

Données sur l'émission de la lumière et les lampes

NOTION D'ECLAIRAGE

(Document réalisé à partir d'un article paru dans le B.U.P; N°756 de septembre 1993)

1. L'EMISSION LUMINEUSE

Une émission de lumière peut être produite par incandescence ou par luminescence.

Incandescence : l'énergie nécessaire à la production de lumière est apportée par agitation thermique. Par exemple, le soleil est une source naturelle de lumière par incandescence : la température de sa surface est entretenue par les réactions nucléaires internes.

Luminescence : correspond à tous les processus d'émission de lumière autres que l'incandescence. La luminescence se produit toujours en deux phases. Dans un premier temps, le cortège électronique des atomes du corps qui émettra la lumière *est excité*, dans un deuxième temps, sa désexcitation produit l'émission lumineuse. Selon la durée de persistance de la lumière on distingue :

La fluorescence :

de brève durée, de l'ordre de 10^{-8} secondes. Elle s'observe dans tous les états physiques et elle dépend peu de la température.

La phosphorescence :

de durée plus longue, de quelques fractions de seconde à plusieurs jours. Elle s'observe surtout dans les solides où elle est généralement due à la présence de défauts, à l'échelle atomique.

En fonction du type d'excitation on a :

- *La photoluminescence* : par absorption de photons
- *L'électroluminescence* : par l'effet d'un champ électrique. Les éclairs présents dans un ciel orageux en sont une manifestation naturelle.
- *La catholuminescence* par l'effet des rayons cathodiques qui sont formés d'électrons, de quelques keV d'énergie, accélérés dans le vide. Ces électrons excitent les atomes des particules luminogènes déposées sur la paroi intérieure d'un tube qui constitue l'écran d'un téléviseur; d'un oscilloscope...
- *La triboluminescence* : par l'effet d'un frottement, d'une déformation mécanique ou de la rupture de matériaux solides
- *La chimiluminescence* : par réaction chimique in vitro, en général d'oxydo-réduction.

- *La bioluminescence* par réaction biochimique in vivo. Les lucioles et les vers luisants en sont des exemples.

Dans le cas des lampes utilisées pour l'éclairage, seuls les processus suivants sont, actuellement, mis en jeu :

- l'incandescence pour les lampes à incandescence,
- l'électroluminescence pour les lampes à décharge,
- la photoluminescence pour les lampes fluorescentes.

2. QUELQUES PROPRIETES

L'efficacité lumineuse c'est le rapport entre le flux lumineux émis (sur tout le spectre, visible, ultraviolet et infrarouge) et la puissance électrique fournie. Elle s'exprime en lumen par watt (lm.W^{-1}).

Le corps noir : c'est un corps idéal dont le facteur d'absorption est égal à 1 pour toutes les radiations qu'il reçoit. L'intensité de son émission lumineuse, par incandescence, est fonction, d'après la loi de Planck, de la longueur d'onde et de sa température T, en Kelvin.

L'intensité de l'émission augmente avec la température : elle devient visible (dans le rouge) vers 700 K et il faut atteindre 5 200 K pour que le maximum d'émission se produise à 555 nm.

Un métal chauffé, par exemple le tungstène utilisé dans les lampes à incandescence, a un comportement proche de celui du corps noir.

Composition spectrale : chaque source lumineuse a un spectre spécifique ce qui lui confère, en particulier, sa couleur.

Les lampes à incandescence ont un spectre continu .

Les lampes à décharge ont un spectre discontinu de raies.

La température de couleur : elle est définie par comparaison à celle du corps noir. La température de couleur définit la composition spectrale d'une source. On attribue à une source la température de couleur T_c , T_c étant la température du corps noir qui donnerait la même composition chromatique que la source.

Les fabricants de lampes destinées à l'éclairage domestique cherchent à obtenir une couleur aussi voisine que possible de la lumière blanche naturelle.

3. LAMPES À INCANDESCENCE

3.1. À vide :

Les premières lampes à incandescence ont été mises au point simultanément, en 1879, par Th. Edison aux États-Unis et par J. Swan en Angleterre. Elles étaient constituées d'un filament de carbone chauffé par effet Joule, dans le vide afin d'éviter

l'oxydation du carbone.

Le carbone a été remplacé par le tungstène dont le point de fusion est plus élevé, ce qui permet d'obtenir une plus haute température et donc une couleur plus blanche. Pour augmenter la durée de vie du filament, dès 1900, il a été spiralé.

Les lampes à vide ne sont plus guère utilisées actuellement, excepté pour les lampes de 25 W, utilisées en extérieur dans des guirlandes pour la décoration des rues et des arbres, par exemple lors des fêtes de Noël, et qui doivent supporter la pluie. L'absence relative de gaz limite la transmission de la chaleur du filament à l'ampoule et donc les chocs thermiques en présence de pluie.

3.2. À atmosphère inerte

La présence de gaz rare permet, par rapport au vide, de réduire la sublimation du tungstène. La pression gazeuse à l'intérieur de la lampe, 80 kPa à 20°C, est telle qu'en fonctionnement elle équilibre la pression atmosphérique.

L'argon, en présence d'environ 10 % d'azote qui permet d'éviter les arcs électriques, est généralement employé. Le krypton, plus cher, qui a une conductibilité thermique inférieure à celle de l'argon permet d'élever la température du filament et ainsi d'augmenter l'efficacité lumineuse de plus de 10 % tout en évitant un trop fort échauffement de l'ampoule en verre.

Les lampes à incandescence actuelles sont constituées par un filament de tungstène spiralé ou doublement spiralé chauffé par effet Joule jusqu'à 2400°C à 2800°C. Il faut 1 m de fil de tungstène (2 fois plus fin qu'un cheveu) pour réaliser le filament de 3 cm d'une lampe de 60 W pour 220 V. La durée de vie d'une lampe (1000 h) est limitée par la sublimation du tungstène. Lorsque celle-ci atteint 2 à 3 % (poids mortel), le filament se brise. Le tungstène qui quitte le filament noircit le verre de la lampe et diminue au cours du temps son efficacité lumineuse.

Les lampes opalisées sont obtenues par dépôt de dioxyde de titane, à l'intérieur de l'ampoule.

L'efficacité lumineuse d'une lampe à incandescence classique est de 10 à 15 lm.W⁻¹ et sa durée de vie de l'ordre de 1000 h .

Le bilan énergétique d'une lampe de 100 W est le suivant :

pertes de 34 W par convection dans le gaz et conduction par le culot, le verre...

65 W sont rayonnés dont seulement 5 W dans le spectre visible, le reste dans l'infrarouge.

3.3. À atmosphère active : aux halogènes (également appelées : tungstène halogène).

L'atmosphère est active dans le sens où elle permet la régénération du filament de tungstène. Ces lampes ont été développées vers 1960.

La *présence d'iode ou surtout de brome* (sous forme de bromure de méthyle ou de méthylène), introduit en faible quantité avec le gaz rare *permet*, dans les lampes aux halogènes, de former, à relativement basse température (300 à 700°C), des halogénures de tungstène gazeux (WBr₂ avec le brome) à partir du tungstène sublimé et *de*

redéposer, par décomposition de ces halogénures, à haute température (celle du filament), le tungstène sur le filament.

Le filament peut ainsi être porté à plus haute température, ce qui favorise la décomposition de l'halogénure de tungstène, tout en évitant le noircissement de l'ampoule. La pression gazeuse est, en fonctionnement, de 200 à 300 kPa (2 à 3 fois la pression atmosphérique). Celle-ci est obtenue en plongeant, lors de leur remplissage, les ampoules dans de l'azote liquide.

La réaction chimique entre les ions halogénures et la vapeur de tungstène ayant lieu à une température qui peut atteindre 650°C, il est nécessaire d'éviter des points froids inférieurs à cette température et, en particulier, il faut que l'ampoule atteigne au moins cette température. Pour cela, le verre de l'ampoule doit être proche du filament pour être chauffée par ce dernier et doit être en silice vitreuse ou en verre «dur» aluminosilicaté (température de ramollissement vers 1020°C).

La silice vitreuse présente l'inconvénient de cristalliser, puis de se briser au refroidissement, lorsqu'elle est en contact prolongé, à chaud, avec de la graisse, d'où la nécessité d'éviter le contact avec les doigts.

L'efficacité lumineuse d'une lampe aux halogènes est de 15 à 25 lm.W⁻¹ et la durée de vie atteint 2 000 h.

4. LAMPES LUMINESCENTES

4.1. Lampes à décharge

Le premier tube à décharge a été développé à la fin du XIX^{ème} siècle par G. CLAUDE : c'était un tube à décharge au néon donnant une lumière rouge.

En pratique, pour l'éclairage, bien que les gaz rares soumis à une décharge sous haute tension entre deux électrodes donnent lieu au phénomène de luminescence, on utilise la luminescence produite par la vapeur de sodium ou de mercure. Lors de la fabrication du tube, du sodium ou une goutte de mercure sont introduits dans le tube.

A la mise sous tension, la décharge s'établit dans le gaz rare, le tube s'échauffe, ce qui permet la vaporisation du métal (qui doit atteindre pour le sodium 270°C pour donner la tension de vapeur désirée : 0,4 Pa), puis la décharge passe progressivement à la vapeur métallique. En général, le tube à décharge est protégé par une enveloppe de verre. Les principaux types de lampes à décharge sont les suivants :

- Lampes à vapeur de sodium à basse pression : donnent une, lumière jaune caractéristique ($\lambda = 589$ nm). Leur durée de vie est de 10 000 h et leur efficacité lumineuse de 100 à 200 lm/W. Elles sont utilisées principalement pour l'éclairage routier
- Lampes à vapeur de sodium à haute pression : la présence de plusieurs raies d'émission dans le spectre visible (569 nm et 617 nm) donne une lumière plus naturelle et un spectre plus continu pour les lampes à très haute pression. La

température du tube atteint 1200°C, il doit être en alumine frittée transparente. Ces lampes ont des performances lumineuses supérieures de 70 % aux lampes à vapeur de mercure haute pression. La durée de vie est de 9 000 h à 12 000 h, l'efficacité lumineuse de 80 à 140 lm.W⁻¹. Elles sont utilisées pour des éclairages extérieurs, des halls d'usines...

- Lampes à vapeur de mercure à haute pression: elles émettent à 405, 436, 546 et 577 nm, mais pas dans le rouge. Un revêtement fluorescent de vanadate d'yttrium activé à l'euporium permet de pallier cet inconvénient. Le tube est en silice vitreuse. La durée de vie est de 9 000 h à 15 000 h, l'efficacité lumineuse de 35 à 60 lm.W⁻¹. Elles sont utilisées pour l'éclairage public.
- Lampes aux halogénures métalliques : ce sont des lampes à vapeur de mercure avec des ajouts de terres rares et d'halogénures métalliques. Le tube est en silice vitreuse, leur durée de vie est de plus de 6 000 h, et leur efficacité lumineuse atteint de 70 à 90 lm.W⁻¹. Elles sont utilisées, en fortes puissances, pour l'éclairage de stades et, en faibles puissances, pour celui de magasins

Ces lampes ne sont pas utilisées pour l'éclairage d'intérieur car leur couleur est trop éloignée de la lumière naturelle.

4.2. Lampes à décharge fluorescentes : improprement appelées «au néon».

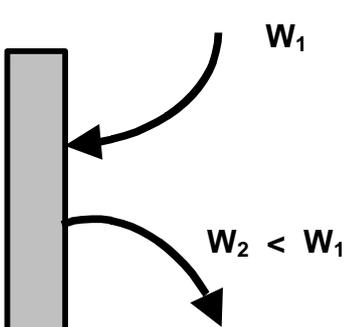
Leur développement a eu lieu vers 1930. Elles utilisent deux principes : l'*électroluminescence* qui permet d'obtenir un rayonnement ultraviolet et la *photoluminescence*, le rayonnement ultraviolet excitant des poudres **fluorescentes** déposées à l'intérieur du tube.

La fluorescence

Quand on éclaire un objet de couleur avec de la lumière blanche, il absorbe toutes les couleurs sauf quelques unes, qu'il renvoie. Si les feuilles des arbres nous paraissent vertes, c'est qu'elles absorbent toutes les couleurs sauf le vert.

Un matériau *fluorescent*, c'est à peu près pareil.

Sauf qu'*il renvoie une couleur très précise*, et que mieux : il absorbe toutes les autres couleurs, en utilisant leur énergie pour émettre sa couleur propre.



$$W_1 = \frac{h \cdot c}{\lambda_1}$$

$$\frac{h \cdot c}{\lambda_2} < \frac{h \cdot c}{\lambda_1} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{\lambda_2} < \frac{1}{\lambda_1} \quad \Rightarrow \quad \lambda_2 > \lambda_1$$

Conclusion : la lumière restituée possède une longueur d'onde plus grande que la lumière incidente.

Pour illustrer ce phénomène on peut donner les exemples suivants :

- Si vous éclairez un matériau orange fluo avec de la lumière verte, du coup, le matériau fluorescent vous paraîtra toujours orange !
- par contre, si vous éclairez du vert fluo avec du rouge, ça ne donnera rien. C'est parce que le rouge a moins d'énergie que le vert, alors que le violet a plus d'énergie que le orange, et que les *matériaux fluorescents ne peuvent utiliser pour émettre leur fréquence (ou couleur) que les fréquences supérieures, donc d'énergie supérieure.*
- en boîte de nuit, on vous éclaire avec de la lumière noire, qui n'est rien d'autre que des ultra-violets. Comme ils sont plus énergétiques que toute couleur visible, les matériaux fluorescents apparaissent particulièrement brillant en ces occasions !

Le fluo, pour finir, ça n'est donc pas simplement une couleur particulière, c'est un matériau particulier. Impossible à reproduire sur un écran d'ordinateur par exemple.

*==*_*==*_*==*_*==*_*==*_*==*_*==*_*==*_*==*_*==*_*==*_*==*_*==*_*==*_*==*_*==*_*==*

Dans les lampes à décharge fluorescentes, le tube contient de l'argon sous quelques centaines de Pa, en présence d'une goutte de mercure. Sous basse pression, la vapeur de mercure qui atteint à 45°C la tension de vapeur de 0,4 Pa émet, principalement, un rayonnement UV ($\lambda = 254$ nm) qui ne traverse pas le tube de verre et qui excite la fluorescence d'un mélange de poudres recouvrant intérieurement le tube.

La lumière donnée par les tubes fluorescents dépend donc de la nature du mélange de poudres utilisé.

Les tubes dits «blanc industrie» utilisent un phosphate de calcium activé par des ions antimoine et manganèse.

Les tubes utilisés par les particuliers utilisent un mélange de poudre à trois bandes dans le spectre visible :

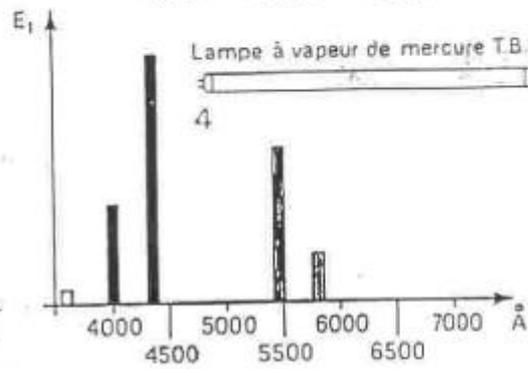
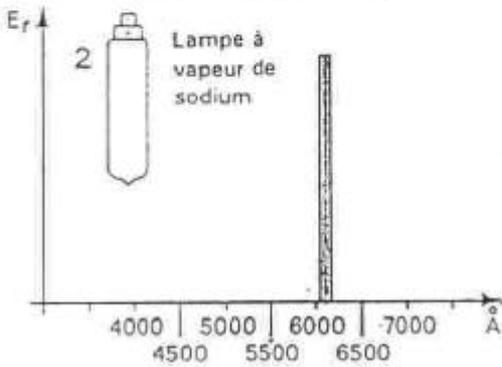
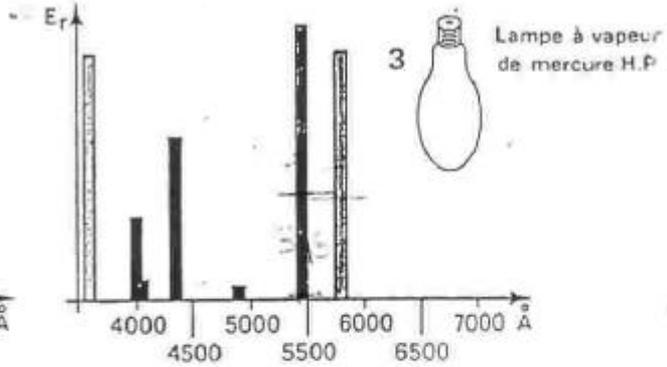
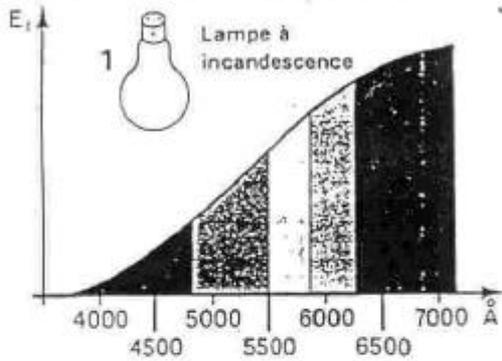
- bleu : 450 nm à l'aide de Terbium³⁺ ou d'ions baryum et europium sur aluminat de magnésium
- verte : 540 nm à l'aide d'Europium²⁺ ou d'ions cérium et terbium sur aluminat de magnésium
- rouge : 610 nm à l'aide d'Europium³⁺ sur vanadate d'yttrium).

L'efficacité lumineuse des tubes fluorescents est de 50 à 80 lm.W⁻¹ et leur durée de vie de 10000 h. Ils sont utilisés pour l'éclairage intérieur (bureaux, magasins, ateliers...), mais pas, pour les tubes classiques, en extérieur, des températures de 10°C diminuant de moitié leur flux lumineux.

5. SPECTRES D'EMISSION

COURBES SPECTRALES

Comparaison entre les principales sources



Améliorations de la répartition spectrale

