

13

Les sources lumineuses

1 Les lampes à incandescence

1.1. Principe

Un filament métallique formant résistance électrique est parcouru par un courant électrique. L'énergie électrique est transformée en énergie calorifique. Du fait de la haute température, il y a production d'énergie lumineuse. Pour éviter la détérioration du filament, on le place à l'abri de l'oxygène dans une ampoule contenant un gaz inerte.

1.2. Constitution générale (fig. 1)

a) Filament

Son rôle est de transformer l'énergie électrique en énergie lumineuse du fait de sa température très élevée (2 250 °C à 2 400 °C). Il est en général en tungstène.

b) Arrivées de courant

Elles assurent la liaison électrique entre le filament à haute température et le culot de la lampe.

c) Verre et atmosphère

Le rôle de l'ampoule est à la fois de contenir l'atmosphère de la lampe, de diminuer la luminosité de la source lumineuse (verre opalisé) et d'apporter une forme décorative.

1.3. Désignation d'une lampe

Elle doit comprendre :

a) La puissance

En watts : 15 - 25 - 40 - 60 - 75 - 100 - 150 - 200 - 300 - 500 - 1 000.

b) La tension

En volts : en général 230 V ; tension particulière : 24 - 27 - 115/120 - 135/140 - 240 - 250 V.

c) Le type de culot : ils sont normalisés (voir fig. 2 et p. 114).

En savoir plus...

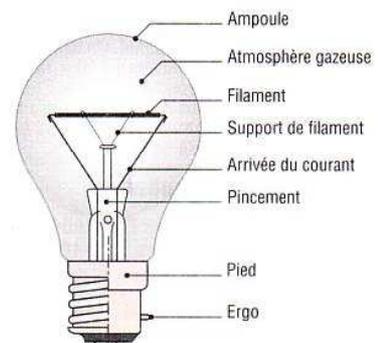
- L'éclairage par incandescence est basé sur une émission d'énergie rayonnante visible, d'origine thermique.
- Le rayonnement total en énergie d'un corps noir est proportionnel à la surface du corps noir et croît comme la puissance quatre de la température absolue du corps noir. C'est la loi de Stéphan.
- Cette relation nous montre l'importance de la température pour obtenir une énergie rayonnée maximale.

NIVEAU D'EXIGENCE

- Énoncer les différents procédés d'éclairage ainsi que les principes de fonctionnement.
- Identifier les éléments constitutifs.

SAVOIR

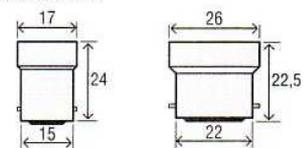
S 2.1 Éclairage.



Culot E 27 | Culot B 22

Fig. 1 : Lampe à incandescence.

Culots à baionnette



Culots à vis

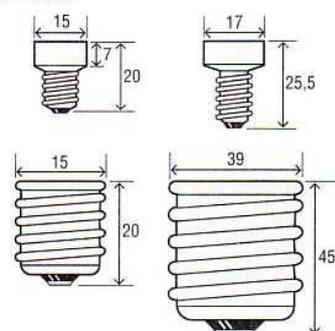


Fig. 2 : Différents culots de lampe.

- d) La forme de l'ampoule : éventuellement le revêtement, p. 130.
 e) L'atmosphère particulière : krypton, halogène.

2 Les tubes fluorescents

2.1. Principe

a) Amorçage du tube

On provoque une décharge électrique dans un tube contenant de l'argon et une très faible quantité de mercure. Elle entraîne l'ionisation du gaz, qui entraîne à son tour la vaporisation du mercure. C'est la phase d'amorçage du tube. Elle nécessite une tension assez élevée.

b) Production de la lumière

Une fois l'ionisation réalisée (régime d'arc), une tension plus faible suffit pour entretenir le déplacement des électrons dans le tube, de la cathode vers l'anode. Sur leur parcours, les électrons entrent en collision avec les atomes de mercure. Chaque collision libère des photons, qui donnent des rayons ultraviolets, invisibles (fig. 3).

Aussi l'intérieur du tube est-il tapissé de poudres fluorescentes qui, excitées par les rayons ultraviolets, vont émettre la majeure partie de la lumière utile.

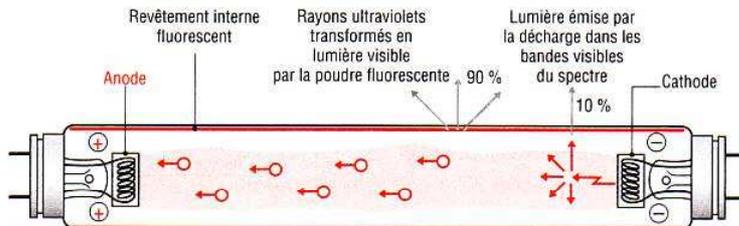


Fig. 3 : Déplacement des électrons dans un tube fluorescent.

2.2. Constitution générale (fig. 4)

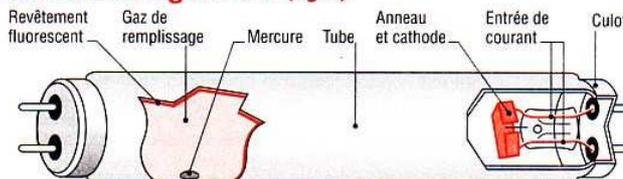


Fig. 4 : Vue éclatée d'un tube fluorescent.

a) Cathodes

Fil de tungstène enduit de substances alcalino-terreuses pour favoriser l'émission des électrons.

b) Tube en verre

De diamètre 38 ou 26 mm avec revêtement interne de sels minéraux fluorescents.

c) Culots

Ils sont à broches et normalisés (fig. 5), voir tableau p. 131.

d) Alimentation

Les tubes fluorescents nécessitent un système d'alimentation permettant d'effectuer :

- l'amorçage du tube (nécessité d'une surtension) ;
- l'alimentation en régime permanent.

Pour cela, on utilise principalement un ballast et un starter, ou un système électronique.

Loi de Stephan

$$\phi_e = A \cdot S \cdot T^4$$

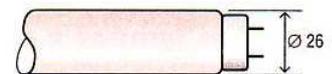
ϕ_e = flux d'énergie rayonnée en watt

S = surface du corps noir en m^2

T = température absolue en degrés Kelvin

A = constante

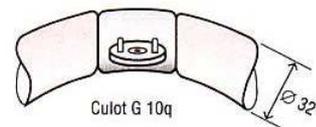
$$= 5,7 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$



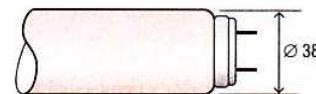
Culot G 13



Culot G 5



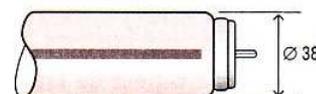
Culot G 10q



Culot G 13



Culot R 18 S



Culot Fa6

Fig. 5 : Différents culots de tubes fluorescents.

Exemple de désignation :

Tube fluorescent : 1,20 m - diamètre 26 mm.

Allumage : par starter culot à 2 broches G 13 lumière du jour.

2.3. Pour commander un tube fluorescent

Il faut indiquer :

- les dimensions (longueur et diamètre), le type de culot ;
- le mode d'allumage (instantané, par starter) ;
- la nature de la lumière (spectre lumineux).

3 La luminescence

3.1. Principe

Dans un tube comportant un gaz à faible pression (fig. 6), on dispose deux électrodes. En appliquant entre les électrodes une forte différence de potentiel, on constate l'apparition d'une lueur à l'intérieur du tube. C'est le phénomène de **luminescence**.

L'ionisation du gaz produit des radiations lumineuses visibles. On est en régime de décharge lumineuse. La **cathode** reste **froide** (fig. 8).

3.2. Constitution (fig. 7)

Ce sont les tubes utilisés pour les **enseignes lumineuses** appelées « **tubes néon** ». Ces tubes sont alimentés sous des tensions de 5 à 15 kV, la tension est fonction de la longueur du tube et du nombre d'électrodes. La couleur varie selon la nature du gaz (tableau ci-contre).

4 Les lampes à décharge

4.1. Principe

Le principe des lampes à décharge est basé sur le phénomène d'électroluminescence lié à la décharge électrique dans des gaz ou des vapeurs métalliques.

Ces lampes fonctionnent en **régime d'arc**, avec une **cathode chaude** due à un bombardement électronique intense (fig. 8).

4.2. Constitution (fig. 9)

- Une ampoule de forme ovoïde ou tubulaire contenant un mélange gazeux azote-argon (éventuellement, l'intérieur de l'ampoule est revêtu d'un poudrage fluorescent).
- Un tube à décharge ou brûleur muni à chacune de ses extrémités d'électrodes en tungstène et contenant un gaz rare (néon, argon, xénon) pour favoriser l'amorçage et une infime quantité de métal, mercure ou sodium.
- Une structure métallique assurant le support et l'alimentation électrique, et un culot.

4.3. Différentes lampes à décharge (fig. 10)

a) Lampes à vapeur de mercure

- **Mercurie lumière mixte** : on monte en série un filament de tungstène, et un tube à décharge de mercure haute précision. Le filament assure la stabilisation de la décharge.

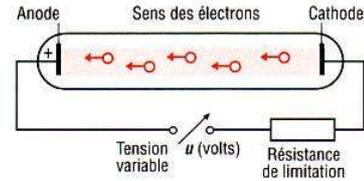


Fig. 6 : Décharge lumineuse dans un tube.

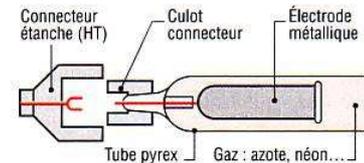


Fig. 7 : Coupe d'une extrémité de tube lumineux.

Tableau 1 : Couleur de la lumière selon le gaz utilisé dans le tube.

Gaz	Couleur
Néon pur	Rouge
Argon pur	Bleuâtre
Vapeur mercure	Bleue
Hélium	Blanche

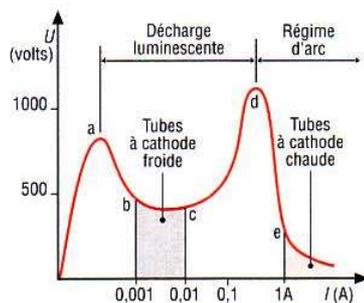


Fig. 8 : Courbe de décharge électrique dans un gaz à faible pression montrant où se situent les lampes à cathode froide et les lampes à cathode chaude.

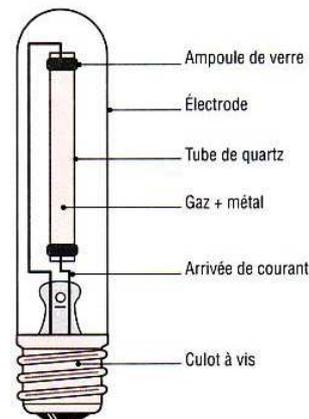


Fig. 9 : Lampe à cathode chaude : constitution.

– On installe un tube à décharge, à vapeur de mercure, à l'intérieur d'une ampoule ovoïde. L'intérieur de l'ampoule possède un revêtement fluorescent.

b) Lampes à vapeur de sodium

– Sodium haute pression :

Le tube en alumine frittée translucide résiste aux hautes pressions et températures, il contient du sodium, du xénon et du mercure.

– Sodium basse pression :

Le tube à décharge contient du sodium et du néon, ce dernier facilite le démarrage de la lampe.

c) Lampes aux iodures métalliques

Elles utilisent des iodures métalliques de thallium, d'indium et de sodium. Elles existent en forme tubulaire, ou ovoïde et présentent une bonne efficacité lumineuse et un bon rendu des couleurs.

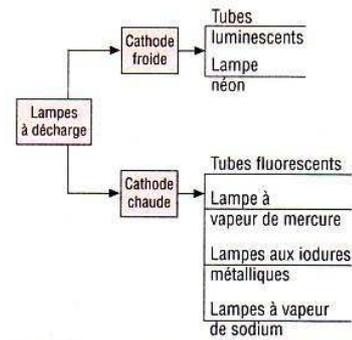


Fig. 10 : Classification des lampes à décharge.

5 Lampe à iode (halogène)

C'est une lampe à incandescence dans laquelle il est possible de porter le filament de tungstène à très haute température et d'obtenir ainsi une plus grande efficacité lumineuse.

Cycle de l'halogène (fig. 11)

En ajoutant une petite quantité d'halogène au gaz de l'ampoule, on obtient par réaction chimique un cycle de régénération qui permet de restituer au filament une partie du tungstène évaporé.

(1) Volatilisation d'un atome de tungstène du filament.

(2) Combinaison tungstène + halogène au niveau de l'enveloppe de quartz.

(3) Au contact du filament, la molécule d'halogène de tungstène se dissocie :

- un atome de tungstène se redépose sur le filament,
- un atome d'halogène, libéré, reprend le cycle de régénération.

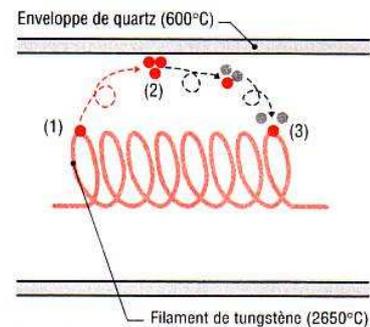


Fig. 11 : Cycle de l'halogène (lampe à iode).

6 Notion d'efficacité lumineuse

Afin de pouvoir comparer les différents procédés d'éclairage entre eux, on utilise plusieurs caractéristiques des sources lumineuses ; l'efficacité lumineuse est un critère important, mais n'est pas le seul à envisager. Une lampe quelconque absorbe de l'énergie électrique et restitue de la lumière ; on fait donc le rapport entre le flux lumineux (exprimé en lumens, lm)⁽¹⁾ fourni par la source lumineuse et la puissance électrique absorbée, et on obtient un coefficient d'efficacité lumineuse :

$$\text{Coefficient d'efficacité} = \frac{\text{flux lumineux fourni}}{\text{puissance électrique absorbée}}$$

L'efficacité lumineuse s'exprime en lumens par watt (lm/W).

Exemple : Un tube fluorescent de 36 W fournit un flux lumineux de 3 450 lumens.

L'efficacité lumineuse de ce tube est donnée par la formule :

$$fe = \frac{\phi \text{ flux lumineux}}{\text{puissance}} = \frac{3\,450}{36} = 95 \text{ lm/W}$$

Les tubes fluorescents présentent une efficacité lumineuse bien meilleure que les lampes à incandescence dont l'efficacité lumineuse est d'environ 10 lm/W.

(1) Le flux lumineux est une donnée indiquée par le fabricant de lampes, elle sera définie plus précisément au chapitre 15.

Efficacité lumineuse :

$$fe = \frac{\phi}{P}$$

ϕ = flux lumineux en lumens (lm)

P = puissance électrique en watts (W)

fe = efficacité lumineuse en lumens par watt (lm/W)

L'essentiel

- Il existe actuellement trois grandes familles de lampes :
 - les lampes à incandescence (éclairage des habitations) ;
 - les tubes fluorescents (éclairage des bureaux, magasins) ;
 - les lampes à décharge (éclairage des grands espaces).
- Une lampe est caractérisée par :
 - le procédé de production de la lumière ;
 - les données d'entrée : tension, puissance... ;
 - les données de sortie : flux lumineux, couleur de lumière, etc. ;
 - les caractéristiques technologiques : forme, culot, appareillage d'allumage et d'alimentation électrique.
- La comparaison entre les différentes sources lumineuses s'effectue en exprimant l'efficacité lumineuse qui est le rapport entre le flux lumineux produit et la puissance électrique absorbée. On exprime l'efficacité lumineuse en lm/W.
- Il existe également des lampes spéciales, par exemple les lampes infrarouge, surtout utilisées pour le chauffage. Par ailleurs, le rayonnement laser permet aussi d'obtenir des effets spéciaux, mais il est peu utilisé pour l'éclairage.



VRAI OU FAUX ?

Parmi les affirmations suivantes, indiquez celles qui sont vraies.

1. C'est la température élevée du filament qui produit la lumière dans une lampe à incandescence.
2. Une température de 1 200 °C suffit pour produire de la lumière.
3. La désignation d'une lampe comporte en premier le flux lumineux produit.
4. Dans un tube fluorescent, c'est la couche fluorescente qui produit la lumière visible.
5. Dans un tube fluorescent, la lumière visible est produite par le gaz ionisé.
6. Dans un tube luminescent, la lumière visible est produite par le gaz ionisé.
7. Un tube néon est une lampe à cathode chaude.
8. Une lampe à lumière mixte comporte un filament et un tube à décharge à vapeur de mercure.
9. Une lampe à vapeur de mercure fonctionne sur le même principe qu'un tube fluorescent.
10. Dans une lampe à vapeur de sodium basse pression, l'intérieur du tube contient du sodium et du néon.
11. Une lampe à iode ou halogène est une lampe à décharge.
12. L'efficacité lumineuse est le rapport puissance électrique sur flux lumineux produit.
13. L'efficacité lumineuse s'exprime en lumens par watt.
14. L'efficacité lumineuse des lampes à incandescence est de l'ordre de 40 lm/W.
15. Les culots de lampes de type E 27 peuvent recevoir des lampes de 500 W.
16. Les lampes compactes fluorescentes peuvent se visser sur les mêmes douilles que les lampes à incandescence.
17. Les lampes compactes fluorescentes comportent l'appareillage d'alimentation dans le culot de la lampe.
18. Les lampes fluorescentes compactes à alimentation conventionnelle, sont plus légères que celles qui sont à alimentation électronique.
19. Les lampes à iodures métalliques sont des lampes à incandescence avec une atmosphère à base d'indium et de thallium.
20. Les lampes à vapeur de sodium se reconnaissent à la lumière jaune orangée qu'elles produisent.

RÉSOLUS

1. Une lampe à incandescence de 40 W fournit un flux lumineux de 400 lm (lumens). Calculez l'efficacité lumineuse de cette lampe.

Solution : On applique la formule :

$$fe = \frac{\phi \text{ flux lumineux}}{P \text{ puissance}} = \frac{400}{40} = 10 \text{ lm/W}$$

2. Sur un tube fluorescent ancien de diamètre 38 mm et de longueur 1,20 m vous arrivez à lire TFRS Jour. Pouvez-vous, à l'aide du tableau des caractéristiques, retrouver l'efficacité lumineuse du tube, et par quel autre tube pouvez-vous le remplacer ?

Solution :

– Il s'agit d'un tube TFRS lumière du jour ; ses dimensions indiquent une puissance de 40 W.

– Pour 40 W lumière du jour le tableau donne 1 900 lumens.

– Efficacité lumineuse : $\frac{1\,900}{40} = 47,5 \text{ lm/W}$.

– On le remplacera par un tube TF « P » 36 qui donnera 3 250 lumens,

soit une efficacité de $\frac{3\,250}{36} = 90,2 \text{ lm/W}$.

3. On veut remplacer une lampe à incandescence standard perle de 60 W, par une lampe fluorescente compacte. Quelle sera la puissance de cette dernière ?

Solution : La lampe à incandescence standard perle de 60 W donne un flux lumineux de 730 lm (tableau p. 130). La lampe type Eureka de 15 W donne un flux lumineux de 900 lm.

4. Calculez l'économie réalisée en remplaçant une lampe de 100 W à incandescence (prix 1 €, durée de vie 1 000 h) par une lampe de 25 W type compacte fluorescente (prix 10 €, durée de vie 10 000 h). Sachant que le prix du kWh est de 0,1 €, calculez l'économie réalisée au bout de 10 000 h de fonctionnement.

Solution :

Calcul sur 10 000 h	Incandescence 100 W	Fée claire 25 W
Coût des lampes	10 × 1 = 10 €	10 €
Consommation d'électricité	0,1 × 10 000 × 0,1 = 100 €	0,025 × 10 000 × 0,1 = 25 €
Total	110 €	35 €
Économies		75 €

À RÉSOUDRE

1. Une lampe à incandescence porte les indications suivantes : 75 W - 230 V - 960 lm. Calculez son efficacité lumineuse.

2. Un tube fluorescent de référence TFRS 40 fournit un flux lumineux de 2 000 lumens. Calculez son efficacité lumineuse.

3. Une lampe à vapeur de mercure haute pression référence MAF 125 absorbe une puissance de 120 W et fournit un flux lumineux de 6 300 lumens. Calculez son efficacité lumineuse.

4. À l'aide du tableau des caractéristiques des lampes à incandescence, comparez les coefficients d'efficacité lumineuse des lampes de 60 W de type : normale 7 krypton ; linolite 7 argon ; Opalia.

5. Les tubes fluorescents donnent différentes qualités de lumière. Classez par valeur croissante de coefficient fe les tubes de puissance 36 W suivants : TF « P » confort ; TF « P » brillant ; SF Solara ; HF « P » brillant.

6. Pour éclairer une aire de stockage, choisissez la lampe à décharge ayant le meilleur coefficient d'efficacité lumi-

neuse. À l'aide du tableau des caractéristiques des lampes à décharge, indiquez le type de lampe retenu.

7. Pour commander une lampe à décharge, quelles sont les caractéristiques essentielles nécessaires à donner au fournisseur ?

8. On veut remplacer une lampe à incandescence normale 7 krypton de 75 W, par une lampe fluorescente compacte avec alimentation conventionnelle. Quel sera le type et la puissance de cette dernière ?

9. On veut remplacer une lampe à incandescence standard perle de 40 W, par une lampe fluorescente compacte avec alimentation électronique. Quel sera le type et la puissance de cette dernière ?

10. Calculez l'économie réalisée en remplaçant une lampe de 100 W à incandescence (prix 1 €, durée de vie 1 000 h) par une lampe de 20 W type compacte fluorescente, alimentation électronique (prix 10 €, durée de vie 10 000 h). Sachant que le prix du kWh est de 0,1 €, calculez l'économie réalisée au bout de 10 000 h de fonctionnement.

Les lampes à incandescence

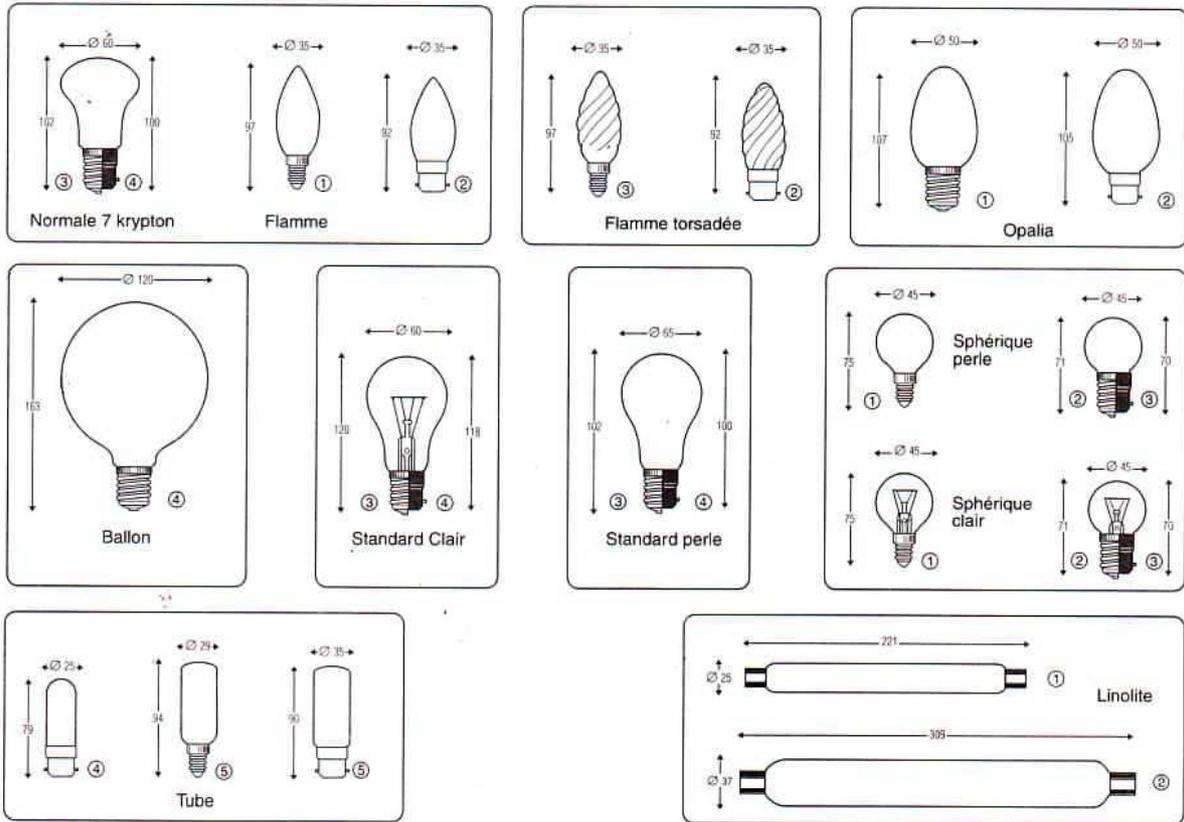
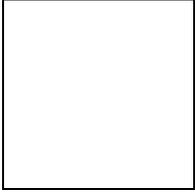


Tableau puissance/Flux lumineux en 230 V

Type de lampe	Culot	Puissance (W)						Type de lampe	Culot	Puissance (W)					
		25	40	60	75	100	150			25	40	60	75	100	150
Normale 7 Krypton	B 2		410	690	900	1 280	1 880	Standard perle	B 22		430	730	960	1 380	2 220
	E 27		410	690	900	1 280	1 880		E 27		430	730	960	1 380	2 220
Sphérique 7 Krypton	B 22	207	385	657				Sphérique Claire	B 22	208	400	690			
	E 14	215	402	686					E 27	208	400	690			
	E 27	207	385	657					E 14	218	420	725			
Flamme 7 Krypton	B 22	207	385	657				Sphérique perle	B 22	208	400	690			
	E 14	215	402	686					E 27	208	400	690			
Linolite 7 argon 37 × 309	S 15			500					Globe Ø 60 Opale Ø 80 Ø 95 Ø 120	E 27			570		
								E 27				600		1 000	
Tube 7 Krypton	B 22	211	394	672				E 27				600		1 100	
	E 14		402	686				E 27				600		1 100	
Opalia	B 22		400	670	890	1 280		Flamme claire	E 14	218	420	720			
	E 27		400	670	890	1 280			B 22		420	720			
Standard claire	B 22		430	730	960	1 380	2 220	Flamme claire torsadée	E 14	215	412	712			
	E 27		430	730	960	1 380	2 220								
Grande puissance	(W)	200	300	500	1 000			Tube claire diam. courant	B 22	214	412	705			
									E 14	218	420	720			
Standard claire	B 22		2 950					Linolite 25 × 221 perle 37 × 309			335				
	E 27		2 950	4 950							335	530	680		
	E 40		2 950	4 950	8 400	18 800									



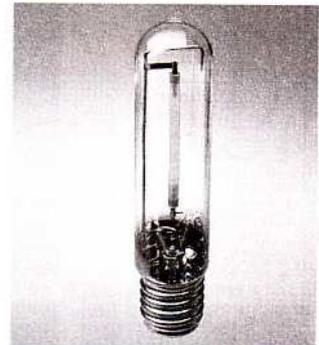
Les lampes à décharge



MMF - Mercure, lumière mixte.



BTC - Vapeur de mercure haute pression.



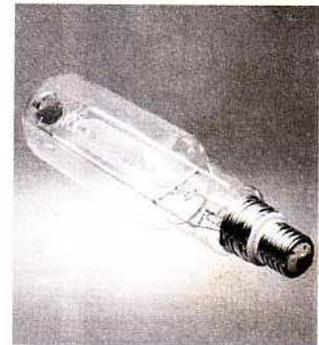
MAC - Sodium haute pression.



SIO - Sodium basse pression.



MTIL - Iodures métalliques.



MAIH - Iodures métalliques.

Type	Description	Caractéristiques				Référence Mazda	Forme °K et IRC	Type d'applications
		Puis. W	Tension V	Culot	Flux lm			
MERCURE lumière mixte	Lampe mixte Vapeur de mercure + fluorescence + filament à incandescence	100	230	E 27	1 100	MMF 100	Forme ovoïde 3 500 à 3 800 °K IRC 50 à 60	Ateliers Halls Éclairage résidentiel Parcs et jardins
		160	230	E 27	3 000	MMF 160		
		250	230	E 40	5 700	MMF 250		
		500	230	E 40	13 000	MMF 500		
MERCURE	Vapeur de mercure haute pression avec revêtement fluorescent	80		E 27	4 000	BTC 80	Ballon fluorescent 3 300 à 3 500 °K IRC 55 à 60	Jardins Parkings Industries Routes-Autoroutes
		125		E 27	6 700	BTC 125		
		250		E 40	14 200	BTC 250		
		400		E 40	24 200	BTC 400		
SODIUM haute pression	Lampe claire ou satinée Température de couleur 2 000 °K	150		E 40	15 000	MAC 150	Tubulaire claire ou ovoïde satinée 2 200 °K IRC 65	Ateliers industriels Installations sportives Grands espaces Éclairage public
		250		E 40	28 000	MAC 250		
		400		E 40	48 000	MAC 400		
SODIUM basse pression	Lampe à revêtement interne d'oxyde d'indium	35		B 22	5 800	SIO E 36	Tubulaire monochromatique Orangé	Éclairage extérieur
		66		B 22	10 700	SIO E 66		
		90		B 22	17 500	SIO E 91		
IODURES MÉTALLIQUES	Lampe de faible encombrement	70		R 7s	5 500	MTIL 70	Tubulaire 4 200 °K IRC = 80	Éclairage commercial intérieur et extérieur
		150		R 7s	11 250	MTIL 150		
		250		FC2	20 000	MTIL 250		
	Lampe de très bonne efficacité lumineuse	250		E 40	17 000	MAIH 250	Tubulaire 4 300 °K IRC 65 à 69	Éclairage extérieur Stades-routes et autoroutes
400			E 40	31 500	MAIH 400			
1 000			E 40	81 000	MAIH 1 000			
2 000			E 40	183 000	MAIH 2 000			