

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.

4.1 Les différentes technologies de lampes

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

L'incandescence 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 est le phénomène d'émission par la matière d'un rayonnement lumineux visible ou proche du visible. Un gaz (ou des vapeurs) soumis à une décharge électrique émet un rayonnement lumineux (électroluminescence des gaz). 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 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.

Lampes à incandescence

Les lampes à incandescence sont historiquement les plus anciennes 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.

Deux types de lampes existent :

- 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 de chaleur et donc leur faible rendement lumineux.

Tubes fluorescents

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

Le principe consiste à créer un arc à l'intérieur du tube, provoquant la collision d'électrons avec les ions de vapeur de mercure. Cette collision provoque l'émission d'un rayonnement ultraviolet. Sous l'action de ce rayonnement, le matériau fluorescent couvrant l'intérieur du tube émet de la lumière visible.

Les tubes fluorescents dissipent moins de chaleur et ont une durée de vie plus longue que les lampes à incandescence. Ils nécessitent par contre l'emploi d'un dispositif d'allumage appelé "starter" et d'un dispositif de limitation du courant de l'arc après allumage, appelé "ballast". Ce dispositif est en général une inductance placée en série avec l'arc.

Le principe des Lampes fluorescentes compactes 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 (cf. **Fig. N35**) 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.

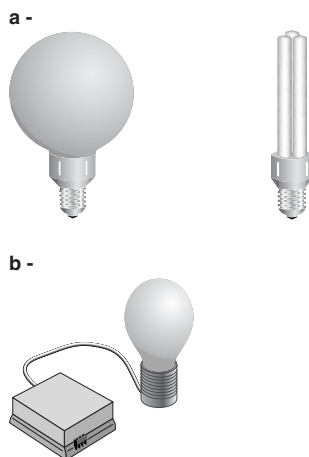


Fig. N35 : Lampes fluorescentes compactes [a] standard, [b] à induction

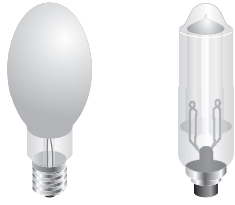


Fig. N36 : Lampes à décharge.

Les lampes dites « à induction » ou « sans électrodes » 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.

Lampes à décharge (cf. Fig. N36)

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 nécessitent donc un ballast pour limiter le courant dans l'arc. Plusieurs technologies ont donc été développées pour différentes applications.

Les lampes à vapeur de sodium basse pression possèdent le meilleur rendement lumineux, mais leur rendu des couleurs est très mauvais puisque leur rayonnement est monochromatique d'une couleur orangée.

Les lampes à vapeur de sodium haute-pression émettent une lumière de couleur blanche légèrement orangée.

Les lampes à vapeur de mercure haute-pression sont aussi appelées « ballons fluorescents ». Elles émettent une lumière de couleur blanche bleutée caractéristique.

La décharge est produite dans une ampoule en quartz ou en céramique à des pressions supérieures à 100 kPa.

Les lampes à halogénures métalliques sont de technologie 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.

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 - Faible durée de vie - Forte dissipation de chaleur
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	- 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 de 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 : 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")	- Insensibles au nombre de commutations - Faible consommation d'énergie - Basse température	- Nombre de couleurs limité - Faible luminosité unitaire

N30

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	7500 – 24000
Lampe fluo compacte	5 – 40	50 – 80	10000 – 20000
Vapeur de mercure	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

Fig. N37 : Utilisation et technologies des dispositifs d'éclairage

4 Les circuits d'éclairage

Diodes Electroluminescentes (Light Emitting Diodes, LED)

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.

Les LED sont des dispositifs à très basse tension ayant une très basse consommation: ils 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 et parallèle.

4.2 Caractéristiques électriques des lampes

Lampes à incandescence à alimentation directe

En raison de la température très élevée du filament en cours de fonctionnement (jusqu'à 2500 °C), sa résistance varie dans de grandes proportions suivant 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 ms à quelques dizaines de ms.

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.

Lampes à halogène à très basse tension

■ 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. Lors de la mise sous tension, au phénomène de variation de résistance du filament, s'ajoute le phénomène de magnétisation du transformateur. Le courant d'appel peut atteindre 50 à 75 fois le courant nominal pendant quelques ms. L'utilisation d'un gradateur placé sur l'alimentation réduit significativement 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.

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.

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 N38a**. 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. N38b**) aussi est-elle dénommée « à avance d'extinction » ou « cut-off control ».

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

Comme le courant dans la lampe est découpé par l'électronique de commande, le taux de distorsion en courant est élevé et donc des courants harmoniques circulent sur le réseau.

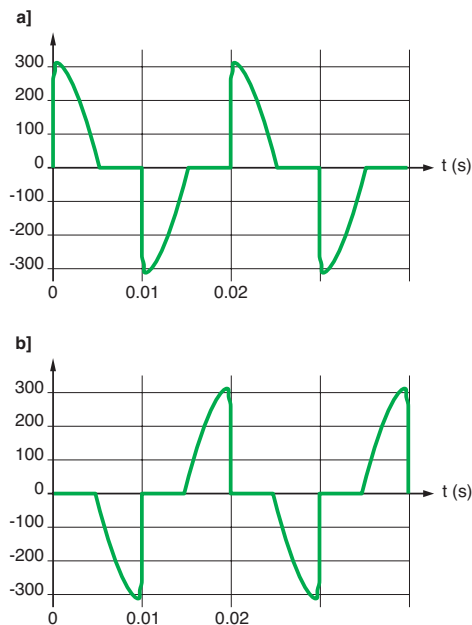


Fig. N38 : Allure de la tension fournie par un variateur de lumière à 50 % de la tension maximale avec les techniques :
a) « à retard d'allumage » ou « cut-on control »,
b) « à avance d'extinction » ou « cut-off control ».

N31

Le courant harmonique 3 est prépondérant; la **Figure N39** représente le pourcentage de courant d'harmonique 3 par rapport au courant fondamental (en fonction de la puissance).

Il est à noter qu'en pratique la puissance fournie à la lampe au moyen d'un gradateur peut varier dans une plage de 15 % à 85 % de la puissance maximale de la lampe. Conformément à la norme CEI 61000-3-2 (NF EN 61000-3-2) définissant les limites pour les émissions de courant harmonique des appareils électriques ou électroniques dont le courant est ≤ 16 A par phase, les dispositions suivantes s'appliquent :

- pour les gradateurs autonomes d'alimentation de lampes à incandescence, ayant une puissance nominale ≤ 1 kW, aucune limite n'est imposée,
- dans les autres cas, ou pour des appareils d'éclairage à lampe à incandescence et avec un gradateur intégré ou un gradateur dans une enveloppe, l'intensité maximale de courant d'harmonique 3 permise est 2,3 A.

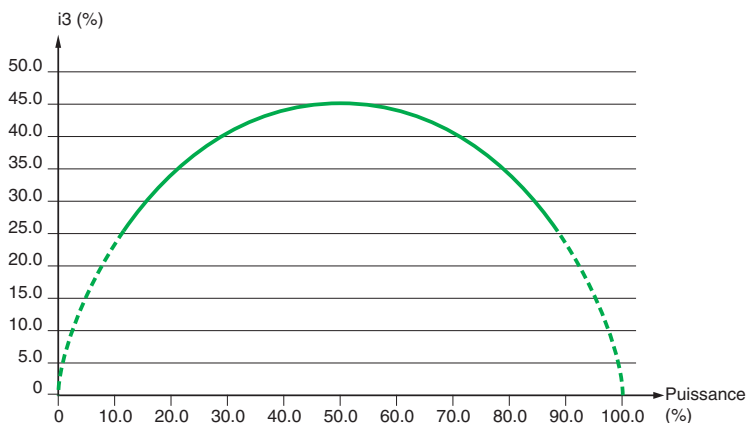


Fig. N39 : Pourcentage d'harmonique 3 du courant en fonction de la puissance fournie à une lampe à incandescence au moyen d'un gradateur électronique

N32

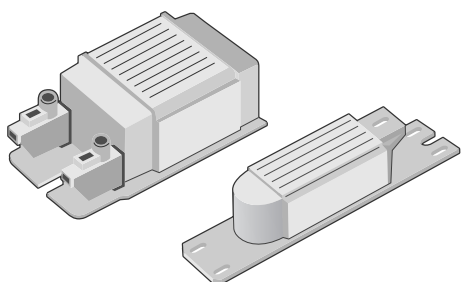


Fig. N40 : Ballasts magnétiques

Tubes fluorescents à ballast magnétique

Les tubes fluorescents et les lampes à décharge nécessitent l'emploi d'un circuit de limitation de l'intensité de l'arc. La technologie la plus couramment utilisée est le ballast magnétique qui est une inductance placée en série avec l'ampoule elle-même (cf. **Fig. N40**).

Cette disposition est la plus couramment utilisée dans les applications domestiques où le nombre de tubes est limité. Aucune contrainte particulière n'est appliquée aux interrupteurs.

Les gradateurs ne sont pas compatibles avec les ballasts magnétiques : l'annulation de la tension pendant une fraction de période interrompt la décharge et, de ce fait, éteint complètement la lampe.

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

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

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 mettre en œuvre un dispositif de compensation pour améliorer le facteur de puissance. Pour une installation d'éclairage importante, une compensation avec une batterie de condensateurs est une solution possible, mais le plus souvent cette compensation est intégrée au niveau de chaque luminaire suivant différents schémas (cf. **Fig. N41** page suivante).

Un condensateur de compensation est dimensionné pour que le facteur de puissance global soit supérieur à 0,85. Dans le cas le plus fréquent de la compensation parallèle: en moyenne, sa capacité est de 1 μ F pour 10 W de puissance active, pour tout type de lampe. Cette disposition ne permet pas le fonctionnement des variateurs de lumière de type gradateur.

4 Les circuits d'éclairage

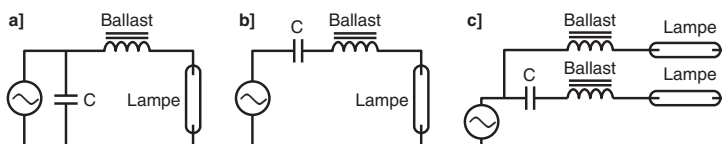


Schéma de compensation	Application	Caractéristiques
Sans	Domestique	Montage unitaire
Parallèle	Bureaux, ateliers, grandes surfaces	Contraintes sur les interrupteurs
Série		Condensateur de tension de service élevée (450 – 480 V)
Duo		Évite le scintillement

Fig. N41 : Les différents schémas de compensation a) parallèle ; b) série ; c) dual série aussi appelé « duo » et leurs champs d'application

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 permet de fixer des ordres de grandeur.

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 :

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

Courant crête maximal à la mise sous tension :

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

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 N42**.

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.

Dans la réalité, les contraintes sont en général moins sévères, en raison de l'impédance des câbles.

N33

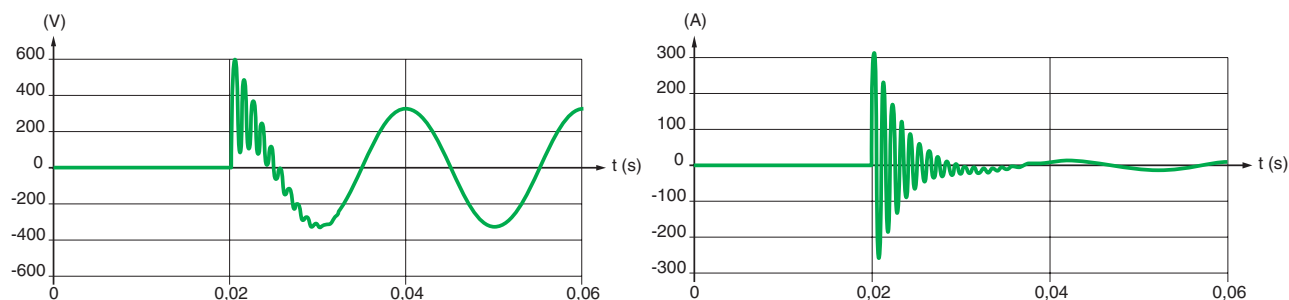


Fig. N42 : Tension d'alimentation à la mise sous tension et courant d'appel

L'allumage de plusieurs groupes de tubes fluorescents crée des contraintes particulières. 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 N43**, issu de mesures, précise l'amplitude de la première pointe de courant, pour différentes valeurs de courant de court-circuit présumé I_{cc} . 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 :

Nombre de tubes déjà en service	Nombre de tubes connectés	Crête de courant d'appel (A)		
		$I_{cc} = 1,500 \text{ A}$	$I_{cc} = 3,000 \text{ A}$	$I_{cc} = 6,000 \text{ A}$
0	14	233	250	320
14	14	558	556	575
28	14	608	607	624
42	14	618	616	632

Fig. N43 : Amplitude de la première pointe de courant

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

Les ballasts magnétiques les plus récents sont dits "à faibles pertes". Le 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 documents réglementaires (Directive Européenne, Energy Policy Act – USA).

Dans ces conditions, l'utilisation de ballasts électroniques est susceptible de se développer, au détriment des ballasts magnétiques.

Tubes fluorescents à ballast électronique

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 capacité de compensation.

Le principe du ballast électronique consiste à alimenter l'arc de la lampe par un dispositif électronique générant une tension alternative de forme rectangulaire (cf. **Fig. N44**) avec une fréquence 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, le ballast fournit à la lampe une tension croissante, en imposant un courant quasiment constant. En régime permanent, la tension appliquée à la lampe est régulée, et indépendante des fluctuations de la tension réseau.

L'arc étant alimenté dans des conditions optimales de tension, il en résulte un gain en énergie de 5 à 10 % et une durée de vie de la lampe accrue. 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 (> 90 %).

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.

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, liée à la charge initiale des condensateurs de filtrage (cf. **Fig. N45**).

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. N45 : Ordres de grandeur des valeurs maximales de courants d'appel, suivant les technologies employées

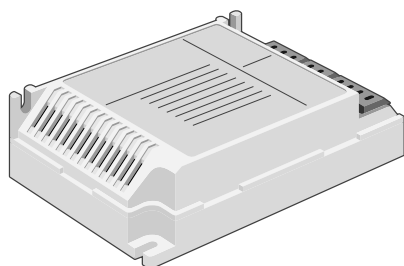


Fig. N44 : Ballast électronique.

4 Les circuits d'éclairage

Dans la réalité, les courants d'appel pour un ensemble de lampes est bien inférieur à ces valeurs, en raison des impédances de câblage. Ordre de grandeur : 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. N46**). 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.

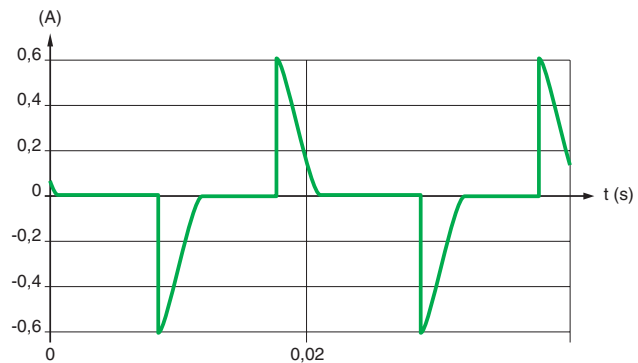


Fig. N46 : Forme de l'onde de courant absorbé par une lampe fluo-compacte

Afin d'équilibrer la charge entre les différentes phases, les circuits d'éclairage sont en général connectés entre phases et 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.

Les limites d'émission d'harmoniques pour les systèmes électriques et électroniques sont définies dans la norme CEI 61000-3-2. Pour simplifier, les limites pour les appareils d'éclairage sont indiquées dans le tableau de la **Figure N47** uniquement pour les harmoniques de rang 3 et 5 qui sont les plus prépondérantes.

Rang harmonique	Puissance active d'entrée > 25W	Puissance active d'entrée ≤ 25W une de ces 2 limites s'applique :	
	% du courant fondamental	% du courant fondamental	Courant harmonique par rapport à la puissance active
3	30	86	3,4 mA/W
5	10	61	1,9 mA/W

Fig. N47 : Courant harmonique maximal toléré

Courants de fuite

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

A la mise sous tension, la charge initiale des 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.

N35

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 de ballast provoquent des impulsions de courants circulant dans les capacités parasites à la terre. 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 rayonnement électromagnétique.

Pour limiter les émissions à haute fréquence, la lampe doit toujours se trouver à proximité immédiate du ballast, de manière à limiter la longueur des conducteurs soumis aux gradients de tension.

Le tableau de la **Figure N48** indique les différents modes d'alimentation.

Technologie	Standard	Autre
Incandescence standard	Alimentation directe	Variateur de lumière type gradateur
Incandescence halogène		
Incandescence halogène TBT	Transformateur	Convertisseur électronique
Tube fluorescent	Ballast magnétique	■ 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		

Fig. N48 : Différents modes d'alimentation

4.3 Les contraintes relatives aux appareils d'éclairage et les recommandations

Le courant réellement appelé par les appareils d'éclairage

Le risque

Cette caractéristique est la première qui doit être déterminée à la conception d'une installation, sinon il est hautement probable que les dispositifs de protection contre les surintensités déclencheront et les utilisateurs se retrouveront de ce fait tous dans le noir.

Il est évident que, pour leur détermination, la consommation de tous les composants doit être prise en compte, en particulier pour les installations d'éclairage à lampes fluorescentes. Pour ce type d'éclairage, la puissance consommée par les ballasts doit être ajoutée à celle des tubes et des lampes.

La solution

Pour l'éclairage à lampes à incandescence, il faut se rappeler que la tension d'alimentation des lampes peut être supérieure de 10 % à leur tension nominale, ce qui cause une augmentation du courant consommé.

Pour l'éclairage à lampes fluorescentes, hormis spécifications contraires, la puissance des ballasts magnétiques peut être estimée à 25 % de celles des ampoules. Pour des ballasts électroniques, la puissance est de l'ordre de 5 à 10 % plus faible.

Les seuils de réglage des dispositifs de protection contre les surintensités doivent donc être calculés en fonction :

- de la consommation totale (lampes et ballasts), de la surconsommation éventuelle liée à la tension d'alimentation haute,
- du facteur de puissance.

N36

4 Les circuits d'éclairage

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, télérupteurs, contacteurs ou disjoncteurs.

La principale contrainte appliquée à ces appareils est la pointe de courant à l'enclenchement. 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-conducteurs.

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 N49** 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	Télérupteurs TL16 A	Disjoncteurs C60-16 A
18	204	15	50	112
36	102	15	25	56
58	63	10	16	34

Fig. N49 : Le nombre de tubes commandés est bien inférieur au nombre correspondant à la puissance maximale des dispositifs

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 (cf. **Fig. N50a**). 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. N50b**).

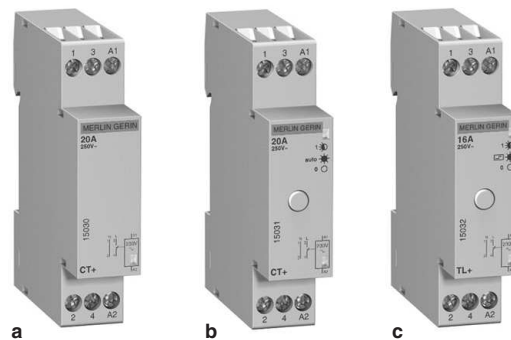


Fig. N50 : Contacteur CT+ « standard » [a], contacteur CT+ avec commande manuelle, bouton poussoir pour sélection du mode de fonctionnement et voyant indiquant le mode de fonctionnement en cours [b] ; et télérupteur TL+ [c] de la marque Schneider Electric

N37

Les différences technologiques entre les contacteurs modulaires et les télérupteurs font que les télérupteurs sont mieux adaptés pour la commande de luminaires à très fort courant d'appel, ou à faible facteur de puissance (circuit inductif non compensé).

Choix du calibre du télérupteur ou du contacteur suivant le type de lampe

La Figure 51 ci dessous indique le nombre maximal de luminaires commandés par télérupteur ou contacteur suivant le type, la puissance et la configuration d'une lampe donnée. A titre indicatif, la puissance totale conseillée est aussi mentionnée. Ces valeurs sont données pour un circuit 230 V à 2 conducteurs actifs (circuit monophasé phase neutre ou phase phase). Pour les circuits 110 V, les valeurs du tableau sont à diviser par 2. Afin d'obtenir les valeurs équivalentes pour un circuit 230 V triphasé, le nombre de lampes et la puissance totale conseillée sont à multiplier par :

- par $\sqrt{3}$ (1,73) pour des circuits triphasés sans neutre,
- par 3 pour des circuits triphasés avec neutre.

Note : Les calibres de lampes les plus courantes sont indiquées en gras.

Type de lampe	Puissance unitaire et capacité du condensateur de compensation du facteur de puissance		Nombre maximal de luminaires pour un circuit monophasé et puissance maximale de sortie par circuit											
			Télérupteur TL		Contacteur CT									
			16 A	32 A	16 A	25 A	40 A	63 A						
Lampes à incandescence classiques														
Lampes halogène BT														
Lampes de remplacement à vapeur de mercure (sans ballast)														
	40 W		40	1500 W	106	4000 W	38	1550 W	57	2300 W	115	4600 W	172	6900 W
	60 W		25	à	66	à	30	à	45	à	85	à	125	à
	75 W		20	1600 W	53	4200 W	25	2000 W	38	2850 W	70	5250 W	100	7500 W
	100 W		16		42		19		28		50		73	
	150 W		10		28		12		18		35		50	
	200 W		8		21		10		14		26		37	
	300 W		5	1500 W	13	4000 W	7	2100 W	10	3000 W	18	5500 W	25	7500 W
	500 W		3		8		4		6		10	à	15	à
	1000 W		1		4		2		3		6	6000 W	8	8000 W
	1500 W		1		2		1		2		4		5	
Lampes à halogène TBT 12 V ou 24 V														
Avec transformateur électromagnétique														
	20 W		70	1350 W	180	3600 W	15	300 W	23	450 W	42	850 W	63	1250 W
	50 W		28	à	74	à	10	à	15	à	27	à	42	à
	75 W		19	1450 W	50	3750 W	8	600 W	12	900 W	23	1950 W	35	2850 W
	100 W		14		37		6		8		18		27	
Avec transformateur électronique														
	20 W		60	1200 W	160	3200 W	62	1250 W	90	1850 W	182	3650 W	275	5500 W
	50 W		25	à	65	à	25	à	39	à	76	à	114	à
	75 W		18	1400 W	44	3350 W	20	1600 W	28	2250 W	53	4200 W	78	6000 W
	100 W		14		33		16		22		42		60	
Tubes fluorescents avec starter et ballast magnétique														
1 tube sans compensation (1)														
	15 W		83	1250 W	213	3200 W	22	330 W	30	450 W	70	1050 W	100	1500 W
	18 W		70	à	186	à	22	à	30	à	70	à	100	à
	20 W		62	1300 W	160	3350 W	22	850 W	30	1200 W	70	2400 W	100	3850 W
	36 W		35		93		20		28		60		90	
	40 W		31		81		20		28		60		90	
	58 W		21		55		13		17		35		56	
	65 W		20		50		13		17		35		56	
	80 W		16		41		10		15		30		48	
	115 W		11		29		7		10		20		32	
1 tube avec compensation parallèle (2)														
	15 W	5 µF	60	900 W	160	2400 W	15	200 W	20	300 W	40	600 W	60	900 W
	18 W	5 µF	50		133		15	à	20	à	40	à	60	à
	20 W	5 µF	45		120		15	800 W	20	1200 W	40	2400 W	60	3500 W
	36 W	5 µF	25		66		15		20		40		60	
	40 W	5 µF	22		60		15		20		40		60	
	58 W	7 µF	16		42		10		15		30		43	
	65 W	7 µF	13		37		10		15		30		43	
	80 W	7 µF	11		30		10		15		30		43	
	115 W	16 µF	7		20		5		7		14		20	
2 ou 4 tubes avec compensation série														
	2 x 18 W		56	2000 W	148	5300 W	30	1100 W	46	1650 W	80	2900 W	123	4450 W
	4 x 18 W		28		74		16	à	24	à	44	à	68	à
	2 x 36 W		28		74		16	1500 W	24	2400 W	44	3800 W	68	5900 W
	2 x 58 W		17		45		10		16		27		42	
	2 x 65 W		15		40		10		16		27		42	
	2 x 80 W		12		33		9		13		22		34	
	2 x 115 W		8		23		6		10		16		25	
Tubes fluorescents à ballast électronique														
1 ou 2 tubes														
	18 W		80	1450 W	212	3800 W	74	1300 W	111	2000 W	222	4000 W	333	6000 W
	36 W		40	à	106	à	38	à	58	à	117	à	176	à
	58 W		26	1550 W	69	4000 W	25	1400 W	37	2200 W	74	4400 W	111	6600 W
	2 x 18 W		40		106		36		55		111		166	
	2 x 36 W		20		53		20		30		60		90	
	2 x 58 W		13		34		12		19		38		57	

Fig. N51 : Le nombre maximal de luminaires commandés par relais suivant le type, la puissance et la configuration d'une lampe donnée. (suite sur la page en regard)

4 Les circuits d'éclairage

Type de lampe	Puissance unitaire et capacité du condensateur de compensation du facteur de puissance		Nombre maximal de luminaires pour un circuit monophasé et puissance maximale de sortie par circuit											
			Télérupteur TL						Contacteur CT					
			16 A		32 A		16 A		25 A		40 A		63 A	
Lampes fluo-compactes														
avec un ballast électronique extérieur	5 W		240	1200 W	630	3150 W	210	1050 W	330	1650 W	670	3350 W	not tested	
	7 W		171	à	457	à	150	à	222	à	478	à		
	9 W		138	1450 W	366	3800 W	122	1300 W	194	2000 W	383	4000 W		
	11 W		118		318		104		163		327			
	18 W		77		202		66		105		216			
26 W		55		146		50		76		153				
avec un ballast électronique intégré (en remplacement de lampes à incandescence)	5 W		170	850 W	390	1950 W	160	800 W	230	1150 W	470	2350 W	710	3550 W
	7 W		121	à	285	à	114	à	164	à	335	à	514	à
	9 W		100	1050 W	233	2400 W	94	900 W	133	1300 W	266	2600 W	411	3950 W
	11 W		86		200		78		109		222		340	
	18 W		55		127		48		69		138		213	
26 W		40		92		34		50		100		151		
Lampes haute-pression à vapeur de mercure avec starter et ballast magnétique														
Lampes de remplacement à vapeur de sodium haute-pression avec starter intégré et ballast magnétique (3)														
sans compensation (1)	50 W		Non testé,				15	750 W	20	1000 W	34	1700 W	53	2650 W
	80 W		Utilisation très rare				10	à	15	à	27	à	40	à
	125 / 110 W (3)						8	1000 W	10	1600 W	20	2800 W	28	4200 W
	250 / 220 W (3)						4		6		10		15	
	400 / 350 W (3)						2		4		6		10	
	700 W						1		2		4		6	
avec compensation parallèle (2)	50 W	7 µF					10	500 W	15	750 W	28	1400 W	43	2150 W
	80 W	8 µF					9	à	13	à	25	à	38	à
	125 / 110 W (3)	10 µF					9	1400 W	10	1600 W	20	3500 W	30	5000 W
	250 / 220 W (3)	18 µF					4		6		11		17	
	400 / 350 W (3)	25 µF					3		4		8		12	
	700 W	40 µF					2		2		5		7	
1000 W	60 µF					0		1		3		5		
Lampes à vapeur de sodium basse-pression avec ballast électronique et starter extérieur														
sans compensation (1)	35 W		Non testé,				5	270 W	9	320 W	14	500 W	24	850 W
	55 W		Utilisation très rare				5	à	9	à	14	à	24	à
	90 W						3	360 W	6	720 W	9	1100 W	19	1800 W
	135 W						2		4		6		10	
	180 W						2		4		6		10	
avec compensation parallèle (2)	35 W	20 µF	38	1350 W	102	3600 W	3	100 W	5	175 W	10	350 W	15	550 W
	55 W	20 µF	24		63		3	à	5	à	10	à	15	à
	90 W	26 µF	15		40		2	180 W	4	360 W	8	720 W	11	1100 W
	135 W	40 µF	10		26		1		2		5		7	
	180 W	45 µF	7		18		1		2		4		6	
Lampes à vapeur de sodium haute-pression														
Lampes à iode métallique														
avec ballast électronique et starter extérieur, sans compensation (1)	35 W		Non testé,				16	600 W	24	850 W	42	1450 W	64	2250 W
	70 W		Utilisation très rare				8		12	à	20	à	32	à
	150 W						4		7	1200 W	13	2000 W	18	3200 W
	250 W						2		4		8		11	
	400 W						1		3		5		8	
	1000 W						0		1		2		3	
avec ballast électronique et starter extérieur, et compensation parallèle (2)	35 W	6 µF	34	1200 W	88	3100 W	12	450 W	18	650 W	31	1100 W	50	1750 W
	70 W	12 µF	17	à	45	à	6	à	9	à	16	à	25	à
	150 W	20 µF	8	1350 W	22	3400 W	4	1000 W	6	2000 W	10	4000 W	15	6000 W
	250 W	32 µF	5		13		3		4		7		10	
	400 W	45 µF	3		8		2		3		5		7	
	1000 W	60 µF	1		3		1		2		3		5	
2000 W	85 µF	0		1		0		1		2		3		
avec ballast électronique	35 W		38	1350 W	87	3100 W	24	850 W	38	1350 W	68	2400 W	102	3600 W
	70 W		29	à	77	à	18	à	29	à	51	à	76	à
	150 W		14	2200 W	33	5000 W	9	1350 W	14	2200 W	26	4000 W	40	6000 W

- (1) Les circuits avec des ballasts magnétiques non compensés consomment 2 fois plus de courant que celui indiqué sur la lampe (en puissance kW). Cela explique le faible nombre de lampes dans cette configuration.
- (2) La capacité totale des condensateurs de correction du facteur de puissance en parallèle dans un circuit, limite le nombre de lampes que peut commander un contacteur. La capacité totale en aval d'un contacteur de calibre 16, 25, 40 ou 63 A ne doit pas dépasser respectivement 75, 100, 200 ou 300 µF. Ces valeurs limites permettent de calculer le nombre de lampes acceptable si les valeurs de capacité sont différentes de celles du tableau.
- (3) Les lampes à vapeur de mercure haute-pression sans starter, de puissance 125, 250 et 400 W sont remplacées au fur et à mesure par des lampes à vapeur de sodium haute-pression avec un starter intégré, et respectivement de puissances 110, 120 et 350 W.

Fig. N51 : Le nombre maximal de luminaires commandés par relais suivant le type, la puissance et la configuration d'une lampe donnée (fin)

N39

Protection des circuits : nombre maximal de lampes et calibre du disjoncteur modulaire en fonction du type de lampe, de la puissance unitaire et de la courbe de déclenchement du disjoncteur.

A l'enclenchement, le courant d'appel des lampes à décharge (avec leur ballast) peut atteindre :

- 25 fois le courant nominal du départ pendant 5 à 10 ms,
- 7 fois le courant nominal du départ pendant les 2 secondes suivantes.

Pour les lampes avec des ballasts électroniques (créant des courants HF), les dispositifs de protection doivent supporter des pointes de 100 fois le courant nominal pendant 250 à 350 µs. Cependant à cause de la résistance des circuits le courant total traversant le disjoncteur est plus faible que la somme de tous les courants d'appel de chaque lampe.

Les tableaux ci-dessous (cf. Fig. N52 à N58) prennent en compte les hypothèses suivantes :

- La longueur de câbles des circuits est de :
 - 20 mètres du tableau de distribution à la première lampe,
 - 7 mètres entre chaque luminaire.
- Le calibre du disjoncteur modulaire est calculé pour assurer la protection du circuit d'éclairage (conformément au dimensionnement de la section des conducteurs du circuit), et sans déclenchements intempestifs à l'allumage des lampes.
- Les disjoncteurs modulaires sont réglés suivant les courbes de déclenchement C (seuils de déclenchement instantané de 5 à 10 In) et D (seuils de déclenchement instantané de 10 à 14 In).

Note : FP = Facteur de puissance

Puissance lampe (W)	Nombre de lampes par circuit																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Calibre du disjoncteur modulaire courbes C et D																				
14/18	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
14 x2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
14 x3	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10
14 x4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10
18 x2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
18 x4	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10
21/24	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
21/24 x2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
28	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
28 x2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10
35/36/39	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
35/36 x2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10
38/39 x2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10
40/42	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
40/42 x2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	16
49/50	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
49/50 x2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16
54/55	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10
54/55 x2	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16	16
60	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10

Fig. N52 : Tubes fluorescents à ballast électroniques alimentés en 230 VCA

4 Les circuits d'éclairage

Puissance lampe (W)	Nombre de lampes par circuit																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Calibre du disjoncteur modulaire courbes C et D																				
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
9	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
11	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
13	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
14	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
15	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
16	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
17	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
18	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
20	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
21	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
23	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
25	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10

Fig. N53 : Lampes fluo-compactes alimentées en 230 VCA

Puissance lampe (W)	Nombre de lampes par circuit																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Calibre du disjoncteur modulaire courbes C																				
50	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10
80	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	16	16
125	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16	16	16	16	20	20
250	6	10	10	16	16	16	16	16	16	20	20	25	25	25	32	32	32	32	40	40
400	6	16	20	25	25	32	32	32	32	32	40	40	40	40	50	50	50	50	63	63
1000	16	32	40	50	50	50	50	63	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calibre du disjoncteur modulaire courbes D																				
50	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10
80	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	16	16
125	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	16	16	16	16	16	16	16	20	20
250	6	6	10	10	10	10	16	16	16	20	20	25	25	25	32	32	32	32	40	40
400	6	10	16	16	20	20	25	25	25	32	32	40	40	40	50	50	50	50	63	63
1000	10	20	25	32	40	40	50	63	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fig. N54 : Lampes à vapeur de mercure (avec ballast magnétique et correction du FP) alimentées en 230 VCA

Puissance lampe (W)	Nombre de lampes par circuit																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Calibre du disjoncteur modulaire courbes C																				
Ballast magnétique																				
18	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
26	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
35/36	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
55	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10
91	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16
131	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16	16	16	16	20
135	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16	16	16	20	20	20
180	6	6	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16	20	20	20	20	25	25	25	25
Ballast électronique																				
36	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
55	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
66	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10
91	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16
Calibre du disjoncteur modulaire courbes D																				
Ballast magnétique																				
18	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
26	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
35/36	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
55	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10
91	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16
131	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	16	16	16	16	16	16	16	20
135	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	16	16	16	16	16	16	16	20	20
180	6	6	6	6	10	10	10	10	16	16	16	16	20	20	20	20	25	25	25	25
Ballast électronique																				
36	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
55	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
66	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10
91	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16

Fig. N55 : Lampes à vapeur de sodium basse pression (avec correction du FP) alimentées en 230 VCA

N41

N - Les alimentations et récepteurs particuliers

Puissance lampe (W)	Nombre de lampes par circuit																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Calibre du disjoncteur modulaire courbes C																				
Ballast magnétique																				
50	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10
70	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	16	16
100	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16	16	16
150	6	6	10	10	10	10	10	10	6	16	16	16	16	16	16	20	20	20	25	25
250	6	10	16	16	16	20	20	20	20	20	25	25	25	25	32	32	32	32	40	40
400	10	16	20	25	32	32	32	32	32	32	40	40	40	40	50	50	50	50	63	63
1000	16	32	40	50	50	50	50	63	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ballast électronique																				
35	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
50	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10
100	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16	16	16
Calibre du disjoncteur modulaire courbes D																				
Ballast magnétique																				
50	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10
70	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	16	16
100	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16	16	16
150	6	6	6	6	6	10	10	10	10	16	16	16	16	16	16	20	20	20	25	25
250	6	6	10	10	16	16	16	16	16	20	20	25	25	25	32	32	32	32	40	40
400	6	10	16	16	20	20	25	25	25	32	32	40	40	40	50	50	50	50	63	63
1000	10	20	32	32	40	40	50	63	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ballast électronique																				
35	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
50	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10
100	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16	16	16

Fig. N56 : Lampes à vapeur de sodium haute-pression (avec correction du FP) alimentées en 230 VCA

Puissance lampe (W)	Nombre de lampes par circuit																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Calibre du disjoncteur modulaire courbes C																				
Ballast magnétique																				
35	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
70	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	10	16	16
150	6	6	10	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16	16	16	20	20	20	25	25
250	6	10	16	16	16	20	20	20	20	20	25	25	25	25	32	32	32	32	40	40
400	6	16	20	25	25	32	32	32	32	32	40	40	40	40	50	50	50	50	63	63
1000	16	32	40	50	50	50	50	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63	63
1800/2000	25	50	63	63	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ballast électronique																				
35	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
70	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10
150	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	16	16	16	16	16	16	16	20	20	20
Calibre du disjoncteur modulaire courbes D																				
Ballast magnétique																				
35	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
70	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10	16	16
150	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	16	16	16	16	16	20	20	20	25	25
250	6	6	10	10	16	16	16	16	16	20	20	25	25	25	32	32	32	32	40	40
400	6	10	16	16	20	20	25	25	25	32	32	40	40	40	50	50	50	50	63	63
1000	16	20	32	32	40	50	50	63	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1800	16	32	40	50	63	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	20	32	40	50	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ballast électronique																				
35	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
70	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	10	10	10	10	10
150	6	6	6	6	6	6	6	6	10	10	16	16	16	16	16	16	16	20	20	20

Fig. N57 : Lampes à halogène (avec correction du FP) alimentées en 230 VCA

Puissance lampe (W)	Nombre de lampes par circuit																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Calibre du disjoncteur modulaire courbes C																				
1800	16	32	40	50	50	50	50	63	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	16	32	40	50	50	50	50	63	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Calibre du disjoncteur modulaire courbes D																				
1800	16	20	32	32	32	32	50	63	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	16	25	32	32	32	32	50	63	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fig. N58 : Lampes à halogène (avec ballast magnétique et correction du FP) alimentées en 230 VCA

4 Les circuits d'éclairage

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. Le tableau de la **Figure N59** ci-dessous présente une synthèse du niveau des courants harmoniques H3 typiques générés par des appareils d'éclairage.

Type de lampe	Puissance typique	Mode d'alimentation	Niveau H3 typique
Lampe à incandescence avec gradateur	100 W	Gradateur	5 à 45 %
Lampe à halogène TBT	25 W	Transformateur électronique TBT	5 %
Tube fluorescent	100 W	Ballast magnétique	10 %
	< 25 W	Ballast électronique	85 %
	> 25 W	+ correction du FP	30 %
Lampe à décharge	100 W	Ballast magnétique	10 %
		Electrical ballast	30 %

Fig. N59 : Synthèse du niveau des courants harmoniques H3 typiques générés par des appareils d'éclairage

La solution

En premier lieu l'emploi de conducteur neutre de section réduite (moitié) est à proscrire comme recommandé dans la norme d'installation CEI 60364, section 523-5-3.

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

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. N60**).

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).

Les surtensions

Le risque

La mise sous tension d'un circuit d'éclairage provoque, comme nous l'avons illustré dans les paragraphes 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.

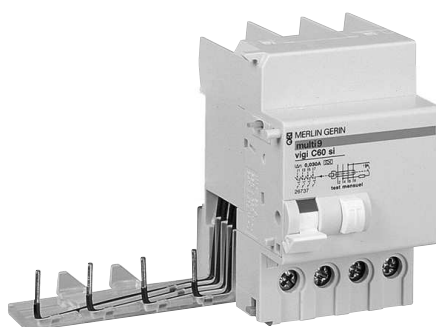


Fig. N60 : DDR type si immunisé contre les courants impulsionnels (marque Schneider Electric)

N43

La sensibilité des dispositifs d'éclairage aux perturbations de tension du réseau

Coupages brèves

■ Le risque

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

■ La solution

Un éclairage partiel à réallumage 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 (voir sous paragraphe 4.4).

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 à la fois 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.

■ 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 est préconisée pour les applications exigeantes (hôpitaux, salles blanches, salles de contrôle, salles informatiques...).

4.4 Évolutions 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 Schneider Electric spécialement immunisés, tels les interrupteurs ID et les disjoncteurs Vigi de type si. 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, etc.

4.5 Éclairage des lieux publics

Éclairage normal

Les textes réglementaires traitant des exigences minimales pour les bâtiments recevant du public dans la plupart des pays européens préconisent :

- les installations d'éclairage des locaux accessibles au public doivent être commandées et protégées indépendamment des installations d'éclairage des autres locaux,
- la coupure de l'alimentation des circuits d'éclairage (c'est à dire suite à une fusion d'un fusible ou au déclenchement d'un disjoncteur) ne doit pas résulter dans la perte totale de l'éclairage dans un lieu qui est en capacité de recevoir plus de 50 personnes,
- la protection par des Dispositifs Différentiels à courant Résiduel (DDR) doit être répartie sur plusieurs dispositifs (soit plus d'un dispositif doit être installé).

Éclairage de secours (suivant la norme européenne EN-1838)

L'éclairage de secours est prévu pour être utilisé en cas de défaillance de l'alimentation de l'éclairage normal et, par conséquent, son alimentation en est distincte. Il répond à deux besoins :

- **éclairage de remplacement** : partie de l'éclairage de secours prévue pour permettre la poursuite des activités normales sans grand changement,

4 Les circuits d'éclairage

■ **éclairage de sécurité** : partie de l'éclairage de secours prévue pour assurer la sécurité des personnes qui évacuent une zone ou qui tentent de terminer un travail potentiellement dangereux avant de quitter les lieux.

L'éclairage de sécurité est subdivisé comme suit :

Éclairage de sécurité

L'objectif prioritaire de l'éclairage de sécurité est de permettre l'évacuation des lieux en toute sécurité en cas de défaillance de l'alimentation normale.

Cet éclairage est cependant destiné :

- à l'éclairage des moyens d'évacuation,
- à assurer un niveau d'éclairage uniforme sur toute la surface d'un local, pour permettre une bonne visibilité et éviter toute panique en cas de défaillance de l'éclairage normal,
- de terminer une opération potentiellement dangereuse avant de quitter les lieux.

L'éclairage de sécurité peut être divisé comme suit :

Éclairage d'évacuation

« Le but de cet éclairage est de permettre l'évacuation des lieux en toute sécurité par les occupants en fournissant des conditions de vision et d'orientation appropriées le long des chemins d'évacuation et dans des emplacements particuliers et d'assurer une localisation aisée des équipements de sécurité ou de lutte contre l'incendie. »

Éclairage d'ambiance (anti-panique)

« Le but de cet éclairage est de réduire le risque de panique et de permettre aux occupants de se diriger en toute sécurité vers les chemins d'évacuation, en assurant des conditions visuelles appropriées et la recherche des directions d'évacuation. »

Éclairage des emplacements de travaux dangereux

« Le but de l'éclairage des emplacements de travaux dangereux est de contribuer à la sécurité des personnes situées au voisinage ou occupées à des activités potentiellement dangereuses et de permettre le bon déroulement de la procédure d'arrêt pour assurer la sécurité des autres occupants des lieux. »

Éclairage de secours et la signalisation de sécurité du chemin d'évacuation

L'éclairage de secours et la signalisation de sécurité du chemin d'évacuation sont très importants pour tous ceux qui conçoivent les systèmes de sécurité. Un choix pertinent aide à accroître le niveau de sécurité d'un bâtiment et permet de mieux gérer les situations d'urgence.

La norme EN 1838 (« Applications d'éclairage - Éclairage de secours ») présente les concepts fondamentaux définissant l'éclairage des chemins d'évacuation : leur éclairage doit permettre une circulation facile par les occupants en leur assurant des conditions de visibilité suffisante et la signalisation claire des parcours d'évacuation.

Les fonctions et le fonctionnement des luminaires

Les spécifications de construction sont couvertes par la norme CEI 60598-2-22 « Règles particulières – Luminaires pour éclairage de secours » et la norme CEI 60598-1 « Luminaires - Partie 1: Exigences générales et essais ».

Durée de fonctionnement

Une spécification de base est la durée de fonctionnement exigée pour l'éclairage de secours. Généralement celle-ci est de 1 heure mais chaque pays peut avoir des exigences de durée différentes suivant les textes réglementaires techniques en vigueur.

Fonctionnement

Les luminaires peuvent être répartis en différents types :

- Luminaires sans entretien :
 - les lampes sont allumées seulement en cas de défaillance de l'éclairage normal,
 - les lampes sont alimentées par batterie pendant la défaillance de l'éclairage normal,
 - la batterie est automatiquement rechargée dès le retour de l'alimentation du réseau normal.
- Luminaires avec entretien
 - les lampes peuvent être allumées en permanence,
 - une alimentation spécifique est exigée, en plus de l'alimentation normale, spécialement pour alimenter les lampes. Cette alimentation peut être déconnectée quand le local n'est pas utilisé,
 - les lampes sont alimentées par la batterie durant la défaillance.

N45

Conception

L'intégration de l'éclairage de secours dans le réseau d'éclairage normal doit être strictement conforme aux normes des installations électriques dans la conception d'un bâtiment ou d'un local spécifique (cf. **Fig. N61**).

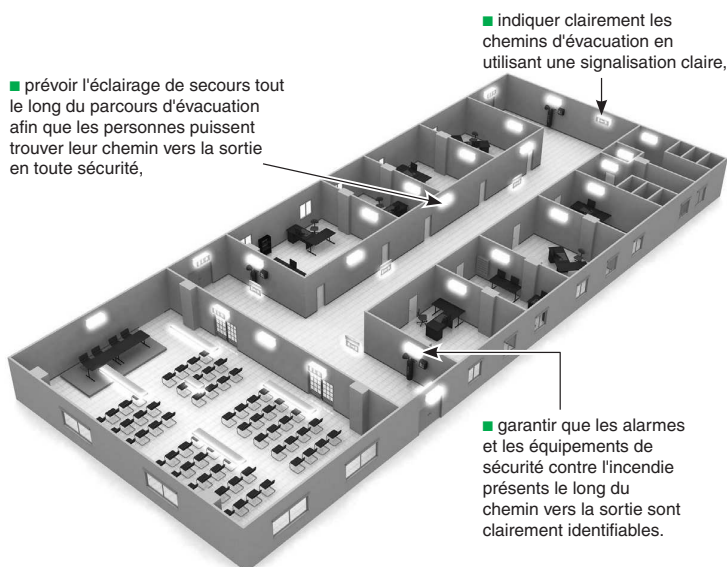


Fig. N61 : Les principales fonctions d'un système d'éclairage de secours en cas de défaillance de l'éclairage normal

Normes européennes

La conception d'un système d'éclairage de secours est régie par un certain nombre de prescriptions réglementaires et légales qui sont mises à jours et enrichies au fur et à mesure par de nouvelles publications à la demande des experts qui participent aux travaux législatifs et techniques des normes européennes et internationales (CEI).

Chaque pays a ces propres textes législatifs et réglementaires, en plus des normes techniques qui gèrent les différentes parties du système d'éclairage. Ces textes décrivent les emplacements qui doivent être aménagés avec un éclairage de secours ainsi que les spécifications techniques.

Le travail des concepteurs est de garantir que la conception du projet est bien conforme aux normes.

La norme EN 1838

Un document très important au niveau européen concernant l'éclairage de secours est la norme EN 1838 « Applications d'éclairage, Eclairage de secours ». Cette norme indique les exigences et les contraintes concernant le fonctionnement et les fonctions d'un système d'éclairage de secours.

Les normes CEN et CENELEC

Le CEN (Comité Européen de Normalisation) a délégué au CENELEC (Comité Européen de Normalisation Électrotechnique) la normalisation pour tout ce qui concerne l'électrotechnique.

Beaucoup de travaux sont réalisés dans le domaine de la sécurité et du secours, en particulier, une distinction a été faite entre les normes pour l'éclairage normal et celles pour l'éclairage de secours.

Les normes EN 60598-2-22 et EN 60598-1

Les spécifications de construction de l'éclairage de secours sont couvertes par les normes européennes EN 60598-2-22 « Règles particulières – Luminaires pour éclairage de secours » et EN 60598-1 « Luminaires - Partie 1: Exigences générales et essais ». Ces normes sont complètement en ligne, respectivement, avec les normes CEI 60598-2-22 et CEI 60598-1.

Les moteurs asynchrones sont robustes et fiables, et très largement utilisés : 95% des moteurs installés à travers le monde sont asynchrones. La protection de ces moteurs est donc un sujet de grande importance dans de nombreuses applications.

Les moteurs asynchrones sont utilisés dans une large variété d'applications. Voici quelques exemples de machines :

- pompes centrifuges,
- ventilateurs et des souffleries,
- compresseurs,
- concasseurs,
- convoyeurs,
- ascenseurs et grues,
- ...

Les conséquences d'une panne moteur due à une mauvaise protection ou à un dysfonctionnement du circuit de contrôle peuvent être les suivantes :

- pour les personnes :
 - l'asphyxie due à l'obstruction des conduits d'air d'une ventilation,
 - l'électrocution due à la défaillance de l'isolation du moteur,
 - un accident dû au non-arrêt du moteur après une panne du circuit de contrôle ;
- pour la machine et le processus :
 - endommagement des accouplements d'arbres, des essieux, ou des courroies de transmission, ... en raison d'un décrochage du rotor,
 - perte de production,
 - délai de fabrication ;
- pour le moteur lui-même :
 - enroulements brûlés en raison d'un blocage du rotor,
 - coût des réparations,
 - coût de remplacement en cas de destruction.

Par conséquent, la sécurité des personnes et des biens, ainsi que les niveaux de fiabilité et de disponibilité, sont fortement dépendants du choix des équipements de protection.

En termes économiques, c'est le coût global des défauts qui doit être considéré.

Ce coût augmente avec la taille du moteur et avec les difficultés d'accès et de remplacement. La perte de production est un autre facteur important et évident.

Les caractéristiques spécifiques de la performance motrice influencent les circuits d'alimentation requis pour le bon fonctionnement de l'équipement.

Le circuit d'alimentation de puissance d'un moteur présente des contraintes qui ne sont pas normalement rencontrées dans les autres circuits de distribution électrique. Elles sont dues aux caractéristiques particulières des moteurs directement alimentés par ce circuit, telles que :

- le courant élevé de démarrage (voir Fig. N62), qui est essentiellement réactif, et peut donc être la cause d'importante chute de tension,
- le nombre et la fréquence des démarrages qui peuvent être élevés.

L'importance des courants de démarrage signifie que les dispositifs de protection contre les surcharges moteur doivent avoir des caractéristiques de fonctionnement particulières afin d'éviter le déclenchement durant cette période de démarrage.

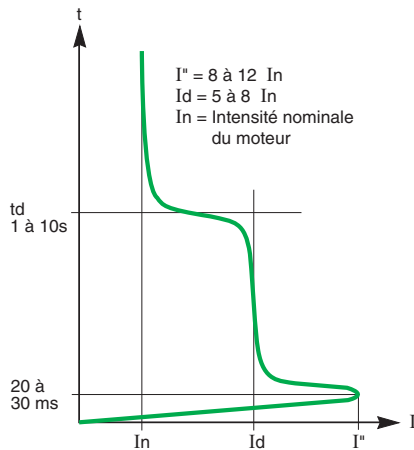


Fig. N62 : Caractéristiques du courant du démarrage direct d'un moteur asynchrone.

5.1 Les systèmes de contrôle-moteur

Il existe plusieurs systèmes de contrôle-moteur présentés dans des tableaux ci-contre, leurs caractéristiques (cf. fig. 63a), leurs avantages et inconvénients (cf. fig. 63b).

	I_d / I_n	C_d / C_n	Contrôle de vitesse	Contrôle du couple
Démarrage direct	5-10	5-10	Non	Non
Etoile - Triangle	2-3	1-2	Non	Non
Auto-transformateur	2-3	1-2	Non	Non
Démarrateur progressif	3-5	1,5-2,5	Non	Oui
Variateur de vitesse	1,5	1,5-2	Oui	Oui

Fig. N63a : Principales caractéristiques des différents systèmes de contrôle-moteur.

	Intérêt principal	Inconvénient
Démarrage direct	Coût réduit Couple élevé au démarrage	Courant de démarrage important
Etoile – Triangle	Courant de démarrage réduit	Couple réduit au démarrage
Auto-transformateur	Courant de démarrage réduit	Poids important
Démarrateur progressif	Courant de démarrage réduit Contrôle du démarrage et de l'arrêt	Couple réduit au démarrage
Variateur de vitesse	Contrôle de la vitesse Economie d'énergie à vitesse réduite	Coût élevé

Fig. N63b : Avantages et inconvénients des différents systèmes de contrôle-moteur.

5.2 Fonctions de protection moteur

Ce sont les dispositions mises en œuvre afin d'éviter le fonctionnement des moteurs dans des conditions anormales qui pourraient entraîner des événements négatifs tels que : surchauffe, vieillissement prématuré, destruction des enroulements électriques, dommages dans la boîte de vitesses ou de l'attelage, ...

Trois niveaux de protection sont proposés : « Classique », « Avancée », « Haute performance », qui peuvent être adoptées en fonction de la complexité et de la puissance de la machine.

- Classique : Ce niveau réunit toutes les fonctions habituelles de protection pour ce type de moteur employé dans des applications courantes.
- Avancée : Ces fonctions de protection s'appliquent à des machines plus complexes demandant une attention particulière.
- Haute performance : Ce sont des fonctions de protection nécessaires pour des moteurs de haute puissance, spécifiques pour des applications exigeantes ou des moteurs participant à des processus critiques.

Fonction	Niveaux de protection >>		
	Classique	Avancée	Haute performance
Court-circuit			
Thermique (surcharge)			
Déséquilibre de phases			
Perte d'une phase			
Surintensité			
Défaut à la terre			
Démarrage trop long			
Blocage du rotor			
Baisse d'intensité			
Inversion de phases (courants)			
Surchauffe du moteur (par capteurs)			
Démarrages trop fréquents			
Délestage			
Déséquilibre de tensions			
Perte de tension d'une phase			
Inversion de phases (tensions)			
Baisse de tension			
Surtension			
Baisse de puissance			
Sur-puissance			
Baisse du facteur de puissance			
Augmentation du facteur de puissance			

Fig. N64 : Classification des fonctions de protection

N48

5 Les moteurs asynchrones

Voici une liste des fonctions de protection moteur et leur mode d'action.

Court-circuit : déconnexion du moteur en cas de court-circuit entre les bornes du moteur ou dans ses enroulements.

Thermique (surcharge) : déconnexion dans le cas d'un fonctionnement prolongé avec un couple supérieur à la valeur nominale. Cette surcharge est détectée par la détection d'un excès de courant statorique ou de l'élévation de température au sein du stator en utilisant des sondes PTC.

Déséquilibre de phases : déconnexion en cas de déséquilibre élevé entre les courants de phase, déséquilibre provoquant une perte de puissance accrue et une surchauffe.

Perte d'une phase : déconnexion si un courant de phase est égal à zéro, qui est révélateur de la rupture d'un câble ou d'une connexion.

Surintensité : alarme ou déconnexion du moteur en cas d'une élévation de courant révélant un couple résistant trop important sur l'arbre.

Défaut à la terre : déconnexion en cas de défaut d'isolement entre les circuits du moteurs et la terre. Une action rapide peut éviter une destruction complète du moteur qu'un courant de défaut même limité peut provoquer.

Démarrage trop long (décrochage) : déconnexion en cas de d'un démarrage plus long que la normale pouvant avoir pour cause un problème mécanique ou une tension trop faible, ceci afin d'éviter la surchauffe du moteur.

Blocage du rotor : déconnexion lorsque le moteur sous tension est arrêté (ex. : concasseur engorgé) afin d'éviter la surchauffe et des contraintes mécaniques.

Baisse d'intensité : alarme ou déconnexion du moteur en cas d'une baisse de courant révélant un état de marche à vide tel que cavitation ou désamorçage d'une pompe de vidange ou encore arbre cassé.

Inversion de phases (courants) : déconnexion quand une mauvaise séquence de phase est détectée.

Surchauffe du moteur (par des capteurs) : alarme ou déconnexion en cas de température élevée détectée par des sondes.

Démarrages trop fréquents : empêche tout nouveau démarrage pour éviter la surchauffe du moteur provoquée par des démarrages trop fréquents.

Délestage : déconnexion du moteur quand une chute de tension est détectée, afin de réduire la charge de sa source d'alimentation et permettre un retour à la normale de la tension.

Déséquilibre de tensions : déconnexion en cas d'un important déséquilibre de tension, pouvant provoquer une perte de puissance et une surchauffe.

Perte de tension d'une phase : déconnexion lorsqu'une phase de la tension d'alimentation est manquante. Protection nécessaire pour éviter la marche en monophasé d'un moteur triphasé, car ce défaut entraîne une réduction du couple du moteur en mouvement et l'augmentation de son courant statorique, ou l'impossibilité de démarrer.

Inversion de phases (tensions) : empêche le démarrage avec la rotation inversée du moteur en cas d'un mauvais raccordement des câbles aux bornes du moteur, erreur possible lors de la maintenance par exemple.

Baisse de tension : empêche le démarrage du moteur ou le déconnecte, car une tension d'alimentation réduite ne peut pas assurer un fonctionnement correct du moteur.

Surtension : empêche le démarrage du moteur ou le déconnecte, car une tension d'alimentation trop importante ne peut pas assurer un fonctionnement correct du moteur.

Baisse de puissance : alarme ou déconnexion en cas de puissance inférieure à la normale, car cette situation est révélatrice d'un état de marche à vide tel que cavitation ou désamorçage d'une pompe de vidange ou encore arbre cassé.

Sur-puissance : alarme ou déconnexion du moteur en cas de puissance plus élevée que la normale, cette situation est révélatrice d'une machine en surcharge.

Baisse du facteur de puissance : alarme, protection utilisée pour détecter la baisse de puissance avec des moteurs ayant un courant à vide élevé.

Augmentation du facteur de puissance : alarme, protection utilisée pour détecter la fin de la phase de démarrage.

N49

La conséquence d'une surchauffe anormale d'un moteur est une diminution de l'isolement de ses bobinages, conduisant ainsi à une réduction significative de la durée de vie du moteur. Ceci est illustré sur la **figure N65**, et justifie l'importance de la protection de surcharge ou de surchauffe.

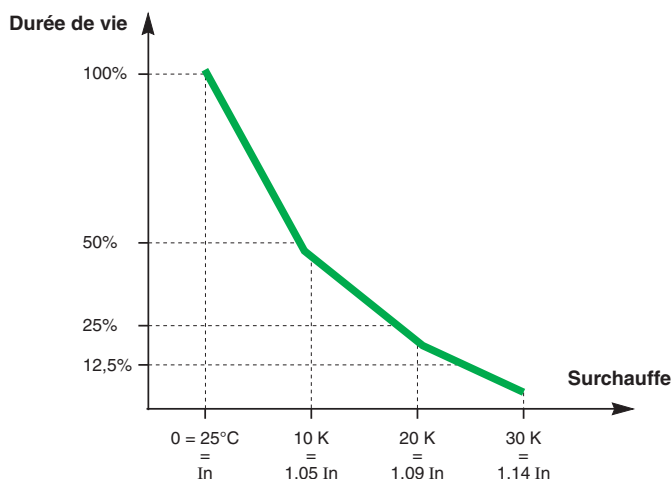


Fig. N65 : Réduction de la durée de vie d'un moteur en fonction de sa surchauffe

Les relais de surcharge (thermique ou électronique) protègent les moteurs contre les surcharges, mais ils doivent permettre la surcharge temporaire causée par le démarrage sauf si le temps de démarrage est anormalement long. Selon l'application, le temps de démarrage d'un moteur peut varier de quelques secondes (pas de charge au démarrage, faible couple résistant, etc) à plusieurs dizaines de secondes (pour un couple résistant élevé par exemple dû à la forte inertie de la charge entraînée). Il est donc nécessaire d'adapter les relais appropriés à la durée du démarrage.

Pour répondre à cette exigence, la norme CEI 60947-4-1 définit plusieurs classes de relais caractérisées par leurs courbes de déclenchement (voir **Fig. N65a**).

La courbe d'un relais doit être choisie en fonction du courant nominal du moteur et de son temps de démarrage.

Les relais de classe 10 sont adaptés aux moteurs d'usage courant.
 Les relais de classe 20 sont recommandés pour les gros moteurs.
 Les relais de classe 30 sont nécessaires pour les très longs démarrages de moteur.

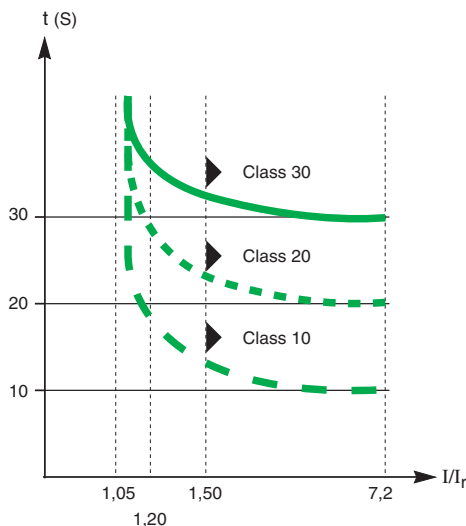


Fig. N65a : Courbes de déclenchement des relais de surcharge

N50

5 Les moteurs asynchrones

5.3 La surveillance des moteurs

L'objectif de la mise en œuvre des dispositifs de mesure est d'assurer une surveillance continue des conditions de fonctionnement des moteurs. Les données recueillies peuvent être utilisées avec une grande utilité pour l'amélioration de l'efficacité énergétique, l'extension de la durée de vie des moteurs, ou pour la programmation des opérations de maintenance.

Trois niveaux de performance pour les programme de surveillance sont proposés : « Classique », « Avancée », « Haute performance », qui peuvent être choisis, en fonction de la complexité et de la puissance de la machine.

Niveaux de performance >> Mesures réalisées	Classique	Avancée	Haute performance
Courants			
Courant moyen			
Déséquilibre de phases			
Niveau d'échauffement			
Température du moteur (par capteurs)			
Tension entre phases			
Démarrage trop long			
Déséquilibre de tensions			
Puissance active			
Puissance réactive			
Facteur de puissance			
Energie active			
Energie réactive			

Fig. N65b : Mesures réalisées selon le niveau de performance du programme de surveillance

Voici une liste des variables les plus utiles à surveiller, et l'avantage accordé par la mesure.

Courants : ils sont directement responsables de l'échauffement des conducteurs et des bobinages des moteurs et donc d'une éventuelle réduction de leur durée de vie. Ce sont des variables les plus importantes à surveiller. Leurs valeurs donnent aussi une indication directe sur la charge du moteur et les contraintes subies par la machine.

Courant moyen : il permet de connaître la charge moyenne du moteur et si le moteur est bien adapté, ou non, à la machine.

Déséquilibre de phases : un tel déséquilibre provoque des pertes supplémentaires dans le moteur, c'est une variable importante à contrôler.

Niveau d'échauffement : sa valeur permet d'apprécier la capacité de surcharge restante et la marge de sécurité.

Température du moteur (par des capteurs) : cette valeur permet de connaître les réelles conditions thermiques de fonctionnement, en tenant compte de la charge du moteur, de la température ambiante et de l'efficacité de sa ventilation.

Tension entre phases : ce contrôle de tension indique si le moteur fonctionne dans des conditions normales ou non. En effet, trop élevées ou trop basses, les tensions de phase sont responsables de l'augmentation de courant dans le moteur pour une charge donnée.

Déséquilibre de tensions : comme le déséquilibre de phases, il est responsable de pertes supplémentaires dans le moteur, c'est donc aussi une variable importante à contrôler.

Puissance active : indication de la charge appliquée au niveau du moteur.

Puissance réactive : indication de la puissance réactive qui peut être nécessaire de compenser par la mise en œuvre de condensateurs.

Facteur de puissance : indication du niveau de charge du moteur.

Energie active : permet de rapprocher la quantité d'énergie consommée au temps de fonctionnement ou à la quantité de marchandises produites par machine.

Énergie réactive : permet de déterminer la nécessité de la mise en œuvre de condensateurs afin d'éviter le paiement de pénalités à l'utilitaire.



Fig. N65c : Dispositif « haute performance » de protection et de surveillance de moteur (TeSys T, Schneider Electric).

N51

© Schneider Electric - tous droits réservés

5.4 Configurations de démarreur-moteur

Différentes configurations de commande et de contrôle des moteurs sont couramment proposés. Quelques exemples sont présentés sur la **figure N66**.

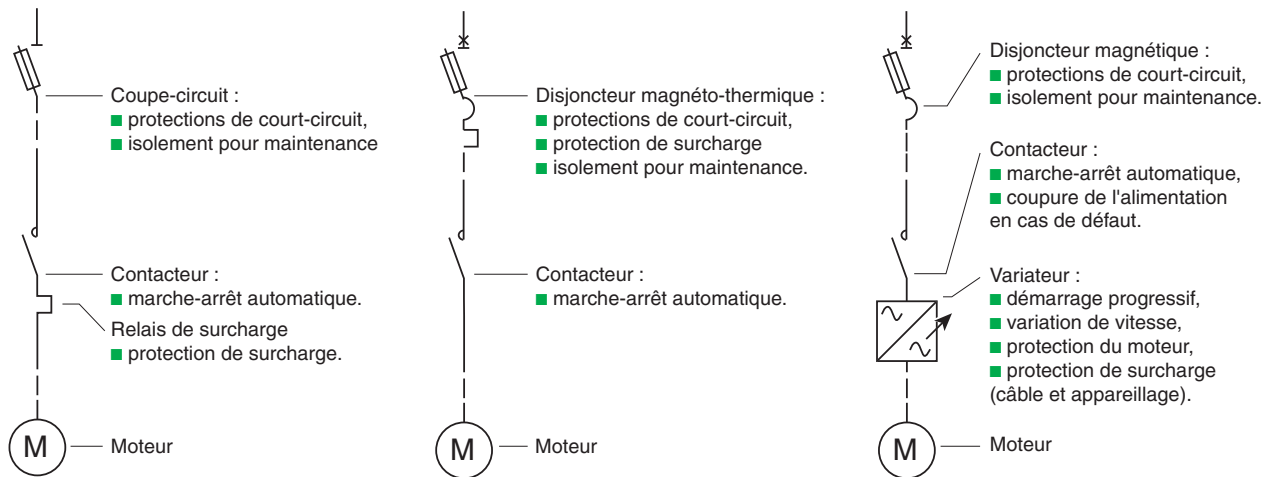


Fig. N66 : Les combinaisons des différentes fonctions d'un démarreur-moteur

La commande et le contrôle des moteurs font l'objet de différentes normes en vigueur listées sur la **figure N67**.

Normes	Titre
CEI 60947-1	Basse-tension - Règles générales
CEI 60947-4-1	Contacteurs et démarreurs de moteurs Contacteurs électromécaniques et démarreurs de moteurs
CEI 60947-4-2	Appareillage à basse tension - Partie 4-2: Contacteurs et démarreurs de moteurs - Gradateurs et démarreurs à semiconducteurs de moteurs à courant alternatif.
CEI 60947-6-2	Appareillage à basse tension - Partie 6-2: Matériels à fonctions multiples - Appareils (ou matériel) de connexion de commande de protection (ACP).
CEI 61800	Entraînements électriques de puissance à vitesse variable.

Fig. N67 : Normes applicables aux démarreurs de moteurs

Différentes catégories d'emploi des contacteurs en courant alternatif ont été définies par la norme CEI 60947-4-1, elles sont présentées dans la **figure N68** avec leurs applications typiques.

Catégorie	Les applications typiques
AC-1	Charges non-inductives ou légèrement inductives, fours à résistance.
AC-2	Moteurs à bague (démarrage, arrêt des moteurs en marche)
AC-3	Moteurs à cage d'écurueil (démarrage, arrêt des moteurs en marche)
AC-4	Moteurs à cage ou à bagues, avec freinage en contre-courant (par inversion de phases) et marche par "à-coups" (démarrage, arrêt des moteurs en marche).

Fig. N68 : Différentes catégories d'emploi des contacteurs en courant alternatif utilisés pour le contrôle moteur asynchrone.

5 Les moteurs asynchrones

5.5 Coordination des protections

Le dispositif de protection contre les courts-circuits doit être parfaitement coordonné avec le dispositif de protection contre les surcharges.

Des normes, CEI 947-4-1 et 947-6-2, définissent trois types de coordination qui précisent les degrés de

destruction acceptables pour les appareillages concernés après court-circuit et les niveaux de service

attendus (cf. tableau de la **figure N69**).

Les associations des dispositifs satisfaisant ces coordinations sont établies par des constructeurs de relais tel Schneider Electric.

Type de coordination	Conséquences d'un court-circuit	Champ d'application
Type 1	Le contacteur ou le démarreur ne doit causer aucun danger pour les personnes et l'installation et peut nécessiter une réparation avec remplacement de pièces avant une nouvelle utilisation	Applications courantes. Machines de base.
Type 2	Le contacteur ou le démarreur ne doit causer aucun danger pour les personnes ou l'installation et doit être en état pour une utilisation ultérieure. Le risque de soudure des contacts est admis, et le fabricant doit indiquer les mesures à prendre en ce qui concerne l'entretien de l'équipement.	Processus avec contraintes de disponibilité, par exemple : chaîne de fabrication, machines industrielles critiques.
Coordination totale : Continuité de service	Aucun dommage ou d'inadaptation autorisé. Redémarrage immédiatement possible après suppression du défaut. Pas de précaution nécessaire.	

Fig. N69 : Les degrés de destruction acceptables selon les types de coordination.

Parmi les solutions possibles pour protéger un moteur, l'association disjoncteur + contacteur + relais thermique ⁽¹⁾ présente de nombreux avantages.

5.6 Protection de base : la solution disjoncteur + contacteur + relais thermique

Avantages

Cette association procure à l'installation facilité d'exploitation et d'entretien, par :

- réduction de la charge d'entretien de l'installation : le disjoncteur évite l'emploi de fusibles et leurs inconvénients (stock, problème de type et de calibres des fusibles),
- meilleure continuité d'exploitation : l'installation peut être remise en route immédiatement après élimination du défaut et après vérification du démarreur,
- adjonctions aisées de toutes les fonctions complémentaires demandées à un équipement de départ moteur,
- coupure omnipolaire assurée (le risque de marche en monophasé du moteur est ainsi supprimé),
- coupure en charge du circuit en cas de défaillance du contacteur,
- verrouillage,
- signalisations diverses,
- meilleure protection du démarreur pour des courants de court-circuit inférieurs à environ 30 fois le courant assigné du moteur⁽²⁾ (cf. **Fig. N70**),
- possibilité de protection différentielle intégrée :
 - prévention des risques d'incendie (sensibilité 500 mA),
 - protection contre la destruction du moteur (perforation des tôles) en détectant les défauts d'isolement phase-masse (sensibilité 300 mA à 30 A).

N53

(1) L'association d'un contacteur et d'un relais thermique est un discontacteur

(2) Dans la majorité des cas, les défauts développant des courants de court-circuit se produisent au niveau du moteur, de sorte que le courant est limité par les câbles et les bobinages du stator, et ces défauts sont alors appelés « courts-circuits impédants »

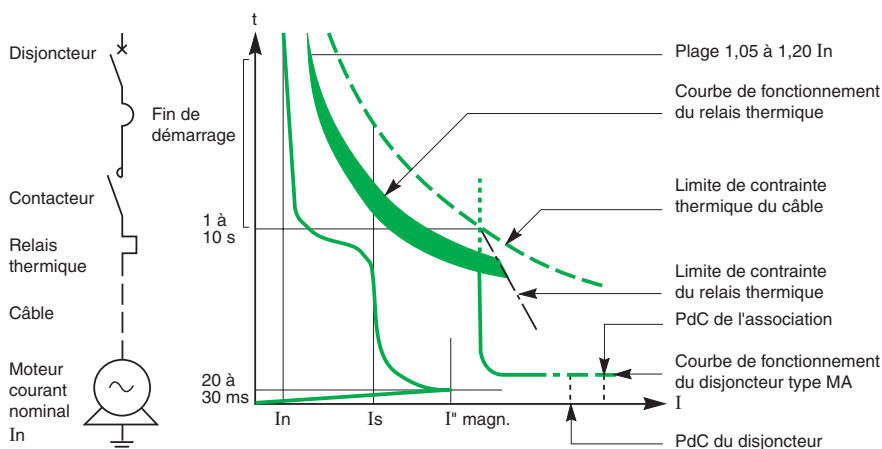


Fig. N70 : Courbes de fonctionnement de l'association disjoncteur + contacteur + relais thermique ⁽¹⁾

Conclusion

L'association disjoncteur + contacteur + relais thermique pour la commande et la protection de départs moteurs est parfaitement appropriée quand :

- le service entretien de l'installation est réduit ; c'est le cas en général du tertiaire et des petites et moyennes industries,
- le cahier des charges impose des fonctions complémentaires,
- l'utilisation nécessite un organe de coupure en charge en cas de non ouverture du contacteur.

5.7 Appareil de connexion, de commande et de protection (ACP)

Les ACP ou « démarreurs-contrôleurs » sont conçus pour remplir simultanément les fonctions de commande et de protection (surcharge et court-circuit). De plus, ils sont conçus pour pouvoir effectuer des manœuvres de commande dans le cas d'un court-circuit.

Les ACP peuvent aussi assurer des fonctions additionnelles telles que le sectionnement, et ainsi les fonctions d'un « démarreur moteur » sont totalement remplies. Les ACP doivent être conformes à la norme CEI 60947-6-2

(NF EN 60947-6-2), qui définit notamment les valeurs assignées et les catégories d'emplois d'un ACP (qui sont parfaitement homogènes à celles définies par la CEI 60947-4-1 (NF EN 60947-4-1) pour les contacteurs).

Les fonctions remplies par les ACP sont coordonnées et combinées de manière à permettre la continuité du service pour tous les courants jusqu'à leur pouvoir assigné de coupure de service en court-circuit Ics. Même si l'ACP n'est pas constitué par un appareil unique, ses caractéristiques sont assignées comme pour un seul appareil. D'autre part, la garantie de « la coordination totale » de toutes les fonctions assurent l'utilisateur d'avoir un choix simple avec une protection optimale qui est facile à mettre en œuvre.

Bien que présenté comme un appareil unique, un ACP peut avoir une modularité identique ou plus grande qu'une solution démarreur-moteur à « 3 produits ». Ceci est le cas avec le démarreur-contrôleur « Tesys U » (cf. Fig. N71).

N54

5 Les moteurs asynchrones

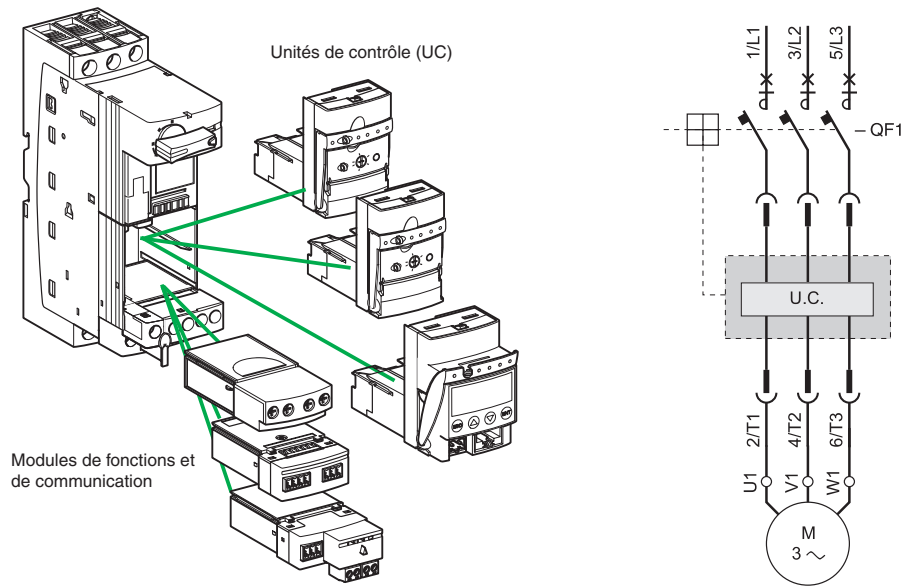


Fig. N71 : Exemple de la modularité d'un ACP (démarreur-contrôleur Tesys U de Schneider Electric)

Ces démarreurs-contrôleurs peuvent être équipés d'une unité de contrôle assurant les fonctions de commande et de protection, interchangeable à tout moment, pour des moteurs de 0,15 A à 32 A dans une « base puissance » ou « base unité » de calibre 32 A.

Des fonctionnalités additionnelles peuvent être installées en terme de

- puissance : des blocs limiteurs, des blocs inverseurs ;
- contrôle et commande :
 - modules de fonctions, d'alarmes, d'indication de charge moteur, de réarmement automatique, etc.,
 - modules de communication : AS-I, Modbus, Profibus, CAN-Open, etc.,
 - modules de contacts auxiliaires, de contacts additifs.

De nombreuses fonctions de communication sont disponibles sur ces démarreurs-contrôleurs (cf. Fig. N72)

Fonctions disponibles	Unités de contrôle		
	Standard	Évolutif	Multifonction
État du rotor (prêt, en marche, en défaut)			
Commande marche/arrêt			
Alarme thermique			
Réarmement à distance via le bus			
Indication de charge			
Différentiation des défauts			
Alarmes (surintensités...)			
Réglage des paramètres et référence des fonctions de protection			
Fonction « historique »			
Fonction de « surveillance »			

Informations disponibles sur le bus (Modbus) et fonctions réalisées

Fig. N72 : Fonctions de communication Tesys U

N55

5.8 Le système iPMCC

iPMCC -Intelligent Power and Motor Control Centre

C'est un système intelligent intégrant des relais intelligents de protection moteur dans de très fiables armoires électriques MCC -Power Motor Control Centre-. La connectabilité au système de surveillance et de contrôle est assurée par le biais d'un réseau de communication industrielle.

Cette solution est particulièrement utilisée dans les grands sites industriels et infrastructures, avec un processus continu ou hybride, et chaque fois que la continuité de service est une priorité.

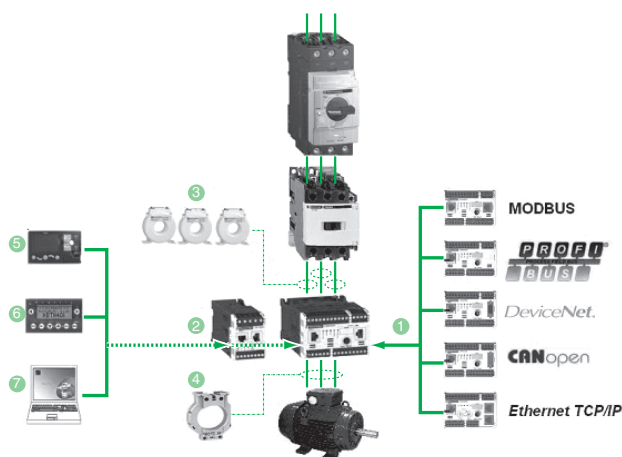
iMPR -Intelligent Motor Protection Relay)

Les relais intelligents de protection moteur sont les composants clé d'une installation iPMCC. Ce sont des dispositifs contrôlés par microprocesseur.

Ce système de surveillance et de protection est fondée sur des mesures effectuées par des capteurs, tels que les transformateurs de courant, transformateurs de tension (intégrés ou externes), capteurs thermiques, détecteurs de fuite à la terre,...

A partir de ces mesures et des paramètres, il détermine les conditions d'anomalie ou de risques potentiels pour les moteurs et les opérateurs.

Selon le modèle de protection moteur, un iMPR a la capacité de détecter de nombreux types de défauts. C'est une grande amélioration par rapport au relais de protection thermique. En outre, de nombreuses fonctions complémentaires peuvent être mises en oeuvre par un iMPR : surveillance, alarme, enregistrement des défauts, calculs statistiques, communication, etc...



- 1: relais de protection moteur avec capacité de communication
- 2: module d'extension de mesure de tension
- 3: capteurs des courants phase
- 4: détecteur de fuite à la terre
- 5, 6, 7: Différentes interfaces « Homme-Machine »

Fig. N73: Exemple de composition d'un iMPR (TeSys T de Schneider Electric)

MCC -Motor Control Centre-

C'est une armoire de distribution électrique qui regroupe tous les démarreurs-moteurs d'un processus ainsi que des bus pour une communication sûre et fiable, afin de construire une installation centralisée. La gestion centralisée des départs-moteurs est demandée pour faciliter l'exploitation et la maintenance dans de nombreuses industries et infrastructures. Des armoires MCC comportant des unités fonctionnelles (UF) débroschages sont utilisées dans des applications critiques, car les interventions sont plus faciles à gérer en cas de défaut : les démarreurs-moteurs défectueux peuvent être remplacés rapidement, sans arrêt de l'ensemble de l'armoire électrique.

Des unités fonctionnelles fixes ou déconnectables peuvent être utilisées pour des applications moins critiques.

5 Les moteurs asynchrones

Pour garantir la disponibilité, la sécurité et la fiabilité de l'application, une armoire MCC doit être un ensemble de série (ES) ou un ensemble dérivé de série (EDS). ES et EDS sont des équipements BT définis par les normes CEI 60 439-1 qui imposent différentes caractéristiques techniques, règles de conception et d'essais. Pour les systèmes iPMCC ces essais sont importants, notamment celui de l'échauffement car les équipements électroniques sont particulièrement sensibles à la chaleur. Une armoire MCC est différente d'une armoire électrique universelle qui ne peut être utilisée que pour accueillir un groupe de quelques départs-moteurs. Une armoire électrique universelle a des caractéristiques électriques moins exigeantes, et ne comporte pas de séparation entre les différentes unités fonctionnelles contenant des départs-moteurs. Par conséquent, un arrêt complet des armoires universelles est nécessaire pour les opérations de maintenance ou pour tous les réglages des démarreurs.

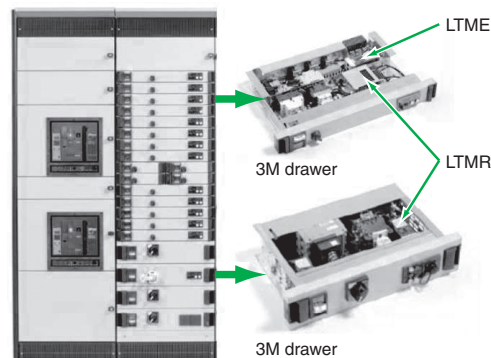


Fig. N74 : Exemple d'une armoire électrique iPMCC à tiroirs (Okken de Schneider Electric)

iPMCC offre de grands avantages à toutes les étapes de la vie d'une installation électrique : pour sa conception et sa réalisation, comme pour son exploitation.

■ Amélioration de l'efficacité du projet :

- réduction des études avec des démarreurs qui sont plus normalisés dans une plus large gamme de puissance,
- réduction du câblage sur site grâce à des bus,
- réduction des temps de réglage avec le téléchargement des paramètres.

■ Réduction des temps de mise en service :

- meilleure compréhension des événements du processus grâce aux diagnostics et aux statistiques détaillées,
- plus grande rapidité dans la recherche des bogues et du correction des erreurs,
- plus grande facilité de dépannage des problèmes de démarrage du processus.

■ Amélioration de la continuité de service :

- meilleure protection des moteurs et des charges en utilisant des capteurs plus précis et des modèles plus précis de protection moteur,
- réduction des temps d'arrêt intempestif avec des alarmes permettant de corriger les problèmes avant qu'un déclenchement ne se produise.

■ Réduction des coûts d'exploitation et d'entretien :

- moins d'arrêt,
- dépannages plus rapides,
- moins de stock de pièces de rechange,
- stratégie de maintenance préventive.

■ Réduction des coûts et du temps nécessaire pour des évolutions des installations :

- études simplifiées,
- pas de câblage nécessaire,
- simplification des réglages,
- mise en service et réglage du processus facilités.

Une offre iPMCC complète concentre les connaissances et l'expérience de la distribution électrique, de la protection et du contrôle des moteurs, de l'automatisation et de l'installation. C'est pourquoi peu de constructeurs de la distribution électrique et de l'automatisation peuvent proposer une telle offre.

N57

5.9 Communication

Une configuration iPMCC est faite de nombreux de départs-moteurs. Afin de contrôler le système, il est nécessaire d'envoyer beaucoup d'informations telles que états des moteurs, mesures des courants, alarmes, etc. Le traditionnel câblage fil à fil n'est pas un moyen efficace et rentable quand il y a beaucoup de données à transmettre. Aujourd'hui, la transmission via des réseaux de communication, ou bus, est la meilleure méthode.

La communication a besoin d'une langue commune appelé protocole de communication. La **figure N75** indique les protocoles couramment utilisés aux différents niveaux des réseaux de communications industriels. À l'heure actuelle, les protocoles de bus les plus populaires sont Modbus SL, Profibus-DP et DeviceNet, tandis que l'usage d'Ethernet TCP / IP est en croissance très rapide.

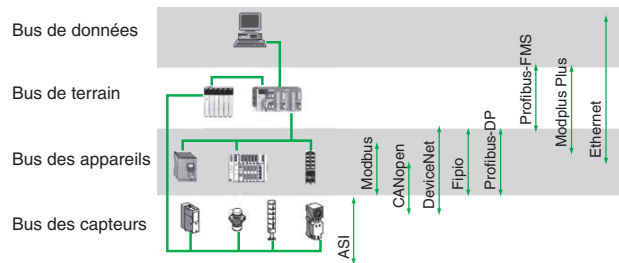


Fig. N75 : Différents protocoles de communication

Modbus

Modbus est un protocole de communication du niveau « application ». Il est indépendant de la couche physique (bus).

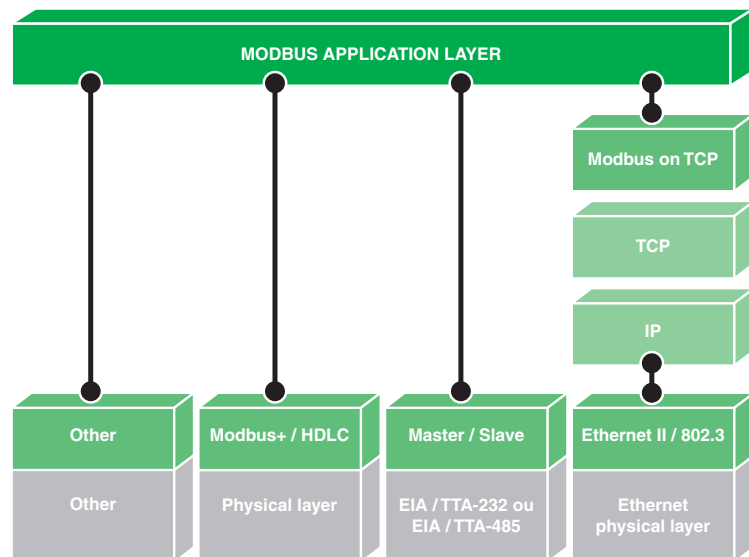


Fig. N76 : Une architecture Modbus

N58

Contrairement à Modbus SL, Modbus / TCP fonctionne sur un concept client / serveur :

- un client initie les demandes et les réponses d'un serveur,
- n'importe quel périphérique peut être un client ou un serveur,
- de nombreux appareils sont à la fois client et serveur dans le même temps,
- un réseau peut réunir de nombreux clients,
- plusieurs clients peuvent envoyer des requêtes au même moment et plusieurs serveurs peuvent répondre en même temps,
- un client peut parler à plusieurs serveurs en même temps,
- un serveur peut répondre à plusieurs clients en même temps,
- Ethernet dirige et s'assure de la livraison des données à tous les périphériques en même temps.

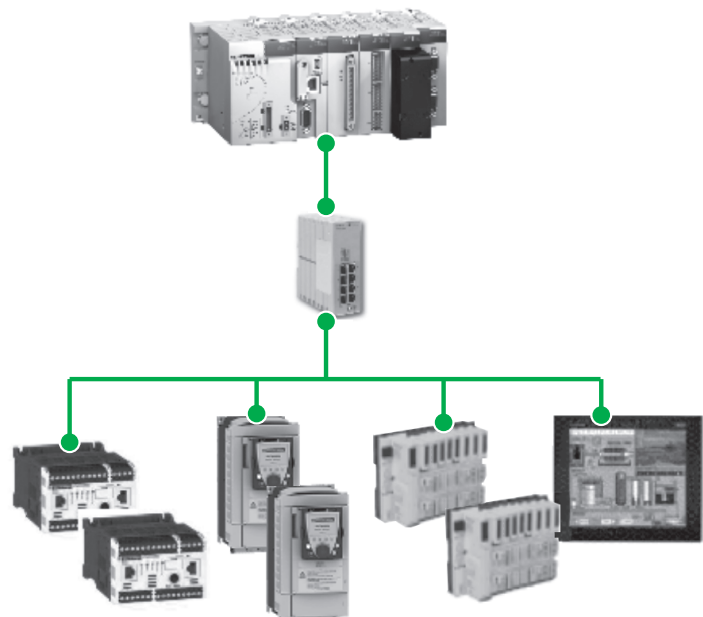


Fig. N78 : Une architecture typique de la communication

Les différences entre Modbus / TCP et Modbus SL

Avec Modbus / TCP :

- chaque appareil peut être client et serveur au même moment.
- tous les appareils peuvent échanger simultanément : plusieurs appareils peuvent initier des communications, et non un seul. Le temps de réponse du système est augmenté par des communications simultanées.
- plusieurs demandes peuvent être envoyées d'un appareil à un autre sans attendre les réponses aux questions précédentes. Pour cela des données sont ajoutées au message Modbus afin de pouvoir associer une réponse à sa demande spécifique, elles constituent l'identifiant de transaction Modbus.
- la vitesse de transmission est plus importante : 10 Mb, 100 Mb, 1 Gb.
- les supports de transmission sont d'un emploi beaucoup plus souple et leurs coûts moins élevés : fibre optique, liaison radio, etc
- le nombre de noeuds sur un simple réseau est presque illimitée : le maximum recommandé est d'environ 300, mais des routeurs peuvent être utilisés pour relier plusieurs réseaux.

Modbus IO Scanning

Modbus IO Scanning est une fonctionnalité des automates programmables Schneider Electric. Elle permet de simples échanges Modbus avec un simple terminal de configuration. Il suffit de préciser l'adresse, le temps d'interrogation et les données à lire et / ou d'écrire.

5 Les moteurs asynchrones

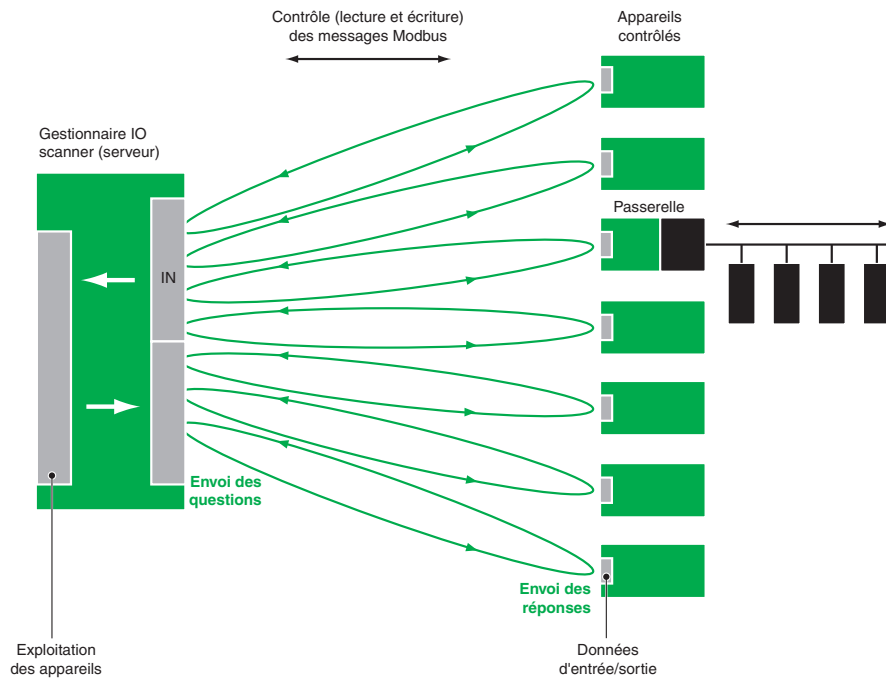


Fig. N79 : L'architecture Modbus SL

Profibus

Profibus-DP est un protocole avec une vitesse de transmission élevée. Il prend en charge la communication jusqu'à 12 Mbps, mais en fait 1,5 Mbps est la vitesse maximale la plus courante, car la vitesse de 12 Mbps nécessite des supports de transmission spéciaux et ne peut être mise en œuvre que sur une courte distance pour être atteinte.

DeviceNet

Ce protocole permet une communication avec 3 vitesses possibles: 125, 250 ou 500 kbps dont le choix dépend de la longueur du bus et du câble ainsi que la consommation des appareils. Le nombre maximal d'appareils reliés est de 64, y compris les appareils maîtres. La longueur du bus est limitée à 100 m à 500 kbps. DeviceNet est largement utilisé dans l'industrie automobile.

Résumé

Le tableau de la **figure N80** présente un comparatif réduit (non-exhaustive) de ces protocoles.

N61

	Modbus SL RS485	Profibus-DP	DeviceNet	Modbus / TCP
Vitesse	Jusqu'à 115 kbps	9,6 kbps à 1 Mbps	125, 250 ou 500 kbps	10, 100 Mbps, 1 Gbps
Distance maximale sans répéteur	1300 m	100 m à 12 Mbps 1,2 km à 10 kbps	100 m à 500 kbps 500 m à 125 kbps	Paire torsadée : 100 m Fibre optique : 2000 m
Nombre maximal d'appareils	32 soit 1 maître et 31 esclaves	mono ou multi-maîtres :126 soit 122 esclaves avec 3 répéteurs	64 soit 1 maître et 63 esclaves	64 avec IO Scanner. Pas de limite avec les autres.
Distance maximale avec répéteur	Dépend du type de répéteur.	400 à 4800 m selon la vitesse.	Dépend du type de répéteur.	10 km de fibres optiques

Fig. N80 : Comparaison des protocoles de communication

