

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 82 (1956)  
**Heft:** 2

**Artikel:** L'éclairage industriel  
**Autor:** Roy-Pochon, C.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-62049>

#### 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:** 26.01.2026

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

# BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraisant tous les quinze jours

**Abonnements:**  
 Suisse: 1 an, 26 francs  
 Etranger: 30 francs  
 Pour sociétaires:  
 Suisse: 1 an, 22 francs  
 Etranger: 27 francs  
 Prix du numéro: Fr. 1.60  
 Ch. post. « Bulletin technique de la Suisse romande »  
 N° II. 57 75, à Lausanne.

Adresser toutes communications concernant abonnements, changements d'adresse, expédition à Imprimerie La Concorde, Terreux 31, Lausanne

**Rédaction**  
 et éditions de la S. A. du Bulletin technique (tirés à part), Case Chauderon 475  
**Administration de la S. A.  
du Bulletin Technique**  
 Ch. de Roseneck 6 Lausanne

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des Anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

Comité de patronage — Président: R. Neeser, ingénieur, à Genève; Vice-président: G. Epitaux, architecte, à Lausanne; Secrétaire: J. Calame, ingénieur, à Genève — Membres, Fribourg: MM. H. Cicot, ingénieur; M. Waeber, architecte — Vaud: MM. F. Chenaux, ingénieur; A. Chevalley, ingénieur; E. d'Okolski, architecte; Ch. Thévenaz, architecte — Genève: MM. Cl. Grosgrain, architecte; E. Martin, architecte — Neuchâtel: MM. J. Béguin, architecte; R. Guye, ingénieur — Valais: MM. G. de Kalbermatten, ingénieur; D. Burgener, architecte.

Rédaction: D. Bonnard, ingénieur. Case postale Chauderon 475, Lausanne.

Conseil d'administration  
 de la Société anonyme du Bulletin technique : A. Stucky, ingénieur, président ; M. Bridel; G. Epitaux, architecte; R. Neeser, ingénieur.

## Tarif des annonces

|          |           |
|----------|-----------|
| 1/1 page | Fr. 264.— |
| 1/2 »    | » 134.40  |
| 1/4 »    | » 67.20   |
| 1/8 »    | » 33.60   |

**Annonces Suisses S. A.  
(ASSA)**



Place Bel-Air 2. Tél. 22 33 26  
 Lausanne et succursales

**SOMMAIRE :** *L'éclairage industriel* (suite et fin), par C. ROY-POCHON, Dr h. c. EPUL. — *Application du calcul à l'aide de suites à l'étude de phénomènes de propagation*, par MICHEL CUÉNOD, Dr es sc. techn. — Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne : *Cours d'introduction à l'énergie atomique*. — Société suisse des ingénieurs et des architectes : *Journées suisses d'études sur l'énergie nucléaire*. — Association amicale des anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne : *Rectification*. — **CARNET DES CONCOURS**. — SERVICE DE PLACEMENT. — DOCUMENTATION GÉNÉRALE. — NOUVEAUTÉS, INFORMATIONS DIVERSES.

## L'ÉCLAIRAGE INDUSTRIEL

par C. ROY-POCHON, Dr h. c. EPUL

Président de la 2<sup>e</sup> Section (éclairage et chauffage) de la SOCIÉTÉ FRANÇAISE DES ÉLECTRICIENS

(Suite et fin)<sup>1</sup>

### Lampes fluorescentes

C'est par un double processus que la lumière est engendrée à l'intérieur d'une lampe fluorescente tubulaire. La décharge électrique dans la vapeur de mercure à basse pression s'accompagne d'un intense rayonnement ultraviolet de longueur d'onde 253,7 millimicrons. La paroi interne de l'ampoule, recouverte de produits fluorescents, s'illumine sous l'action de l'ultraviolet.

Nous rappellerons les caractéristiques électriques, photométriques et colorimétriques des lampes fluorescentes.

**Régime de la décharge :** La décharge dans la vapeur de mercure peut suivre le régime luminescent ou le régime d'arc.

Le régime luminescent est caractérisé par une forte chute de tension au voisinage de la cathode (environ 100 volts), ce qui conduit, par raison de rendement, à utiliser une tension d'alimentation élevée et un faible

courant. Conséquence : les tubes sont longs et de petit diamètre. Les tubes du commerce ont une longueur d'au moins 2 m et un diamètre compris entre 10 et 20 mm.

Les lampes fluorescentes fonctionnant en régime luminescent sont appelées couramment lampes fluorescentes « haute tension » ou encore « lampes à cathode froide ». Cette dernière appellation vient de ce que la lampe s'amorce sans qu'il soit nécessaire de chauffer au préalable la cathode.

Le régime d'arc est celui qui régit la majeure partie des lampes fluorescentes du commerce. Caractéristique : la chute de tension aux électrodes est relativement faible : (18 volts), d'où la possibilité d'alimenter économiquement les lampes sous basse tension.

Les lampes fluorescentes « basse tension » sont aussi des lampes « à cathode chaude », parce que le régime d'arc ne peut s'établir ni se maintenir si la cathode n'est pas portée à l'incandescence. Cela implique, pour les lampes usuelles, un dispositif de préchauffage des

<sup>1</sup> Voir *Bulletin technique* du 7 janvier 1956, page 1.



Document Philips.

Fig. 4. — Installation pour le triage du charbon.  
Lampes à vapeur de mercure (haute pression) sous réflecteurs.

électrodes, donc un délai d'allumage de l'ordre de la seconde.

Dans la suite, nous nous en tiendrons aux lampes «basse tension», qui sont les seules fabriquées en grande série et interchangeables ; de plus, elles offrent le maximum d'efficacité et de commodité d'installation.

*Puissance* : La puissance des lampes fluorescentes est limitée, pour des raisons de construction, d'encombrement et de rendement. Le modèle le plus usité dans l'industrie est la lampe de 40 watts, longueur 1,20 m. Les lampes 20 watts sont moins efficaces et leur flux, plus faible, oblige à multiplier le nombre des lampes. Dans l'industrie, il arrive qu'on utilise des lampes 20 watts pour l'éclairage d'appoint.

*Caractéristique courant-tension* : L'arc présente une caractéristique négative, ce qui veut dire que la chute de tension dans la lampe diminue lorsque le courant augmente, c'est-à-dire lorsque la tension d'alimentation augmente. En conséquence, il est absolument exclu de brancher une lampe fluorescente directement sur le réseau ; si on le faisait, ou bien la lampe ne s'allumerait pas ou bien le courant augmenterait très rapidement jusqu'à destruction de la lampe ou des fusibles.

Toute lampe fluorescente doit donc être munie d'un appareil individuel de stabilisation (le «ballast»), qui entraîne une perte de puissance. Pour la réduire au minimum on utilise une inductance. Mais, ce faisant, on rencontre un autre inconvénient : le facteur de puissance dépasse à peine 0,5. Pour le redresser, on adopte généralement le montage «duo» : le groupage de deux lampes, l'une stabilisée par inductance, l'autre par capacité plus inductance. Outre son principal avantage qui est d'éviter au distributeur de fournir à chaque usager d'une lampe fluorescente autant d'énergie réactive que d'énergie active, le montage «duo» présente pour l'usager un avantage certain, déjà signalé : le papillotement de la lumière est pratiquement supprimé.

Autre auxiliaire de la lampe fluorescente : le «starter». C'est un interrupteur automatique qui, au mo-

ment de l'allumage, laisse passer un courant dans les deux électrodes-filaments, pour les chauffer avant que la lampe soit mise sous tension.

*Efficacité lumineuse*. Le principal intérêt des lampes fluorescentes tient à leur efficacité lumineuse qui est, en gros, quadruple de celle des lampes à incandescence. Une lampe fluorescente de 40 W émet environ le même flux qu'une lampe à incandescence de 150 W. Suivant la nuance de «blanc» que l'on choisit, l'efficacité d'une lampe 40 W va de 46 à 63 lm/W. Les pertes dans un ballast compensé la réduisent de 20 %. Les lampes 20 W ont une efficacité inférieure de 20 % à celle des lampes 40 W.

L'augmentation de l'efficacité est due pour une part à la composition de la lumière et pour une plus grande part au meilleur rendement de la lampe. Le maximum d'émission lumineuse correspond au jaune, auquel l'œil est très sensible. Quant au rendement, il est en moyenne de 20,5 %, c'est-à-dire deux fois et demie celui d'une lampe à incandescence. Des 40 W consommés par la lampe, 8,2 sont transformés en lumière. Le reste se perd sous forme de chaleur. A la différence de l'incandescence, le rayonnement infrarouge n'est pas considérable ; il représente tout de même le quart de la puissance totale soit un peu plus que le rayonnement visible qui n'est que le cinquième. En revanche, les pertes par conduction ou convection sont plus importantes : 53 % de la puissance totale. Ces pertes proviennent en majeure partie de l'échauffement des électrodes et de l'ampoule.

Nous avons vu que l'efficacité dépend aussi de la composition de la lumière. Les lampes fluorescentes qui donnent la lumière la plus efficace sont connues sous la désignation commerciale «blanc». Elles conviennent bien à l'éclairage des ateliers, sauf pour certains travaux, dans lesquels la couleur joue un rôle important.



Document Claude, Paz &amp; Silva.

Fig. 5. — Eclairage d'un grand hall par lampes à ballon fluorescent sous réflecteurs profonds.

*Rendu des couleurs.* Comment se classent les lampes fluorescentes du point de vue du rendu des couleurs ? Il y a d'abord, au bas de l'échelle, les lampes dites « à ton chaud », puis les lampes « blanc » qui renforcent trop les verts et les jaunes orangés au détriment des rouges et des bleus. Mais ce sont aussi les lampes plus efficaces (63 lm/W). C'est pourquoi la lampe « blanc » est très utilisée dans l'industrie. Si le travail demande un meilleur rendu de couleurs, on adopte la lampe « blanc 4500 », dont la lumière convient à la plupart des ateliers de l'industrie textile (filature, tissage). Son efficacité est de 60 lm/W.

Si les exigences quant au rendu sont grandes, on peut utiliser soit la lampe « lumière du jour » (55 lm/W), soit la lampe « blanc naturel », qui ne donne plus que 46 lm/W. La lampe « lumière du jour » donne un blanc à peu près identique à celui du jour moyen. En raison même de cette concordance, on est amené à augmenter les niveaux d'éclairement pour rendre l'ambiance agréable. Aussi ne voit-on que rarement des ateliers éclairés entièrement en lampes « lumière du jour ». La raison d'être du « blanc naturel » est précisément de donner le meilleur rendu réalisable actuellement en fluorescence, sans surélever le niveau d'éclairement. L'adaptation aidant, le « blanc naturel » rend fidèlement les couleurs dans la grande majorité des cas. L'amélioration du rendu a comme contrepartie une baisse d'efficacité. Il ne peut en être autrement, puisque les lumières bleue et rouge (peu efficaces) sont émises en plus forte proportion.

Pour les échantillonnages très précis, plusieurs auteurs préconisent l'éclairage mixte fluorescence-incandescence.

*Durée de vie et influence des variations de tension du réseau.* Une lampe fluorescente dure 5000 à 7000 heures, suivant la fréquence des allumages. Si les variations de tension du réseau ne sont pas trop fortes, elles n'ont pas d'influence sur la durée de vie.

Après 3000 heures de fonctionnement (à fréquence d'allumage réduite), le flux a baissé d'environ 15 %. Remarquons que 15 % est la baisse tolérée pour une lampe à incandescence, qui a fonctionné 750 heures seulement.

Si la tension du réseau est supérieure de 10 % à la tension nominale de l'ensemble lampe-ballast, l'efficacité diminue d'environ 7 % (c'est donc l'inverse de ce qui se passe en incandescence). Malgré la baisse d'efficacité, le flux augmente de 5 % parce que la puissance de la lampe augmente de 14 %.

Si la tension du réseau baisse de 10 %, l'efficacité augmente de 7 %, mais le flux diminue de 10 % parce que la puissance diminue de 16 %.

Comparons ces chiffres à ceux donnés pour l'incandescence. Surtension de 10 % : le flux de la lampe à incandescence augmente de 35 %, celui de la lampe fluorescente de 5 %. Sous-tension de 10 % : en incandescence, baisse de flux de 30 % ; en fluorescence, baisse de 10 % seulement.

La conclusion vient d'elle-même : l'éclairage fluorescent est beaucoup moins sensible aux variations de tension du réseau que l'éclairage par incandescence. Mais la sous-tension présente un gros risque : la lampe peut refuser de s'allumer ou s'éteindre d'elle-même. Le

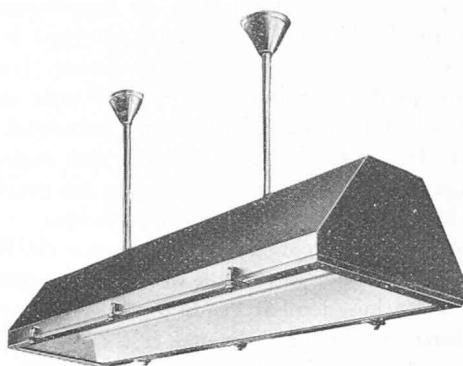


Fig. 6. — Réflecteur étanche pour lampes fluorescentes ; glace de protection en verre triple ; joint en caoutchouc mousse.

risque est d'autant plus grand que la température ambiante est plus basse.

*Avantages.* Le principal avantage résulte de la haute efficacité ; compte tenu des pertes dans le ballast, le lumen coûte environ trois fois moins cher qu'en incandescence.

Autre avantage : longue durée de vie des lampes, (cinq à six fois plus longue qu'en incandescence) et, par conséquent, remplacements peu fréquents.

Il est également avantageux que les variations de tension du réseau n'aient pas une grande influence sur le flux ; on ne subit pas en éclairage fluorescent les fortes variations d'éclairement qui, en incandescence, accompagnent les variations de tension du réseau.

Voici encore un avantage : la luminance réduite des lampes ne risque pas d'aveugler.

La grande surface d'émission offre un autre avantage : le flux lumineux se répartit plus uniformément sur le plan utile et les ombres portées sont atténuerées.

Nous venons de voir que les constructeurs ont mis sur le marché des lampes fluorescentes de différentes nuances de « blanc ». Nous avons indiqué celles qui conviennent à l'éclairage industriel. C'est incontestablement un avantage de pouvoir choisir la couleur de la lumière suivant la destination du local.

*Réponse aux objections.* Examinons maintenant ce qu'on reproche à l'éclairage fluorescent.

Tout d'abord, le prix élevé de l'installation. A éclairement égal, les frais d'équipement sont plus élevés en fluorescence qu'en incandescence. Mais l'excédent de dépense initiale est vite compensé par l'économie de courant. Il n'est pas possible de préciser en combien de temps car cela dépend du prix du courant, du genre et de la puissance de l'installation. Dans le cas le plus défavorable, celui d'un abonné haute tension qui achèterait les lampes et les appareils au prix fort, le délai d'amortissement est de l'ordre de 1000 heures. Il est réduit de plus de moitié pour l'abonné basse tension.

Admettons qu'à 1000 heures, fluorescence et incandescence sont à égalité. A partir de ce moment, la fluorescence prend un avantage croissant : 1<sup>o</sup> parce que toutes les lampes à incandescence sont arrivées à fin de vie alors que les lampes fluorescentes ont encore

devant elles 4000 à 6000 heures de fonctionnement ; 2<sup>e</sup> parce que la dépense d'électricité est trois fois plus élevée en incandescence qu'en fluorescence. Dans ces conditions, peut-on vraiment dire que le prix de l'installation soit un inconvénient pour l'industriel ? Que représente le capital immobilisé dans une installation d'éclairage fluorescent en regard du prix des machines ? Peu de chose, dans la majeure partie des cas.

On a aussi reproché à la fluorescence de fatiguer la vue, de provoquer des maux divers. C'est une question qui a été longuement étudiée par les ophtalmologues. Dans un rapport présenté le 24 février 1953 à l'Académie de médecine de Paris, le Dr Strohl conclut que, si l'installation est faite suivant les règles, l'éclairage fluorescent est sans danger.

On a cru, il y a quelques années, que la lampe fluorescente rayonnait de l'ultraviolet nocif. Toutes les mesures des physiciens concordent : la radiation 253,7 est totalement absorbée par l'enduit fluorescent et, s'il en reste, par le verre de l'ampoule. Seul l'ultraviolet moyen, bienfaisant à faible dose, peut filtrer à travers le verre. Il a été mesuré : la dose reçue sous une lampe fluorescente est inférieure à celle que nous recevons du soleil en hiver et en ville, et environ trois cents fois plus faible que celle du soleil d'été, à notre latitude.

Et maintenant, répondons à une question maintes fois posée. Sur quoi baser le choix entre l'incandescence et la fluorescence ? Sur la nature du travail, sur le nombre d'heures d'éclairage artificiel dans l'année et sur la puissance disponible.

Certains travaux demandent une lumière donnant aux corps blancs ou colorés le même aspect qu'au jour. C'est l'éclairage fluorescent qui répond le mieux à cette exigence.

D'autres travaux s'effectuent en lumière diffusée mieux qu'en lumière dirigée : recherche de défauts sur papiers ou tissus, dessin industriel. Le choix des lampes fluorescentes est tout indiqué.

Lorsque le genre de travail n'incite pas à choisir un éclairage plutôt que l'autre, le facteur « dépense » devient déterminant. Dans un atelier où les lampes restent allumées jour et nuit (le cas n'est pas rare), le supplément de prix de l'installation en fluorescence s'amortit en un ou deux mois. Par contre, dans un atelier où l'on n'allume les lampes qu'en hiver et pendant un très petit nombre d'heures par jour, l'amortissement peut demander plusieurs années. Mais ce cas est peu fréquent. *Dans la plupart des industries, choisir la fluorescence revient à choisir la solution la plus économique.*

Autre considération, faisant souvent pencher la balance du côté de la fluorescence : la puissance installée. Il arrive qu'on ne puisse augmenter l'éclairement au niveau recommandé parce que les fils de l'installation électrique n'ont pas une section suffisante. Avec les mêmes conducteurs, on peut tripler l'éclairement en remplaçant, à puissance égale, les lampes à incandescence par des lampes fluorescentes.

Les lampes à incandescence et celles à fluorescence donnent une lumière blanche qui respecte les couleurs ou qui, en tout cas, ne les altère pas profondément. Il n'en est plus de même des sources de lumière monochromatique ou mixte que nous allons passer en revue.

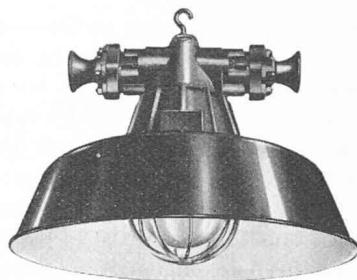


Fig. 7. — Lanterne pour milieux explosifs, équipée d'une lampe à incandescence de 100 ou 200 W. Lanterne en alliage Al-Si-Mg ; vasque de fermeture en verre pressé; grille de protection, entrées de câbles étanches.

#### Sources de lumière monochromatique

Une lumière limitée à une bande étroite du spectre ne peut convenir à l'éclairage général, puisqu'elle rend tous les objets de la même couleur. Mais, dans certains cas, elle peut présenter de l'intérêt.

En lumière monochromatique (jaune ou verte), l'acuité visuelle est plus grande qu'en lumière blanche parce que l'aberration chromatique n'intervient plus. L'accommodation de l'œil, qui est une mise au point des images, se fait pour une seule radiation et, par conséquent, avec plus de précision. La perception est plus rapide.

La lumière monochromatique jaune ou verte est moins diffusée que la lumière blanche par les vapeurs ou les fumées, elle les perce mieux. Son emploi est indiqué dans les locaux dont l'atmosphère n'est pas limpide.

Aux faibles éclairements, la lumière monochromatique jaune accentue les contrastes de luminance. Cette propriété est utilisée en éclairage public, dont le principe est de provoquer l'effet silhouette : les obstacles se détachent en sombre sur le fond clair de la chaussée. L'éclairage des abords d'une usine est un problème analogue.

#### Lampe à vapeur de sodium

La lampe à vapeur de sodium est un tube à décharge qui émet presque exclusivement la double raie 589-589,6 mμ, donnant une lumière jaune orangé de bonne efficacité. Le tube, replié en épingle à cheveux, est logé à l'intérieur d'une sorte de vase Dewar qui l'isole thermiquement.

La lampe à sodium fonctionne en régime d'arc, avec appareils auxiliaires du même genre que ceux des lampes fluorescentes. L'allumage se fait à l'aide d'une électrode auxiliaire.

La lampe à vapeur de sodium n'atteint son régime normal qu'au bout d'un quart d'heure environ ; il faut laisser au sodium le temps de se vaporiser.

Pour l'éclairage des grands espaces, on utilise le plus souvent une lampe de 140 watts, qui émet environ 11 000 lumens. L'efficacité est élevée : environ 60 lm/W, compte tenu des pertes dans le ballast.

La durée de vie est, en gros, de 4000 heures. Le flux lumineux est peu influencé par les variations de tension du réseau, sous réserve que le ballast soit bien calculé. Comme pour les lampes fluorescentes, on peut redresser le facteur de puissance et atténuer les fluctuations

périodiques de la lumière en adoptant le montage « duo ».

La lampe à vapeur de sodium est surtout une lampe d'éclairage extérieur, étant donné son incapacité à rendre les couleurs. Elle s'utilise cependant à l'intérieur de l'usine, dans les locaux où se dégagent beaucoup de fumées, de poussières ou de vapeurs. C'est le cas des fonderies.

#### *La lampe à vapeur de mercure (moyenne ou haute pression)*

Pour le physicien, la lumière d'une lampe à vapeur de mercure n'est pas monochromatique. Mais dans la pratique de l'éclairage, on peut la considérer comme telle : plus de 90 % du flux lumineux total est émis dans la raie verte 546 m $\mu$  et dans la raie jaune 578 m $\mu$ . La raie violette 436, qui est intense, a une influence marquée sur le rendu des couleurs mais elle compte peu dans le flux total, étant donné la faible sensibilité de l'œil à la lumière violette.

On classe les lampes suivant l'ordre de grandeur de la pression de vapeur de mercure, en régime normal. Si la pression à chaud est comprise entre  $\frac{1}{2}$  et 5 atmosphères, la lampe est à « moyenne pression ». Au-delà on entre dans le domaine des lampes « haute pression ».

La décharge dans la vapeur de mercure a lieu dans un tube en verre dur (lampe « moyenne pression ») ou en quartz (lampe « haute pression »). Le tube à décharge est logé à l'intérieur d'une assez grosse ampoule en verre qui joue un double rôle : 1<sup>o</sup> elle absorbe le rayonnement ultra violet ; 2<sup>o</sup> elle calorifie le tube à décharges. Pour les lampes « moyenne pression », on fait le vide dans l'ampoule. Pour les lampes « haute pression », on introduit de l'azote dans l'ampoule, dans le but de rendre plus rapide le réallumage après extinction (la lampe se refroidit plus vite).

Pourvue de l'inévitable « ballast », qui abaisse le facteur de puissance à 0,5, la lampe à vapeur de mercure fonctionne sur un réseau de 220 V sans qu'il soit nécessaire d'élever la tension. L'amorçage se fait à froid, par électrode auxiliaire. La mise en régime demande cinq minutes environ.

Les puissances usuelles vont de 80 à 650 watts, et les flux de 3000 à 30 000 lumens. On fabrique même, en Amérique, des lampes de 3000 W 120 000 lm. Compte tenu des pertes dans le ballast, l'efficacité varie suivant la puissance entre 35 et 45 lm/W.

La durée de vie est comprise entre 4000 et 5000 heures. La lampe est très sensible aux variations de tension du réseau : une variation de 10 % (on plus ou en moins) produit une variation de flux (de même sens) de 30 %.

Comme la lampe à sodium, la lampe à mercure s'utilise presque exclusivement à l'extérieur ou dans les grands halls où l'on parque des machines ou des matières premières. On l'utilise par raison d'économie : on peut se contenter de niveaux d'éclairement qui, en lumière blanche, ne permettraient pas une vision assez nette. Mais il est bien évident qu'on ne peut recommander cette lampe pour le travail en atelier.

#### *Lampes mixtes*

Parmi toutes les lampes que nous venons d'examiner, il ne s'en trouve aucune qui remplisse à la fois les

conditions suivantes : forte puissance, haute efficacité, rendu fidèle des couleurs. La lampe fluorescente a une puissance limitée. La lampe à incandescence est peu efficace. Les lampes à vapeur de sodium ou de mercure suppriment ou altèrent profondément les couleurs. C'est pour essayer de combler cette lacune qu'on a créé les lampes mixtes : la lumière du mercure est mêlée à celle de l'incandescence ou de la fluorescence pour donner aux objets colorés un aspect acceptable.

*Lampe mixte mercure-incandescence.* Elle est composée d'une lampe à mercure « haute pression » et d'un filament incandescent logé dans l'ampoule remplie d'azote qui englobe le tube à décharge. Le filament tient lieu de ballast.

Les puissances commerciales sont 160 et 250 W. Le tube à décharge ne consomme que 28 % du total ; le reste est pris par le filament incandescent. La tension du réseau doit être supérieure à 200 volts. Le tube et le filament fournissent chacun la moitié du flux total qui est de 3000 lm pour la lampe 160 W et 5000 lm pour la 250 W. L'efficacité lumineuse résultante est d'environ 20 lm/W. Le facteur de puissance de l'ensemble est très proche de l'unité. La présence du filament abaisse la durée de vie à 2000 h. ; encore faut-il que les allumages soient peu fréquents.

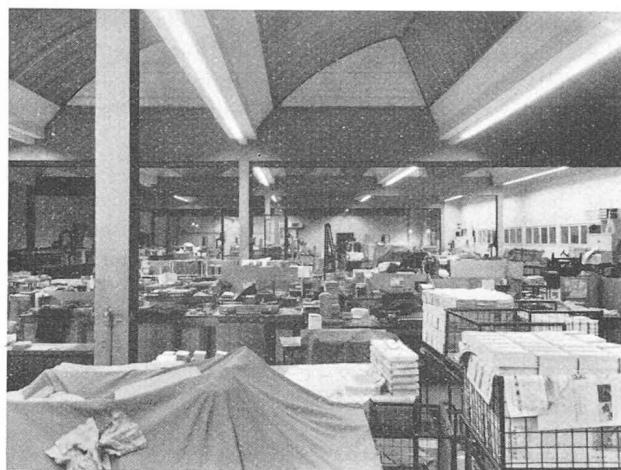
Les flux partiels, provenant du tube et du filament, étant énormément influencés par les variations de tension du réseau, il en est évidemment de même de leur somme. De plus, aux variations d'intensité lumineuse s'ajoutent des changements de couleur, le flux ne se répartissant plus également entre les deux sources. Autre inconvénient grave : si une forte baisse de tension se produit, le tube s'éteint et ne se rallume qu'après 5 à 10 minutes.

La lumière de la lampe mercure-incandescence paraît blanche, mais sa composition spectrale est trop différente de celle du jour pour que les couleurs soient fidèlement rendues.

L'avantage de cette lampe est la suppression du ballast. Pourvue d'un culot Edison, elle se visse dans une douille comme une lampe à incandescence. Elle est nettement plus efficace qu'une lampe à incandescence mais beaucoup moins qu'une lampe fluorescente : les 5000 lumens de la lampe mixte 250 watts peuvent être obtenus avec deux lampes fluorescentes 40 W qui ont, en outre, l'avantage du meilleur rendu des couleurs.

Une autre lampe mixte est la *lampe mercure-fluorescence*, connue sous les deux appellations « lampe à mercure à lumière corrigée » ou « lampe à ballon fluorescent ». Le globe de la lampe est tapissé sur sa paroi interne d'un enduit fluorescent dont le rôle est de transformer le rayonnement ultraviolet en lumière visible. (Dans la lampe à mercure ordinaire, le rayonnement ultraviolet est entièrement perdu par absorption dans le verre.) La fluorescence crée dans le spectre un fond continu à dominante rouge qui se superpose aux raies du mercure.

La correction est encore loin de donner aux objets colorés leur aspect naturel. Mais les surfaces blanches paraissent blanches : c'est déjà un résultat appréciable.



Document Claude, Paz &amp; Silva.

Fig. 8. — Atelier de reliure, éclairé en fluorescence.

Réflecteurs extensifs à plaques argentées logés dans des gaines métalliques (système Solélux). Nombre de réflecteurs variable suivant les besoins.

Photo Serge Boiron, Paris.

Les lampes à ballon fluorescent du commerce vont de 80 à 1000 watts. Celles que nous voyons le plus souvent sont les 250 et 400 watts, dont l'usage se répand en éclairage public.

Les caractéristiques électriques sont celles de la lampe à mercure : ballast indispensable, facteur de puissance à redresser, grande influence des variations de tension du réseau, temps d'allumage et de réallumage d'environ 5 minutes, durée de vie moyenne de 4000 heures.

Le flux lumineux de la lampe 400 W s'élève à 18 000 lumens. Compte tenu des pertes dans un ballast non compensé, l'efficacité lumineuse est de 37 lm/W. Elle tombe à 34 lm/W après redressement du facteur de puissance. A l'autre bout de l'échelle des puissances, on trouve la lampe 125 W, qui émet 5000 lumens, c'est-à-dire l'équivalent de deux lampes fluorescentes tubulaires 40 W. Bien que son efficacité soit inférieure d'un tiers à celle de la lampe tubulaire, la lampe ballon peut être préférée en raison de son plus faible encombrement.

Dans son état actuel, la lampe ballon est surtout une lampe pour l'extérieur, les grands halls, les hangars. Les lampes de 250 et 400 W permettent de réaliser des foyers très puissants, concentrés et par conséquent très brillants. Aussi l'appareil doit-il être spécialement étudié pour éviter l'éblouissement. Il doit aussi être parfaitement étanche car le ballon fluorescent, très chaud, ne résisterait pas à la moindre projection de liquide.

#### *Performances des différentes lampes*

Résumons maintenant les performances relatives des différentes lampes.

1. Maximum d'efficacité lumineuse, donc d'économie de courant : la lampe fluorescente tubulaire, la lampe à sodium.
2. Meilleur rendu des couleurs : la lampe fluorescente.
3. Maximum de puissance unitaire : la lampe à incandescence, la lampe à mercure corrigé ou non.
4. En contrepartie : luminance la plus faible, donc moindre risque d'éblouissement : la lampe fluorescente.

5. Branchement direct sur le réseau : la lampe à incandescence ; la lampe mixte mercure-incandescence.
6. Frais d'équipement minima : la lampe à incandescence.
7. Allumage instantané : la lampe à incandescence.
8. Sensibilité minima aux variations de tension du réseau : la lampe fluorescente, la lampe à sodium.
9. Maximum de visibilité des objets aux faibles éclairements : la lampe à sodium et la lampe à mercure.
10. Durée de vie maxima : la lampe fluorescente.

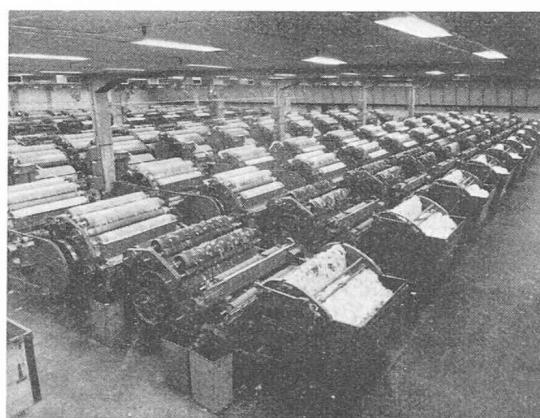
#### *Les appareils d'éclairage industriel*

Quelle que soit la lampe adoptée, il faut la placer dans un appareil auquel on demande :

- 1<sup>o</sup> de diriger la lumière vers les surfaces à éclairer ;
- 2<sup>o</sup> de masquer la lampe. C'est ce qu'on appelle d'un terme emprunté à l'art militaire, le « défilément ».

Les appareils d'éclairage industriel sont tous ou presque tous des réflecteurs, diffusants ou non. Le réflecteur d'atelier le plus répandu est en tôle émaillée vitrifiée. Pour les lampes à incandescence, on distingue le réflecteur plat et le réflecteur profond. Ce dernier masque mieux la lampe mais absorbe davantage de lumière. En outre, il éclaire peu les murs (avantage ou inconvénient suivant le cas). Il y a aussi des réflecteurs clos, des réflecteurs étanches et des réflecteurs d'angle. Pour l'éclairage localisé, on utilise souvent le réflecteur « intensif », qui concentre la majeure partie du flux au voisinage de l'axe. On peut se servir d'un projecteur pour l'éclairage sur le plan vertical. Au lieu de choisir un réflecteur en tôle émaillée, on peut adopter un réflecteur non diffusant, en verre argenté ou en aluminium pur raffiné. Ce genre de réflecteur répartit le flux avec plus de précision et offre, en général, un meilleur rendement que le réflecteur en tôle émaillée. Pour établir un projet d'éclairage, il faut connaître approximativement le rendement de l'appareil choisi. Celui d'un réflecteur plat, en tôle émaillée, se tient entre 75 et 80 % ; celui d'un réflecteur profond en aluminium, entre 65 et 70 %. Les réflecteurs pour lampes fluorescentes ont un rendement supérieur à 80 %.

Il est très important que les réflecteurs soient inaltérables. Pour cela, la surface des réflecteurs en aluminium doit être traitée soit par voie chimique soit par électrolyse. Il est un point sur lequel on ne saurait trop insister : c'est l'entretien de l'appareil d'éclairage. Dans



Document Visseaux.

Fig. 9. — Atelier de peignage.

Air surpris pour éviter le voltagement de la laine. Réflecteurs émaillés à deux lampes fluorescentes encastrés dans un faux plafond en « isorel » et posés sur joints en caoutchouc mousse.

l'industrie, les appareils sont particulièrement exposés à se ternir et à s'encrasser. Il faut des nettoyages fréquents, et l'on a intérêt à choisir des appareils de forme simple dont les parties à nettoyer soient bien accessibles et ne risquent pas d'être rayées ou altérées par le nettoyage. Il faut également que l'on puisse remplacer aisément la lampe.

On est parfois obligé d'utiliser des appareils hermétiquement clos, soit pour les protéger contre la poussière ou la corrosion, soit pour éviter des incendies ou des explosions dans les locaux où ces risques existent.

#### *L'installation d'éclairage*

Nous rappellerons très succinctement comment on établit un projet d'éclairage. On choisit tout d'abord la *hauteur des lampes*. L'éclairage général est bien réparti si les lampes sont placées très haut ; les murs sont convenablement éclairés mais, en revanche, ils absorbent une fraction du flux total. Cette fraction est d'autant plus grande que le local est plus étroit et que les murs sont plus foncés.

On choisit aussi le *niveau d'éclairage*. Le *flux utile* est le produit de l'éclairage par la surface à éclairer. Pour un éclairage général, la surface est celle du local. La valeur du flux utile doit être multipliée par un facteur allant de 2 à 4 pour tenir compte de la lumière absorbée en dehors du plan utile (dans les appareils, sur le plafond et les murs) et pour tenir compte aussi de la dépréciation des appareils et des lampes à l'usage. La valeur trouvée est celle du flux que doit émettre l'ensemble des lampes.

Le *flux total* calculé doit être réparti en un certain nombre de lampes. On peut être tenté de n'utiliser qu'un petit nombre de foyers puissants ; ce serait plus économique mais l'éclairage serait inégalement réparti sur le plan utile. Il y a une valeur à ne pas dépasser dans l'*écartement des foyers*, valeur proportionnelle à la hauteur des lampes. Pour les réflecteurs plats, on conseille de limiter l'écartement à 1,5 fois la hauteur des lampes. La règle de l'écartement maximum détermine à peu près le *nombre total d'appareils*. Reste à choisir leur implantation et, si les appareils sont à lampes fluorescentes, leur orientation. On ne devrait pas le faire sans connaître l'emplacement exact des machines et des postes de travail ; suivant sa position par rapport à celle d'un ouvrier ou à celle d'une machine, une lampe produit ou non des ombres ou des reflets gênants.

Mais l'installateur n'a pas toujours le choix de l'emplacement. Celui-ci peut être imposé par l'architecture du local ou par la présence de passerelles ou de ponts roulants. Les meilleures installations d'éclairage sont celles qui ont été étudiées avant la construction du bâtiment. Ce devrait être la règle ; mais nous en sommes encore loin. L'architecte considère, trop souvent, l'éclairage comme un simple élément du prix de revient, que l'installateur électrique doit insérer dans son devis au même titre que les canalisations électriques. Le problème technique de l'éclairage serait souvent mieux et plus facilement résolu s'il était examiné plus tôt, à un moment où il serait encore possible de modifier le projet d'architecture.

## APPLICATION DU CALCUL A L'AIDE DE SUITES A L'ÉTUDE DE PHÉNOMÈNES DE PROPAGATION

par MICHEL CUÉNOD,

Dr es sc. techn.

ingénieur à la Société Générale pour l'Industrie, Genève

Nous avons vu qu'un des principaux domaines d'application du calcul à l'aide de suites (1)\* était l'étude de réglages automatiques (2). Cette méthode de calcul peut également être utilisée avec profit pour l'étude des phénomènes de propagation ; nous considérons tout d'abord le cas des propagations sans pertes. Il est connu qu'elles obéissent au système d'équations différentielles suivant :

$$\begin{cases} -\frac{\partial H}{\partial x} = m \frac{\partial V}{\partial t} \\ -\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{1}{mw^2} \frac{\partial H}{\partial t}. \end{cases}$$

La signification des symboles de ce système d'équations est donnée par le tableau I (3).

\* Les chiffres entre parenthèses se réfèrent à la bibliographie donnée en fin d'article.

Nous admettons de faibles variations par rapport à un état initial et posons :

$$\begin{cases} H = H_0 + \Delta H \\ V = V_0 + \Delta V. \end{cases}$$

Nous introduisons les grandeurs de référence  $H_r$  et  $V_r$  et définissons les variations relatives suivantes :

$$h = \frac{\Delta H}{H_r} \quad \text{et} \quad \varphi = \frac{\Delta V}{V_r}.$$

Notre système d'équations prend la forme suivante :

$$\begin{aligned} -\frac{\partial h}{\partial x} &= \frac{w}{z} \frac{\partial \varphi}{\partial t} \\ -\frac{\partial \varphi}{\partial x} &= \frac{1}{wz} \frac{\partial h}{\partial t} \end{aligned}$$