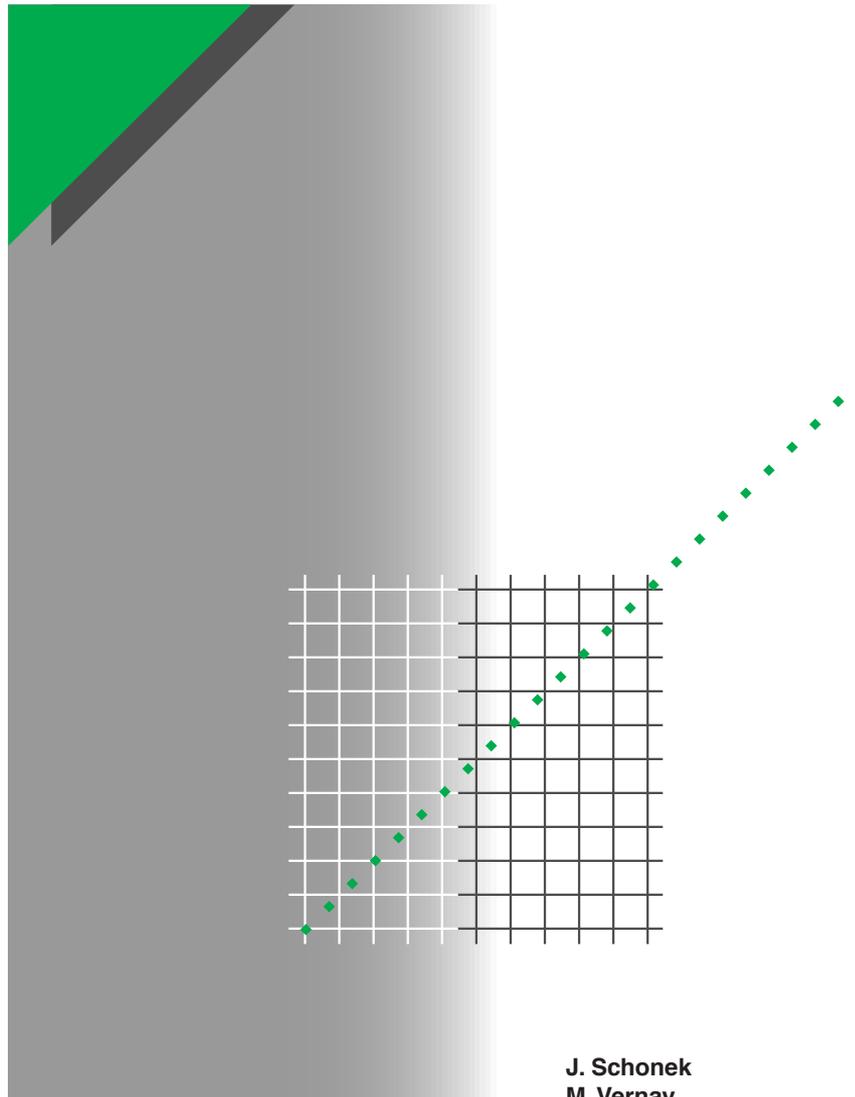


Cahier technique n° 205

L'alimentation des circuits d'éclairage



Merlin Gerin

Modicon

Square D

Telemecanique

J. Schonek
M. Vernay

Les Cahiers Techniques constituent une collection d'une centaine de titres édités à l'intention des ingénieurs et techniciens qui recherchent une information plus approfondie, complémentaire à celle des guides, catalogues et notices techniques.

Les Cahiers Techniques apportent des connaissances sur les nouvelles techniques et technologies électrotechniques et électroniques. Ils permettent également de mieux comprendre les phénomènes rencontrés dans les installations, les systèmes et les équipements.

Chaque Cahier Technique traite en profondeur un thème précis dans les domaines des réseaux électriques, protections, contrôle-commande et des automatismes industriels.

Les derniers ouvrages parus peuvent être téléchargés sur Internet à partir du site Schneider Electric.

Code : <http://www.schneider-electric.com>

Rubrique : **Le rendez-vous des experts**

Pour obtenir un Cahier Technique ou la liste des titres disponibles contactez votre agent Schneider Electric.

La collection des Cahiers Techniques s'insère dans la « Collection Technique » de Schneider Electric.

Avertissement

L'auteur dégage toute responsabilité consécutive à l'utilisation incorrecte des informations et schémas reproduits dans le présent ouvrage, et ne saurait être tenu responsable ni d'éventuelles erreurs ou omissions, ni de conséquences liées à la mise en œuvre des informations et schémas contenus dans cet ouvrage.

La reproduction de tout ou partie d'un Cahier Technique est autorisée après accord de la Direction Scientifique et Technique, avec la mention obligatoire : « Extrait du Cahier Technique Schneider Electric n° (à préciser) ».

n° 205

L'alimentation des circuits d'éclairage



Jacques SCHONEK

Ingénieur ENSEEIHT et Docteur-Ingénieur de l'Université de Toulouse, il a participé de 1980 à 1995 à la conception des variateurs de vitesse de la marque Telemecanique.

Il a été ensuite gérant de l'activité Filtrage d'Harmoniques. Il est actuellement responsable Applications et Réseaux Electrotechniques au sein du Bureau des Etudes Anticipation de la Division Basse Tension de Schneider Electric.



Marc VERNAY

Ingénieur du Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM) de Grenoble.

Dans la société Merlin Gerin, de 1991 à 1996 il a été responsable du projet « appareils de variation d'éclairage », il a ensuite assuré le support technique pour les applications d'éclairage.

Actuellement il est en charge de l'Anticipation Electronique pour les applications Basse Tension dans la division Distribution Electrique de Schneider Electric.

Lexique

**« Arc électrique »
et « Décharge lumineuse »**

Un arc électrique est une conduction gazeuse dans laquelle les porteurs de charge sont des électrons produits par une émission primaire (arrachés à la cathode).

Une décharge lumineuse est une conduction gazeuse dans laquelle les porteurs de charge sont des électrons produits par émission secondaire (arrachés aux atomes de gaz dans lequel se produit la décharge).

Condensateur de filtrage

Condensateur généralement placé à la sortie d'un circuit redresseur et destiné à réduire l'ondulation de la tension continue.

Condensateur d'antiparasitage

Condensateur de faible valeur (quelques dizaines de nF) placé aux bornes des circuits d'alimentation des appareils électroniques et destiné à les protéger contre les perturbations à haute fréquence véhiculées par le réseau.

Convertisseur

Dispositif destiné à modifier au moins une des caractéristiques de l'énergie électrique (tension, amplitude, fréquence).

Efficacité lumineuse (lm/W)

Quotient du flux lumineux émis par la puissance consommée (par la source).

Gradateur

Convertisseur destiné à faire varier l'amplitude d'une tension alternative au moyen d'un interrupteur électronique dont le temps de conduction est limité à une fraction de la période de cette tension.

Indice de rendu des couleurs -IRC-

Chiffre désigné par IRC ou Ra qui caractérise la capacité d'une source lumineuse à bien restituer les différentes couleurs du spectre visible d'un objet éclairé, sans perte ou coloration.

La Commission Internationale de l'Eclairage (C.I.E.) a défini un indice général de rendu des couleurs Ra dont la valeur maximale est 100.

K (degré Kelvin)

Unité de température de couleur, elle caractérise la couleur apparente d'une lumière. Cette grandeur n'est pas représentative de la température réelle de la source de cette lumière.

Luminaire

Appareil servant à répartir, filtrer ou transformer la lumière d'une ou plusieurs lampes. À l'exception des lampes, il regroupe les pièces de fixation, les circuits auxiliaires (starter et ballast) et les dispositifs de connexion au circuit d'alimentation.

Tube « fluorescent » et tube « néon »

Un tube « fluorescent » est une lampe constituée d'une ampoule revêtue intérieurement d'une couche de substance lumineuse et contenant un gaz (vapeur de mercure) ; la lumière qu'elle diffuse est émise par la couche lumineuse excitée par le rayonnement UV d'une décharge électrique.

Un « tube néon » est une lampe constituée d'une ampoule dans laquelle la lumière est produite par une décharge électrique traversant le gaz (mélange néon argon : 75/25) qu'elle contient. Les différentes couleurs de ces tubes, utilisés pour les enseignes lumineuses, sont obtenues par des dépôts de poudre à l'intérieur des ampoules ou par l'emploi de verre teinté dans la masse.

L'alimentation des circuits d'éclairage

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.

Sommaire

1 Les différentes technologies de lampes	1.1 La lumière artificielle	p. 4
	1.2 Lampes à incandescence	p. 4
	1.3 Lampes fluorescentes	p. 5
	1.4 Lampes à décharge	p. 6
	1.5 Diodes électroluminescentes ou LED (Light Emitting Diodes)	p. 6
	1.6 Lampes à usages spéciaux	p. 7
2 L'alimentation des lampes à incandescence	2.1 Lampes à alimentation directe	p. 8
	2.2 Lampes à halogène à très basse tension	p. 9
3 L'alimentation des luminaires à ballasts magnétiques	3.1 Le ballast magnétique	p. 10
	3.2 Le starter	p. 10
	3.3 La compensation	p. 10
	3.4 Une évolution technologique	p. 12
4 L'alimentation des luminaires à ballasts électroniques	4.1 Principe et caractéristiques	p. 13
	4.2 Schéma	p. 13
	4.3 Contraintes	p. 14
5 Caractéristiques techniques et usages des dispositifs d'éclairage	5.1 Principales caractéristiques techniques	p. 16
	5.2 Domaines d'emploi, avantages et inconvénients	p. 16
	5.3 Les différents modes d'alimentation	p. 17
6 Difficultés et recommandations	6.1 Contraintes liées aux dispositifs d'éclairage et recommandations	p. 18
	6.2 Sensibilité des dispositifs d'éclairage aux perturbations de tension du réseau	p. 20
	6.3 Choix de variateurs de lumière	p. 21
7 Conclusions : évolutions technologiques et exigences professionnelles	7.1 Evolutions des luminaires	p. 22
	7.2 Evolutions des appareils de commande et de protection	p. 22
	7.3 La nécessité d'une bonne adéquation	p. 22
Bibliographie		p. 23

1 Les différentes technologies de lampes

1.1 La 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.

1.2 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 :

■ Les ampoules standard

Elles comportent un filament de tungstène et elles sont remplies d'un gaz inerte (azote et argon ou krypton).

■ 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'œil (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 %.

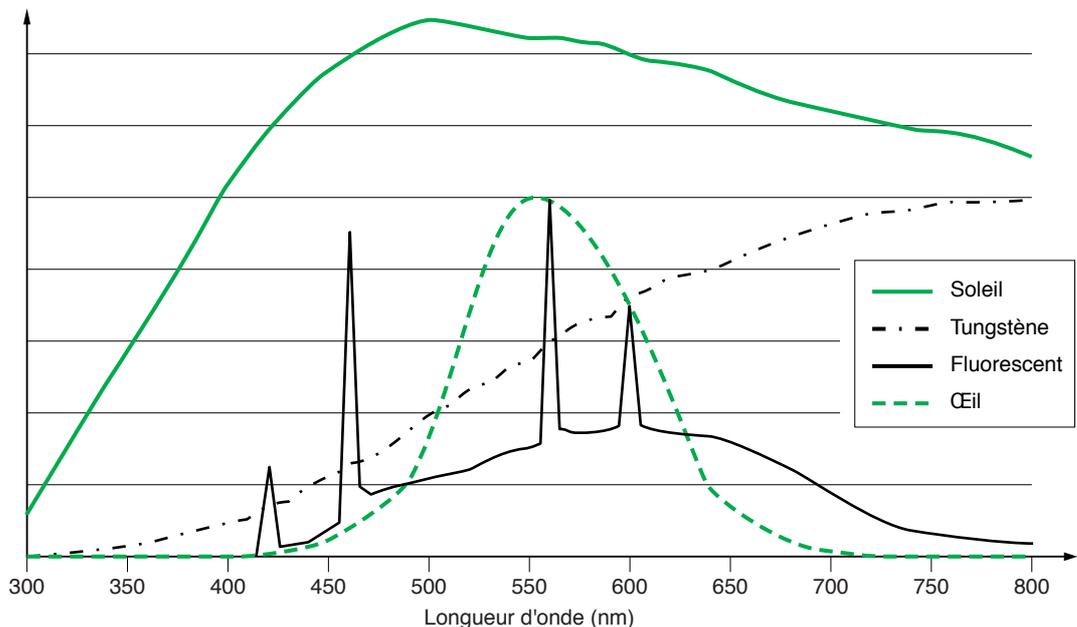


Fig. 1 : courbe de réponse de l'œil et spectres d'émission de différentes sources de lumière visible.
 Nota : le spectre des sources fluorescentes est différent selon le modèle de lampe.

1.3 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.

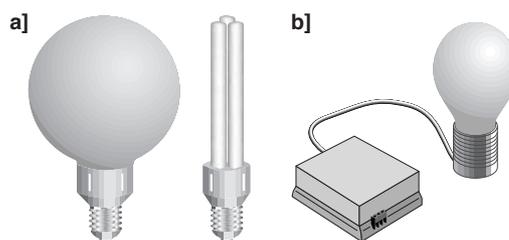


Fig. 2 : lampes fluo-compactes :
a] standard ; **b]** à induction.

1.4 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.

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



Fig. 3 : lampes à décharge.

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.

1.5 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.

1.6 Lampes à usages spéciaux

Les types de lampes cités dans ce sous-chapitre sont, à l'exception des deux dernières, d'un emploi unitaire. Dans tous les cas, leur alimentation électrique doit être étudiée selon les informations techniques spécifiques délivrées par leurs constructeurs.

Lampes à incandescence spéciales pour les feux tricolores

Leur durée de vie est augmentée et leur montage particulier leur permet de résister aux vibrations.

Lampes spéciales à vapeur de mercure

Elles émettent un faisceau homogène de lumière blanc-bleu destinée à la reprographie, la sérigraphie ou l'éclairage à effets en joaillerie.

Lampes émettant une lumière blanche avec un rayonnement autour de 655 nm

Elles sont destinées à accélérer la photosynthèse des plantes. Les applications sont, par exemple, les magasins de fleuristes, les halls d'entrée, les serres industrielles.

Lampes germicides

Elles émettent de l'ultraviolet dans la longueur d'onde 253,7 nm. Les applications sont la purification, la stérilisation de l'air, de l'eau et des instruments dans l'industrie pharmaceutique, les hôpitaux, les stations de traitement ou les laboratoires. Ces lampes émettent un rayonnement dangereux pour les yeux et la peau.

Lampes génératrices d'UVA

Elles sont utilisées pour le brunissement de la peau et la photothérapie.

Lampes à lumière noire

Elles génèrent une émission d'ultraviolets dans les grandes longueurs d'ondes ayant pour effet d'activer les pigments fluorescents. Les applications sont la recherche de défauts en industrie ou de faux (billets, tableaux...) ainsi que les spectacles.

Lampes aux halogènes spéciales

Utilisées pour la projection d'images (visionneuse, rétro-projection, lecture de microfiche), leur rayonnement calorifique vers le film est réduit de 60 % par rapport à une lampe classique.

Lampes adaptées à la projection pour les studios et théâtres

Leur température de couleur est de 3200° K. Leurs puissances peuvent atteindre 5000 W. Ces lampes ont une meilleure efficacité lumineuse et des flux lumineux plus importants mais une durée de vie réduite (12 h, 100 h, 500 h).

Lampes chauffantes

Elles génèrent un faisceau d'énergie calorifique en infrarouge court. Certains types sont destinés à l'élevage, d'autres au séchage et à la cuisson de peintures, au chauffage dans les processus industriels ou au chauffage de zone par rayonnement.

2 L'alimentation des lampes à incandescence

2.1 Lampes à alimentation directe

Contraintes

En raison de la température très élevée du filament en cours de fonctionnement (jusqu'à 2500° C), 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. La forme d'onde de la tension appliquée à la lampe est illustrée sur la **figure 4a**. Cette technique dite « à retard d'allumage » ou « cut-on control » convient à l'alimentation des circuits résistifs ou inductifs. Une autre technique qui convient à l'alimentation des circuits capacitifs est développée avec des

composants électroniques MOS ou IGBT. Elle réalise la variation de tension en bloquant le courant avant la fin de demi-période (cf. **fig. 4b**) aussi est-elle dénommée « à avance d'extinction » ou « cut-off control ».

Les dispositifs les plus récents exploitent ces deux techniques en s'adaptant automatiquement à la nature de leur charge.

La mise sous tension progressive de la lampe permet également de réduire, voire d'éliminer la pointe de courant à l'allumage.

Une autre technique est exploitée pour les préavis d'extinction des minuteriers. Ces dispositifs avertissent de l'extinction prochaine de l'éclairage par une réduction de l'intensité lumineuse de 50 % pendant quelques dizaines de secondes. Cette réduction de luminosité est obtenue en appliquant aux lampes une demi-alternance de tension, positive ou négative, par intervalles d'une seconde, à l'aide d'un dispositif à triac.

A noter que la variation de lumière :

- s'accompagne d'une modification de la température de couleur ;
- est préjudiciable à la durée de vie des lampes à halogène lorsqu'un faible niveau de tension est maintenu longtemps. En effet, le phénomène de régénération du filament est moins efficace lorsque la température du filament est plus faible.

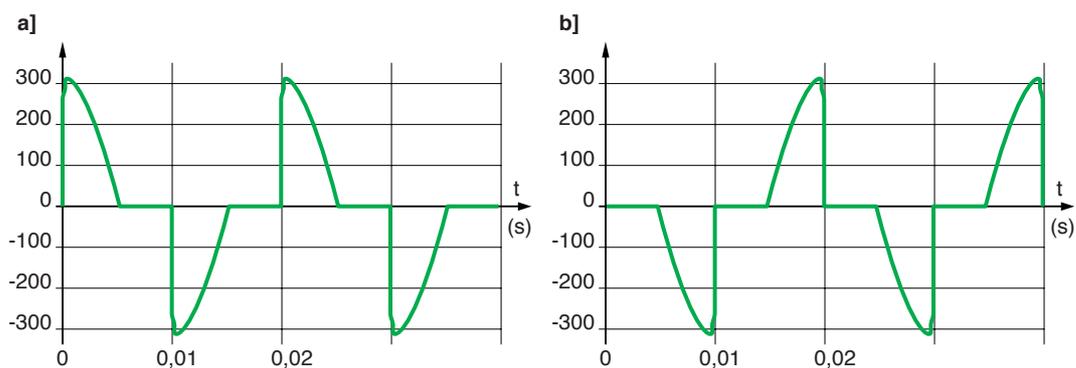


Fig. 4 : allure de la tension fournie par un variateur de lumière à 50 % de la tension maximale avec les techniques :

- a]** « à retard d'allumage » ou « cut-on control »,
b] « à avance d'extinction » ou « cut-off control ».

2.2 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 -1^{er} 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.

Evolution

Il existe maintenant de nouvelles lampes TBT à halogène avec un transformateur intégré dans leur culot. Elles peuvent être alimentées directement à partir du réseau BT et remplacer des lampes à incandescence normales sans aucune adaptation.

3 L'alimentation des luminaires à ballasts magnétiques

3.1 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**).

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.

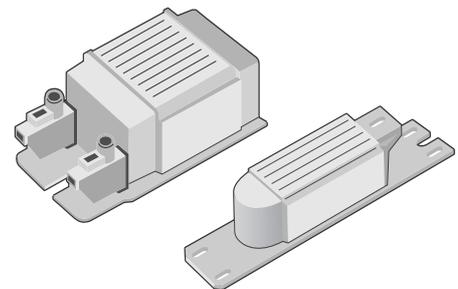


Fig. 5 : ballasts magnétiques.

3.2 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.

3.3 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.

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. 6**).

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 μF 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.

Les contraintes de 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. L'exemple suivant fixe des ordres de grandeur :

- Soit un ensemble de 50 tubes fluorescents de 36 W chacun :
- puissance active totale : 1800 W,
- puissance apparente : 2 kVA,
- courant efficace total : 9 A,
- courant crête : 13 A.

■ Avec :

- une capacité totale : $C = 175 \mu\text{F}$,
- une inductance de ligne (correspondant à un courant de court-circuit de 5 kA) : $L = 150 \mu\text{H}$.

Le courant crête maximal à la mise sous tension est égal à :

$$I_c = V_{\max} \sqrt{\frac{C}{L}} = 230 \sqrt{2} \sqrt{\frac{175 \cdot 10^{-6}}{150 \cdot 10^{-6}}} = 350 \text{ A}$$

La pointe de courant théorique à la mise sous tension peut donc atteindre 27 fois le courant crête en fonctionnement normal. L'allure de la tension et du courant à l'allumage est donnée sur la **figure 7** pour une fermeture de l'interrupteur à la crête de tension du réseau.

Il y a donc un risque de soudure des contacts des dispositifs électromécaniques de commande (télérupteur, contacteur, disjoncteur) ou de destruction des interrupteurs statiques à semi-conducteurs.

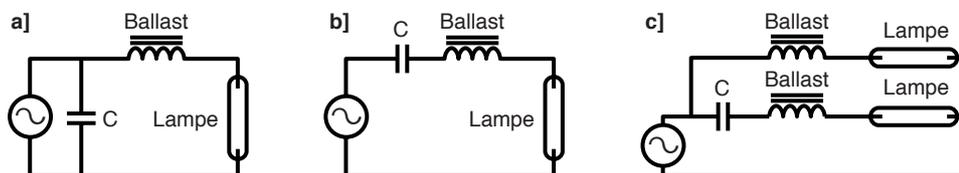


Schéma de compensation	Utilisation	Remarques
Sans compensation	Domestique	Montage unitaire
Parallèle [a]	Bureaux, ateliers, grandes surfaces	Risque de surintensités pour les appareils de commande
Série [b]		Choisir des condensateurs à tension de service élevée (450 à 480 V)
Duo [c]		Evite le scintillement

Fig. 6 : les différents schémas de compensation : **a]** parallèle ; **b]** série ; **c]** dual série aussi nommé « duo » et leurs domaines d'utilisation.

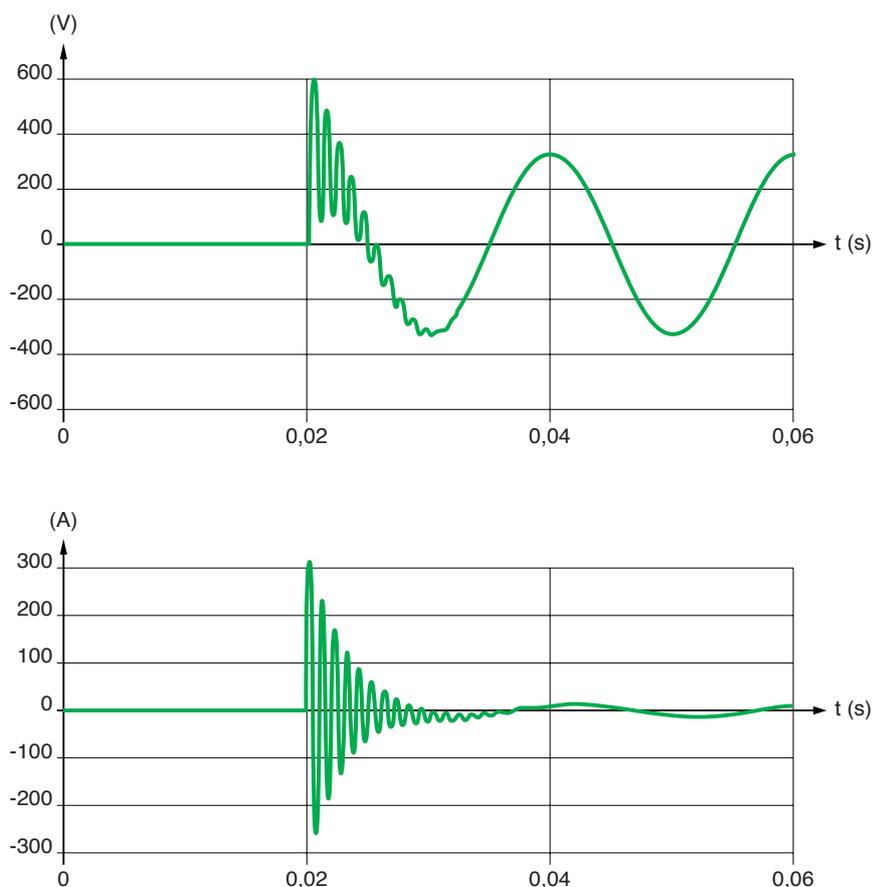


Fig. 7 : tension d'alimentation à la mise sous tension et courant d'appel.

Dans la réalité, les contraintes sont en général moins sévères, en raison de l'impédance des câbles. La norme CEI 60669-1 (Interrupteurs pour installations électriques fixes domestiques et analogues, prescriptions générales) précise les capacités à prendre en compte dans la conception des interrupteurs (pour un courant de court-circuit présumé I_{cc} de 3 kA) :

- calibre < 6 A : 70 μ F,
- calibre \geq 6 A : 140 μ F.

Contrainte particulière lors de l'allumage de plusieurs groupes de tubes fluorescents

Lorsqu'un groupe de tubes se trouve déjà allumé, les condensateurs de compensation de

ces tubes déjà sous tension participent au courant d'appel au moment de l'allumage d'un deuxième groupe de tubes : ils « amplifient » la pointe de courant dans l'interrupteur de commande au moment de l'allumage du second groupe.

Le tableau de la **figure 8**, issu de mesures, précise l'amplitude de la première pointe de courant, pour différentes valeurs de courant de court-circuit présumé I_{cc} . Il s'avère que la pointe de courant peut être multipliée par 2 ou 3, suivant le nombre de tubes déjà en service au moment de la connexion du dernier groupe de tubes.

Un allumage séquentiel par groupe de tubes est malgré tout recommandé pour réduire la pointe de courant dans l'interrupteur général.

Nombre de tubes déjà en service	Nombre de tubes connectés (second groupe)	Crête du courant d'appel (A)		
		$I_{cc} = 1500$ A	$I_{cc} = 3000$ A	$I_{cc} = 6000$ A
0	14	233	250	320
14	14	558	556	575
28	14	608	607	624
42	14	618	616	632

Fig. 8 : amplitude de la pointe de courant dans l'interrupteur de commande au moment de l'allumage d'un second groupe de tubes.

3.4 Une évolution technologique

Les ballasts magnétiques les plus récents sont dits « à faibles pertes ». Leur circuit magnétique a été optimisé, mais le principe de fonctionnement reste le même. Cette nouvelle génération de ballasts est amenée à se généraliser, sous l'influence de nouvelles réglementations (Directive Européenne, Energy Policy Act - USA).

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

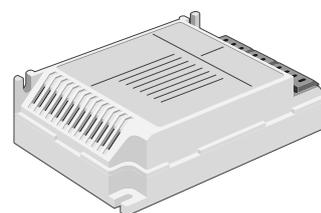


Fig. 9 : ballast électronique.

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).

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, Power Factor Correction -PFC-),

un condensateur de filtrage de la tension redressée, et un étage onduleur en demi-pont (cf. **fig. 10**). Son alimentation est également possible en courant continu.

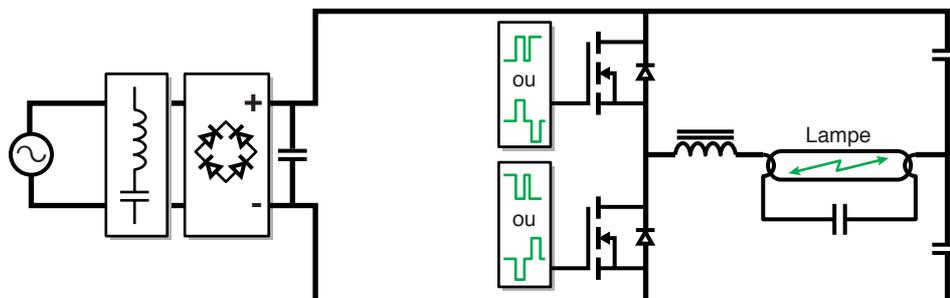


Fig. 10 : schéma de principe d'une lampe alimentée par un ballast électronique.

4.3 Contraintes

Courant d'appel

La principale contrainte apportée par les ballasts électroniques sur les réseaux est le fort courant d'appel à la mise sous tension lié à la charge initiale des condensateurs de filtrage (cf. **fig. 11**).

Technologie	Courant d'appel max.	Durée
Redresseur avec PFC	30 à 100 In	≤ 1 ms
Redresseur avec self	10 à 30 In	≤ 5 ms
Ballast magnétique	≤ 13 In	5 à 10 ms

Fig. 11 : ordres de grandeur des valeurs maximales de courants d'appel, suivant les technologies employées.

Dans la réalité, en raison des impédances de câblage, le courant d'appel pour un ensemble de lampes est bien inférieur à ces valeurs, de l'ordre de 5 à 10 In pendant moins de 5 ms. Contrairement aux ballasts magnétiques, ce courant d'appel n'est pas accompagné de surtension.

Courants harmoniques

Pour les ballasts associés aux lampes à décharge de forte puissance, le courant absorbé au réseau présente un faible taux de distorsion harmonique (< 20 % en général et < 10 % pour les dispositifs les plus évolués). Par contre, les dispositifs associés aux lampes de faible puissance, en particulier les lampes fluo-compactes, absorbent un courant très déformé (cf. **fig. 12**). Le taux de distorsion harmonique peut atteindre 150 %. Dans ces conditions, le courant efficace absorbé

au réseau vaut 1,8 fois le courant correspondant à la puissance active de la lampe, ce qui correspond à un facteur de puissance de 0,55.

Afin d'équilibrer la charge entre les différentes phases, les circuits d'éclairage sont en général connectés entre les phases et le neutre de manière équilibrée. Dans ces conditions, le fort taux d'harmoniques de rang 3 et multiples de 3 peut provoquer une surcharge du conducteur de neutre. La situation la plus défavorable conduit à un courant neutre pouvant atteindre $\sqrt{3}$ fois le courant dans chaque phase. Pour plus d'informations lire le Cahier Technique n° 202 « Les singularités de l'harmonique 3 ».

Des limites d'émission harmonique pour les systèmes d'éclairage sont fixées par la norme CEI 61000-3-2. Par exemple, pour les dispositifs de puissance supérieure à 25 W, le pourcentage d'harmonique 3 doit être inférieur à 30 % du courant fondamental.

Courants de fuite

Les ballasts électroniques disposent en général de capacités placées entre les conducteurs d'alimentation et la terre. Ces condensateurs d'antiparasitage sont responsables de la circulation d'un courant de fuite permanent de l'ordre de 0,5 à 1 mA par ballast. Ceci conduit à limiter le nombre de ballasts qu'il est possible d'alimenter par un Dispositif à courant Différentiel Résiduel (DDR). (Voir le Cahier Technique n° 114).

A la mise sous tension, la charge initiale de ces condensateurs peut provoquer également la circulation d'une pointe de courant dont l'amplitude peut atteindre quelques ampères pendant 10 μ s. Cette pointe de courant peut provoquer le déclenchement intempestif de dispositifs mal adaptés.

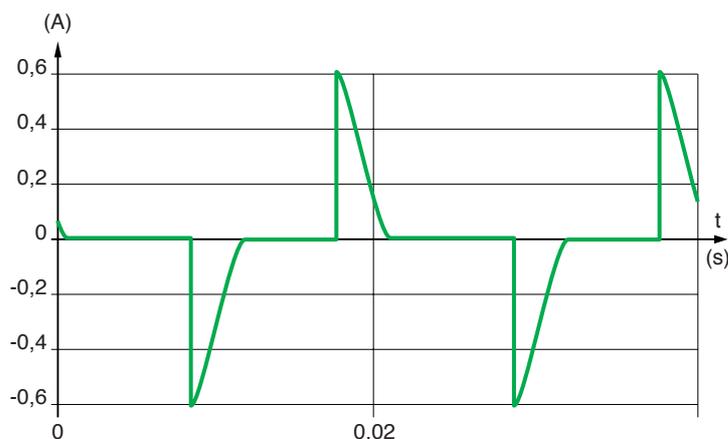


Fig. 12 : allure du courant absorbé par une lampe fluo-compacte.

Emissions haute fréquence

Les ballasts électroniques sont responsables d'émissions conduites et rayonnées à haute fréquence.

Les fronts de montée très raides appliqués aux conducteurs en sortie d'un ballast provoquent des impulsions de courant circulant dans les capacités parasites à la terre (cf. **fig. 13**). Il en résulte des courants parasites circulant dans le conducteur de terre et les conducteurs d'alimentation. En raison de la fréquence élevée de ces courants, il y a également un rayonnement électromagnétique. Pour limiter ces émissions HF la lampe doit être placée à proximité immédiate du ballast réduisant ainsi la longueur des conducteurs les plus rayonnants.

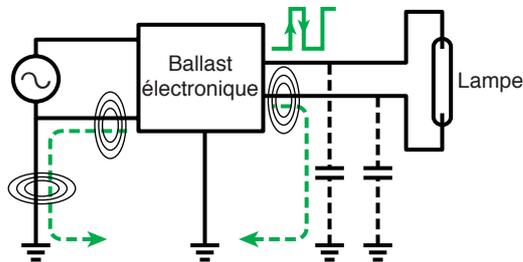


Fig. 13 : les boucles d'émissions Haute Fréquence liées à un ballast électronique.

Pour éviter que ces émissions conduites et rayonnées ne perturbent certains systèmes sensibles (dispositifs de communication à courants porteurs ou ondes radio), des filtres d'antiparasitage sont intégrés aux ballasts.

La conformité à la norme EN55015 impose des limites d'émission dans la bande 9 kHz - 30 MHz.

Variateurs de lumière pour ballasts électroniques

L'utilisation de ballasts électroniques rend possible la variation de luminosité des tubes fluorescents. Il existe plusieurs possibilités, suivant la technologie des ballasts :

- Ballast alimenté par un gradateur à variation de tension par angle de phase. Le courant fourni au tube est fonction de la tension appliquée à l'entrée du ballast.

- Ballast commandé par un signal extérieur de 0 à 10 V. Le ballast alimente alors le tube par une tension à fréquence variable qui permet de faire varier le courant et donc la luminosité émise. C'est la solution actuellement la plus employée (cf. **fig. 14**).

- Ballast commandé par un signal de commande numérique.

L'utilisation de variateurs permet également des économies d'énergie en réduisant l'éclairage à certaines heures et selon l'utilisation du local. Les ballasts électroniques sont incompatibles avec les minuteries à préavis d'extinction.

Remarque : en cas d'alimentation du ballast électronique par un interrupteur électronique, il existe un risque d'allumage intermittent des tubes fluorescents. En effet, un condensateur (0,1 à 0,2 μF) est généralement placé en parallèle sur l'interrupteur pour le protéger des surtensions transitoires. Il en résulte un courant de fuite pouvant déclencher l'allumage de manière intempestive. L'utilisation d'un circuit de pré-charge, permettant de dériver le courant de fuite, est obligatoire.



Fig. 14 : télévariateur pour ballast électronique (marque Merlin Gerin).

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 – 56	50 – 100	7 500 – 24 000
Lampe fluo-compacte	5 – 40	50 – 80	10 000 – 20 000
Vapeur de mercure HP	40 – 1000	25 – 55	16 000 – 24 000
Sodium haute pression	35 – 1000	40 – 140	16 000 – 24 000
Sodium basse pression	35 – 180	100 – 185	14 000 – 18 000
Halogénure métallique	30 – 2000	50 – 115	6 000 – 20 000
LED	0,05 – 0,1	10 – 30	40 000 – 100 000

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	- Efficacité lumineuse faible et consommation électrique importante - Forte dissipation de chaleur - Faible durée de vie
Incandescence halogène	- Eclairage ponctuel - Eclairage intense	- Branchement direct - Allumage instantané - Excellent rendu des couleurs	- Efficacité lumineuse moyenne
Tube fluorescent	- Magasins, bureaux, ateliers - Extérieurs	- Efficacité lumineuse élevée - Rendu de couleurs moyen	- Puissance lumineuse unitaire faible - 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	- Bonne efficacité lumineuse - Rendu de couleurs acceptable - Faible encombrement - Durée de vie élevée	- Temps d'allumage et rallumage de quelques minutes
Sodium haute pression	- Extérieurs - Halls grandes dimensions	- Très bonne efficacité lumineuse	- Temps d'allumage et rallumage de quelques minutes
Sodium basse pression	- Extérieurs - Eclairage de sécurité	- Bonne visibilité par temps de 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 de secours)	- Insensibles au nombre de commutations - Faible consommation d'énergie - Basse température	- Nombre limité de couleurs - Faible luminosité unitaire

5.3 Les différents modes d'alimentation

Technologie	Mode d'alimentation	Autre dispositif
Incandescence standard	Alimentation directe	Variateur de lumière type gradateur
Incandescence halogène		
Incandescence halogène TBT	Transformateur	Convertisseur électronique
Tube fluorescent	Ballast magnétique et starter	Ballast électronique Ballast + variateur électroniques
Lampe fluo compacte	Ballast électronique intégré	
Vapeur de mercure	Ballast magnétique	Ballast électronique
Sodium haute pression		
Sodium basse pression		
Halogénure métallique		

6 Difficultés et recommandations

6.1 Contraintes liées aux dispositifs d'éclairage et recommandations

Le courant réellement absorbé par les luminaires

■ Le risque

Cette caractéristique est la première à définir pour réaliser une installation, sinon il est fort probable que des protections de surcharge soient sollicitées et mettent fréquemment les utilisateurs dans le noir.

Il s'avère que leur détermination doit prendre en compte la consommation de tous les composants, notamment pour les éclairages fluorescents car la puissance consommée par les ballasts doit être ajoutée à celle des tubes et des ampoules.

■ La solution

Pour les éclairages fluorescents, il faut retenir qu'en l'absence de précision, la puissance des ballasts magnétiques peut être évalué à 25 % de celle des ampoules. Pour les ballasts électroniques, cette puissance est plus faible, de l'ordre de 5 à 10 %.

Pour les éclairages incandescents, il faut tenir compte que la tension du réseau peut être supérieure de 10 % à sa valeur nominale et alors provoquer une augmentation du courant absorbé.

C'est en fonction des puissances totales et du facteur de puissance, calculés pour chaque circuit, que seront alors définis les seuils des protections de surintensités.

Les surintensités à la mise sous tension

■ Le risque

Les appareils utilisés pour la commande et la protection des circuits d'éclairage sont du type relais, triac, télerupteurs, contacteurs ou disjoncteurs.

La principale contrainte appliquée à ces appareils est la pointe de courant à l'enclenchement, décrite dans les chapitres 3 et 4.

Cette pointe de courant dépend de la technologie des lampes utilisées mais aussi des caractéristiques de l'installation (puissance du transformateur d'alimentation, longueur des câbles, nombre de lampes) et de l'instant d'enclenchement dans la période de la tension réseau. Une pointe de courant élevée, même brève, peut provoquer la soudure des contacts d'un organe de commande électromécanique ou la destruction d'un dispositif statique à semi-conducteur.

■ Deux solutions

En raison du courant d'appel, la plupart des relais ordinaires sont incompatibles avec l'alimentation de dispositifs d'éclairage. Il est donc habituellement conseillé de :

□ Limiter le nombre de lampes à raccorder à un même appareil pour que leur puissance totale soit inférieure à la puissance maximale admissible par l'appareil.

□ Vérifier auprès des constructeurs les limites d'emploi des appareils qu'ils proposent. Cette précaution est particulièrement conseillée lors du remplacement de lampes à incandescence par des lampes fluo-compactes.

A titre d'exemple, le tableau de la **figure 15** indique le nombre maximal de tubes fluorescents compensés pouvant être commandés par différents dispositifs de calibre 16 A. On constate que le nombre de tubes commandés est bien inférieur au nombre correspondant à la puissance maximale des dispositifs.

Puissance unitaire des tubes (W)	Nombre de tubes correspondant à la puissance 16 A x 230 V	Nombre maximal de tubes pouvant être commandés par		
		Contacteurs GC16 A CT16 A	Télerupteurs TL16 A	Disjoncteurs C60-16 A
18	204	15	50	112
36	102	15	25	56
58	63	10	16	34

Fig. 15 : le nombre de tubes commandés est bien inférieur au nombre correspondant à la puissance maximale des dispositifs.

Ces limites d'emploi sont inévitables lorsqu'il s'agit d'intervenir sur une installation existante. Mais une technique existe pour limiter la pointe de courant à l'enclenchement des circuits à comportement capacitif (ballasts magnétiques à compensation parallèle et ballasts électroniques). Elle consiste à réaliser l'enclenchement à l'instant du passage par zéro de la tension réseau. Seuls des dispositifs statiques à semi-conducteurs offrent cette possibilité. Cette technique s'avère particulièrement intéressante pour concevoir de nouveaux circuits d'éclairage. Plus récemment ont été mis au point des dispositifs à technologie hybride associant interrupteur statique (enclenchement au passage par zéro de la tension) et contacteur électromécanique court-circuitant l'interrupteur statique (réduction des pertes dans les semi-conducteurs) (cf. **fig. 16**).

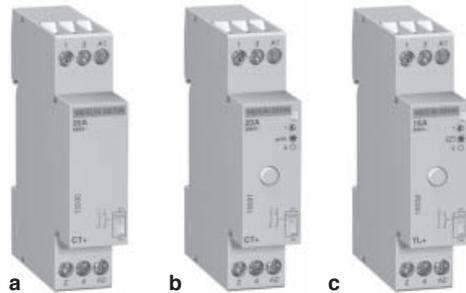


Fig. 16 : contacteur CT+ « standard » [a] ; contacteur CT+ avec commande manuelle, bouton poussoir pour sélection du mode de fonctionnement et voyant indiquant le mode de fonctionnement en cours [b] ; et télérupteur TL+ [c] de la marque Merlin Gerin.

La surcharge du conducteur de neutre

■ Le risque

Dans une installation comportant, par exemple, de nombreux tubes fluorescents à ballasts électroniques alimentés entre phases et neutre, le taux d'harmoniques de rang 3 et multiples de 3 peut provoquer une surcharge du conducteur de neutre.

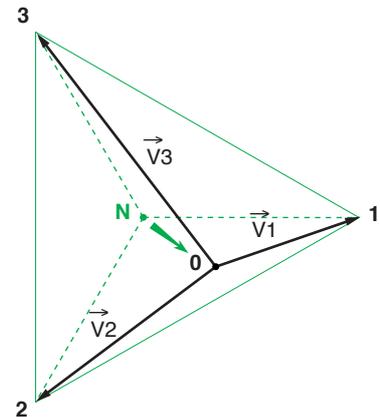
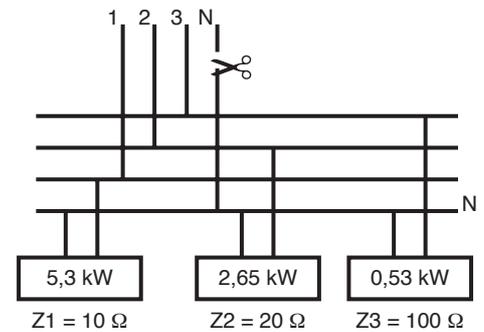
■ La solution

En premier lieu l'emploi de conducteur neutre de section réduite (moitié) est à proscrire. Les normes d'installation CEI 60364, section 523-5-3, et NF C 15-100 précisent sur ce point : « Si le conducteur neutre transporte du courant sans facteur de réduction correspondant à la charge des conducteurs de phase, le conducteur neutre doit être pris en compte pour le courant assigné du circuit. De tels courants peuvent être dus à des courants harmoniques significatifs dans les circuits triphasés. Si la valeur des harmoniques dépasse 10 %, le conducteur neutre ne doit pas présenter une section inférieure à celle des conducteurs de phase. »

En ce qui concerne les protections de surintensités, il est nécessaire de prévoir des disjoncteurs tétrapolaires à neutre protégé (excepté avec le schéma TN-C pour lequel le PEN, conducteur de protection et neutre confondus, ne doit pas être coupé).

Ce type d'appareil permet également la coupure omnipolaire nécessaire pour ne pas alimenter des luminaires sous la tension composée lors d'un défaut. En effet, comme le montre l'exemple de la **figure 17**, une telle coupure peut provoquer l'alimentation de certains récepteurs monophasés sous une tension nettement supérieure à leur tension nominale et entraîner leur destruction par effet thermique ou claquage lié à la surtension.

Un dispositif de coupure doit donc interrompre **simultanément** le circuit des phases et du neutre.



	Tensions (V) entre phases et neutre :	
	en service normal	après coupure du neutre
V1	230	150
V2	230	275
V3	230	375

Fig. 17 : conséquences d'une coupure du seul conducteur neutre dans une installation lorsque les charges monophasées sont peu équilibrées.

Les courants de fuite à la terre

■ Le risque

A la mise sous tension, les capacités à la terre des ballasts électroniques sont responsables de pointes de courant différentiel susceptibles de provoquer des déclenchements intempestifs des protections.

■ Deux solutions

L'utilisation de DDR immunisés contre ce type de courants impulsionnels est recommandée, voire indispensable, pour équiper une installation existante (cf. **fig. 18**).

Pour une nouvelle installation, il est pratique de prévoir des appareils de commande (contacteurs et télérupteurs) statiques ou hybrides qui réduisent ces courants impulsionnels (enclenchement au passage par zéro de la tension).

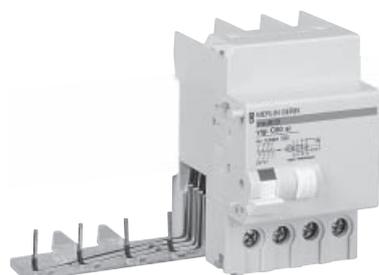


Fig. 18 : disjoncteurs différentiels s.i. immunisés contre les courants impulsionnels (marque Merlin Gerin).

Les perturbations HF

■ Le risque

Les émissions HF, conduites et rayonnées, peuvent perturber certains systèmes sensibles (dispositifs de communication à courants porteurs ou par ondes radio).

■ La solution

Il est aussi possible de réduire les émissions HF lors de l'installation : pour cela il est conseillé de placer la lampe à proximité immédiate du ballast, de manière à limiter la longueur des conducteurs soumis aux gradients de tension.

Les surtensions

■ Le risque

La mise sous tension d'un circuit d'éclairage provoque, comme nous l'avons illustré dans les chapitres précédents, un régime transitoire qui se manifeste par une surintensité importante. Cette surintensité s'accompagne d'une forte fluctuation de la tension appliquée aux bornes des charges raccordées au même circuit.

Ces fluctuations de tension peuvent être préjudiciables au bon fonctionnement de charges sensibles (micro-informatique, régulateurs de température...).

■ La solution

Il est recommandé de séparer l'alimentation de ces charges sensibles de l'alimentation des circuits d'éclairage.

6.2 Sensibilité des dispositifs d'éclairage aux perturbations de tension du réseau

Coupages brèves

■ Le risque

Les lampes à décharge nécessitent un temps de rallumage de l'ordre de quelques minutes après coupure de leur alimentation.

■ La solution

Un éclairage partiel à rallumage instantané (lampes à incandescence ou tubes fluorescents) doit être prévu si la sécurité l'exige. Son circuit d'alimentation est, selon les règlements en vigueur, en général distinct du circuit d'éclairage principal.

Fluctuations de tension

■ Le risque

La plupart des dispositifs d'éclairage (à l'exception des lampes alimentées par ballasts électroniques) sont sensibles aux fluctuations rapides de la tension d'alimentation. Ces fluctuations provoquent un phénomène de papillotement ou flicker qui nuit au confort des utilisateurs et peut même provoquer une gêne importante. Cette gêne est fonction de la fréquence des variations et de leur amplitude.

La norme CEI 61000-2-2 (« niveaux de compatibilité pour les perturbations conduites à basse fréquence ») précise l'amplitude maximale admissible des variations de tension en fonction du nombre de variations par seconde ou par minute.

Ces fluctuations de tension peuvent être provoquées par des charges fluctuantes de puissance élevée (fours à arcs, machines à souder, démarrage de moteurs) ou les signaux de télécommande (exemple : Pulsadis EDF, à 175 ou 188 Hz). Pour plus de détails, lire le Cahier Technique n° 176 : « Flicker ou scintillement des sources lumineuses ».

■ La solution

Des moyens spécifiques peuvent être mis en œuvre pour réduire les fluctuations de tension. Il est toutefois recommandé, dans la mesure du possible, d'alimenter les circuits d'éclairage par un réseau séparé.

L'utilisation de ballasts électroniques commandables en 1-10 V est préconisée pour les applications exigeantes (hôpitaux, salles blanches, salles de contrôle, salles informatiques...).

Tension élevée du réseau

■ Le risque

Une tension élevée du réseau est responsable de la réduction de la durée de vie des lampes à incandescence. Cette difficulté est rencontrée dans les zones où la régulation de tension prévue par le distributeur d'énergie est déficiente.

■ La solution

L'utilisation de variateurs est possible mais peu répandue. L'utilisation de lampes fluo-compactes est recommandée si l'installation le permet.

6.3 Choix de variateurs de lumière

La technologie des variateurs de lumière doit être adaptée à la technologie des lampes et des luminaires :

- lampes à incandescence : gradateurs à triac, variation de tension suivant l'angle d'amorçage,
- ballasts électroniques à tension variable : gradateurs à triac, variation de tension suivant l'angle d'amorçage (cette technologie tend à disparaître),
- ballasts électroniques commandables par signal 1-10 V,
- gradateurs à adaptation automatique aux transformateurs TBT ou aux convertisseurs électroniques.

Les variateurs de lumière alimentent progressivement les lampes à la mise sous tension, ils réduisent ainsi les courants d'appel importants. Leur utilisation évite donc tout déclassement des appareils de commande et de protection et le surdimensionnement des conducteurs.

Des précautions sont tout de même à prendre pour obtenir une bonne fiabilité des installations et notamment il faut veiller à ne pas imposer de surcharge aux dispositifs électroniques, par exemple en exploitant les informations des constructeurs d'appareillage (cf. **fig. 19**).

Type de lampe	Appareillage auxiliaire nécessaire	Télévariateur ou variateur -Merlin Gerin-	Plage de variation	Puissance unitaire maxi (W)	Dispositif de précharge
Incandescent ou halogène BT 230 V		TV700 TVe700 TVo1000 Vo1000	5 à 95%	700 500 1000 1000	
Halogène TBT 12/24 V	Transformateur ferromagnétique	TVe700 TVo1000 Vo1000		550 800 800	PTV1
	Transformateur électronique « universel »	TVe700 TVo1000 Vo1000		650 800 800	PTV1
	Transformateur électronique « standard »	TVe700		650	PTV1
Tube fluorescent standard (18, 36 ou 58 W)	Ballast ferromagnétique et starter	Pas de variation possible			
	Ballast électronique standard				
	Ballast électronique télécommandable 1-10 V	TVBo	Selon spécifications du ballast	1500	
Fluorescent compact	Ballast électronique intégré à la lampe	Pas de variation possible			

Nota :

Outre les limites présentées dans ce tableau, il est nécessaire de prévoir une réduction de 30 % de la puissance admissible dans les cas suivants :

- appareillage placé dans de petits coffrets non ventilés ou des armoires à forte densité d'appareillage de puissance (disjoncteurs, contacteurs, contacteurs statiques, télévariateurs...)
 - température ambiante du local susceptible d'être supérieure à 30° C.
- Pour réduire les contraintes thermiques sur les dispositifs électroniques modulaires il est préconisé de les séparer de leurs appareils voisins à forte dissipation, par des intercalaires.

Fig. 19 : données de constructeur pour le choix des variateurs de lumière (marque Merlin Gerin).

7 Conclusions : évolutions technologiques et exigences professionnelles

7.1 Evolutions des luminaires

Les principales évolutions technologiques à prévoir sont liées aux économies d'énergie, soutenues par des dispositions réglementaires (Directive Européenne et Energy Policy Act aux USA). Pour cette raison, les installations nouvelles sont équipées de lampes à haut rendement lumineux, alors que les installations anciennes font souvent l'objet de rénovation (« retrofit »).

Dans ces conditions, l'emploi de ballasts électroniques devrait progresser au détriment

des ballasts magnétiques. La préoccupation majeure des constructeurs de luminaires est maintenant de réduire les contraintes à l'enclenchement ainsi que les courants harmoniques, en particulier pour les lampes fluo-compactes.

Une tendance à la réduction voire à la suppression du mercure dans les lampes est aussi observable.

7.2 Evolutions des appareils de commande et de protection

L'utilisation de variateurs de lumière est de plus en plus fréquente. Les contraintes à l'allumage sont donc réduites et le déclassement des appareils de commande et de protection est moins important.

De nouveaux appareils de protections adaptés aux contraintes des circuits d'éclairage apparaissent, par exemple des disjoncteurs et

interrupteurs différentiels modulaires de la marque Merlin Gerin spécialement immunisés, tels les interrupteurs ID et les disjoncteurs Vigi de type **s.i.** De même les dispositifs de commande et de protection évoluent, certains permettent la télécommande, la gestion journalière, la régulation d'éclairage, la réduction de consommation...

7.3 La nécessité d'une bonne adéquation

Les constructeurs sont assujettis aux évolutions des normes des matériels nécessaires à la satisfaction de tous les utilisateurs de l'éclairage électrique. Mais la qualité et la continuité de service d'un éclairage dépendent pour beaucoup de l'adéquation entre les lampes et l'appareillage.

C'est pourquoi certains constructeurs, conscients des difficultés que peuvent rencontrer tous les professionnels des installations

électriques quant au choix des luminaires et des appareils de protection et de commande, proposent différents outils, par exemple Schneider Electric édite des guides de choix associés aux catalogues et ce Cahier Technique.

Ainsi, les concepteurs et les installateurs ont les moyens de réaliser des circuits d'éclairage apportant sécurité de service et confort d'exploitation.

Bibliographie

Normes « Produits » s'appliquant particulièrement aux dispositifs d'éclairage

La présentation des normes citées ci-après, sans être exhaustive, démontre l'importance prise par la normalisation dans ce domaine.

■ CEI 60570, NF EN 60570 : Systèmes d'alimentation électrique par rail pour luminaires.

■ CEI 60598, NF EN 60598 : Luminaires.
Partie 1 : Prescriptions générales et essais.
Partie 2 : Règles particulières dont, par exemple, parmi les 25 sections en application ou en projet :
Section 1 : Luminaires fixes à usage général,
Section 2 : Luminaires pour éclairage de secours,
Section 10 : Luminaires portatifs attirants pour les enfants.

■ CEI 60669, NF EN 60669 : Interrupteurs pour installations électriques fixes domestiques et analogues.

Partie 1 : Prescriptions générales.
Partie 2 : Prescriptions particulières dont :
Section 1 : Interrupteurs électroniques,
Section 2 : Interrupteurs à commande électromagnétique à distance (télérupteurs),
Section 3 : Prescriptions particulières - Interrupteurs temporisés (minuteries).

■ CEI 60730, NF EN 60730 : Dispositifs de commande électrique automatiques à usage domestique et analogue.

Partie 2-3 : Règles particulières pour les protecteurs thermiques des ballasts pour lampes tubulaires à fluorescence.

Partie 2-7 : Règles particulières pour les minuteries et les minuteries cycliques.

Partie 2-11 : Règles particulières pour les régulateurs d'énergie.

■ CEI 60742, NF EN 60742 : Transformateurs de séparation des circuits et transformateurs de sécurité - Règles.

■ CEI 60921, NF EN 60921 : Ballasts pour lampes tubulaires à fluorescence. Prescriptions de performances.

■ CEI 60927, NF EN 60927 : Appareils auxiliaires pour lampes - Dispositifs d'amorçage (autres que starters à lueur) - Prescriptions de performance.

■ CEI 60929, NF EN 60929 : Ballasts électroniques alimentés en courant alternatif pour lampes tubulaires à fluorescence - Prescriptions de performances.

■ CEI 60968, NF EN 60968 : Lampes à ballast intégré pour l'éclairage général - Prescriptions de sécurité.

■ CEI 60969, NF EN 60969 : Lampes à ballast intégré pour l'éclairage général - Prescriptions de performances.

■ CEI 61000, NF EN 61000 : Compatibilité électromagnétique (CEM).
Partie 2-2 : Environnement - Niveaux de compatibilité pour les perturbations conduites basse fréquence et la transmission de signaux sur les réseaux publics d'alimentation à basse tension.
Partie 3-2 : Limites - Limites pour les émissions de courant harmonique (courant appelé par les appareils ≤ 16 A par phase).

■ CEI 61347, NF EN 61347 : Appareillages de lampes.

Partie 1 : Prescriptions générales et prescriptions de sécurité.

Partie 2, sections 1 à 11 : Prescriptions particulières pour les dispositifs d'amorçage et les différents types de ballasts.

Normes « Produits » s'appliquant aux dispositifs de protection les plus employés pour les circuits d'éclairage

■ CEI 61009, NF EN 61009 : Disjoncteurs pour usages domestiques et analogues.

■ UTE C 60-130 : Dispositifs de protection à courant différentiel résiduel (dispositifs DR) pour installations de tension nominale au plus égale à 1000 V : Règles.

■ NF C 61-420 : Matériel d'installations domestiques et analogues. Interrupteurs automatiques de terre à différentiels et à déclencheurs à maximum de courant (disjoncteurs différentiels) généraux ou divisionnaires.

■ NF C 62-411 : Matériel de branchement et analogues, disjoncteurs différentiels pour tableaux de contrôle des installations de première catégorie.

Normes « Installation »

- CEI 60364, NF C 15-100 : installations électriques à basse tension.
- UTE C 15-559 : Installations électriques a basse tension - Guide pratique - Installation d'éclairage en tres basse tension.
- NF C 71-121 : Méthode simplifiée de prédétermination des éclairagements dans les espaces clos et classification correspondante des luminaires.
- NF X 35-103, ISO 8995 : Principes d'ergonomie visuelle applicables à l'éclairage des lieux de travail.
- NF EN 1837 « Eclairage intégré aux machines ».
- NF X 35-122-6, NF EN ISO 9241-6 « Exigences relatives à l'environnement » comprend des principes sur l'éclairage.
- PrEN 12464 « Eclairagisme - Eclairage des lieux de travail » (en préparation).

Cahiers Techniques Schneider Electric

- Les Dispositifs Différentiels Résiduels en BT.
R. CALVAS, Cahier Technique n° 114.
- Les schémas de liaisons à la terre en BT (régimes de neutre).
B. LACROIX et R. CALVAS,
Cahier Technique n° 172.
- Flicker ou scintillement des sources lumineuses.
R. WIERDA, Cahier Technique n° 176.
- Les singularités de l'harmonique 3.
J. SCHONEK, Cahier Technique n° 202.

Internet (<http://www.>)

- sdv.fr/aimt67/dossier/eclairage.html
L'éclairage des lieux de travail : notions de base
Site de l'Association Interentreprises de Médecine du Travail du Bas-Rhin –AIMT 67-.
- feder-eclairage.fr
Site du Syndicat de l'éclairage.
- inrs.fr/indexnosdoss.html
Les dossiers pour la conception des locaux de travail.
Site de l'Institut National de Recherche et de Sécurité.
- Pour les normes :
AFNOR <http://www.afnor.fr/>
CEI <http://www.iec.ch/home-f.htm>
CENELEC <http://www.cenelec.org/>
ISO <http://www.iso.ch/indexf.html>
UTE <http://www.ute-fr.com/>

Schneider Electric

Direction Scientifique et Technique,
Service Communication Technique
F-38050 Grenoble cedex 9
Télécopie : 33 (0)4 76 57 98 60
E-mail : fr-tech-com@mail.schneider.fr

Réalisation : AXESS - Valence (26).
Edition : Schneider Electric
Impression : Imprimerie du Pont de Claix - Claix - 1500.
- 20 € -