



**René Wierda**

Diplômé en 1989 ingénieur Génie Électrique et Conduite de Réseaux à l'université technique de Delft aux Pays-Bas (Technische Universiteit Delft, afdeling Elektrotechniek), il entre chez Merlin Gerin en 1989 dans le service Études de Réseaux (Direction des Recherches Générales).

Pendant plusieurs années il est spécialement chargé des études de réseaux d'alimentation de four à arc. Il conçoit, en collaboration avec le département de Réalisation et Ensemble de Schneider Electric, des dispositifs de filtrage HT pour plusieurs installations industrielles.

Dans ce cadre il a été amené à approfondir la connaissance des perturbations apportées par les processus industriels de grande puissance.

**n° 176**

**flicker ou  
scintillement des  
sources  
lumineuses**



# flicker ou scintillement des sources lumineuses

## sommaire

<b>1. définition du flicker</b>		p. 4
<b>2. les fluctuations de tension à l'origine du flicker</b>	description des fluctuations de tension à l'origine du flicker	p. 5
	autres origines du flicker	p. 6
	les perturbateurs	p. 6
<b>3. inconvénients du flicker, sensibilité des sources lumineuses</b>		p. 7
<b>4. définition théorique de la gêne, quantification et mesure du flicker</b>	dose de flicker, définition de la gêne, mesure du flicker	p. 8
	la courbe de «Fonction de Probabilité Cumulée» -FPC-	p. 9
	les paramètres Pst et Plt	p. 10
	le flickermètre	p. 10
	le $\Delta V_{10}$	p. 11
	autres grandeurs de mesure	p. 11
<b>5. limites</b>	niveaux de compatibilité de Pst, Plt	p. 12
	limites individuelles de Pst, Plt	p. 12
	limites de $\Delta V_{10}$	p. 13
<b>6. détermination du flicker dans une installation</b>	méthode qualitative	p. 14
	méthode utilisant la «courbe référence Pst = 1»	p. 14
	méthode analytique	p. 14
	méthode pour les fours à arc	p. 14
<b>7. remèdes</b>	méthode pour les soudeuses	p. 15
	choix du mode d'éclairage	p. 16
	onduleur	p. 16
	modification du perturbateur	p. 16
	adjonction d'un volant d'inertie	p. 16
	convertisseur tournant	p. 16
	modification du réseau	p. 16
	la capacité-série	p. 16
	la réactance série	p. 16
	la réactance shunt saturée	p. 17
	la réactance de découplage	p. 17
	le compensateur synchrone	p. 17
	le convertisseur de phase	p. 18
le compensateur statique (SVC)	p. 18	
synthèse	p. 19	
<b>8. conclusion</b>		p. 19
<b>annexe 1 : étude du flicker sur l'alimentation d'une soudeuse</b>		p. 20
<b>annexe 2 : étude du flicker sur l'alimentation d'un four</b>		p. 22
<b>annexe 3 : bibliographie</b>		p. 24

Le flicker correspond à des variations lumineuses ; il résulte de faibles fluctuations de tension provoquées par le fonctionnement de charges variables importantes : fours à arc, soudeuses, moteurs...

Il provoque une fatigue physique et psychique pour les usagers de l'éclairage raccordés à proximité de la charge perturbatrice.

Ce Cahier Technique :

- présente ce phénomène particulier auquel se trouvent parfois confrontés les concepteurs ou exploitants de réseaux,
- définit les grandeurs qui permettent de le mesurer et les limites à ne pas dépasser,
- présente les solutions pratiquées, le plus souvent sur les réseaux HTA et HTB, pour réduire les fluctuations de tension et donc le flicker. En cela il complète le Cahier Technique n°169 «La conception des réseaux industriels en HT».

# 1. définition du flicker

Le flicker ou papillotement de lumière (de l'anglais : to flicker = scintiller, papilloter) est défini comme «impression subjective de fluctuation de la luminance» (cf. CEI 555-1). C'est un phénomène de gêne physiologique visuelle ressenti par les utilisateurs de lampes alimentées par une source commune à l'éclairage et à une charge perturbatrice.

La gêne correspondant au scintillement se manifeste sur les lampes BT. Par contre, les charges perturbatrices peuvent se trouver connectées à tout niveau de tension.

Les fluctuations brusques de la tension du réseau sont à l'origine de ce phénomène. Dans cette définition du flicker ne rentrent que les fluctuations :

- d'amplitude < 10 %,
- de période < 1 heure.

Le flicker résulte surtout des fluctuations rapides de faible amplitude de la tension d'alimentation provoquées :

**1-** soit par la variation fluctuante de puissance appelée par divers récepteurs : fours à arc, soudeuses, moteurs, etc,

**2-** soit par la mise sous et hors tension de charges importantes : démarrage moteurs, manœuvre de batteries de condensateurs en gradins, etc.

Surtout étudié pour les lampes à incandescence, le flicker est plus ou moins important selon le type de source lumineuse. Il peut avoir des causes autres que les variations de tension.

Depuis 50 ans le flicker a fait l'objet de nombreuses publications. C'est un phénomène maintenant bien défini (norme CEI 868), analysé, mesurable, pour lequel il existe des éléments de prévision et des remèdes.

## 2. les fluctuations de tension à l'origine du flicker

Dans tous les pays industriels, les distributeurs d'énergie, comme les exploitants d'installation électrique, doivent respecter des tolérances de variations d'amplitude et de fréquence sur leurs réseaux, sinon le bon fonctionnement des équipements n'est plus garanti. Ainsi, en France, la norme EN 50160 fixe cette tolérance :

- à  $\pm 10\%$  cette tolérance pour les tensions nominales BT (Basse Tension :  $U_n < 1000\text{ V}$ ),
- de  $+6\%$  à  $-10\%$  spécifiquement pour les tensions BT 230/400 V, entre 1996 et 2003, (harmonisation internationale),
- à  $\pm 1\%$  de la fréquence nominale (50 Hz).

Mais différentes sortes de variations de tension existent telles les fluctuations (variations cycliques), les creux de tension, les coupures, les surtensions, ... (cf. fig. 1).

Le Cahier Technique n°141 en fait une présentation détaillée.

Dans les paragraphes suivants, sont présentés les deux principaux types de fluctuation de tension provoquant du flicker puis un rappel de la relation entre fluctuation de tension et puissance appelée.

Deux autres causes de flicker et les différents types de perturbateurs sont abordés à la fin de ce chapitre.

### description des fluctuations de tension à l'origine du flicker

#### Les variations de tension périodiques et rapides

Ces variations périodiques ou erratiques permanentes ont une décomposition spectrale dans une bande de 0,5 Hz à 25 Hz. Elles sont dues à des charges (ou ensemble de charges) dont l'utilisation se caractérise par une variation permanente d'appel de puissance (ex : fours à arc, machines à souder, ...)

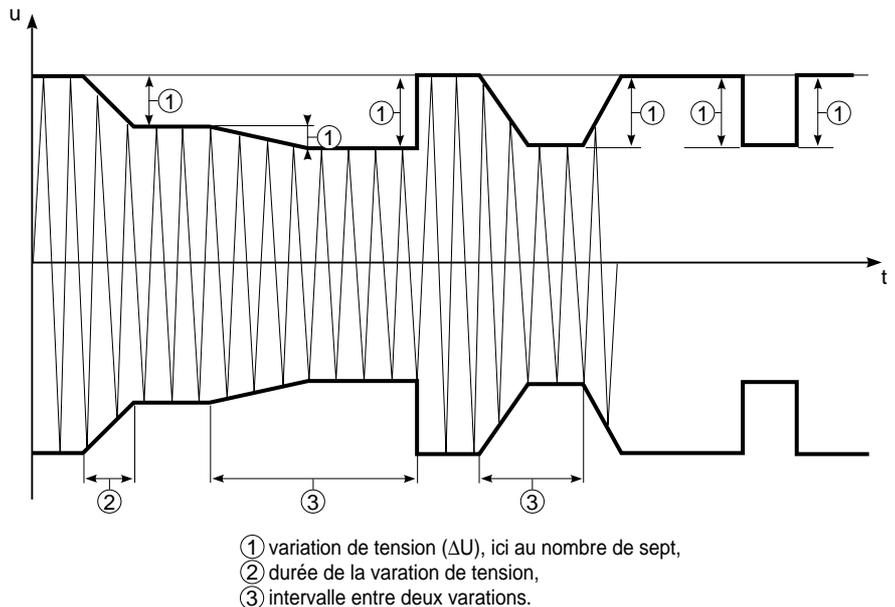


fig. 1 : définitions liées aux variations de tension (selon la CEI 555-3).

#### Les variations de tension par à-coups

Il s'agit ici des à-coups de tension se produisant de façon systématique ou erratique (intervalles entre à-coups supérieurs à quelques secondes).

Ces variations sont dues à des mises en service de charges importantes (ex : démarrage moteur, manœuvre de batterie de compensation, ...).

#### Explication mathématique de l'origine du flicker

Les sources de ces fluctuations sont les équipements électriques dont le fonctionnement nécessite d'importantes variations cycliques de courant qui, parcourant l'impédance du réseau ( $R, X$ ), provoquent les variations de tension  $\Delta U$  (cf. fig. 2).

On définit :

- $U$  = tension nominale du réseau (de fonctionnement)
- $E$  = tension à vide du réseau
- $\Delta U$  = chute de tension ( $= E - U$ )
- $P$  = puissance active de la charge sous la tension nominale  $U$

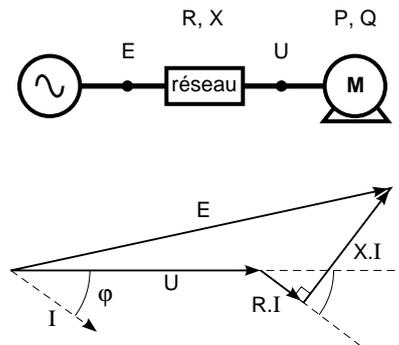


fig. 2 : les variations de tension à l'origine du flicker sont dues aux variations du courant  $I$  parcourant l'impédance du réseau ( $R, X$ ).

- $Q$  = puissance réactive de la charge sous la tension nominale  $U$
- $\cos \varphi$  = facteur de puissance de la charge
- $I$  = courant nominal de la charge
- $S_{cc}$  = puissance de court circuit du réseau amont
- $R$  = résistance totale du réseau amont
- $X$  = réactance totale du réseau amont

Si on considère que l'angle entre E et U est faible :

$$\Delta U = E - U \approx R.I.\cos \varphi + X.I.\sin \varphi$$

On peut écrire :

$$P = U.I.\cos \varphi \quad \text{et} \quad Q = U.I.\sin \varphi$$

ce qui donne :

$$\Delta U = \frac{R.P + X.Q}{U}$$

et en valeur relative :

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{R.P + X.Q}{U^2}$$

**Remarques :**

1- en HT, la résistance R est négligeable vis à vis de l'impédance X, l'équation se transforme en :

$$\frac{\Delta U}{U} \approx \frac{X.Q}{U^2} = \frac{Q}{S_{cc}}$$

c'est la variation de la puissance réactive Q qui est prépondérante et doit donc être contrôlée ;

2- en BT, R n'est pas négligeable : il faut alors agir sur les puissances active et réactive, P et Q.

## autres origines de flicker

### Dysfonctionnement du système d'éclairage,

Une fluctuation du flux lumineux peut également être due à un mauvais fonctionnement du système d'éclairage. C'est la première hypothèse à vérifier en cas de problème !

Par exemple : Les lampes fluorescentes comportent un ballast.

■ les tubes avec ballast ferromagnétique traditionnel, outre le clignotement observé en fin de vie, peuvent générer du flicker lorsqu'ils sont associés à un gradateur. En effet, l'ionisation du gaz devient incertaine

lorsque la commande de phase ampute une partie de la sinusoïde.

■ les tubes avec ballast électronique sont généralement insensibles aux variations de leur tension d'alimentation. Il existe des ballasts pouvant utiliser des gradateurs à commande de phase, dans ce cas des papillotements ont pu être observés en présence d'harmoniques ou de courants porteurs (détection incertaine du passage à zéro de la tension).

### Flicker provoqué par les infraharmoniques et les interharmoniques

Il a été démontré et constaté que dans certaines conditions, la présence d'interharmoniques dans la tension d'alimentation est aussi une source de flicker [1]. En particulier, les lampes à incandescence sont sensibles dans la bande de fréquence comprise entre 20 Hz et 80 Hz, alors que les fluorescentes le sont pour des fréquences supérieures à 100 Hz. Les lampes à ballast inductif semblent plus sensibles à ce phénomène que celles avec ballast capacitif.

## les perturbateurs

### Le four à arc

Le four à arc est le principal générateur de flicker. Les fluctuations de tension, que son fonctionnement normal fait naître, sont d'autant plus ressenties que la puissance des fours est élevée, en particulier par rapport à la puissance de court-circuit du réseau : elle se chiffre couramment en dizaines de MVA.

### Machines à charges fluctuantes

Les moteurs puissants, ou groupes de moteurs, à démarrages et arrêts fréquents, ou à charge variable, (tels ceux des laminoirs), ainsi que les machines à couple résistant alternatif (compresseurs), peuvent produire du flicker.

### Régulateurs de puissance à thyristors

Pour échapper aux inconvénients de la «commande de phase» (harmoniques et parasites HF), les régulateurs à thyristors (parfois appelés gradateurs) fonctionnent en «commande synchrone» chaque fois que leur charge le permet.

Les thyristors à commande synchrone sont allumés pendant des périodes entières (régulation par train d'ondes entières), mais les temps de conduction sont très brefs, répétés à des fréquences de quelques Hz. Ils sont donc générateurs de flicker. Par exemple, pour éviter ce phénomène dans le domaine du chauffage électrique, les normes imposent aux constructeurs des systèmes de régulation tels que la puissance ne soit pas commutée plus d'une fois toutes les vingt secondes.

### Les machines à souder

Les soudeuses à arc de puissance relativement faible sont peu gênantes (sauf utilisation intensive chez un abonné BT). Par contre les cycles répétitifs des soudeuses par résistance, à des fréquences comprises entre 0,1 et 1 Hz, sont à l'origine de perturbations sous la forme d'à-coups de tension.

### 3. inconvénients du flicker, sensibilité des sources lumineuses

Les fluctuations de tension n'ont généralement pas d'influence sur le bon fonctionnement des appareils connectés, la variation étant inférieure aux limites contractuelles de variation de tension d'alimentation (cf. chapitre précédent). Par contre, ces fluctuations peuvent, pour différents types d'éclairage, affecter le flux lumineux. Le tableau de la figure 3 regroupe les

principales caractéristiques des différentes sources lumineuses et leurs comportements selon la tension.

En résumé il est possible d'écrire que toutes les sources lumineuses sont sensibles aux variations de tension, et dans l'ordre décroissant de sensibilité :

■ les lampes à vapeur de mercure ou de sodium, mais elles éclairent des lieux où le papillotement est peu gênant

(espaces extérieurs, monuments, routes, etc.) ;

- les lampes à incandescence ;
- les lampes fluorescentes.

Les récepteurs de télévision ainsi que les écrans des systèmes informatiques ont une certaine sensibilité au flicker, elle est très variable suivant les appareils, aucune étude précise n'a été faite à ce sujet.

sources lumineuses	fluorescence	incandescence	vapeur de sodium à basse pression	vapeur de sodium à haute pression	vapeur de mercure à haute pression
type de lampes	rectiligne, circulaire, monoculot, compact miniature ou de substitution	standard, fantaisie halogène BT ou TBT		avec différents culots	ballon fluorescent, lumière mixte à iodures métalliques avec différents culots
puissance électrique (W)	de 4 à 65	de 5 à 2 000	de 18 à 180	de 35 à 1 000	de 35 à 3 500
efficacité lumineuse $lm.W^{-1}$	de 35 à 104	de 8 à 25	de 100 à 200	de 37 à 150	de 11 à 120
comportement à la mise sous tension	le plein flux lumineux est obtenu lors de l'amorçage. Un courant de préchauffage de quelques secondes peut atteindre 2 In	le plein flux lumineux est immédiat. La surintensité peut atteindre 14 In	un délai de 5 à 10 minutes est nécessaire après la mise sous tension, pour obtenir le plein flux lumineux. Il n'y a pas de surintensité notable.	un délai de 5 à 7 minutes est nécessaire après la mise sous tension, pour obtenir le plein flux lumineux. La surintensité peut atteindre 1,2 à 1,3 In.	un délai de 1 à 4 minutes est nécessaire après la mise sous tension, pour obtenir le plein flux lumineux. La surintensité peut atteindre 1,5 à 1,7 In.
comportement vis à vis des fluctuations de la tension d'alimentation	n'est perturbée que par des fluctuations 2 à 3 fois plus fortes (par rapport à l'incandescence) en raison de la rémanence lumineuse du dépôt fluorescent	particulièrement sensible aux faibles variations de tension répétées en raison de la faible constante thermique des filaments (10 à 200 ms).	très sensible, puisque son inertie thermique est celle du plasma de la décharge lumineuse.	idem à vapeur de sodium à basse pression	idem à vapeur de sodium à basse pression

fig. 3 : principales caractéristiques et comportement aux variations de tension des différentes sources lumineuses.