, sur un pont de Rouen l'appareil vertical de la figure 4.

Une application originale de l'éclairage fluorescent est en cours d'exécution à Toulouse : le pont de l'Ecole Vétérinaire sera éclairé par une rampe de tubes fluorescents logés à 1,30 m du sol, à l'intérieur de la main-courante. Il a été jugé plus avantageux, dans le cas particulier, d'utiliser de longs tubes haute tension (de 22 mm de diamètre) dont le flux est dirigé vers la chaussée par un réflecteur en aluminium. L'ensemble est protégé par un vitrage courbe en matière plastique satinée. Ces tubes consomment environ 55 watts au mètre courant. La Société Claude, Paz et Silva a bien voulu nous communiquer les valeurs d'éclairage relevées aux essais : à 0,80 m de la lisse : 500 lux ; au

bord du trottoir (qui est à 6 m de la lisse) : 38 lux ; au milieu de la chaussée (à 14 m de la lisse) : 10 lux. On voit ainsi que ce pont sera brillamment éclairé, surtout sur les trottoirs. La suppression des candélabres est certainement un avantage du point de vue esthétique. Il restera à voir, à l'usage, si la solution adoptée à Toulouse ne présente pas d'inconvénients d'ordre pratique ou économique.

#### Une nouveauté : la lampe-ballon fluorescente

En parlant d'éclairage public par fluorescence, nous avons toujours eu en vue, jusqu'à maintenant, les lampes tubulaires. Nous ne pouvons omettre de mentionner une lampe nouvelle, bien différente, qui com-



Photo Neuhaus.  
Fig. 12. — Avenue Victor-Hugo (Paris) éclairée par appareils  
Neuhaus à 3 lampes Visseaux 40 watts. Flux par appareil :  
7500 lumens.



Photo Visseaux.  
Fig. 13. — Avenue Victor-Hugo éclairée par appareils  
Neuhaus à 3 lampes Visseaux 40 watts.



Fig. 15. — Place de Rennes (Paris) éclairée par lampe ballon fluorescente. 18 000 lumens.

Photo Claude Paz et Silva.

mence d'apparaître sur les places publiques. Nous voulons parler de la lampe à vapeur de mercure moyenne pression, à correction de couleur par revêtement fluorescent. L'éclairage au mercure était pratiqué avant la dernière guerre mondiale. Il est très efficace mais peu flatteur. On a eu récemment, aux Etats-Unis, l'idée de corriger la couleur trop verte, en enfermant le brûleur à mercure (en quartz) à l'intérieur d'un ballon en verre recouvert intérieurement d'un produit fluorescent. Nous ne parlerons pas ici des difficultés techniques qu'il a fallu surmonter pour mettre au point cette nouvelle lampe, que l'on commence à fabriquer en France. C'est une lampe puissante de 400 watts, qui convient spécialement à l'éclairage des grands espaces. Elle émet 18 000 lumens, c'est-à-dire autant que quatre lampes tubulaires de 1,50 m. L'ampoule, en forme de ballon, n'a pas une grande surface, aussi la lampe est-elle très éblouissante. Il faut nécessairement la placer à l'intérieur d'un diffuseur ou d'un réflecteur et assez haut.

On verra, sur la figure 15, la place de Rennes, à Paris, éclairée par deux lampes de ce type, et sur la photo de la figure 16, au premier plan, un candélabre identique installé à Lille. On notera la différence entre l'éclairage de la chaussée près de ce candélabre et celui du reste de la place éclairée par des lampes à incandescence de 500 watts.

#### Tunnels routiers

L'éclairage des tunnels routiers n'a pu être réalisé d'une façon vraiment satisfaisante que par tubes fluorescents. On sait quelle est la principale condition à remplir : il faut ménager une transition entre l'éclairage de jour et celui du tunnel sinon le conducteur, habitué à l'éclairage élevé du jour, ne verrait plus sa route ni les autres véhicules en entrant dans le tunnel. La transition s'obtient par un éclairage intense des entrées du tunnel, sur une longueur suffisante pour que l'œil ait le temps de s'adapter. Il existe déjà en France plusieurs tunnels routiers éclairés en fluorescence ; par exemple, le tunnel de l'auto-route de

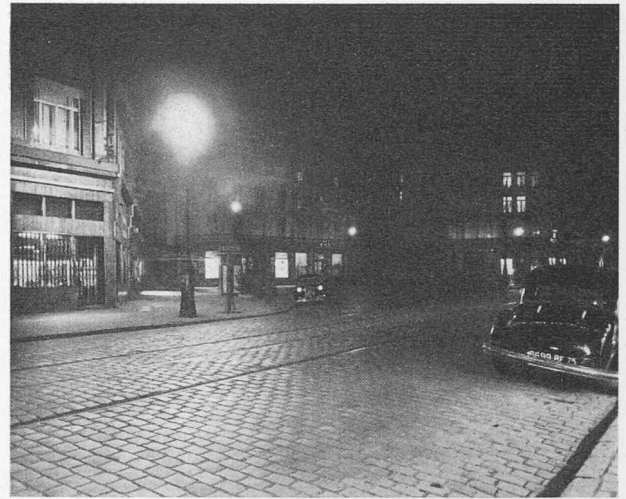


Fig. 16. — A Lille : au premier plan, lampe ballon fluorescente dans réfracteur boule ; les autres foyers sont à incandescence.

Photo Claude Paz et Silva.

l'Ouest, à la sortie de Paris, et le tunnel, long de 1,750 km et large de 15 m, qui passe à Lyon sous la colline de la Croix-Rousse. C'est l'entrée de ce tunnel qui est montrée éclairée, figure 17. On remarquera que les appareils sont en saillie : cette disposition est plus favorable que l'encastrement à l'éclairage de l'ensemble du tunnel, voûte comprise. Les deux rangées latérales d'appareils fluorescents, munis d'écrans anti-éblouissants, sont bien visibles sur la photo : chaque appareil comprend un, deux ou trois tubes de 40 watts suivant son emplacement, les appareils les plus puissants se trouvant le plus près des entrées du tunnel. Pour améliorer la transition entre le jour et l'éclairage intérieur du tunnel, les constructeurs ont placé, dans la première zone d'entrée, un plafond lumineux qui comprend vingt-six lignes de tubes fluorescents moyenne tension. De jour, tous les appareils sont allumés : l'éclairage au milieu du tunnel est d'environ 30 lux. De nuit, on ne maintient allumés que la moitié des appareils.

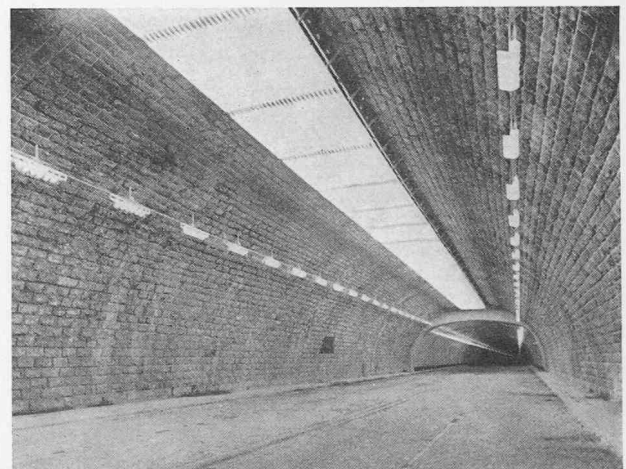


Fig. 17. — Entrée du tunnel routier de la Croix-Rousse, à Lyon. Sur les côtés, appareils à lampes 40 watts basse tension. Au plafond, 26 lignes de tubes haute tension.

Photo Claude Paz et Silva.

### Coût de l'éclairage par fluorescence

On peut se demander si la fluorescence ne fait pas payer trop cher les avantages qu'elle procure. Il est certain qu'un appareil fluorescent coûte plus cher (environ deux fois plus) qu'un appareil incandescent de même flux. Mais il faut noter que cette différence modifie relativement peu le devis total d'une installation neuve à câbles souterrains, le prix de l'appareil ne représentant qu'une petite partie de la dépense totale. Preuve en est que plusieurs villes sinistrées de Normandie, de Picardie et du nord de la France ont reconstitué leur dispositif d'éclairage public avec des appareils fluorescents.

Les frais d'entretien, en fluorescence, sont légèrement plus élevés qu'en incandescence, chaque appareil com-

prenant plusieurs lampes. Cependant, la vie moyenne d'une lampe fluorescente est au moins quatre fois plus longue que celle d'une lampe à incandescence. Ceci explique que, malgré les remplacements éventuels de starters, les frais d'entretien sont, en gros, les mêmes que ceux de l'incandescence.

Reste la question consommation de courant. La fluorescence permet d'effectuer sur ce poste une économie massive ; à Paris elle est d'au moins 60 % (à flux lumineux égal). Il va de soi que le montant de l'économie varie selon le prix du courant. Mais quel que soit ce prix et compte tenu des dépenses d'entretien et de l'amortissement des candélabres et appareils, l'éclairage public par fluorescence est plus économique que l'éclairage par incandescence.

## ONDES ULTRA-COURTES ET MÉTÉOROLOGIE

par JEAN DUFOUR, ingénieur E. P. U. L., Berne

L'utilisation, pendant la dernière guerre, d'ondes de plus en plus courtes pour les besoins militaires et, en particulier, pour les services de détection, a tôt fait apparaître le rôle important que les conditions météorologiques régnant le long de la liaison jouaient sur les conditions de transmission. Les progrès techniques acquis à cette époque et continuellement perfectionnés sont utilisés actuellement sur une grande échelle soit pour la radiodiffusion par ondes ultra-courtes modulées en fréquence (émetteurs FM), soit pour la télévision, soit pour des liaisons commerciales par faisceaux hertziens en ondes métriques, décimétriques ou centimétriques. Toutes ces différentes applications sont en partie limitées dans leurs possibilités par les conditions de propagation des ondes et, en particulier, par les variations d'intensité du signal reçu, variations dues à des effets météorologiques.

De tels effets se présentent aussi pour le cas des ondes moyennes et longues [1], mais les variations qu'ils provoquent sont de moindre amplitude et ont par conséquent moins d'importance ; aussi nous bornerons-nous à examiner ici le cas des ondes inférieures à 10 m.

A part certains cas exceptionnels, ces ondes traversent l'ionosphère sans pouvoir être réfléchies par l'une ou l'autre des couches ionisées ; on aura donc affaire, à la réception, uniquement à l'onde de sol, et les cas de propagation à très grandes distances, comme on les réalise en ondes courtes (longueur d'ondes de 10 à 100 m), ne se présentent pas. Les ondes inférieures à 10 m se propagent d'une manière analogue aux ondes lumineuses : elles peuvent être réfractées, diffractées, réfléchies et absorbées par le milieu ou par les obstacles se trouvant sur le trajet de propagation. Celui-ci étant essentiellement compris dans les couches inférieures de l'atmosphère, on a le cas de la *propagation troposphérique*.

Nous ne nous attarderons pas ici aux phénomènes de diffraction et de réflexion qui peuvent se traiter

d'une manière analogue à celle utilisée en optique, mais examinerons de plus près les phénomènes de réfraction et dirons deux mots, en terminant, de l'absorption.

### Réfraction troposphérique

Si le milieu dans lequel l'onde se propage était homogène, c'est-à-dire si l'indice de réfraction  $n$  de l'air était partout le même, le rayon se propagerait en ligne droite. Comme la terre est sphérique, la portée serait limitée à l'horizon géométrique du point d'émission. En réalité, l'indice de réfraction varie d'un point à un autre dépendant des conditions de pression, de température et d'humidité de l'air. Des considérations en partie théoriques et en partie expérimentales donnent pour  $n$  la relation suivante utilisée par les météorologues et les physiciens [2] :

$$(1) \quad (n - 1) 10^6 = \frac{79}{T} \left( p - \frac{e}{7} + \frac{4800 e}{T} \right)$$

avec :  $T$  = température absolue, en degrés centésimaux

$p$  = pression atmosphérique en millibars

$e$  = pression partielle de la vapeur d'eau en millibars.

Etant donnée la diminution de  $p$  et de  $T$  avec l'altitude, on voit que  $n$  varie également avec la hauteur au-dessus du sol ; en général il diminue. Pour une première étude, nous admettrons, par contre, que l'atmosphère est stratifiée parallèlement à la surface de la terre, donc que  $n$  est constant quand on se déplace à hauteur fixe.

Dans un milieu où l'indice de réfraction décroît progressivement avec l'altitude, les règles de l'optique nous montrent que le rayon est courbé vers le sol avec une courbure  $K$  donnée par la relation :

$$(2) \quad K = - \frac{dn}{dh} \cdot \frac{\sin i}{n}$$