










Notion d'ECLAIRAGE

1. Exemples de lampes

| Lampe | Principales utilisations | Efficacité lumineuse classique | Couleur | Durée de vie | Photographie |
|--|---|--------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|---|
| Notre Soleil | Très diverses ! | 250 lm.W ⁻¹ | Dépend de l'heure de la journée ! | Environ 5 milliards d'années |  |
| Incandescence classique | Usages domestiques | 8 à 13 lm.W ⁻¹ | Blanc-jaune | 1000 heures |  |
| Incandescence type halogène | Usages domestiques | 15 lm.W ⁻¹ | Blanc | 2000 à 6000 heures |  |
| Tube fluorescent (à vapeur de mercure) | Usages domestiques et locaux industriels | 40 à 100 lm.W ⁻¹ | Blanche | 12 000 heures |  |
| Lampe à vapeur de sodium basse pression | Autoroutes, tunnels | 190 lm.W ⁻¹ | Jaune | 8000 heures |  |
| Lampe à vapeur de sodium haute pression | Éclairage urbain | 120 lm.W ⁻¹ | Jaune | 10 000 à 12 000 heures |  |
| Lampe à vapeur de mercure | Terrain de sport | 40 à 100 lm.W ⁻¹ | Blanc-bleu | 4 000 à 12 000 heures |  |
| Lampes fluorescentes (à vapeur de mercure) | Usages domestiques | 60 lm.W ⁻¹ | Blanc | 12 000 à 18 000 heures |  |
| Lampe à induction | Usages domestiques | 80 lm.W ⁻¹ | Blanc | 60 000 heures |  |
| Lampe xénon | Automobile, projecteurs de films | 15 à 30 lm.W ⁻¹ | Blanc | 1000 heures |  |
| Diodes électroluminescentes | Feux rouges, nombreuses applications à venir... | 45 lm.W ⁻¹ | Rouge, vert, jaune et blanc | 100 000 heures |  |

2. Caractéristiques d'une lampe

2A. Grandeurs caractéristiques

1) Durée de vie nominale : D

Temps au bout duquel la lampe est mise hors d'usage.

2) Flux lumineux nominal : Φ_l (lm)

Il correspond à un vieillissement d'une heure.

3) Efficacité lumineuse : e (lm.W⁻¹) ; $e = \frac{\Phi_l}{P_{\text{électrique}}}$

4) Rendement lumineux : $\eta = \frac{\Phi_e}{P_{\text{électrique}}}$; Φ_e et $P_{\text{électrique}}$ en W

5) Température de couleur d'un illuminant : T_c (K)

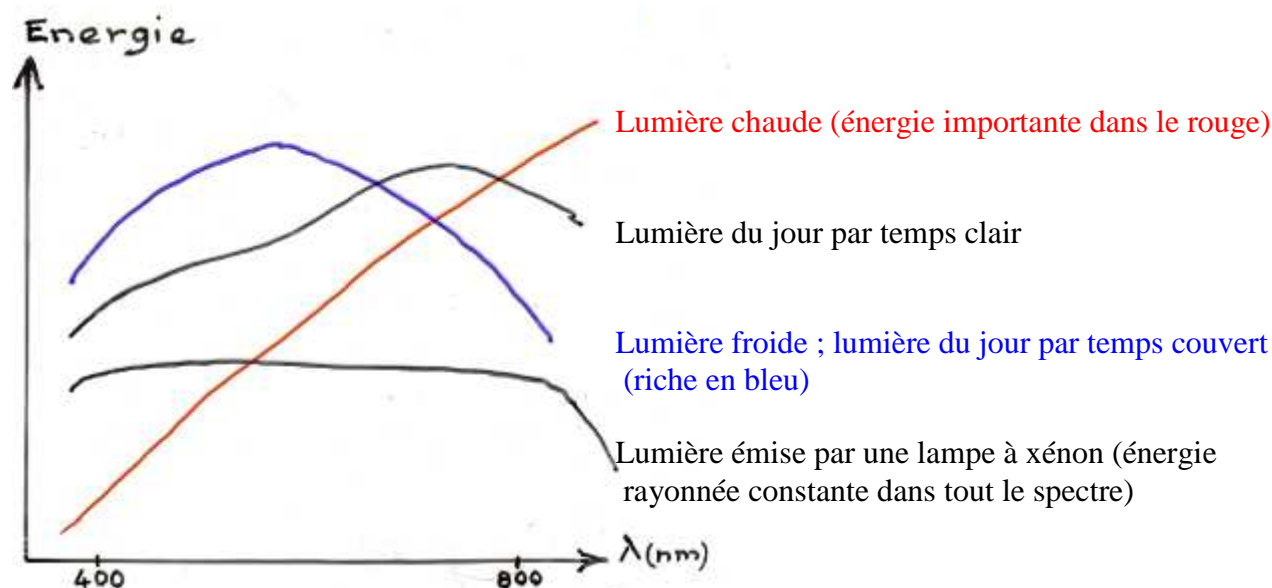
Température d'un corps noir, *théoriquement chauffé* entre 2000 et 10000 K, qui produirait le même rendu de couleur que cet illuminant.

6) Indice de rendu des couleurs : I.R.C (entre 50 et 100)

Capacité d'une source de restituer les différentes couleurs du spectre visible sans en modifier les teintes. Elle donne l'aptitude à créer une ambiance agréable par les couleurs qu'elle donne aux objets.

2B. Lumière blanche

Les sources de lumière blanche produisent une qualité de lumière différente selon la façon dont se répartit l'énergie dans le spectre visible. Elle possède un spectre dans le domaine visible.



2C. Température de couleur

Les lumières blanches se différencient selon leur composition spectrale, elles ont donc une couleur « chaude » ou « froide » selon la proportion respective de rouge ou de bleu qu'elles contiennent.

| | | |
|--|---------------------------------|-----------------------------------|
| Lampe à incandescence Coucher de soleil Lumière chaude | Lumière du jour par temps clair | Lumière du jour par temps couvert |
| 2500 à 3000 K | 4500 à 5500 K | 6000 à 8000 K |

Les tests physiologiques montrent que les sources de basse température de couleur conviennent mieux aux faibles niveaux d'éclairage, ... tandis que les hauts niveaux d'éclairage nécessitent des sources « froides » de température de couleur.

2D. Indice de rendu des couleurs

Valeur maximale : 100. Elle correspond à la lumière ayant le même spectre lumineux que celui de la lumière solaire.

Il faut choisir des illuminants de référence :

- corps noir à une certaine température
- lumière solaire

Il varie entre 50 et 100, la température de l'illuminant de référence doit être précisée.

Un même objet éclairé par différents illuminants apparaîtra de façon plus ou moins coloré.

Exemples :

a- une toile de Manet apparaît différente avec l'éclairage solaire, selon que le temps est clair ou couvert, à une heure matinale ou tardive, mais dans chaque cas les couleurs sont rendues de manière optimale, sans distorsion colorimétrique.

b- éclairage domestique, I.R.C > 80, plus faible cela entraînerait un sentiment de malaise qui peut conduire à des troubles psychiques.

3. Lampes à incandescence

Filament conducteur chauffé par *effet joule*.

Emission d'un rayonnement à spectre continu dont la partie visible dépend de la température

3A. Historique

Inventée en 1878 par Joseph Swan avec un filament de carbone.

Le carbone se sublimant, puis se condensant sur le verre on obtient une opacification rapide.

Thomas Edison en 1879 imagine le « vide » dans l'ampoule. Il fabrique la première lampe, elle dure 40 h et $e = 1,4 \text{ lm.W}^{-1}$.

Elles sont remplacées de plus en plus (*fin programmée* ≈ 2010) par des *lampes fluocompactes*, moins consommatrices d'énergie et d'efficacité plus grandes.

Quand T augmente, la lumière devient de plus en plus blanche, e augment

Exemple :

- $P = 40 \text{ W}$

- $T = 2460 \text{ K} ; e = 12,9 \text{ lm.W}^{-1}$

- $T = 2820 \text{ K} ; e = 16,5 \text{ lm.W}^{-1}$

3B. Constitution

• filament : en tungstène (W), métal réfractaire à haut point de fusion (3410 K), ayant d'excellentes qualités de résistance électrique, de ductilité, d'émissivité et de résistance mécanique.

• ampoule :

- de forme variable : *standard, sphérique, flamme, tube...*

- en verre tendre au plomb : *faible absorption de lumière (1 à 4 %)*

- trois aspects :

claire (transparente non colorée)

dépolie (rugueuse diffusante)

opalisée (revêtement diffusant)

- rendement η , médiocre ($\approx 5 \%$, 95 % transformé en chaleur : conduction, convection et IR)) amélioré par la lampe à couleur dichroïque qui réfléchit les I.R vers le filament.

- dissipation de chaleur (réduite de 30 % avec lampe froide à double enceinte)

- exploitation couteuse

- sensible aux variations de tensions

- victime de surchauffe

- le filament s'évapore lentement au fil des heures, il s'amincit et finit par fondre.

- réflecteur incorporé...*parfois (argenture, aluminium...)* : *système optique qui permet d'obtenir un faisceau plus ou moins ouvert.*

- culot à vis : il remplace de plus en plus le culot à baïonnette, car il assure un meilleur contact (B22...)

3c. Critique

Avantages :

- I.R.C. proche de 100

- T_c faible (2500 à 3800 K), les couleurs chaudes sont exaltées

- branchement direct au réseau

- encombrement réduit

- allumage instantané

- faible prix d'achat

Inconvénients :

$\approx 1000 \text{ h.}$

3D. Exemples

a- lampes à gaz rares

Sous vide le tungstène ne brûle pas, mais il s'évapore en donnant un dépôt noir sur l'ampoule. La présence d'un gaz inerte à faible pression (krypton, xénon) évite ce phénomène. Le filament, hélice très serrée, pour réduire les pertes de chaleur par conduction.

b- lampes à halogènes

Adjonction au gaz rare d'un halogène gazeux (I_2 , Br_2 , bromure de méthyle CH_3Br ,...). Il se produit une réaction chimique entre l'halogène et le tungstène évaporé, avec formation d'un composé gazeux.

Le tungstène ne se condense plus sur les parois, mais il se redépose sur le filament.

Ampoule en quartz, car le verre est attaqué par l'halogène.

Rendement et durée de vie améliorés ($\eta > 5\%$)

$D \approx 2000$ h

| Lampe à gaz rare | | | Lampe à halogène | | |
|------------------|---------------|-------------------------|------------------|---------------|-------------------------|
| P (W) | Φ_l (lm) | e (lm.W ⁻¹) | P (W) | Φ_l (lm) | e (lm.W ⁻¹) |
| 40 | 430 | 10,7 | 21 | 10500 | 500 |
| 100 | 1390 | 13,9 | 22/26 | 22/26000 | 1000 |
| 300 | 5000 | 16,6 | 22 | 33000 | 1500 |
| 1000 | 18700 | 18,7 | 22/27 | 44/54000 | 2000 |

Applications : projecteurs,...

4. Tubes fluorescents

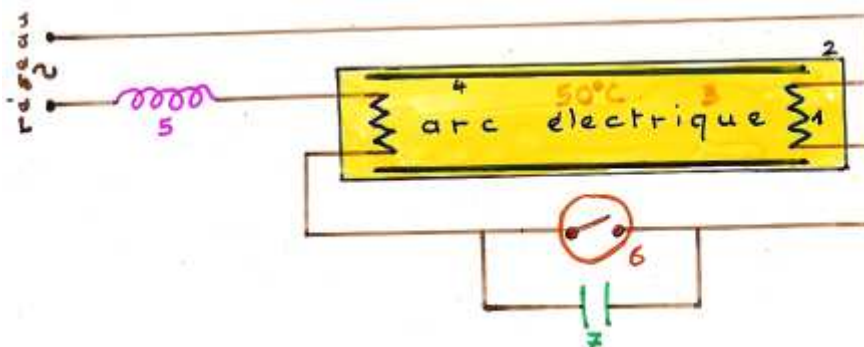
4A. Principe

Production d'une décharge électrique dans un tube contenant un gaz rare (argon) et une petite quantité de mercure Hg.

Emission de radiations centrées sur $\lambda = 254$ nm (U.V)

Intérieur du tube tapissé de poudre fluorescente qui absorbent le rayonnement U.V et réémet l'énergie correspondante dans un spectre continu situé dans le visible.

4B. Description



1. Electrode en tungstène recouvert de substance (oxyde alcalinoterreux) est émettrice d'électrons.
2. Tube allongé pour ne pas augmenter la pression de mercure, la température doit rester basse.

Verre tendre opaque

3. **Gaz rare (Ar)** à très basse pression (1,3 Pa) avec une infime quantité de **mercure** vaporisé.

4. **Poudre fluorescente**

5. **Ballast** : stabilisateur pour empêcher le courant de prendre des valeurs trop grandes (court-circuit) qui peuvent détruire le tube inductif associé à un ballast capacitif pour améliorer le facteur de puissance $\cos\phi$.

6. **Starter** pour amorcer l'arc. Il provoque un préchauffage des électrodes et une surtension.

Une bilame joue le rôle d'interrupteur : à l'ouverture du bilame, il apparaît une surtension de coupure du fait de la self du ballast.

7. **Condensateur** pour faciliter l'amorçage en augmentant la durée de surtension.

4c. Fonctionnement

Les **électrons (5)** sont arrachés à la **cathode (1)** à incandescence et accélérés par le champ électrique créé par la tension entre les deux électrodes. Ils entrent en collision avec les atomes de mercure Hg (3). Certains électrons des atomes Hg sont excités ; ces électrons en revenant sur leur niveau fondamental, émettent des radiations dans l'U.V.

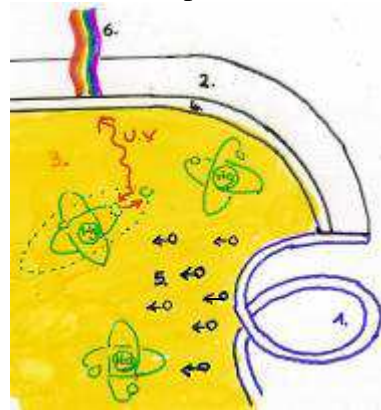
L'U.V excite des électrons des atomes du revêtement phosphoré (4), qui en revenant sur des niveaux intermédiaires émettent des radiations dont la longueur d'onde est supérieure à la longueur d'onde excitante...et certaines dans le visible (6).

Exemple :

$$P = 40 \text{ W } (\ell = 1,2 \text{ m}) \text{ ou } P = 65 \text{ W } (\ell = 1,6 \text{ m})$$

$$\Phi_{\ell} = 2500 \text{ lm}$$

$$e = 45 \text{ à } 70 \text{ lm.W}^{-1}$$



La composition de la poudre permet d'avoir la radiation voulue (*blanche et colorée*), en contrôlant T_c

Critique

Avantages :

- $D \approx 7500 \text{ h}$ pour une durée de fonctionnement de 4 h par allumage
- rendement élevé, $\eta \approx 15 \%$
- T_c de 2500 à 6000 K
- I.R.C bon, de 55 à 95
- très faible luminance ($\approx 0,5 \text{ cd.m}^{-2}$, pas d'éblouissement)
- faible dégagement de chaleur, à même Φ_{ℓ} la moitié d'une lampe à incandescence.
- grande surface de la source (réduction des ombres).

Inconvénients :

- encombrant

5. Lampes à décharge

5A. Principe

Production d'une décharge électrique (comme dans le tube fluorescent) dans un gaz rare et des vapeurs de mercure, ou de sodium Na,...

Modification de l'énergie interne des atomes.

Puis retour au niveau fondamental avec émission d'un rayonnement (spectre de raies)

Les **électrons** arrachés à la cathode...

« bombardent » les atomes Hg, ou Na,...

Certains électrons des atomes Hg, ou Na, ... sont excités.

Ces électrons en revenant sur leur niveau fondamental, émettent des radiations...



5B. Lampe à vapeur de mercure

- Durée d'allumage : 2 min
- Durée de rallumage : 2 à 4 min
- P_{Hg} , de 1 à 10 Pa
- Emission de 4 raies : $\lambda = 400, 430, 540$ et 560 nm
- $D \approx 12000$ h ; P de 80 à 1000 W ; e de 40 à 55 lm.W^{-1} ; $T_c = 3800$ K ; I.R.C = 40 (pas bon !)

Applications : éclairage public (robustesse et fiabilité), lumière d'aspect blanc.

5C. Lampe à vapeur de sodium

a- basse pression : Tube en forme de U

Gouttelettes de sodium dans une atmosphère de néon qui permet l'amorçage et la vaporisation du sodium.

- $P_{\text{Na}} \approx 0,1$ Pa
- Emission de 2 raies : $\lambda = 589$ et $589,6$ nm, jaune orange, proche du maximum de sensibilité de l'œil.
- $D \approx 8000$ h ; $e \approx 190$ lm.W^{-1} ...c'est le record ! ; I.R.C ≈ 0

Applications : éclairage autoroutier urbain (peu importe I.R.C)

b- haute pression : Porté à plus de 1000°C , il émet d'autres raies dans le visible (lumière plus blanche).

- $D \approx 10000$ h ; $e \approx 120$ lm.W^{-1} ; I.R.C ≈ 20

Applications : éclairage extérieur (rues, parkings, stades,...)

5D. Lampes à lumière mixte

On associe dans l'ampoule et en série avec le tube, un filament de tungstène qui ajoute à la lumière blanche par le mercure, de la lumière rouge.

- P de 160 à 500 W ; $D \approx 5000$ h ; e de 20 à 25 lm.W^{-1} ; $T_c = 3800$ K ; I.R.C de 50 à 65

5E. Lampes aux halogénures métalliques

Mélange à haute pression de vapeur de mercure et d'halogénures (iodure de sodium NaI,...).

- P de 400 à 5000 W ; $D \approx 4000$ h ; T_c de 4000 à 6000 K ; I.R.C de 60 à 90

Eclairages à haut niveau de grandes surfaces, stades,...