

Le rôle du gaz dans les lampes à incandescence

par Marc CHAPELET
78170 La Celle-Saint-Cloud

L'étude est limitée aux lampes ordinaires de puissance électrique moyenne ($P < 150$ watts). Le cas des lampes à décharge et des tubes fluorescents, dont la physique est plus complexe, n'est pas considéré dans cet article.

1. HISTORIQUE

Dans les premières lampes (EDISON 1879), le fil incandescent était une fibre végétale recouverte de carbone placée dans une ampoule où l'on faisait le vide. On s'aperçut rapidement que la durée de vie du filament était plus grande quand on remplissait l'ampoule d'un gaz inerte (l'azote). L'éclairage avec de telles lampes présentait bien des inconvénients : la température de fonctionnement du filament de carbone étant relativement basse (1700°C ; problèmes de sublimation), la lumière émise était très jaune et blaffarde ; ces lampes émettaient surtout du rayonnement infrarouge. De plus, il n'était guère possible de fabriquer des lampes puissantes et peu gourmandes en énergie. L'efficacité lumineuse, qui est le rapport du flux lumineux à la puissance électrique, est faible dans le cas d'une lampe à filament de carbone : 3 lumens par watt pour une lampe de puissance électrique 40 watts.

2. LAMPE À FILAMENT DE TUNGSTÈNE

Le tungstène remplaça donc avantageusement le carbone, puisque sa fusion ne se produit qu'à 3400°C . Le filament de tungstène peut donc être porté à une température plus élevée que dans le cas d'un filament de carbone (2000 à 2800°C). L'efficacité d'une lampe à filament de tungstène de 40 watts est de 10 lumens par watt si la lampe ne renferme pas de gaz (la température est alors de 2000°C). Dans le cas d'une lampe à tungstène de 40 watts, contenant un gaz inerte, la température du filament est de 2400°C et l'efficacité lumineuse

est de 13 lumens par watt. En fait l'efficacité lumineuse d'une lampe à filament de tungstène dépend de la puissance électrique de la lampe (tableau 1).

Puissance électrique (watts)	Température filament (°C)	Efficacité lumineuse (lumens par watt)	Gaz inerte
1	2000	10	azote
10	2100	12	azote
100	2400	14	argon azote + argon krypton
1000	2800	20	argon

Tableau 1 : Efficacité lumineuse d'une lampe à incandescence à filament de tungstène.

La pression du gaz inerte dans l'ampoule est approximativement de 1 atmosphère en fonctionnement et de 0,5 atmosphère au repos. La température dans la lampe est très inhomogène (2200°C au niveau du filament et 60°C au niveau de l'enveloppe en verre).

3. LA GAZ INERTE

Son rôle est multiple :

- il évite un échauffement trop important du filament en évacuant vers les parois en verre la chaleur par convection et conduction,
- il diminue le taux de vaporisation du filament,
- le filament a une forme spiralée particulièrement étudiée afin que le métal vaporisé et transporté par les courants convectifs au sein du gaz inerte ne se dépose pas n'importe où sur les parois de l'ampoule ; ceci pour éviter le noircissement de la lampe et donc une diminution de l'éclairement.

La conductibilité thermique du gaz est donc un facteur essentiel. En effet, le gaz doit assurer le refroidissement du filament mais celui-ci ne doit pas être excessif. La conductibilité K du gaz doit être relativement faible. Or K varie comme :

$$\frac{\sqrt{T} \cdot C_v}{\sqrt{M}}$$

où T désigne la température absolue du gaz,

C_v la capacité thermique molaire du gaz à volume constant en $\text{J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$,

M la masse molaire du gaz.

De plus C_v augmente avec la température sauf si le gaz est monoatomique, où dans ce cas C_v est égale à $\frac{3}{2} R$ ($R = 8,32 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$).

La conductibilité du gaz sera faible si C_v est petite (gaz monoatomique) et si sa masse molaire M est grande. De plus, le taux de vaporisation d'un métal au sein d'un gaz inerte est petit si la masse molaire M du gaz est grande. On comprend ainsi qu'il est préférable de remplir les lampes avec du krypton ($M = 84 \text{ g.mol}^{-1}$) ou avec de l'argon ($M = 40 \text{ g.mol}^{-1}$), qui est plus abondant et donc moins cher que le krypton. La rareté et le prix exorbitant du xénon ($M = 131 \text{ g.mol}^{-1}$) font que son usage est très limité (flashes électroniques). Le tableau 2 présente les valeurs de la conductibilité thermique K et du rapport $\frac{C_v}{R}$ pour différents gaz mono ou polyatomiques. L'efficacité lumineuse est accrue de 20 % quand on remplace l'argon par du krypton.

Gaz	K (à 0°C) $\text{watt.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$	$\frac{C_v}{R}$
Ne	$4,6.10^{-2}$	1,50
Ar	$1,5.10^{-2}$	1,50
H_2	17.10^{-2}	2,42
N_2 ou O_2	$2,4.10^{-2}$	2,50
CO_2	14.10^{-2}	3,35

Tableau 2 : Conductibilité thermique des gaz.

Il est important de choisir un gaz vraiment inerte qui ne réagit pas avec le tungstène du filament. Le tungstène brûle dans l'oxygène pour donner l'oxyde WO_3 ; l'azote employé comme seul gaz inerte dans les lampes de petite puissance (quelques watts) peut réagir avec le tungstène à haute température pour former un composé solide de formule WN_2 . Ce dépôt piège le gaz restant, de sorte que le gaz se raréfiant, la vaporisation du filament s'accroît et la durée de vie de la lampe diminue.

4. LE CAS DES LAMPES À HALOGÈNES

En plus d'un gaz inerte, elles renferment des traces d'iode. Dans les régions périphériques (les plus froides) de la lampe, l'iode se combine au tungstène qui s'y est déposé (après avoir été vaporisé) pour former un composé de formule WI_2 ; ce corps très volatil aux températures supérieures à 300°C, se dissocie pour donner du tungstène métallique qui se dépose aux points les plus chauds de la lampe (donc au niveau du filament). L'introduction d'iode permet de doubler la durée de vie de la lampe et accroît l'efficacité lumineuse de 25 %. Ces lampes sont principalement utilisées dans les phares d'automobiles.

BIBLIOGRAPHIE

- Thermodynamique. G. BRUHAT (éd. Masson 1962) ; chapitre XIX : les phénomènes de transport dans les gaz.
- Formulaire de l'Électricien Praticien. J. VERGER et A. EUTROPE (éd. SONUS 1956) ; chapitre IX : éclairage électrique.
- Le Vide. R. DAVID et A. RICHARDT. Monographie Dunod n° 81 (1969).
- Standard Handbook for electrical engineers (Mc Graw Hill 1949), section 16.
- QUID 1981 p. 1691-1692.