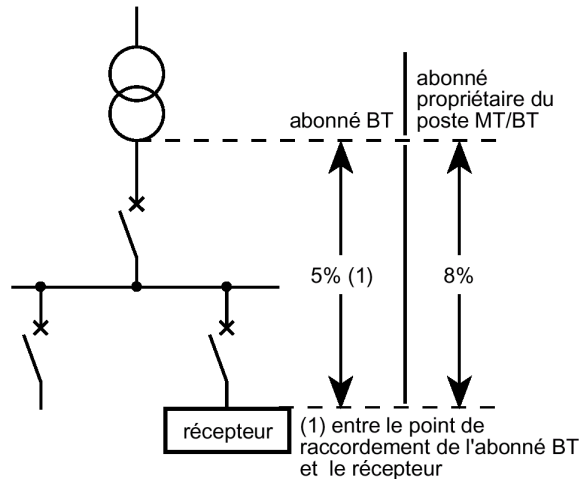


CHAPITRE IV INSTALLATIONS D'ÉCLAIRAGE ET DE FORCE MOTRICE

IV 1 LES NORMES



Chute de tension maximale entre l'origine de l'installation BT et l'utilisation

	éclairage	autres usages (force motrice)
abonné alimenté par le réseau BT de distribution publique	3 %	5 %
abonné propriétaire de son poste HT-A/BT	6 %	8 % (1)

(1) Entre le point de raccordement de l'abonné BT et le moteur.

IV 2 LUMIERE ET ECLAIRAGE

IV 2 1 Introduction

Source de confort et de productivité, l'éclairage représente 15 % de la quantité d'électricité consommée dans l'industrie et 40 % dans les bâtiments. La qualité de l'éclairage (stabilité de la lumière et continuité de service) dépend de celle de l'énergie électrique ainsi consommée. L'alimentation électrique des réseaux d'éclairage a donc pris une grande importance. Pour aider à leur conception et faciliter le choix de leurs dispositifs de protection, les auteurs présentent dans ce document une analyse des différentes technologies de lampes et des principales évolutions technologiques en cours. Après une synthèse des particularités des circuits d'éclairage et de leur impact sur les dispositifs de commande et de protection, ils traitent du choix des appareils à mettre en œuvre.

IV 2 2 Lumière artificielle

Un rayonnement lumineux artificiel peut-être produit à partir de l'énergie électrique selon deux principes : l'incandescence et l'électroluminescence.

- **L'incandescence** : C'est la production de lumière par élévation de température. Les niveaux d'énergie sont en très grand nombre, et par conséquent, le spectre de rayonnement émis est continu. Le cas le plus courant est un filament chauffé

à blanc par la circulation d'un courant électrique. L'énergie fournie est transformée en effet Joule et en flux lumineux.

- **La luminescence** : C'est le phénomène d'émission par la matière d'un rayonnement lumineux visible ou proche du visible.
 - **Electroluminescence des gaz** Un gaz (ou des vapeurs) soumis à une décharge électrique émet un rayonnement lumineux. Ce gaz n'étant pas conducteur à la température et à la pression ordinaires, la décharge est produite en générant des particules chargées permettant l'ionisation du gaz. Le spectre, en forme de raies, dépend des niveaux d'énergie propre au gaz (ou à la vapeur) employé. La pression et la température du gaz déterminent la longueur des raies émises et la nature du spectre.
 - **La photoluminescence** C'est la luminescence d'un matériau exposé à un rayonnement visible ou proche du visible (ultraviolet, infrarouge). Lorsque la substance absorbe un rayonnement ultraviolet et émet un rayonnement visible qui s'arrête peu de temps après l'excitation, il s'agit de la fluorescence. Tous les photons reçus ne sont pas transformés en photons émis. Le meilleur rendement pour les matières fluorescentes actuelles est de 0,9. Lorsque l'émission lumineuse persiste après l'arrêt de l'excitation, il s'agit de la phosphorescence.

IV 2 3 Technologie des lampes

IV 2 3 1 Lampes à incandescence

Les lampes à incandescence sont historiquement les plus anciennes (brevet de Thomas Edison en 1879) et les plus répandues dans le grand public. Leur principe est un filament porté à incandescence dans le vide ou une atmosphère neutre empêchant sa combustion. On distingue :

a/ **Les ampoules standard** Elles comportent un filament de tungstène et elles sont remplies d'un gaz inerte (azote et argon ou krypton).

b/ **Les ampoules à halogène** Elles comportent aussi un filament de tungstène, mais elles sont remplies d'un composé halogéné (iode, brome ou fluor) et d'un gaz inerte (krypton ou xénon). Responsable d'un phénomène de régénération du filament, ce composé halogéné permet d'augmenter la durée de vie des lampes et évite leur noircissement. Ceci autorise également une température de filament plus élevée et donc une luminosité supérieure dans des ampoules de petite taille. Le principal inconvénient des lampes à incandescence est leur forte dissipation thermique et donc leur faible rendement lumineux ; mais elles présentent l'avantage d'un bon Indice de Rendu des Couleurs (IRC) par le fait que leur spectre d'émission est assez proche du spectre de réception de l'oeil (cf. **fig. 1**). Leur durée de vie est de 1000 heures environ pour les ampoules standard, de 2000 à 4000 heures pour les ampoules à halogène. A noter que cette durée de vie est réduite de 50 % lorsque la tension d'alimentation est augmentée de 5 %

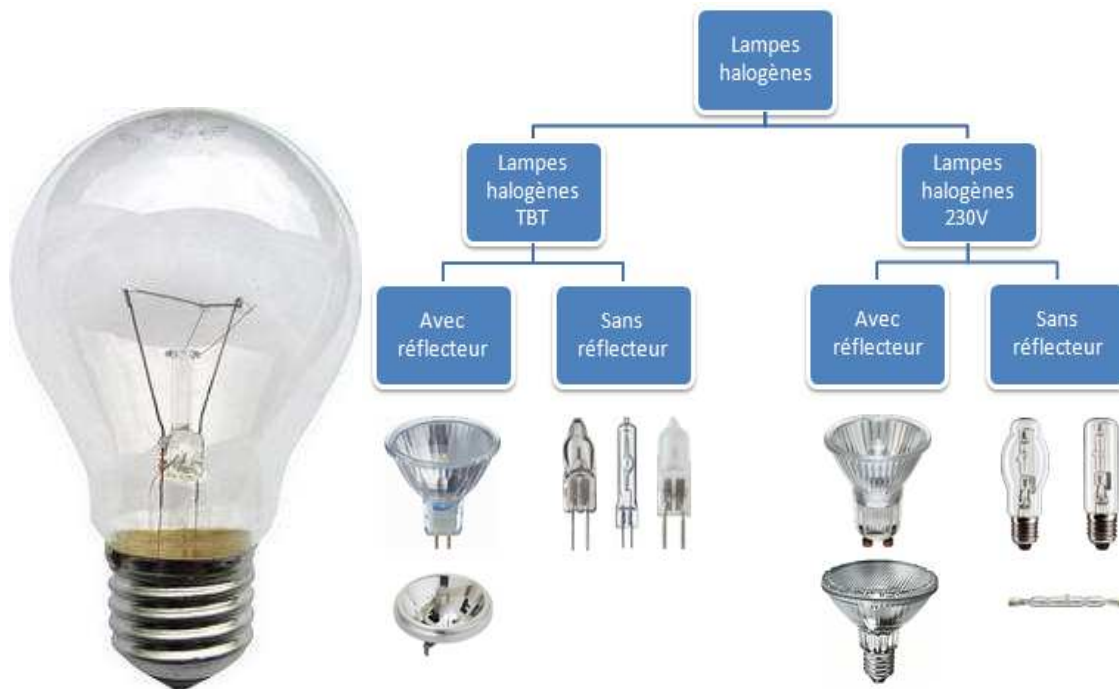


Figure 1

IV 2 3 2 Lampes fluorescentes

Cette famille regroupe les tubes fluorescents et les lampes fluo-compactes. Leur technologie est généralement dite « à mercure basse pression ».

- **Les tubes fluorescents** Ils sont apparus en 1938. Dans ces tubes, une décharge électrique provoque la collision d'électrons avec des ions de vapeur de mercure, d'où un rayonnement ultraviolet par excitation des atomes de mercure. Le matériau fluorescent, dont est recouvert l'intérieur des tubes, transforme alors ce rayonnement en lumière visible. Cette technologie présente l'inconvénient d'un IRC moyen par le fait que le spectre d'émission est discontinu. Il existe toutefois aujourd'hui différentes familles de produits répondant aux multiples besoins d'IRC, par exemple les tubes dits « lumière du jour ». Les tubes fluorescents dissipent moins de chaleur et ont une durée de vie plus longue que les lampes à incandescence, par contre ils nécessitent l'emploi de deux dispositifs : l'un pour l'allumage appelé « starter » et l'autre pour la limitation du courant de l'arc après allumage. Ce dernier appelé « ballast » est en général une inductance placée en série avec l'arc. Les contraintes liées à ce ballast sont détaillées dans la suite du document.
- **Lampes fluo-compactes** Leur principe est identique à celui d'un tube fluorescent. Les fonctions de starter et de ballast sont assurées par un circuit électronique (intégré à la lampe) qui permet l'emploi de tubes de dimensions réduites et repliés sur eux-mêmes. Les lampes fluo-compactes ont été développées pour remplacer les lampes à incandescence : elles apportent une économie d'énergie significative (15 W contre 75 W pour une même luminosité) et une augmentation de la durée de vie (8000 h en moyenne et jusqu'à 20 000 h pour certaines). Les lampes fluo-compactes standard présentent un léger retard à

l'allumage et leur durée de vie est réduite selon le nombre d'allumages. Ainsi, pour une fréquence d'allumage multipliée par 3, la durée de vie de la lampe est réduite de moitié. Les lampes dites « à induction » ou « sans électrodes » (cf. **fig. 2**) ont un démarrage instantané et le nombre de commutations n'affecte pas leur durée de vie. Leur principe est une ionisation du gaz présent dans le tube par un champ électromagnétique à très haute fréquence (jusqu'à 1 GHz).

- Leur durée de vie peut atteindre 100 000 h.



- Figure 2

IV 2 3 3 Lampes à décharge

La lumière est produite par une décharge électrique créée entre deux électrodes au sein d'un gaz dans une ampoule de quartz. Toutes ces lampes (cf. **fig. 3**) nécessitent donc un ballast pour limiter le courant dans l'arc. Le spectre d'émission et l'IRC dépendent de la composition du gaz et s'améliorent avec l'augmentation de la pression. Plusieurs technologies ont donc été développées pour différentes applications.



Figure 3

- **Lampes à vapeur de sodium basse pression** Elles possèdent le meilleur rendement lumineux, mais leur rendu des couleurs est très mauvais puisque leur rayonnement est monochromatique d'une couleur orangée. Applications : éclairage d'autoroutes, tunnels.
- **Lampes à vapeur de sodium haute pression** Elles émettent une lumière de couleur blanche légèrement orangée. Applications : éclairage urbain, monuments.
- **Lampes à vapeur de mercure haute pression** La décharge est produite dans une ampoule en quartz ou en céramique à des pressions supérieures à 100 kPa. Ces lampes sont appelées « ballons fluorescents ». Elles émettent une lumière de couleur blanche bleutée caractéristique. **Applications : parkings, hypermarchés, entrepôts.**

- **Lampes à halogénures métalliques** Technologie la plus récente. Elles émettent une couleur ayant un spectre large. L'utilisation de tube en céramique permet une meilleure efficacité lumineuse et une meilleure stabilité des couleurs.

Applications : stades, commerces, projecteurs.

IV 2 3 4 Diodes électroluminescentes ou LED (Light Emitting Diodes)

Le principe des diodes électroluminescentes est l'émission de lumière par un semi-conducteur au passage d'un courant électrique. Les LED sont d'un usage courant dans de nombreuses applications, mais le développement récent de diodes de couleur blanche ou bleue à haut rendement lumineux ouvre de nouvelles perspectives, en particulier pour la signalisation (feux de circulation, panneaux de sécurité ou l'éclairage de secours). Le courant moyen dans une LED est de 20 mA, la chute de tension étant comprise entre 1,7 et 4,6 V suivant la couleur. Ces caractéristiques sont donc propices à une alimentation en très basse tension, en particulier par des batteries. L'alimentation par le réseau nécessite un convertisseur. L'avantage des LED est leur faible consommation d'énergie. Il en résulte une faible température de fonctionnement qui autorise une très longue durée de vie. Par contre, une diode élémentaire a une faible puissance lumineuse. Un éclairage puissant nécessite donc le raccordement d'un grand nombre d'unités en série. Ces diodes sont surtout employées lorsque la puissance disponible est faible..

IV 2 4 L'alimentation des lampes à incandescence

IV 2 4 1 Lampes à alimentation directe

- **Contraintes** En raison de la température très élevée du filament en cours de fonctionnement (jusqu'à 2500C), sa résistance varie dans de grandes proportions selon que la lampe est éteinte ou allumée. La résistance à froid étant faible, il en résulte une pointe de courant à l'allumage pouvant atteindre 10 à 15 fois le courant nominal pendant quelques millisecondes à quelques dizaines de millisecondes. Cette contrainte concerne aussi bien les lampes ordinaires que les lampes à halogène : elle impose de réduire le nombre maximal de lampes pouvant être alimentées par un même dispositif tel que télérupteur, contacteur modulaire ou relais pour canalisations préfabriquées.
 - **La variation de la luminosité** Elle peut être obtenue par variation de la tension appliquée à la lampe. Cette variation de tension est réalisée le plus souvent par un dispositif du type gradateur à triac dont on fait varier l'angle d'amorçage dans la période de la tension réseau.

IV 2 4.2 Lampes à halogène à très basse tension

- **Contraintes** Certaines lampes à halogène de faible puissance sont alimentées en TBT 12 ou 24 V, par l'intermédiaire d'un transformateur ou d'un convertisseur électronique
 - **Avec un transformateur**, lors de la mise sous tension, au phénomène de variation de résistance du filament s'ajoute donc le phénomène de magnétisation. Le courant d'appel peut atteindre 50 à 75 fois le courant nominal pendant quelques millisecondes. L'utilisation de gradateurs placés en amont réduit fortement cette contrainte.
 - **Les convertisseurs électroniques**, à puissance égale, sont d'un coût d'achat plus élevé que les solutions avec transformateur. Ce handicap commercial est compensé par une plus grande facilité d'installation car leur faible dissipation thermique les rend aptes à une fixation sur un support inflammable. De plus, ils disposent en général d'une protection

thermique intégrée. Ces appareils peuvent donc porter les marquages (CEI 60417 -1er Octobre 2000) :

- **La variation de la luminosité** Différentes solutions techniques sont possibles
 - Gradateur et transformateur,
 - Convertisseur électronique commandé par un signal 0-10 V extérieur,
 - Gradateur et convertisseur, cette solution permet de commander la luminosité de plusieurs lampes avec un même gradateur, mais il est important de bien vérifier la compatibilité entre le gradateur et les convertisseurs.

IV 2 4 3 L'alimentation des luminaires à ballasts magnétiques

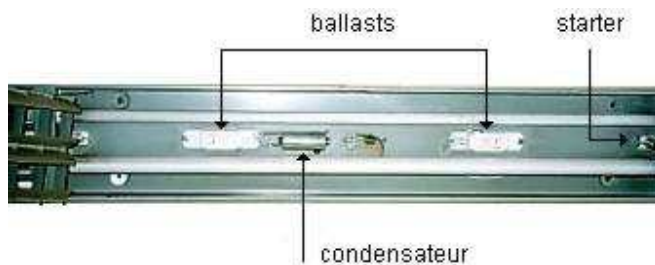


Figure 4

1 Le ballast magnétique

Les tubes fluorescents et les lampes à décharge nécessitent une limitation de l'intensité de l'arc, cette fonction est remplie par une **inductance** (ou ballast magnétique) placée en série avec l'ampoule elle-même (cf. **fig. 5**)



Fig. 5 : ballasts magnétiques.

Cette disposition est la plus utilisée dans les applications domestiques où le nombre de tubes est limité. Aucune contrainte particulière n'est appliquée aux interrupteurs. Les variateurs de lumière de type gradateur ne sont pas compatibles avec les ballasts magnétiques : l'annulation de la tension pendant une fraction de la période provoque l'interruption de la décharge et l'extinction totale de la lampe.

2 Le starter

La fonction du starter est double : assurer le préchauffage des électrodes du tube, puis générer une surtension pour l'amorçage du tube. Cette surtension est générée par l'ouverture d'un contact (commandée par un bilame) qui interrompt le courant circulant dans le ballast magnétique.

Pendant le fonctionnement du starter (environ 1 s), le courant absorbé par le luminaire est environ 2 fois le courant nominal.

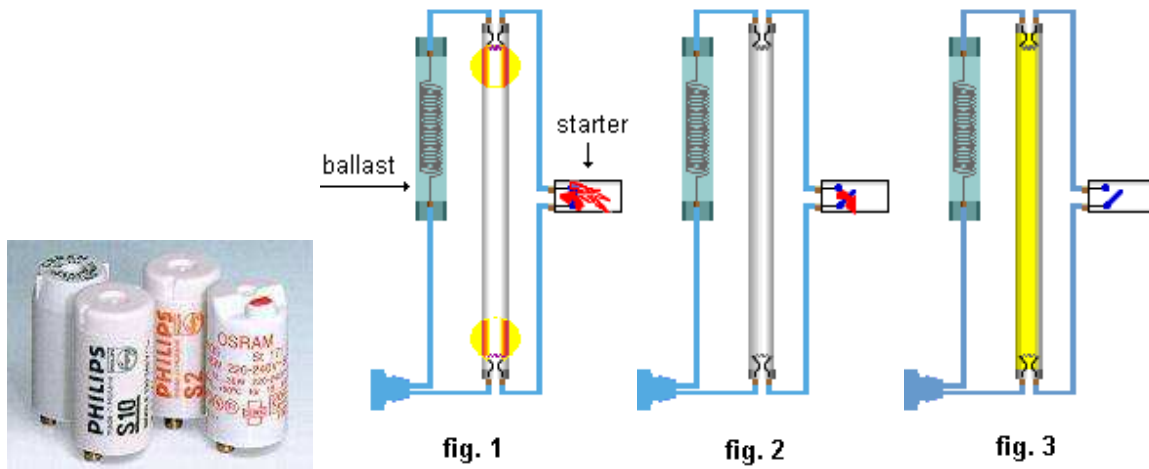


Figure 6

3 La compensation

Le courant absorbé par l'ensemble tube et ballast étant essentiellement inductif, le facteur de puissance est très faible (en moyenne entre 0,4 et 0,5). Dans les installations comportant un grand nombre de tubes, il est nécessaire de prévoir une compensation pour améliorer le facteur de puissance.



Figure 7

3a Les schémas possibles

Pour de grandes installations d'éclairage, une compensation centralisée avec des batteries de condensateurs peut être prévue, mais plus fréquemment cette compensation est réalisée au niveau de chaque luminaire selon différents schémas (cf. **fig. 8**).

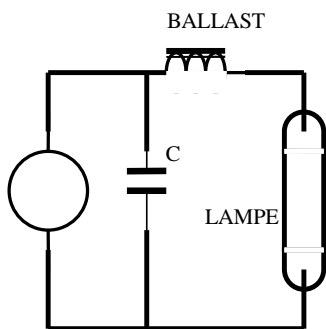


Schéma de compensation : montage Parallèle

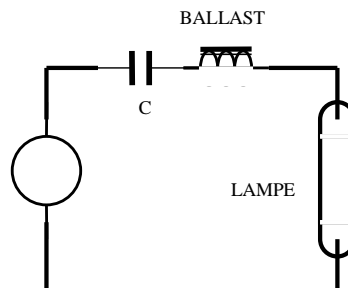


Schéma de compensation : montage SERIE

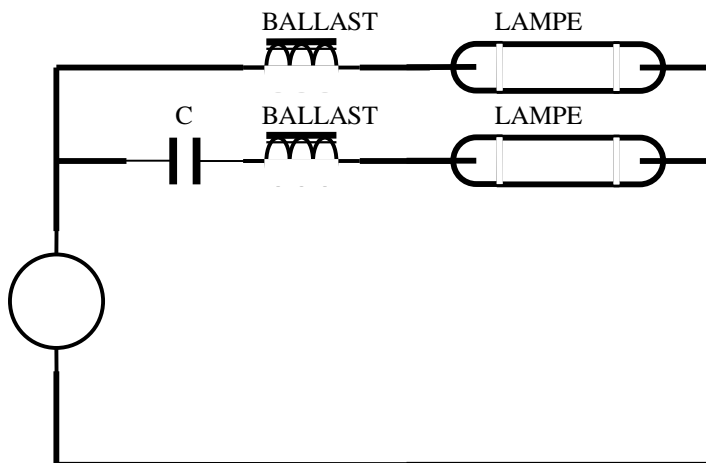


Schéma de compensation : montage DUO

Fig. 8 : les différents schémas de compensation : a] parallèle ; b] série ; c] dual série aussi nommé « duo » et leurs domaines d'utilisation.

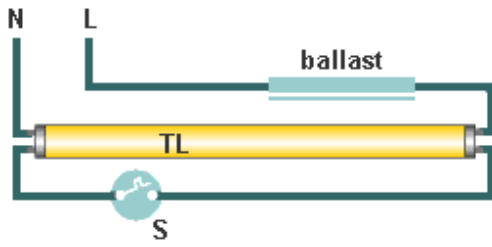
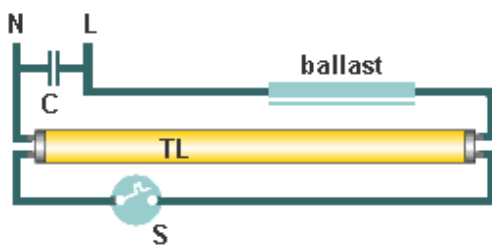
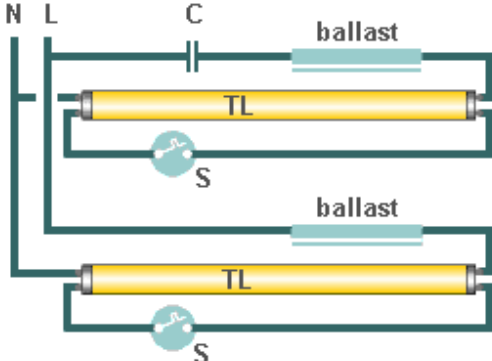
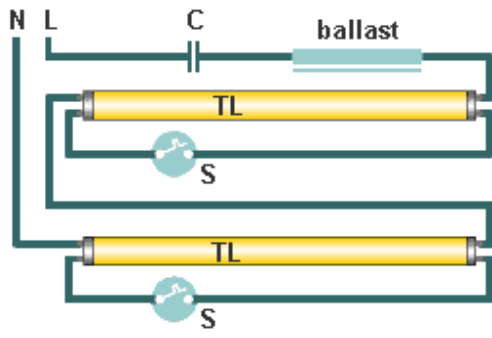
Les condensateurs de compensation sont alors dimensionnés de manière que le facteur de puissance global soit supérieur à 0,85. Dans le cas le plus fréquent, celui de la compensation parallèle, sa capacité est en moyenne de $1 \mu\text{F}$ pour 10 W de puissance active, pour tout type de lampe. Mais cette compensation est toutefois incompatible avec des variateurs de lumière de type gradateur.

3b Les contraintes la compensation

Le schéma de compensation parallèle apporte des contraintes à l'allumage de la lampe. Le condensateur étant initialement déchargé, la mise sous tension provoque une surintensité. Une surtension apparaît également, en raison des oscillations dans le circuit constitué du condensateur et de l'inductance de l'alimentation.

3c Exemples de raccordement interne d'un luminaire avec ballast électromagnétique

L'utilisation de ballasts électromagnétiques induit un [facteur de puissance](#) relativement bas ($\cos \varphi \cong 0,5$), ce qui en tarif Haute-Tension est pénalisé par le distributeur électrique. Il n'est donc pas rare de devoir ajouter des condensateurs soit en tête d'installation, soit au niveau des luminaires afin de compenser [l'effet inductif](#). On peut aussi insérer des [condensateurs](#) (d'une capacité double) dans 50 % des circuits de lampes pour compenser l'effet inductif total. Ceci permet d'économiser un condensateur sur deux.

. C = condensateur, S = starter, TL = tube fluorescent	
	<p>Circuit inductif à un tube $\cos \varphi = 0,5$ (inductif).</p>
	<p>Circuit compensé $\cos \varphi = 0,9$.</p>
	<p>Circuit de deux lampes (une capacitive et une inductive). Raccordement en parallèle $\cos \varphi = 0,95$.</p>
	<p>Circuit de deux lampes (circuit "duo"). Raccordement en série avec un seul ballast $\cos \varphi = 0,5$.</p>

IV 2 3 4 L'alimentation des luminaires à ballasts électroniques

Les ballasts électroniques sont utilisés en remplacement des ballasts magnétiques pour l'alimentation des tubes fluorescents (y compris les lampes fluo-compactes) et des lampes à décharge. Ils assurent également la fonction de « starter » et ne nécessitent pas de condensateur de compensation. Ils sont apparus au milieu des années 80.

4.1 Principe et caractéristiques

Le principe du ballast électronique (cf. **fig. 9**) consiste à alimenter l'arc de la lampe par un dispositif électronique générant une tension alternative de forme rectangulaire. On distingue les dispositifs à basse fréquence ou hybrides, dont la fréquence est comprise entre 50 et 500 Hz, et les dispositifs à haute fréquence dont la fréquence est comprise entre 20 et 60 kHz.

L'alimentation de l'arc par une tension à haute fréquence permet d'éliminer totalement le phénomène de papillotement et les effets stroboscopiques. Le ballast électronique est totalement silencieux. Au cours de la période de préchauffage d'une lampe à décharge, ce ballast fournit à la lampe une tension croissante, en imposant un courant quasiment constant. En régime permanent, il régule la tension appliquée à la lampe indépendamment des fluctuations de la tension réseau. L'arc étant alimenté dans des conditions optimales de tension, il en résulte une économie d'énergie de 5 à 10 % et une augmentation de la durée de vie de la lampe. Par ailleurs, le rendement d'un ballast électronique peut dépasser 93 %, alors que le rendement moyen d'un dispositif magnétique n'est que de 85 %. Le facteur de puissance est élevé ($> 0,9$).



Fig. 9 : ballast électronique

Le ballast électronique permet également d'assurer la fonction de variateur de lumière. La variation de la fréquence permet en effet de faire varier l'amplitude du courant dans l'arc et donc l'intensité lumineuse.

4.2 Schéma

Un ballast électronique comprend essentiellement un étage redresseur (avec éventuellement une correction du facteur de puissance

IV 2 3 5 Caractéristiques techniques et usages des dispositifs d'éclairage

5.1 Principales caractéristiques techniques

Technologie	Puissance (watt)	Rendement Lumen/Watt	Durée de vie (Heures)
Incandescence standard	3 -1000	10-15	1000-2000
Incandescence Halogène	5-500	15-25	2000-4000
Tube fluorescent	4-55	50-100	7500-25000
Lampe fluo-compacte	5-40	50-80	10000-20000
Vapeur de mercure HP	40-1000	25-55	16000-24000
Sodium haute pression	35-1000	40-140	16000-24000
Sodium basse pression	35-180	100-185	14000-18000
Halogénure métallique	30-2000	50-115	6000-20000
LED	0.05-0.1	10-30	40000-100000

Dans tous les cas, la durée de vie des lampes est réduite par des allumages fréquents, à l'exception des lampes fluo-compactes à induction et des LED.

5.2 Domaines d'emploi, avantages et inconvénients

Technologie	Utilisation	Avantages	Inconvénients
Incandescence standard	-Usage domestique -Eclairage localisé décoratif	-Branchement direct sans appareillage intermédiaire -Prix d'achat peu élevé -Faible encombrement - Allumage instantané - Bon rendu des couleurs	-Forte dissipation de chaleur -Faible durée de vie - Efficacité lumineuse consommation électrique - importante
Incandescence Halogène	Eclairage ponctuel - Eclairage intense	Allumage instantané Bon rendu des couleurs Branchement direct	Efficacité lumineuse moyenne
Tube fluorescent	Magasins,bureaux ateliers – Exterieurs	Efficacité lumineuse élevée rendu des couleurs moyen	Puissance lumineuse unitaire Sensible aux températures extrêmes
Lampe fluo-compacte	Usage domestique Bureaux – Remplacement des lampes à incandescence	Bonne efficacité lumineuse Bon rendu de couleurs	Investissement initial élevé par rapport aux lampes à incandescence
Vapeur de mercure HP	Ateliers, halls, hangars Cours d'usines	Efficacité lumineuse élevée Rendu de couleurs acceptable - Faible encombrement - Durée de vie élevée	Temps d'allumage et rallumage de quelques minutes
Sodium	Extérieurs -	Très bonne efficacité	Temps d'allumage et

haute pression	- Halls grandes dimensions	lumineuse	rallumage de quelques minutes
Sodium basse pression	Extérieurs Eclairage de sécurité	Bonne visibilité par temps brouillard Exploitation économique	Temps d'allumage long (5 min.) Rendu des couleurs médiocre -
Halogénure métallique	Grands espaces Halls de grande hauteur	Bonne efficacité lumineuse Bon rendu de couleurs Durée de vie élevée	Temps d'allumage et rallumage de quelques minutes
LED	Signalisation (feux tricolores, panneaux « sortie » et éclairage	Insensibles au nombre de commutations - Faible consommation d'énergie Basse température	Nombre limité de couleurs - Faible luminosité unitaire

IV 3 INSTALLATIONS D'ECLAIRAGE

IV 3 1 PRISE DE COURANT

1. Rôle du schéma

Disposer dans un local d'un certain nombre de points pour utiliser l'énergie électrique dans les récepteurs mobiles ou portables.

