

## Projet d'élaboration d'un protocole de caractérisation des émissions électromagnétiques des lampes fluorescentes compactes à économie d'énergie

Thierry Letertre<sup>(1)</sup>, Alain Azoulay<sup>(1)</sup>, Alain Destrez<sup>(1)</sup>  
François Gaudaire<sup>(2)</sup>, Christophe Martinsons<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>SUPELEC – Département Télécommunications et Département d'Électromagnétisme  
Plateau de Moulon, 3 rue Joliot-Curie, 91192 Gif-sur-Yvette cedex, France  
E-mail: [Thierry.letertre@supelec.fr](mailto:Thierry.letertre@supelec.fr), [Alain.destrez@supelec.fr](mailto:Alain.destrez@supelec.fr), [Alain.azoulay@supelec.fr](mailto:Alain.azoulay@supelec.fr)

<sup>(2)</sup>CSTB – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment  
Pôle Eclairage, Electricité, Electromagnétisme  
24, rue Joseph Fourier, 38400 Saint Martin d'Hères  
E-mail: [francois.gaudaire@cstb.fr](mailto:francois.gaudaire@cstb.fr), [christophe.martinsons@cstb.fr](mailto:christophe.martinsons@cstb.fr)

### Résumé.

Dans un contexte où les économies d'énergie sont valorisées, l'utilisation des lampes fluorescentes compactes à basse consommation d'énergie tend à se généraliser. Toutefois, les émissions radioélectriques parasites produites par ces sources font actuellement l'objet de nombreuses discussions. En particulier, au mois d'août 2007, des articles de presse ont fait état de risques d'exposition pour les personnes situées à proximité immédiate de ces lampes [1].

Nous avons voulu vérifier ces assertions par des expérimentations les plus objectives possibles. Pour ce faire, nous avons testé des lampes à économie d'énergie en proximité immédiate (en champ très proche), afin d'identifier la ou les fréquences mises en cause, ainsi que le niveau maximal de champ magnétique produit à très courte distance.

Nous proposons enfin un protocole de mesure adapté à la mesure des émissions radiofréquence de ces lampes, qui tiendra compte des résultats obtenus lors de cette campagne de mesures.

### I. Principe de fonctionnement des lampes

La lampe fluorescente compacte, appelée aussi fluocompacte, est née dans les années 1970 quand des chercheurs ont eue l'idée de replier un tube fluorescent plusieurs fois sur lui-même et dont le circuit de commande (ballast) a été miniaturisé pour pouvoir rentrer dans le culot d'une lampe standard (figure 1).

Une lampe traditionnelle produit de la lumière lorsqu'un filament de tungstène parcouru par un courant et enfermé dans une ampoule remplie d'un gaz inerte est porté à haute température par effet Joule. Ce mécanisme présente un faible rendement et la durée de vie d'une telle lampe est assez faible car le filament surchauffé se vaporise peu à peu sur les parois de verre et finit par se rompre après quelques centaines d'heures de fonctionnement. La lampe fluocompacte

fonctionne, elle, sur le principe du tube fluorescent qui assure son rendement élevé.

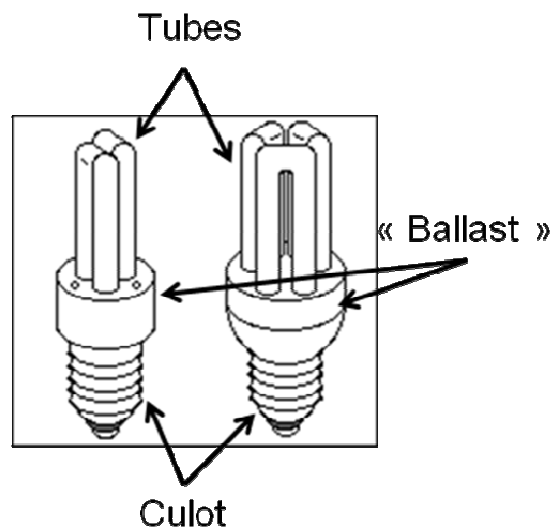


Figure 1: Composant d'une lampe fluocompacte.

Le culot de la lampe contient un dispositif électronique appelé "ballast" (figure 2) qui permet de générer une décharge électrique "continue" qui génère une émission de lumière ultra-violette lorsque les atomes de mercure contenus dans le tube sont percutés par les électrons. Une couche de composés fluorescents recouvre la paroi interne du tube et convertit l'émission UV en lumière visible. Ce principe a un meilleur rendement énergétique ; une lampe fluocompacte de flux lumineux équivalent à une ampoule à incandescence consomme de quatre à cinq fois moins d'énergie: une lampe de ~11 W est équivalente à une ampoule classique de ~60 W. Les lampes fluocompactes économisent en énergie ont, de plus, une durée de vie très supérieures aux lampes classiques, mais n'ont pas que des avantages. Elles sont plus chères à l'achat, contiennent quelques

milligrammes de mercure en quantité non négligeable (nécessitant une procédure de recyclage particulière) et produisent une émission radioélectrique plus importante du fait de la présence du ballast pour la génération de la décharge électrique. Cette émission radioélectrique est à l'origine de ce travail de recherche.

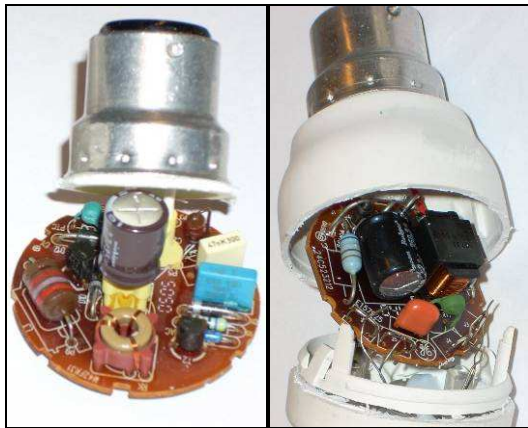
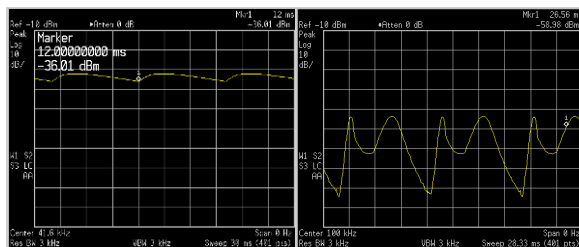


Figure 2: Exemples de "ballast".

## II. Génération de l'émission radioélectrique parasite

L'élément mis en cause pour cette émission est le "ballast" électronique qui se trouve dans le culot de la lampe (figure 2). En effet, pour que la décharge s'amorce dans le tube fluorescent, il faut le soumettre à une tension très élevée, supérieure à 220 Volts [5]. Le principe de fonctionnement de ce système est donc le suivant:

- 1) On effectue un redressement double alternance de la tension de 220 V, puis on filtre le signal pour obtenir une tension continue de l'ordre de 300 V (figure 3a et 3b),
- 2) Un oscillateur Haute Fréquence découpe cette tension à une fréquence > 20 kHz pour améliorer le rendement du dispositif,
- 3) La haute tension HF est envoyée dans le ou les tubes fluorescents.



Figures 3a et 3b: Niveau de 50 Hz résiduel pour deux lampes différentes

## III. Dispositif de mesure

Une double démarche a été utilisée pour la réalisation des mesures. Dans un premier temps, il a fallu identifier la fréquence, la forme de l'onde rayonnée à l'aide d'une boucle magnétique étalonnée EMCO 7604 couvrant la bande de fréquence 20 Hz à 1 MHz

couplée à un oscilloscope numérique de type Agilent Infinium 1,5 GHz (figure 6a). Puis dans un deuxième temps nous avons positionné les lampes sous tests ainsi que la boucle de mesure sur des supports (figure 4; où l'on pouvait faire varier l'écartement), la boucle étant elle reliée à un analyseur de spectre de type Agilent E4407b (figure 6b).



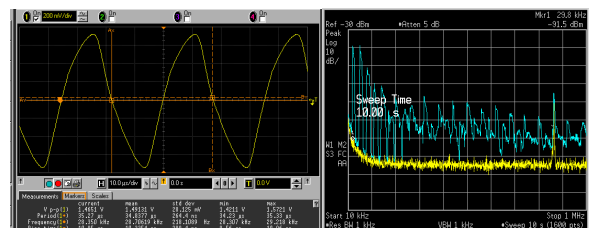
Figure 4: Le dispositif de mesure: boucle magnétique plus supports

Des lampes de marques différentes, de puissances (les puissances électriques des produits testés vont de 5 à 20 W), de forme de culots et de nombre de tubes différents, commercialisées dans la grande distribution, ont été testées (figure 5).



Figure 5: Échantillons de lampes testées

Le signal radiofréquence, récupéré par le dispositif de mesure et visible sur les figures 6a et 6b, montre que le signal radiofréquence mesuré vient bien du système de ballast [6]. Il s'agit un signal de forme complexe dont le spectre s'étend de quelques dizaines de kHz à moins de 1 MHz.



Figures 6a: Le signal récupéré sur un oscilloscope et 6b: sur un analyseur de spectre

Les lampes fluocompactes, comme les tubes fluorescents, passent par une phase transitoire (mise

en température du tube) qui se caractérise, pour les lampes fluocompactes par un pic de tension (amorçage de l'arc: (1) sur la figure 7) dès l'allumage puis par une dérive lente de la fréquence fondamentale de l'émission électromagnétique correspondant à la mise en régime jusqu'à la stabilisation de la température du tube et à la stabilisation du flux lumineux émis.

La question de l'amorçage de l'arc et de la mise en régime de la lampe sera envisagée dans une étape ultérieure compte tenu de la durée réduite de cette phase.

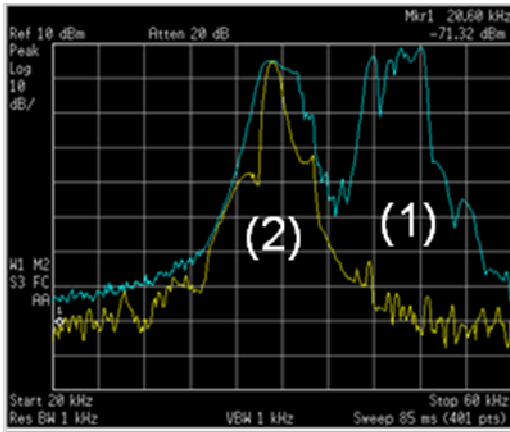
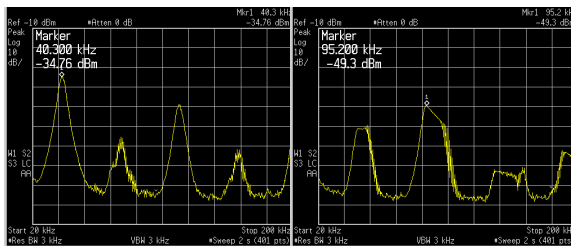


Figure 7: Amorçage de la lampe

Une fois stabilisé, en régime permanent ((2) sur la figure 7), la forme d'onde obtenue avec l'oscilloscope numérique (figure 6a) correspond à une sinusoïde distordue. Le spectre montre un maximum de la densité spectrale de puissance à la fréquence fondamentale (le plus souvent entre 10 et 50 kHz) et d'autres pics, de niveaux décroissants, aux fréquences harmoniques (figures 8a et 8b).



Figures 8a et 8b: Spectre obtenus pour deux lampes différentes

Dans le chapitre IV nous décrivons et discuterons des résultats obtenus. La définition d'un protocole de mesure complet proprement dit sera effectuée au chapitre V.

#### IV. Résultats

Ces mesures dépendent énormément de la construction du culot qui intègre le ballast électronique et conduit à des résultats très différents. Dans la suite de ce travail, nous chercherons à optimiser de manière précise la position

relative de la lampe par rapport aux sondes et antennes de mesure de champ afin d'obtenir les valeurs de champ maximal. L'influence du type de douille sera également étudiée (modèles "à vis" ou "à baïonnette").

#### IV.1 Rappels sur les formules de conversions utilisées

Les résultats seront lus sur un analyseur de spectre. Les formules (1 et 2) permettent de calculer le champ magnétique en dB( $\mu$ A/m) à partir de la valeur de la puissance mesurée par l'analyseur de spectre en dBm, à l'aide d'une antenne (boucle) étalonnée en champ magnétique (figure 9).

$$V'_{dB(\mu V)} = P_{dBm} - 20 \log(10^{-6}) - 30 + 10 \log(50) \approx P_{dBm} + 107 \quad (1)$$

$$H_{dB(\mu A/m)} = P_{dBm} + F_{dB(pT/\mu V)} + 107 - 2 \quad (2)$$

F représente le facteur de conversion (ou facteur d'antenne) de l'antenne pour passer de la valeur de la tension lue sur l'analyseur en  $\mu$ V à la valeur de l'induction magnétique en pT (pico Tesla).

Dans la formule (2) le facteur -2 venant de la transformation des Tesla en Ampère par mètre:

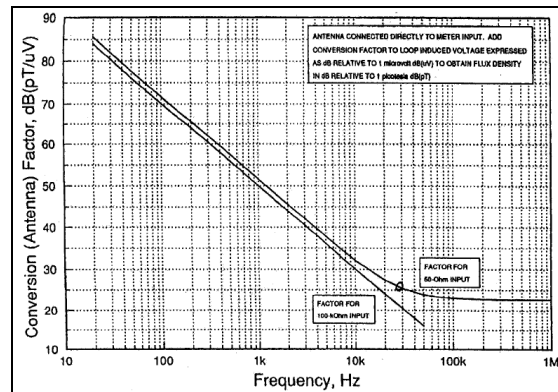


Figure 9: Facteur de conversion pour l'antenne de la boucle magnétique EMCO

#### IV.2 Synthèses des résultats obtenus

##### IV.2.1 Mesure du champ électromagnétique

La mesure du champ magnétique a été privilégiée du fait de la fréquence du signal et de la distance entre l'antenne de mesure et la lampe comparée à la longueur d'onde de l'émission (environ 10 000 m).

Les tableaux suivants regroupent les résultats obtenus en tenant compte des niveaux produits par chaque raie d'amplitude significative (figures 10a et 10b) pour chaque classe de puissance électrique consommée en fonction de la distance entre la lampe et la boucle.

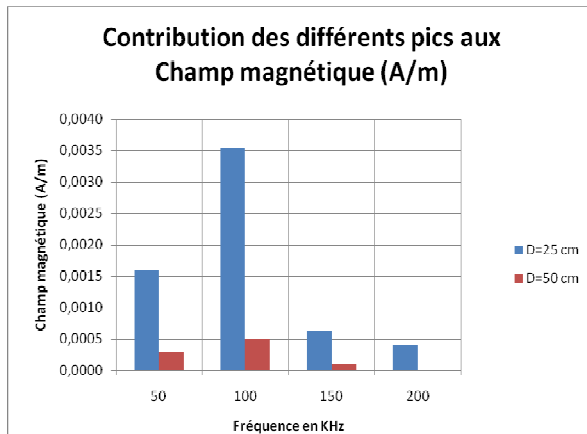


Figure 10a : Répartition du champ magnétique en fonction de la fréquence pour une lampe

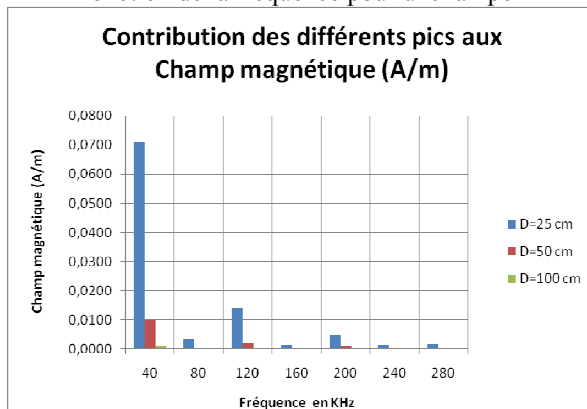


Figure 10b: Répartition du champ magnétique en fonction de la fréquence pour une autre lampe

Si l'on tient compte des contributions de toutes les fréquences pour les calculs des champs magnétiques et électriques nous obtenons:

5W	
D (m)	H (A/m)
Contact	x
0,25	0,058
0,5	0,01
1	x

9W	
D (m)	H (A/m)
contact	0,133
0,25	0,004
0,5	0,001
1	x

11W	LA	LB	LC	LD
D (m)	H (A/m)	H (A/m)	H (A/m)	H (A/m)
contact	0,41	5,8	x	x
0,25	0,013	0,07	0,093	0,008
0,5	0,002	0,01	0,019	x
1	x	0,001	x	x

15W	
D (m)	H (A/m)
contact	x
0,25	0,016
0,5	x
1	x

20W	
D (m)	H (A/m)
contact	x
0,25	0,19
0,5	x
1	x

Remarque:

- Les x indiquent que la mesure n'a pas été effectuée,
- La distance référencée contact correspond à la distance minimale entre la boucle et la lampe (la

boucle touche le tube fluorescent) et n'a pas une valeur constante: distance variable de 1 cm à moins de 3 cm suivant la forme de la lampe (figure 5).

#### IV.2.2 Comparaison des émissions RF

La figure 11 montre que l'amplitude du champ magnétique mesuré ne dépend presque pas de la puissance de la lampe. En revanche il existe une grande disparité entre des lampes d'une même puissance. Les différences de niveau de champ magnétique entre ces deux groupes dépendent plus de la réalisation du système électronique de ballast ainsi que de la longueur du tube et du nombre de repliement sur lui-même utilisé dans la lampe (la puissance de la décharge électrique dépendant de la longueur des tubes). La zone A (haute) correspond à des lampes ayant un spectre du type de la figure 1b et la zone B (basse) à des lampes qui correspondent à la figure 10a.

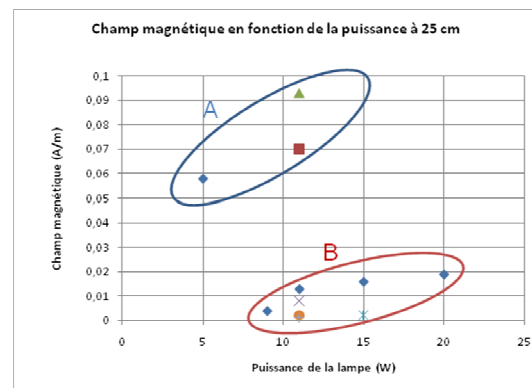


Figure 11: Valeur du champ magnétique mesurée à une distance de 25 cm en fonction de la puissance de la lampe

#### IV.2.3 Évolution du champ magnétique en fonction de la distance lampe-boucle

Pour cette étude nous avons pris deux lampes caractéristiques de chaque groupe d'émission. Les courbes de décroissance obtenues sont quasiment parallèles et sont comprises entre une décroissance en  $1/d$  et en  $1/d^2$  (d: distance entre la lampe et le boucle de mesure).

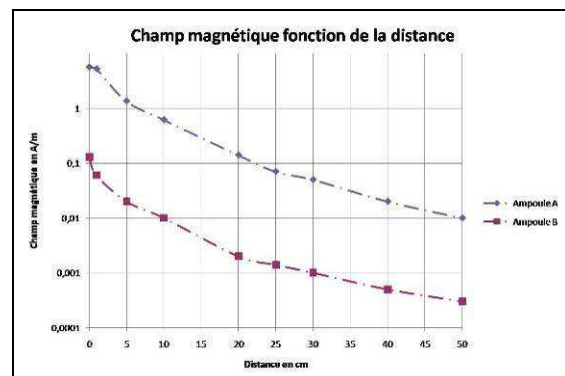


Figure 12: Décroissance du champ en fonction de la distance pour deux lampes de puissance identique et égale à 11 W.

#### IV.2.4 Évolution de l'émission EM des lampes

Nous avons réalisé des mesures in situ (figure 13) à 30 cm d'une lampe de 30 W pendant une période de plusieurs minutes (figure 14). Les niveaux affichés sont les valeurs de champs cumulés dans la bande 5 kHz – 100 kHz.

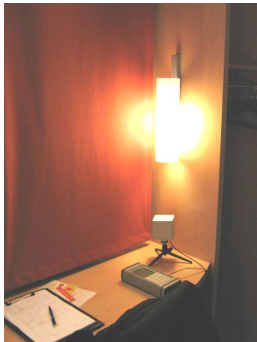


Figure 13: Configuration

Lorsque la lampe est éteinte, les niveaux des champs ambiants résiduels mesurés sont de:

$$E = 0,3 \text{ V/m et } B = 0,07 \text{ } \mu\text{T};$$

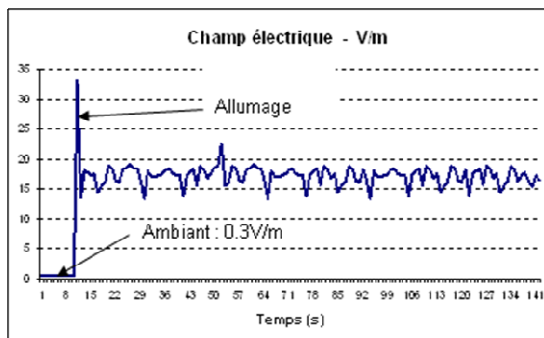


Figure 14: Résultats de mesure

Autour et à proximité immédiate de la lampe allumée, le niveau de champ électrique varie de 80 V/m à 380 V/m et le niveau d'induction magnétique varie de 0,2  $\mu\text{T}$  à 0,6  $\mu\text{T}$ . Les niveaux de champs sont maximums à proximité du ballast situé dans le culot de la lampe.

#### V. Protocole de mesure

Pour élaborer un protocole de mesure fiable et reproductible des champs produits par les lampes fluocompactes à basse consommation, des précautions doivent être prises:

- Dans le choix du lieu de mesure, une chambre blindée pour éliminer les rayonnements "parasites" extérieurs,
- Dans le choix du capteur de champ, la boucle magnétique est la plus adaptée à ce type de mesure car elle est adaptée aux fréquences mise en jeu (quelques kHz à 500 kHz),
- Dans le choix de l'appareil de mesure proprement dit, un analyseur de spectre est parfait pour ce type d'analyse. Les réglages de la valeur de l'atténuateur d'entrée, de la bande d'analyse

(RBW: Resolution BandWidth), de la bande vidéo (VBW: Video BandWidth), du mode de détection et de la vitesse de balayage sont importants (figure 15),

- Il faut laisser le temps à la lampe de se stabiliser, du point de vue thermique, temps qui va de quelques secondes à quelques minutes suivant les lampes.

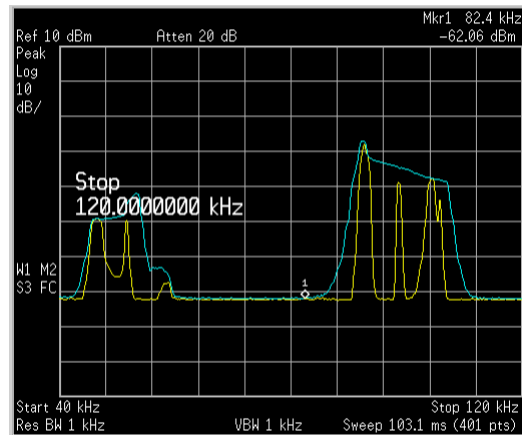


Figure 15: Instabilité des oscillations

Dans ces conditions et compte-tenu de l'expérimentation conduite, le protocole de mesure peut être fondé sur une mesure de champ magnétique produit par les lampes aux diverses fréquences identifiées (généralement comprises entre 10 kHz et 1 MHz) et à différentes distances.

#### VI. Conclusion

On a pu constater que les lampes fluocompactes produisent un champ électromagnétique à des fréquences comprises entre 10 kHz et 500 kHz, émission inexistante pour les lampes à incandescences. Les valeurs maximales de champ magnétique mesurées sont  $< 6 \text{ A/m}$  au contact et  $< 0,1 \text{ A/m}$  à 25 cm. Les valeurs trouvées dans cette étude sont comparables à celle annoncées dans l'étude "EMF von Energiesparlampen" [1].

Ces valeurs sont à comparer avec les valeurs limites d'exposition données par L'ICNIRP (figure 16) [2]. Dans la bande d'intérêt (3 kHz - 150 kHz), le seuil limite H est de 5 A/m et le seuil limite pour E est de 87 V/m.

Le risque induit par les émissions de ces lampes pourrait être un brouillage radioélectrique éventuel dans la bande de radiodiffusion en modulation d'amplitude: ondes kilométrique (Grandes Ondes) et ondes hectométrique (Petites Ondes).

**NIVEAUX DE RÉFÉRENCE POUR L'EXPOSITION DE LA POPULATION GÉNÉRALE À  
DES CHAMPS ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES ALTERNATIFS  
(VALEURS RMS EN CONDITIONS NON PERTURBÉES) (\*)**  
- REFERENCE LEVELS FOR GENERAL PUBLIC EXPOSURE TO TIME-VARYING ELECTRIC AND  
MAGNETIC FIELDS (UNPERTURBED RMS VALUES)

DOMAINE DE FRÉQUENCES	INTENSITÉ DE CHAMP E (V.m <sup>-1</sup> )	INTENSITÉ DE CHAMP H (A.m <sup>-1</sup> )	CHAMP B (μ.T)	DENSITÉ DE PUISSANCE DE L'ONDE PLANE ÉQUIVALENTE Seq (W.m <sup>-2</sup> )
Jusqu'à 1 Hz	-	3,2 x 10 <sup>4</sup>	4 x 10 <sup>4</sup>	-
1 - 8 Hz	10 000	3,2 x 10 <sup>4</sup> / f <sup>0,5</sup>	4 x 10 <sup>4</sup> / f <sup>0,5</sup>	-
8 - 25 Hz	10 000	4 000 / f	5 000 / f	-
0,025 - 0,8 kHz	250 / f	4 / f	5 / f	-
0,8 - 3 kHz	250 / f	5	6,25	-
3 - 150 kHz	87	5	6,25	-
0,15 - 1 MHz	87	0,73 / f	0,92 / f	-
1 - 10 MHz	87 / f <sup>1/2</sup>	0,73 / f	0,92 / f	-
10 - 400 MHz	28	0,073	0,092	2
400 - 2 000 MHz	1,375 / f <sup>1/2</sup>	0,0037 / f <sup>1/2</sup>	0,0046 / f <sup>1/2</sup>	f / 200
2 - 300 GHz	61	0,16	0,20	10

Figure 16: Tableau des niveaux de références donnés par l'ICNIRP pour le public

Ces différentes études vont être complétées par des mesures de champ électrique, effectuées également en champ proche et cela pour un ensemble plus large d'échantillons afin de préciser la nature exacte des émissions radioélectriques accompagnant l'utilisation normale de ces lampes [6].

Des études seront également être menées sur les émissions de champ électromagnétique apparaissant lors de l'amorçage de la décharge électrique dans le tube. En effet, ce phénomène correspond à un régime transitoire de faible durée mais qui met en jeu des tensions significativement plus élevées et, par conséquent, des champs plus intenses avec des harmoniques de plus hautes fréquences.

Pour être exhaustif, il faudrait également mesurer l'émission électromagnétique des lampes ayant subi des cycles de vieillissement afin de mettre en évidence les variations imputables aux dérives des composants électroniques [8].

Nos mesures et le protocole de mesure que nous avons proposé dans cet article pourra aider les fabricants de lampes fluocompactes à mettre au point des systèmes de ballast électronique moins émissifs [5][7].

## REFERENCES

- [1] "EMF von Energiesparlampen: Feldmessungen und Expositionsabschätzungen mit Vergleich zu anderen Quellen im Alltag", Dr. Gregor Dürrenberger, Schlussbericht, Novembre 2004.
- [2] "Guide pour l'établissement de limite d'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques", ICNIRP, cahier de notes documentaires – Hygiène et sécurité du travail N° 182, 2001.
- [3] "Compatibilité électromagnétique : bruits et perturbations radioélectriques", Pierre Degauque et Joel Hamelin, Dunod.
- [4]. Recueil de normes: "Compatibilité électromagnétique (CEM) - Réglementation et normalisation - Tome 1 et 2", Union Technique de l'Électricité et de la Communication (UTE).
- [5]."A Novel Low Frequency Electronic Ballast", IEEE Transaction on Industry Applications vol41 N°5, pages 1401-1408, Sept.-Oct. 2005.
- [6]."A Universal PSpice Model For HID Lamps", Wei Yan and S. Y. Ron Hui, IEEE Transaction on Industry Applications vol41 N°6, pages 1594-1602, Nov.-Dec. 2005.
- [7]."Study Of Output Power Variation Due To Component Tolerances In LC<sub>s</sub>C<sub>p</sub> Resonant Inverters Applied To HPS Lamp Control", C. Branas, J. Azcondo and S. Bracho, IEEE Transaction on Industrial Electronics vol51 N°1, pages 122-131, Fev. 2004.
- [8]."Power-Mode Controlled Power-Factor Corrector For Electronic Ballast", F. J. Azcondo, C. Branas, R. Casanueva and S. Bracho, IEEE Transaction on Industrial Electronics vol52 N°1, pages 56-65, Fev. 2005.