

Faisons le point

Les perfectionnements apportés aux lampes modernes*

par M. A. Cayless
(Thorn Lighting, Londres)

Le but essentiel de la recherche sur les lampes a toujours été d'en améliorer le rendement. Quoique de grands progrès aient été réalisés au cours des dernières années on ne cesse d'étudier les procédés physiques et chimiques pour produire de la lumière et on cherche à découvrir de nouveaux matériaux pour fabriquer des lampes.

L'unité de lumière visible est le lumen (lm), mesure de la quantité de lumière émise par une source sous forme de sensation visuelle. Cette mesure, qui était à l'origine dérivée de la bougie ordinaire, est aujourd'hui mesurable avec précision. L'efficacité d'une lampe est le nombre de lumens qu'elle produit à partir d'un watt de courant électrique ($\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$). L'ampoule moderne à incandescence, de 100 W, illustre bien les progrès réalisés afin d'améliorer l'efficacité. Cette lampe remplie de gaz et à filament enroulé, produit $13,3 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ alors que les anciennes lampes à filament de carbone ne produisaient que $2 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. En 1950, la lampe à décharge la plus efficace que l'on utilisait pour l'éclairage des rues, et qui était à vapeur de sodium à faible pression, produisait $80 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$. La lampe équivalente utilisée aujourd'hui, produit $200 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$.

La figure 1 montre comment les découvertes de diverses nouvelles sources de lumière ont permis de réaliser des progrès considérables. Les lampes à incandescence qui émettent la lumière par l'intermédiaire d'un filament de tungstène porté à environ $2\,500^\circ\text{C}$, sont beaucoup moins efficaces que les lampes à décharge mais elles présentent l'avantage d'être simples, bon marché, de faible encombrement et d'émettre une lumière d'une couleur acceptable. Les lampes à décharge sont plus efficaces et

durent plus longtemps mais elles sont plus chères. Elles sont souvent encombrantes et exigent, pour leur fonctionnement, un mécanisme de commande électrique. Certaines, comme la lampe à fluorescence et la lampe à décharge à vapeur de mercure dont la lumière jaune verdâtre est corrigée par le revêtement fluorescent de l'ampoule, ont d'excellentes propriétés chromatiques tandis que d'autres, bien que d'une efficacité supérieure, laissent à désirer du point de vue de la couleur. C'est le cas de la lampe au sodium à faible pression, dont la lumière jaune-orange éclaire les rues et les autoroutes; elle atteint son efficacité imbattable au détriment d'un manque total de discrimination chromatique. Sa lumière est d'un jaune monochromatique, sur une seule longueur d'ondes, de sorte que la couleur des objets qu'elle éclaire ne ressort pas.

Une grande partie des recherches a pour objet de produire de nouveaux types de lampe à décharge d'une efficacité élevée et d'une couleur acceptable. Ces lampes contribueront largement à économiser l'énergie car elles pourront être utilisées dans des domaines où la couleur de leur lumière, leur encombrement, leur complexité et leur coût les ont jusqu'ici exclues. Comme exemples de leur utilisation, citons l'éclairage intérieur commercial et industriel et, un jour peut-être, l'éclairage des maisons. La plage de leurs utilisations pourrait être largement étendue si l'on simplifiait ou même éliminait le mécanisme de commande dont elles ont besoin.

On est arrivé au cours de ces dernières années à faire de grands progrès dans ce domaine et on commence à en voir quelques exemples autour de nous: des lampes au sodium à haute pression, émettant une lumière d'une couleur blanc doré et ayant une efficacité de l'ordre de $130 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ sont maintenant utilisées pour éclairer les centres de nombreuses villes; des lampes à décharge aux halogénures, ayant d'excellentes propriétés pour rendre les couleurs et une bonne couleur et dont l'efficacité, modeste mais encore relativement élevée, d'environ $80 \text{ lm}\cdot\text{W}^{-1}$ sont utilisées de plus en plus pour éclairer les magasins, les hôtels, les bureaux, les places publiques, les stades, etc... Les équipes de télévision

* De *Spectrum* 134.

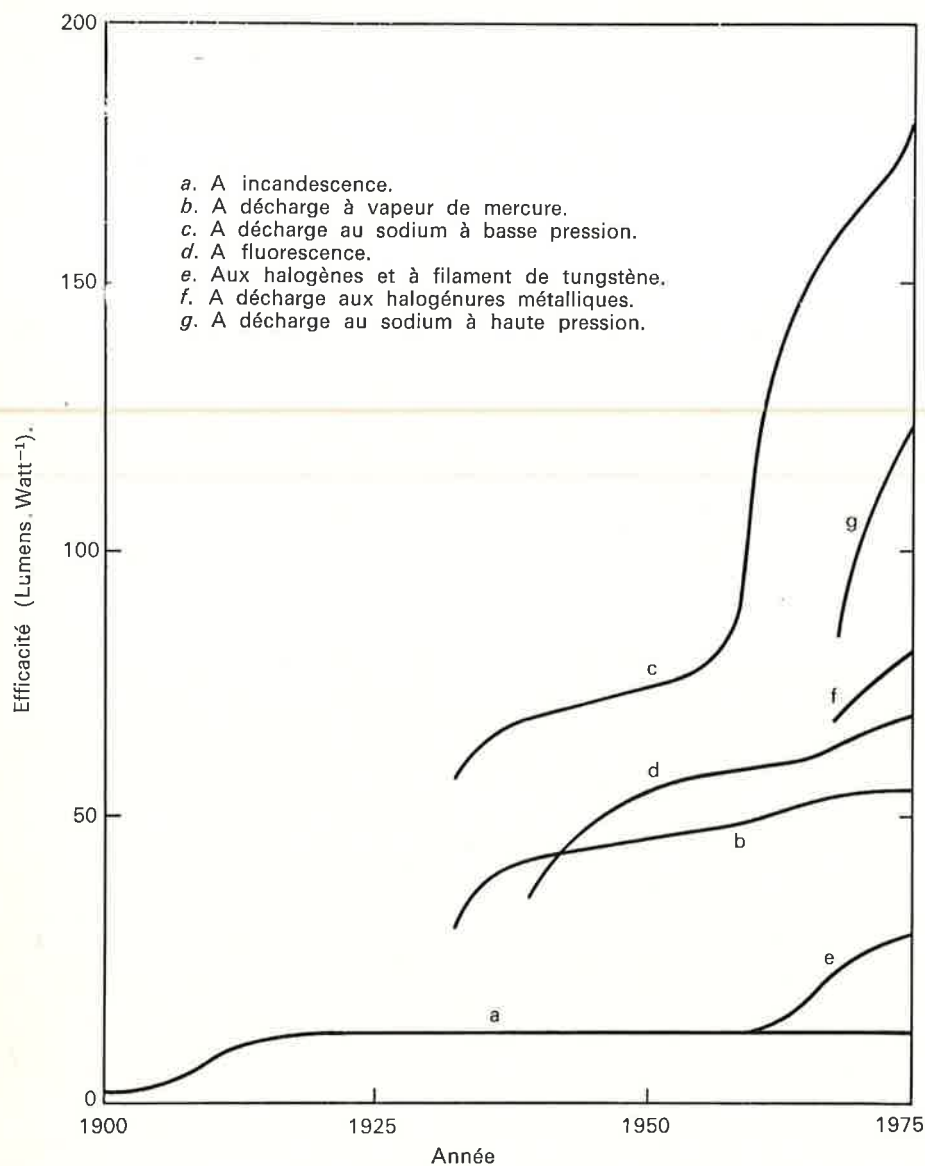


Figure 1. Amélioration de l'efficacité maximale des lampes utilisées actuellement.

Tableau 1.

Rendement des lampes aux halogènes à filament de tungstène comparé à celui de l'ampoule ordinaire de 100 W, sans halogènes.

Type	Puissance (W)	Efficacité (lm.W ⁻¹)	Température du filament (°C)	Durée (h)
Lampe sans halogènes	100	13,3	2 500	1 000
Projecteur linéaire	1 000	20	2 700	2 000
Phare d'automobile	55	25	2 900	270
Projecteur	150	33	3 100	50

Lampes à décharge à vapeur de mercure

Dans une lampe à décharge, le courant passe de la cathode à l'anode à travers un mélange de gaz ou de vapeurs se trouvant dans un tube transparent. Au cours de leur passage dans la vapeur, les électrons entrent en collision avec les atomes de la vapeur et « excitent » certains d'entre eux de sorte qu'ils émettent de la lumière. Si la vapeur est à une faible pression (en dessous environ 1/100 d'atmosphère), la radiation produite est sous forme de raies spectrales nettes ayant les mêmes lon-

gueurs d'ondes caractéristiques des atomes en question. La vapeur de mercure émet de la lumière à partir de raies individuelles dans le jaune, le vert, le bleu et l'ultraviolet; la vapeur de sodium émet une lumière visible à partir de deux raies très rapprochées dans le jaune, que l'on appelle les raies « D », et également dans le domaine infrarouge du spectre.

Jusqu'aux années 1960, les lampes à décharge contenaient presque toutes soit

mobiles s'en servent également pour l'extérieur.

L'industrie britannique a joué un rôle important dans la recherche. Au laboratoire de Thorn Lighting, qui s'est ouvert récemment à Enfield, près de Londres, les programmes de recherches portent sur l'exploitation de ces lampes d'un type plus récent; on y étudie également des lampes de grande efficacité de types très nouveaux. La durée et l'efficacité de la lampe à incandescence ordinaire à filament, dépendent surtout de l'évaporation du fil de tungstène chaud, qui noircit l'intérieur du verre de l'ampoule et qui finit par brûler. On peut y remédier en partie en introduisant un gaz inerte tel que l'argon ou l'azote entre le filament et le verre de l'ampoule, mais la pression est limitée par la robustesse de l'ampoule.

On sait depuis longtemps que l'on peut éviter un dépôt de vapeur de tungstène en introduisant dans l'ampoule un gaz chimiquement actif qui se combine au tungstène, tel que l'iode ou le brome. Le problème consiste à le faire d'une manière efficace et réglée. Un cycle complexe de processus chimiques et physiques entre en jeu, aussi la réalisation de la lampe moderne aux halogènes et à filament de tungstène, qui a la simplicité de la lampe à incandescence classique mais avec une efficacité allant de 20 à 30 lm.W⁻¹, a-t-elle dépendu de notre compréhension, de ces processus subtils et de leur application.

Les premières lampes aux halogènes à filament de tungstène ne contenaient que des cristaux d'iode placés dans un tube de quartz, mais cette technique simple ne peut être utilisée que pour une petite gamme de lampes. Les lampes modernes aux halogènes contiennent une variété de composés d'iode et de brome à formules telles que CH₂Br₂, CHI₃ et (PNBe₂)₃, choisis avec soin de manière à obtenir les performances les meilleures pour un type donné de lampe (tableau 1).

Une grande partie des recherches a pour but d'utiliser un autre élément, le fluor, qui promet d'atteindre des performances encore meilleures, mais il est hautement réactif et plus difficile à contrôler. On ne pourra probablement pas progresser davantage avec les lampes à incandescence. Même lorsque le filament de tungstène atteint le point de fusion, à savoir 3 410 °C, nous ne pouvons pas nous attendre à en obtenir plus de 50 lm.W⁻¹. On étudie actuellement la possibilité d'utiliser d'autres matières mais on ne pense pas que celles-ci améliorent l'efficacité des lampes. Nous nous tournons donc vers les lampes à décharge que nous espérons pouvoir améliorer.

de la vapeur de mercure soit de la vapeur de sodium à très basse pression, à laquelle était ajouté un gaz inerte ne produisant pas de lumière. Du fait que les raies jaunes du sodium sont très rapprochées de la fréquence provoquant le maximum de sensibilité de l'œil, les lampes à vapeur de sodium à faible pression sont très efficaces à condition que l'on élimine les raies infrarouges. Cela se fait maintenant à l'aide d'un filtre qui renvoie les radiations infrarouges dans la décharge, technique

qui a largement contribué à améliorer l'efficacité des lampes à vapeur de sodium à faible pression.

Lorsqu'on utilise de la vapeur de mercure à une faible pression, la raie la plus efficace est située dans le domaine de l'ultraviolet. C'est le cas de la lampe à fluorescence dont le tube intérieur comporte un revêtement fluorescent qui convertit la radiation ultraviolette en lumière visible. Le choix de la poudre fluorescente permet d'obtenir un très bon rendu des couleurs.

On peut également faire appel à une pression beaucoup plus élevée du mercure,

pression qui se rapproche de la pression atmosphérique. On utilise pour cela un tube à décharge beaucoup plus petit. Il chauffe davantage et il est généralement en quartz résistant à la chaleur. A l'intérieur de ce tube la décharge est soumise à une contrainte et forme un noyau chaud entouré d'un gaz moins chaud. Les raies ultraviolettes sont éliminées tandis que les raies de lumière visible sont accentuées et elles s'élargissent en zones spectrales, la décharge émet donc directement de la lumière visible du type verdâtre que l'on associe aux premières lampes à vapeur de mercure.

Les performances sont considérablement

améliorées en appliquant une substance luminescente sur la paroi du verre extérieur, cette substance émet à partir de la radiation ultraviolette résiduelle, une lumière dans la zone rouge du spectre visible, ce qui complète et équilibre le vert. Une lampe de ce genre est plus compacte et plus lumineuse que les lampes à fluorescence, mais du point de vue couleur, ses propriétés ne sont pas aussi bonnes. L'efficacité des lampes à fluorescence est typiquement de 50 à 70 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$, selon la couleur, tandis que celle des lampes à décharge dont la couleur du mercure est corrigée, est d'environ 55 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$.

Décharge au sodium à haute pression

On a, bien entendu, eu l'idée d'utiliser de la vapeur de sodium à haute pression. En théorie il semblait que l'on arriverait à exciter des raies autres que les raies jaunes D, de manière à obtenir une meilleure couleur. Toutefois, la vapeur de sodium à une température élevée est hautement corrosive et elle détruit rapidement les matériaux vitreux. Après de nombreuses années de recherches, faites tant au Royaume-Uni qu'à l'étranger, on a pu mettre au point des tubes à décharge fabriqués avec de la céramique translucide faite de saphir ou d'alumine pure (Photo 1). Sous sa forme la plus commune, la céramique est polycristalline et elle diffuse la lumière sans l'absorber. On a récemment fabriqué des tubes à partir de cristaux simples de saphir, incolores, lesquels sont transparents. Les deux types de tubes sont considérés comme étant un important avancement technologique; il a fallu non seulement fabriquer des tubes hautement réfractaires, mais aussi trouver des moyens de sceller les électrodes dans les extrémités du tube pour qu'il résiste à la vapeur de sodium des températures de 700 à 800 °C. Il a ensuite fallu mettre au point des méthodes de fabrication de lampes comportant de tels tubes. Au total tout cela représente

plus de 10 ans de recherches et de développement poussés pour réaliser des lampes satisfaisantes d'un usage général.

Les résultats sont étonnants. On a constaté que si la pression de la vapeur de sodium augmente jusqu'à environ 1/4 d'atmosphère, les raies jaunes D s'élargissent d'une manière tout à fait inattendue, de sorte qu'elles s'étendent sur une grande partie du spectre visible et qu'elles émettent une lumière d'un blanc doré d'une efficacité assez grande. Les premières lampes émettaient environ 90 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$ mais les recherches ont permis de porter ce chiffre à 130. Ces lampes présentent un intérêt pour remplacer les lampes à faible pression lorsqu'une efficacité plus grande n'est pas essentielle et qu'il faut un certain rendu des couleurs. On les utilise de plus en plus pour éclairer les centres des villes, tandis que les lampes à faible pression sont utilisées pour éclairer des routes et des autoroutes plus éloignées des villes. Un type de lampe à vapeur de sodium à haute pression peut être utilisé à la place des lampes aux halogènes à filament de tungstène pour l'éclairage au projecteur lorsque le rendu des couleurs n'est pas essentiel.

Décharge aux halogénures métalliques

Pendant que s'effectuaient des recherches sur les lampes à vapeur de sodium, on a également étudié la possibilité d'introduire le métal sous forme de composé volatil (en général un iodure) au lieu d'utiliser de la vapeur d'un métal à l'état de fusion hautement réactive. Au début des recherches la réussite paraissait difficile : lorsque la décharge a lieu, le composé se dissocie dans le noyau chaud de la décharge pour former ses éléments individuels et la caractéristique luminescente du métal est produite. Dans la partie extérieure, moins chaude, de la décharge, les éléments se combinent afin de reconstituer le composé qui ne réagit pas avec le tube en quartz ordinaire. Cela permet d'utiliser les techniques conventionnelles de fabrication des lampes pour obtenir des sources de lumière d'excellente qualité ayant une efficacité maximale de 80 $\text{lm}\cdot\text{W}^{-1}$.

Ce type de lampe à décharge présente un gros avantage : on peut introduire un grand nombre de métaux différents sous forme composée, et plusieurs peuvent être utilisés dans une même lampe de manière à obtenir une lumière blanche ayant d'excellentes propriétés de rendu des couleurs. Par exemple, le type représenté sur la photographie 2 contient des iodures de scan-

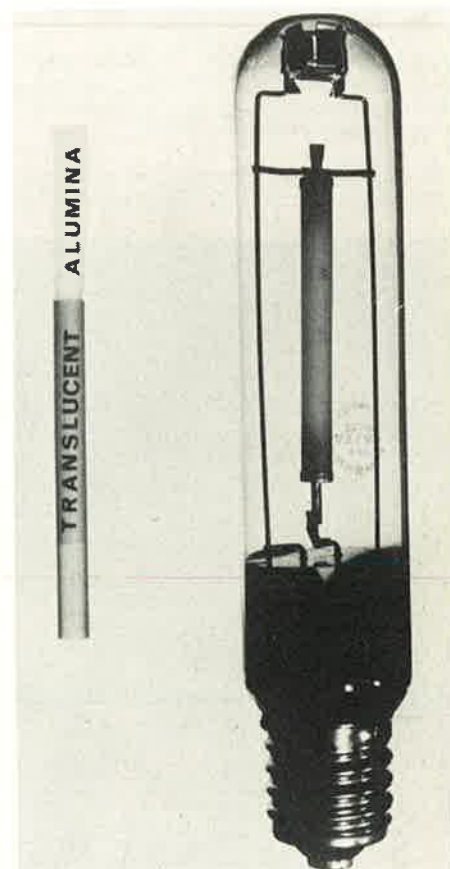
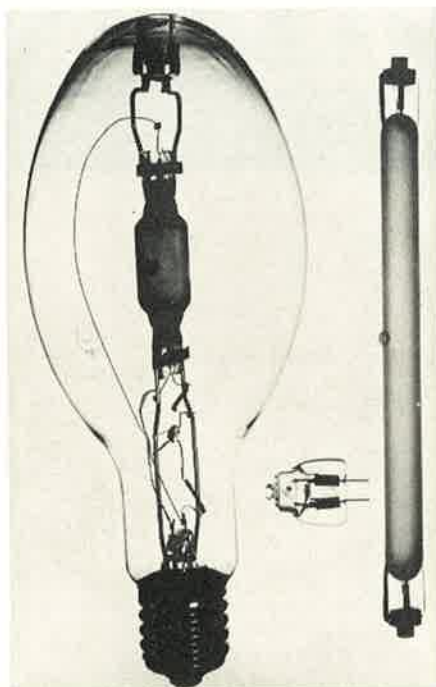


Photo 1.

Cette lampe à vapeur de sodium à haute pression (400 W) (à droite) comporte un tube à décharge en céramique d'alumine translucide (à gauche).

Photo 2.

Lampes à décharge aux halogénures métalliques. De gauche à droite : 400 W dans l'ampoule extérieure sans substance luminescente; source compacte de 400 W; tube linéaire de 1 600 W pour les projecteurs.

dium, sodium, thorium et mercure ainsi que le gaz rare argon; elle émet une lumière blanche convenant à un éclairage intérieur d'excellente qualité, pour les magasins, les hôtels, etc... On peut améliorer la lumière en appliquant une couche fluorescente appropriée au verre extérieur, comme on le fait pour la lampe

Buts

La limite théorique de l'efficacité avec laquelle on peut convertir l'énergie électrique en lumière blanche tout en ayant de bonnes caractéristiques de rendu des couleurs, se situe aux environs de $200 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$. La lampe à vapeur de sodium à faible pression peut atteindre ce chiffre mais uniquement pour la lumière monochromatique. L'efficacité de la lampe au sodium à haute pression augmente et on s'attend à l'améliorer encore davantage au cours des prochaines années. D'autres lampes qui émettent une lumière blanche de bonne qualité n'atteignent pas encore $100 \text{ lm} \cdot \text{W}^{-1}$, il reste donc des progrès à faire.

Les recherches sont concentrées surtout sur l'aspect physique et chimique des processus

à vapeur de mercure. La source de lumière compacte que l'on voit sur la photo 2 (au centre) contient les iodures de thallium, de gallium, de sodium et de mercure, et elle émet une lumière convenant à la projection de films et pour la télévision en couleur. On utilise d'autres mélanges pour obtenir des répartitions spectrales spéciales,

d'émission de lumière ainsi que sur les matériaux servant à fabriquer les lampes. Les tubes à arc en céramique de saphir qui sont utilisés dans les lampes au sodium à haute pression, montrent bien à quel point le progrès dépend du développement de la technologie des matériaux.

Un nouveau type de composé volatil qui fait actuellement l'objet de recherches dans le but de l'utiliser pour les tubes à décharge, forme des complexes chimiques au cours de sa phase vapeur; il promet d'émettre une lumière de haute qualité avec une efficacité encore plus élevée. De nouveaux matériaux qui pourront servir à la fabrication des tubes à décharge et qui sont basés sur d'autres composés

entre autres des bandes de diverses ondes ultraviolettes et infrarouges, pour des usages spéciaux comme l'impression en couleur, les applications photochimiques et les procédés catalytiques. Ces lampes ont souvent une forme linéaire, comme on peut le voir à droite sur la photo 2, sans qu'elles aient une enveloppe extérieure en verre.

réfractaires transparents (dont certains, comme le saphir, sont aussi associés à des pierres précieuses), permettront probablement d'étendre les possibilités de certaines vapeurs qui sont connues pour leur qualité d'émission lumineuse. On ne dispose pas encore d'une technologie de la fabrication qui permette de faire des lampes utilisant ces vapeurs.

Si l'on regarde plus loin dans l'avenir, les recherches à long terme tentent de trouver des moyens de produire de la lumière à l'aide de procédés tout à fait nouveaux ou encore peu efficaces à moins que ce ne soit dans les laboratoires.



Des lampes discrètes, à vapeur de sodium à haute pression, permettent de garder le caractère particulier de cette rue et font ressortir la pierre de construction.