

Analyse des champs électromagnétiques associés aux lampes fluorescentes compactes

Protocole de mesure de l'exposition humaine aux champs électromagnétiques émis par des lampes fluorescentes compactes

Saisine n°« 0497 »

RAPPORT

Février 2009

Mots clés

Lampes fluorescentes compactes, métrologie, champs électromagnétiques, protocole.

Présentation des intervenants

REDACTION AFSSET

Coordination scientifique

M. Olivier MERCKEL – Chef de l'unité Agents physiques – Afsset

Collaboration scientifique

Mme Dina ATTIA – Unité Agents physiques – Afsset

Mlle Nathalie THIERIET – Unité Agents physiques – Afsset

Secrétariat administratif

Mme Sophia SADDOKI – Afsset

RAPPORTEURS

Note : Les experts rapporteurs interviennent auprès de l'Afsset en leur nom propre (*Intuitu Personae*), et non au nom de leur institution d'appartenance.

M. François GAUDAIRE – Chercheur au Centre Scientifique et Technique du Bâtiment – métrologie des champs électromagnétiques.

M. Thierry LETERTRE – Enseignant - Chercheur à l'École Supérieure d'Électricité – métrologie des champs électromagnétiques.

REMERCIEMENTS

Mlle Carolina CALDERON – Docteur - Chercheur au *Health Protection Agency* – métrologie des champs électromagnétiques.

M. Simon Mann – Docteur – Groupe de dosimétrie des champs électromagnétiques

AUDITION DE PERSONNALITES EXTERIEURES

CEI (Commission Electrotechnique Internationale)

M. Johan Wijntjens – Ingénieur – Commission Électrotechnique Internationale

Supélec

M. Alain Azoulay – Professeur – Département Electromagnétisme de l'Ecole Supérieure d'Electricité

SOMMAIRE

Présentation des intervenants	3
Abréviations	5
Liste des figures.....	5
1 Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine.....	6
1.1 Contexte.....	6
1.2 Objet de la saisine.....	6
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation	6
2 Analyse de l'état de l'art.....	7
2.1 Principe de fonctionnement des lampes fluo-compactes.....	7
2.2 Champs électromagnétiques radiofréquences émis par les lampes fluo-compactes ...	9
2.3 Emission de rayonnements ultraviolets :	10
2.4 Réglementation	11
2.5 Données métrologiques	13
2.5.1 Etude OFE-OFSP	13
2.5.2 Données Supélec.....	14
2.6 Normalisation : cas du projet de norme IEC 62493	17
3 Proposition de protocole	20
3.1 Conditions générales de mesure.....	20
3.2 Protocole de mesure simplifié	21
3.3 Protocole de mesure complémentaire	23
4 Conclusions et avertissement.....	24
5 Bibliographie	25
5.1 Publications.....	25
5.2 Normes.....	25
5.3 Législation et réglementation	26
Annexe 1 : lettre de saisine	28
Annexe 2: niveaux de référence et restrictions de base.....	29

Abréviations

LFC : Lampes Fluorescentes compactes.

CEM : Compatibilité électromagnétique.

DAS : Débit d’Absorption Spécifique

EM : Electromagnétique.

HPA : *Health Protection Agency* - Agence de protection de la santé.

ICNIRP : International Commission for Non Ionizing Radiation Protection - Commission internationale de protection contre les rayonnements non-ionisants.

IEC : *International Electrotechnical Commission* – Commission Electrotechnique Internationale.

UTE : Union Technique de l’Electricité

Liste des figures

Figure N°1 : principe de fonctionnement des lampes fluorescentes et fluorescentes compactes.....	7
Figure N°2 : exemples de lampes fluo-compactes.....	8
Figure N°3 : <i>ballasts</i> électroniques de lampes fluo-compactes	9
Figure N°4 : exemple de circuit électrique constitu ant le <i>ballast</i>	9
Figure N°5 : Zones de champ proche et champ lointain (avec λ la longueur d’onde)	10
Figure N°6 : mesure par l’OFSP du champ électrique en fonction de la fréquence	13
Figure N°7 Aspect temporel des émissions (mesure à l’aide d’un oscilloscope numérique).....	14
Figure N° 8 : Aspect fréquentiel des émissions lampe allumée (courbe hachée rouge) et lampe éteinte (courbe plate bleue) - mesure à l’aide d’un analyseur de spectre.....	15
Figure N°9 : Deux classes de niveaux de champ A et B pour les lampes fluo-compactes étudiées.....	16
Figure N° 10 : Evolution du champ magnétique total émis en fonction de la distance pour deux lampes de puissance électrique consommée équivalent (11 W)	16

1 Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine

1.1 Contexte

La directive européenne EuP (2005/32/CE) est une directive cadre pour l'éco-conception des produits consommateurs d'énergie. Elle prévoit l'amélioration des performances énergétiques pour certains produits de consommation courante. L'éclairage électrique en fait partie, ce qui conduira à la fin progressive des ampoules à incandescence pour l'éclairage domestique, selon un calendrier prévu pour s'étaler de 2009 à 2017. Les lampes fluo-compactes (LFC), dites « basse consommation », ou d'autres sources d'éclairage plus économes en énergie pourraient donc à terme les remplacer. Cependant, en août et septembre 2007, le Criirem (Centre de Recherche et d'Informations Indépendantes sur les Rayonnements Electromagnétiques) a diffusé deux communiqués de presse alarmants sur les rayonnements électromagnétiques émis par ces ampoules. De précédentes études, réalisées notamment en 2004 par L'OFSP (Office Fédéral de la Santé Publique) en Suisse, n'avaient pas mis en évidence de niveaux de champ électromagnétique émis par ces ampoules supérieurs aux valeurs limites d'exposition recommandées par l'Union Européenne.

1.2 Objet de la saisine

Les données de champ électromagnétique émises par des LFC diffusées dans les communiqués de presse du Criirem à l'automne 2007 n'étaient pas associées à la description d'un protocole de mesure scientifique, il est donc impossible de se prononcer sur la qualité des mesures effectuées par cette association. Afin de réaliser une campagne de mesure des champs électromagnétiques émis par un échantillon de ces lampes, l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) a demandé à l'Afsset en avril 2008 de définir un protocole de mesure. L'objet de ce rapport est de présenter une analyse des méthodologies existantes et pertinentes pour la mesure des champs électromagnétiques émis par les lampes fluo-compactes, et de proposer, dans la mesure du possible, une solution de mesure simple et rigoureuse, en vue de réaliser une campagne ponctuelle d'évaluation de l'exposition à ces champs. Le protocole présenté n'a pas pour objet de se substituer à un protocole normatif pour l'évaluation de l'exposition des personnes aux champs émis par ces lampes, ou pour leur certification par rapport aux valeurs limites d'exposition imposées par la réglementation actuelle. Ce document propose un certain nombre de pistes et de mise en garde, pour la réalisation de mesures de champ électromagnétique par un laboratoire compétent. Par ailleurs, les analyses préliminaires effectuées en laboratoire n'ont pas valeur de guide, elles sont présentées à titre informatif, afin d'illustrer notamment les difficultés inhérentes à ce type de mesure. Elles ne constituent aucunement un rapport de mesure complet.

1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

Ce rapport a été rédigé par l'Afsset, avec l'aide de contributions extérieures fournies par des experts rapporteurs intervenant en leur nom propre, reconnus pour leur compétence dans le domaine de la métrologie des champs électromagnétiques. Des auditions de personnalités extérieures ont été organisées, afin de recueillir les différentes informations nécessaires à la rédaction de ce document.

2 Analyse de l'état de l'art

Cette section présente le principe général de fonctionnement des lampes fluo-compactes, ainsi qu'une revue des publications qui traitent du sujet des champs électromagnétiques émis par ces lampes. Les données existantes en matière de niveaux de champ émis, ainsi que les méthodologies de mesure utilisées pour les obtenir sont également analysées.

2.1 Principe de fonctionnement des lampes fluo-compactes

Les lampes fluo-compactes sont le résultat du pliage d'un tube fluorescent, associé à la miniaturisation des composants électroniques nécessaires au fonctionnement de ce tube, placés dans un culot d'ampoule standard. Les tubes, d'un diamètre en général compris entre 7 et 20 mm, contiennent un mélange gazeux d'argon et de mercure. Des électrodes placées aux extrémités des tubes permettent l'ionisation du mélange gazeux (figure 1). La production de lumière par ces tubes résulte de deux processus successifs :

- un courant électrique ionise le mélange gazeux, ce qui génère de la lumière dans la gamme des ultraviolets. Cette lumière est invisible, mais très énergétique,
- elle permet de générer de la lumière visible, par son action sur les poudres fluorescentes disposées à la surface interne du tube. Les pertes dans la conversion énergétique sont dissipées sous forme de chaleur. La couleur de la lumière produite provient essentiellement du mélange de poudres fluorescentes utilisées¹.

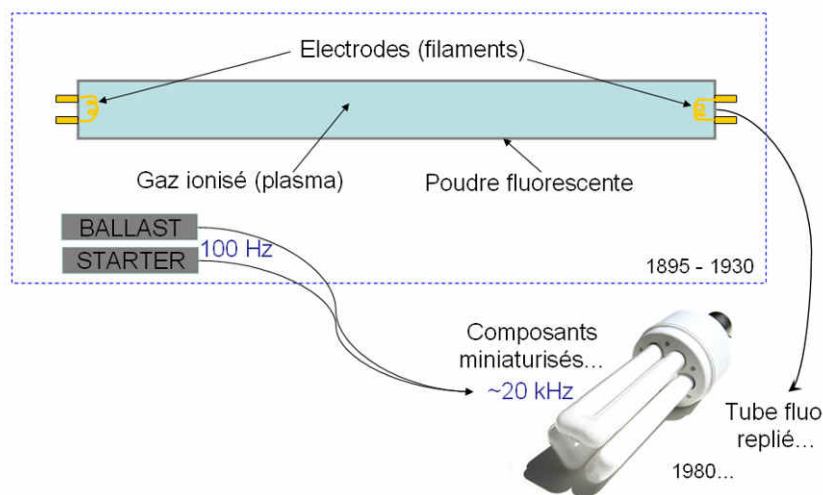


Figure N°1 : principe de fonctionnement des lampes fluorescentes et fluorescentes compactes

¹ Le tube « néon » fait référence au gaz historiquement présent dans le tube, qui donne une couleur rouge à la lumière produite par les tubes du même nom. L'obtention de couleurs différentes est réalisée grâce à des mélanges de poudres fluorescentes, modifiant cette couleur rouge de base.

La phase d'allumage d'un tube fluorescent standard comprend plusieurs étapes :

- le *starter*² est d'abord sollicité, puis le courant circule dans les électrodes aux extrémités du tube, réchauffant le mélange gazeux à proximité,
- la coupure du courant dans le *ballast*³ par le *starter* provoque une forte surtension, capable d'ioniser le gaz dans le tube, et donc de produire de la lumière. Si cette ionisation est durable, le courant circule normalement dans le *starter* et le *ballast*, et la lampe reste allumée. Si ce n'est pas le cas, le cycle recommence, avec plus de chance d'aboutir, le mélange gazeux étant plus chaud qu'initialement.

Dans le cas des lampes fluo-compactes, les starters et ballasts volumineux et fonctionnant autrefois à des fréquences de l'ordre de 100 Hz sont remplacés aujourd'hui par des composants électroniques fonctionnant à 10 ou 20 kHz environ. Cette montée en fréquence permet notamment d'augmenter le rendement énergétique du tube fluorescent. L'effet de scintillement qui était présent sur les tubes fonctionnant à 100 Hz par exemple, est supprimé⁴.

On trouve aujourd'hui sur le marché des lampes à tubes apparents, de longueurs différentes, repliés plusieurs fois sur eux-mêmes, dans des configurations différentes (figure 2). Certaines lampes sont également recouvertes par un globe (en verre ou autre matériau), leur donnant un aspect pratiquement similaire aux ampoules à incandescence. La figure 3 présente des ballasts électroniques situés dans le culot des lampes fluo-compactes. La figure 4 présente le schéma de principe du fonctionnement d'un ballast électronique, responsable de l'émission d'une partie du champ électromagnétique. Le *ballast* génère une haute tension continue par redressement du courant alternatif domestique (220 V) puis « hache » le signal en hautes fréquences (quelques 10 kHz) pour améliorer le rendement.



Figure N°2 : exemples de lampes fluo-compactes

² Le *starter* peut être un bilame, qui chauffe car en court-circuit à la mise sous tension.

³ Le *ballast*, composé notamment d'une self, limite le courant dans le tube.

⁴ Il peut subsister, dans le cas des ampoules fluo-compactes fonctionnant sans ballast haute fréquence (ex. 40 kHz) un phénomène de scintillement à 100Hz, visible pour les utilisateurs dans le cas notamment de phénomènes de stroboscopie liés à l'observation d'objets en mouvement [Finn, 1992].

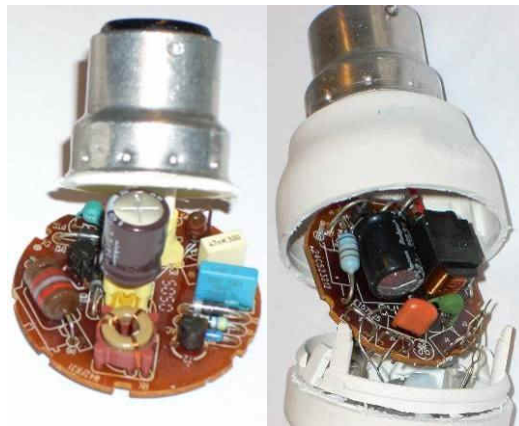


Figure N°3 : ballasts électroniques de lampes fluo-compactes

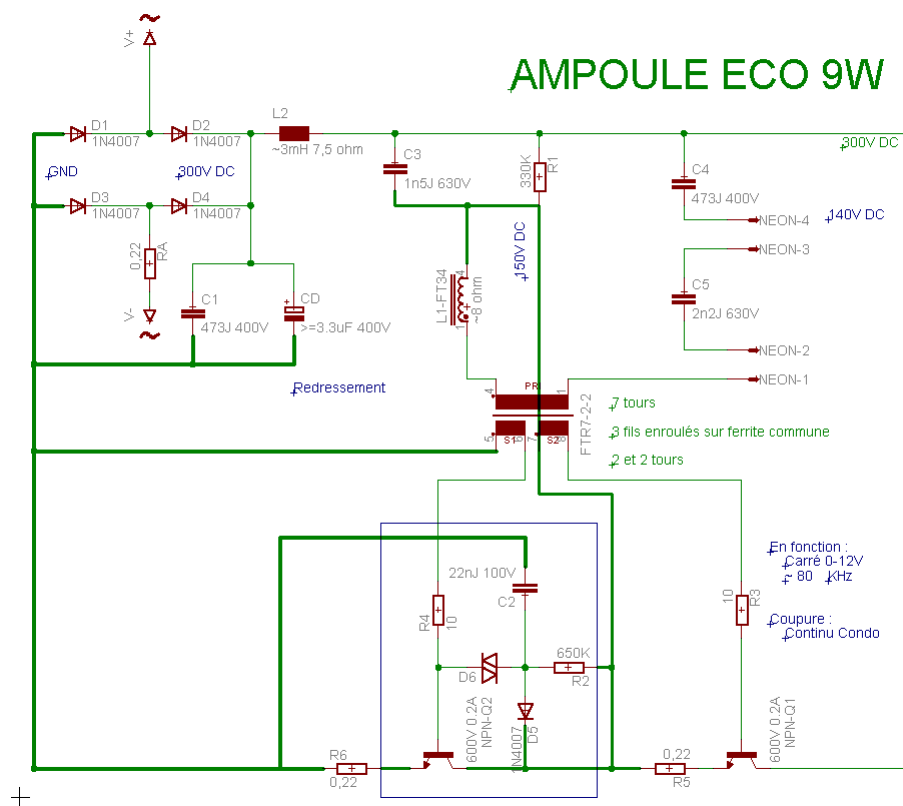


Figure N°4 : exemple de circuit électrique constituant le ballast

2.2 Champs électromagnétiques radiofréquences émis par les lampes fluo-compactes

Les lampes fluo-compactes émettent des champs électromagnétiques dans deux bandes de fréquences principales :

- des émissions dans le domaine des basses fréquences, dans la bande 10 kHz - 1 MHz, dues *a priori* au système d'élévation de tension : le *starter* ou le *ballast*,

- des émissions dans les hautes fréquences (au-dessus de 100 MHz environ), provenant *a priori* du tube lui-même.

Nous nous intéresserons dans ce document aux émissions du premier type, de loin les plus difficiles à caractériser et selon les données actuelles les plus répondérantes.

Il n'existe pas de protocole de mesure de champ EM disponible adapté à ce type de mesures. Il est cependant possible de donner quelques indications pour éviter des problèmes de mesure. Il est ainsi nécessaire d'utiliser des systèmes de mesure capables de donner la valeur du champ électrique et du champ magnétique de façon indépendante, car aux longueurs d'onde considérées, le champ EM n'est pas formé (mesure en zone de champ radiatif ou très proche et non pas en champ lointain) lorsque l'utilisateur se situe à proximité de la lampe. La figure 5 présente le comportement du champ électromagnétique en fonction de la longueur d'onde du rayonnement (λ) et de la dimension de la source (D). Par exemple, dans le cas d'une LFC, et jusqu'à plusieurs MHz, on est en zone de champ proche même à plusieurs mètres.

La particularité du rayonnement électromagnétique émis par ces sources, consiste par ailleurs en la grande étendue du spectre électromagnétique émis, de quelques kHz (typiquement 20 à 50 kHz pour la fréquence fondamentale) à quelques MHz.

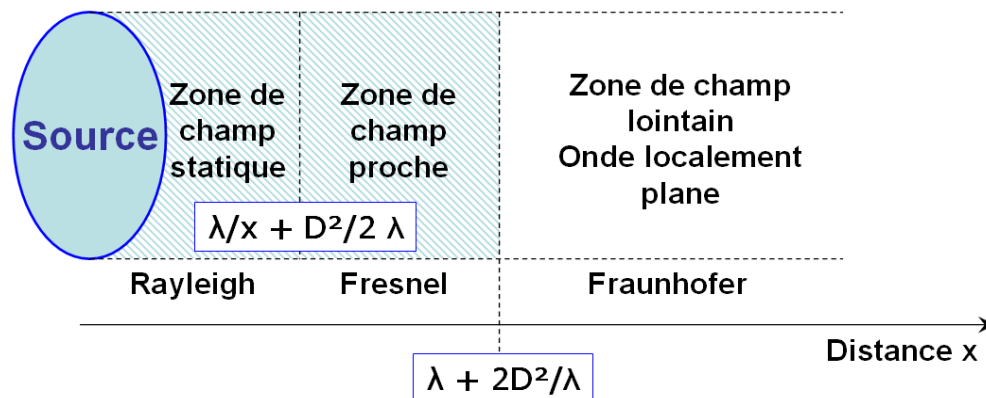


Figure N°5 : Zones de champ proche et champ lointain (avec λ la longueur d'onde)

2.3 Emission de rayonnements ultraviolets :

Les lampes fluo-compactes se présentent avec une simple enveloppe (le tube fluorescent replié est alors apparent) ou une double enveloppe, sous la forme d'un bulbe recouvrant le tube fluorescent, donnant une forme plus ou moins sphérique à l'ampoule. Cette capsule a l'avantage de protéger le tube, relativement fragile⁵, et d'arrêter pratiquement l'intégralité des rayonnements ultraviolets qui peuvent être émis par le tube. Une étude (Khazova, 2008) de l'Agence de protection de la santé anglaise (HPA) a récemment montré que certaines lampes, notamment celles présentant une enveloppe simple, pouvaient engendrer, dans certaines conditions d'utilisations, des surexpositions de la peau aux rayonnements ultraviolets. L'Agence sanitaire anglaise appelle ainsi l'Union Européenne, les organismes de normalisation internationaux et l'industrie de l'éclairage à suivre l'évolution des normes dans ce domaine. L'agence recommande

⁵ Le bris du tube fluorescent provoque l'évaporation de vapeurs de mercure dans l'atmosphère.

également d'éloigner les lampes à simple enveloppe de 30 cm de l'utilisateur, lorsqu'elles sont utilisées plus d'une heure par jour⁶.

2.4 Réglementation

- La mise sur le marché des lampes marquées « CE » impose qu'elles soient conformes aux exigences essentielles de la directive européenne basse tension 2006/95/EC. Pour la plupart des équipements électriques, les aspects sanitaires des champs électromagnétiques qu'ils émettent sont dans le domaine de cette directive. Par ailleurs, les lampes fluo-compactes en tant qu'émetteurs de champs électromagnétiques – même non désirés – devraient être conformes aux valeurs limites décrites par la recommandation européenne 1999/519/CE, afin de protéger la population des effets connus et avérés des champs électromagnétiques émis par des équipements radioélectriques.

Concernant la compatibilité électromagnétique des matériels, c'est-à-dire les impacts sur le fonctionnement des systèmes électriques et électroniques, les normes applicables aux lampes sont les suivantes :

- EN 61000-3-2 : définit notamment les limites des teneurs en harmoniques concernant l'émission de champs électromagnétiques.
- EN 61 547 : concerne l'immunité des équipements par rapport à d'autres sources de rayonnement.
- EN 55 015 : relative aux interférences radio entre les équipements.

Par ailleurs, une *task-force* CEI – CENELEC réalise en ce moment des travaux de normalisation concernant la métrologie des champs rayonnés par les lampes (cf. paragraphe 2.4.2). Il faut rappeler que l'objet de ce document n'est pas de se substituer à la définition d'une procédure normative de mesure de l'exposition, mais de donner des lignes directrices pour une campagne de mesure particulière des champs émis par les LFC. Les objectifs recherchés étant différents, les solutions retenues diffèrent, tout en étant complémentaires.

La Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP) a fourni en 1998 des lignes directrices pour limiter l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques. Dans ce cadre, l'ICNIRP fournit des indications pour évaluer l'exposition à des sources émettant à des fréquences multiples, ce qui est le cas des lampes fluo-compactes.

Pour évaluer la densité de courants induits dans le corps, et les effets liés à des stimulations électriques, pertinents jusqu'à 100 MHz, les intensités des champs électriques et magnétiques devraient être additionnées selon les formules suivantes :

$$\sum_{i=1\text{Hz}}^{1\text{MHz}} \frac{E_i}{E_{L,i}} + \sum_{i>1\text{MHz}}^{10\text{MHz}} \frac{E_i}{a} \leq 1 \quad 2.4.1$$

⁶ HPA – *Emissions from compact fluorescent lights* – 9 octobre 2008

$$\sum_{j=1\text{Hz}}^{65\text{kHz}} \frac{H_j}{H_{L,j}} + \sum_{j>65\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{H_j}{b} \leq 1 \quad 2.4.2$$

où :

$E_{L,i}$: niveau de référence de l'intensité du champ électrique à la fréquence i

$H_{L,j}$: niveau de référence de l'intensité du champ magnétique à la fréquence j

E_i : intensité du champ électrique à la fréquence i

H_j : intensité du champ magnétique à la fréquence j

$$a = 87 \text{ Vm}^{-1}$$

$$b = 5 \text{ Am}^{-1}$$

Pour les effets thermiques, pertinents au-dessus de 100 kHz, les 2 équations suivantes devraient être appliquées aux niveaux de champ :

$$\sum_{i=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{E_i}{c} \right)^2 + \sum_{i>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{E_i}{E_{L,i}} \right)^2 \leq 1 \quad 2.4.3$$

$$\sum_{j=100\text{kHz}}^{1\text{MHz}} \left(\frac{H_j}{d} \right)^2 + \sum_{j>1\text{MHz}}^{300\text{GHz}} \left(\frac{H_j}{H_{L,j}} \right)^2 \leq 1 \quad 2.4.4$$

où :

$E_{L,i}$: niveau de référence de l'intensité du champ électrique à la fréquence i

$H_{L,i}$: niveau de référence de l'intensité du champ magnétique à la fréquence i

E_i : intensité du champ électrique à la fréquence i

H_j : intensité du champ magnétique à la fréquence j

$$c = 87 \cdot f^{-1/2} \cdot \text{Vm}^{-1} \quad (f \text{ en MHz})$$

$$d = 0.73 \cdot f^{-1} \cdot \text{Am}^{-1} \quad (f \text{ en MHz})$$

Afin d'évaluer l'exposition aux champs électromagnétiques émis par les LFC en utilisant les formules précédentes, les points suivants doivent être considérés :

- i. Les sondes large bande, qui fournissent une unique valeur représentant l'intensité du champ quadratique total sur tout le spectre fréquentiel couvert par l'instrument, ne peuvent être utilisées. En effet, la source de champ n'émet pas une fréquence unique, et la somme quadratique des amplitudes des fréquences harmoniques réalisée par ce genre d'instrument n'est pas compatible avec les sommations linéaires des équations 2.4.1 et 2.4.2.
- ii. Les sondes de mesure de champ électrique ou magnétique doivent être petites en comparaison avec la distance de mesure à la source, afin de minimiser les effets de moyennage spatial. Ce moyennage pourrait conduire à une sous-estimation de l'intensité du champ.
- iii. Les sondes de mesure de champ électrique doivent être placées à une distance suffisamment grande pour assurer que les erreurs dues au couplage mutuel soient négligeables (pour un dipôle fabriqué avec une tige de rapport longueur/diamètre supérieur à 30, l'erreur dans la transmittance de la sonde due au couplage sera inférieure à 10% à une distance supérieure à la longueur de la sonde [3]);

- iv. Les sondes de champ magnétique doivent être blindées contre les champs électriques, en particulier dans le cas des LFC où l'impédance d'onde (rapport du champ E sur le champ H) doit être bien supérieur à 377 Ohm;

Un capteur optique de champ électrique (sonde électro-optique) serait idéal pour une mesure, en raison de ses faibles dimensions et de son caractère non perturbant. Cependant, aucune sonde n'est disponible aujourd'hui commercialement pour ces fréquences.

2.5 Données métrologiques

2.5.1 Etude OFE-OFSP

2.5.1.1 Méthodologie

Une étude publiée par l'Office fédéral de l'énergie suisse en 2004, avec le soutien de l'Office fédéral pour la santé suisse, de Philips SA Lighting et d'Osram SA a présenté des mesures de champ électromagnétique émis par les lampes fluo-compactes [5]. L'étude de l'OFSP a utilisé une antenne tige EMCO (modèle 3301), qui possède une longueur minimale de 50 cm, pour mesurer l'intensité du champ électrique, à une distance de 30 cm des lampes (figure 6 ci-dessous).

2.5.1.2 Résultats

L'étude de l'Office fédéral de l'énergie suisse concluait, en 2004, que le rayonnement électromagnétique des lampes économiques était à peine plus élevé que celui des ampoules à incandescence, et comparable à celui d'autres appareils électroménagers utilisés au quotidien.

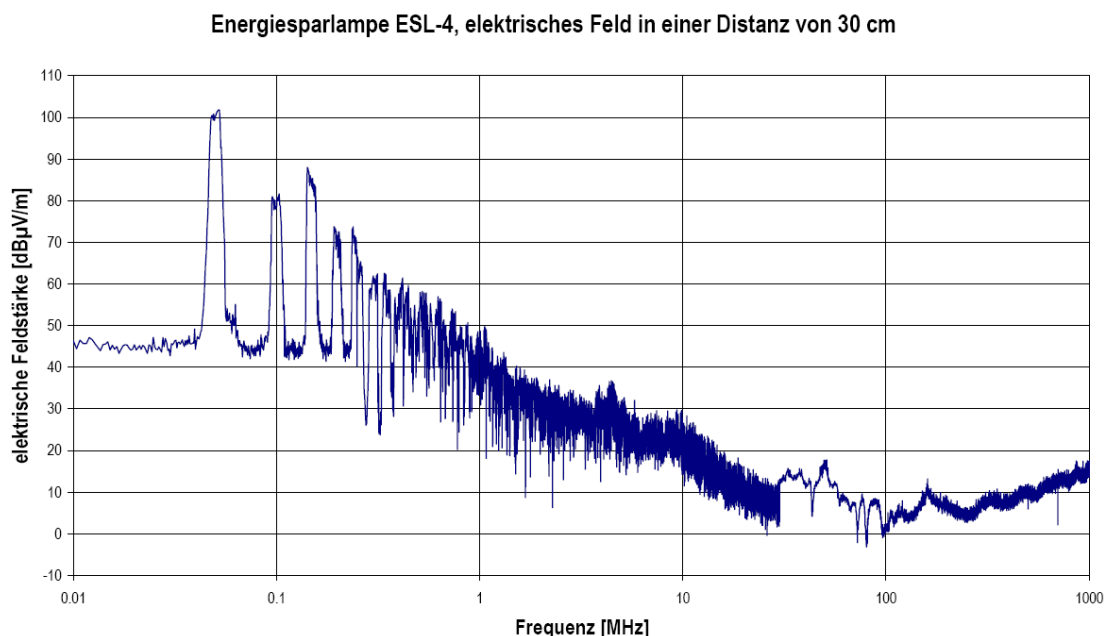


Figure N°6 : mesure par l'OFSP du champ électrique en fonction de la fréquence

2.5.1.3 Commentaires

L'effet de moyennage pourrait avoir été très important, expliquant ainsi la faible intensité de la composante fondamentale (0.1 V/m). La fréquence maximale que peut détecter la sonde EFA-3/300 est 32 kHz. Une sonde de mesure complémentaire aurait été nécessaire pour réaliser une mesure d'exposition complète. L'utilisation de sondes comme l'EFA-3 pour les fréquences plus

basses semble en revanche adéquate. Des mesures du niveau de fond auraient par ailleurs été utiles.

2.5.2 Données Supélec

2.5.2.1 Méthodologie

Les résultats suivants sont le fruit d'expérimentations préliminaires effectuées à Supélec en 2008 dont le but était de vérifier les hypothèses de départ en terme de type de champs électromagnétiques émis et non de servir de protocole rigoureux. Le dispositif de mesure mis en place consiste en une antenne boucle étalon pour la mesure du champ magnétique (plus facile à mesurer que le champ électrique pour cette bande de longueur d'onde) suivie d'un récepteur adapté au type du domaine d'étude (un oscilloscope pour les études temporelles ou un analyseur de spectre pour les études fréquentielles).

2.5.2.2 Résultats

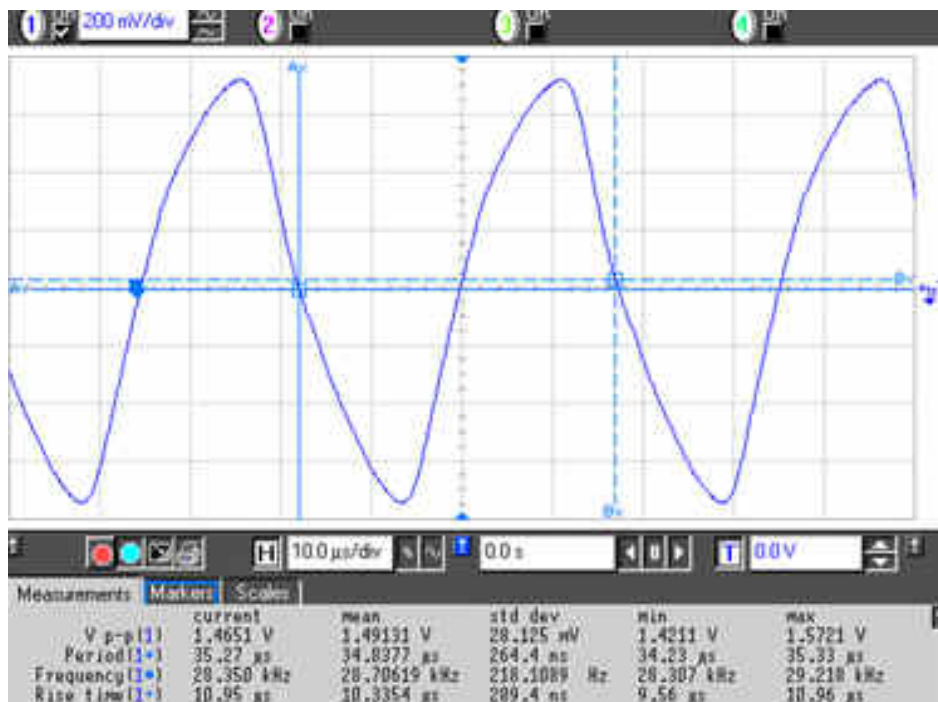


Figure N°7 Aspect temporel des émissions (mesure à l'aide d'un oscilloscope numérique)

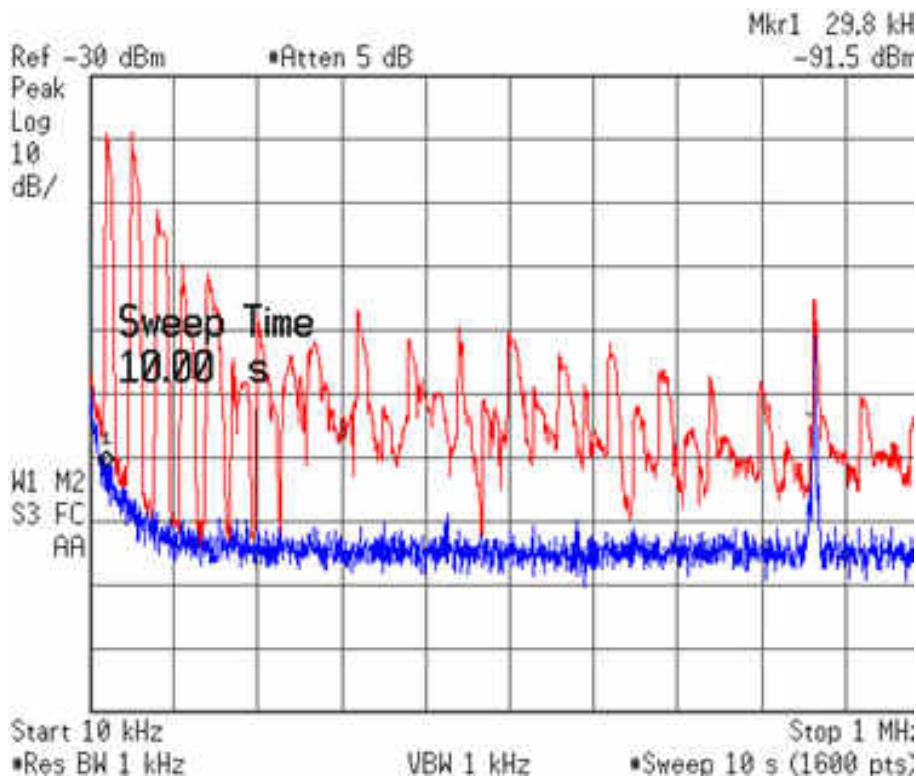


Figure N°8 : Aspect fréquentiel des émissions lampe allumée (courbe hachée rouge) et lampe éteinte (courbe plate bleue) - mesure à l'aide d'un analyseur de spectre.

Les résultats obtenus confirment la présence d'une émission radioélectrique dont la fréquence fondamentale est comprise entre 10 et 30 kHz suivant les lampes, les harmoniques s'étalant jusqu'à environ 1 MHz. Les premières observations suivantes ont pu être formulées :

- Les émissions étaient très localisées dans l'espace : le maximum du champ magnétique étant mesuré à proximité immédiate de la partie de la lampe contenant le circuit "Ballast",
- Le champ décroît très rapidement avec la distance,
- Le niveau de champ magnétique est relativement faible (en général), mais il existe un certain nombre de lampes pour lesquels le champ est plus fort d'un facteur 20 à 30 dB (classe A sur le graphique)
- La valeur du champ magnétique n'est pas liée à la puissance consommée par la lampe,
- Le champ magnétique varie très peu en fonction du temps mais il y a un "pic transitoire" à l'allumage de la lampe suivi d'une mise à température qui peut durer plusieurs minutes.
- Pour certaines lampes, les amplitudes mesurées juste après l'allumage et le « pic » d'émission transitoire, diminuent progressivement pour se stabiliser. Il est indispensable de tenir compte de cette situation pour la définition du protocole de la campagne de mesure.
- Les émissions de ces lampes peuvent induire un brouillage radioélectrique dans la bande de radiodiffusion en modulation d'amplitude : ondes kilométriques (Ondes longues) et ondes hectométriques (Ondes moyennes). Les LFC peuvent en effet induire un brouillage car certaines raies correspondent à des stations radios (LFC avec des niveaux d'amplitudes de plus de 30 dB dans la bande 100-200 kHz, cf. figure n°9 et la différence entre la courbe rouge (avec LFC) et la bleue (avec radio)). Le brouillage a été testé avec un petit poste de radio du commerce situé à moins de 1m d'une lampe.

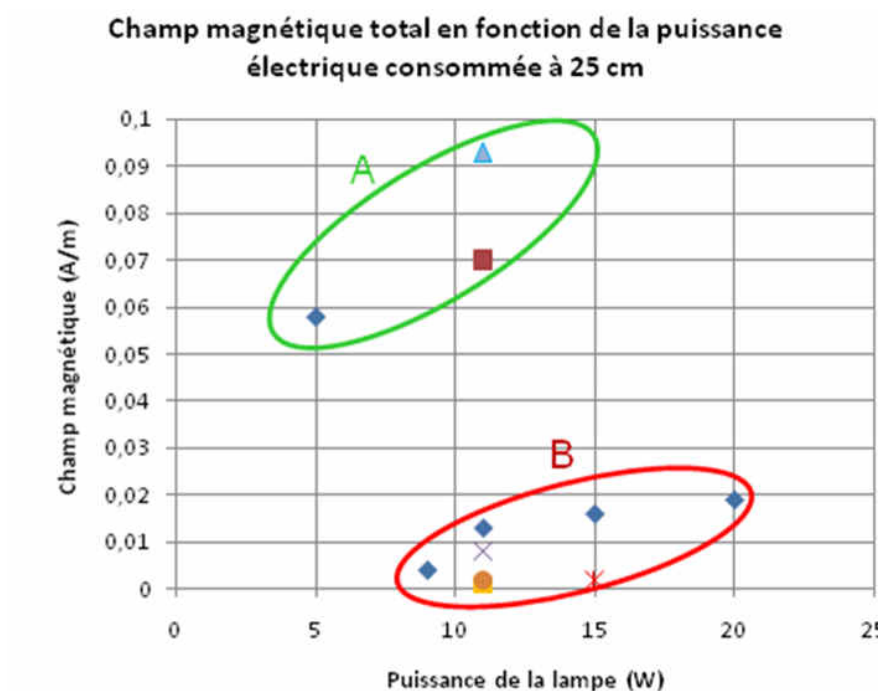


Figure N°9 : Deux classes de niveaux de champ A et B pour les lampes fluo-compactes étudiées

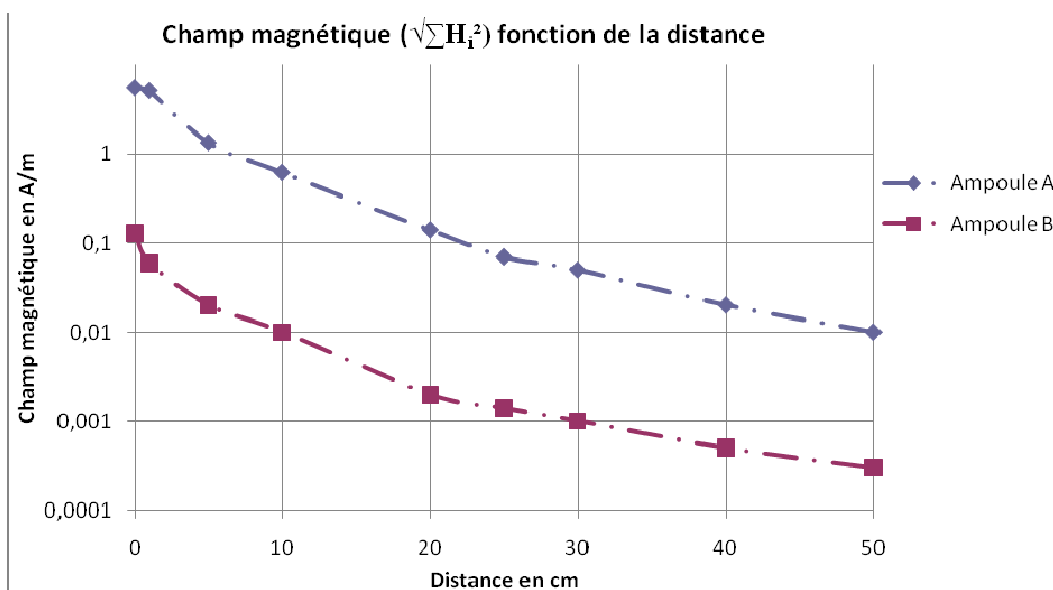


Figure N°10 : Evolution du champ magnétique total émis en fonction de la distance pour deux lampes de puissance électrique consommée équivalent (11 W)

2.5.2.3 Commentaires :

La difficulté des mesures réalisées réside dans la capacité à ne pas intégrer de champ électrique dans la mesure du champ magnétique. A priori, la sonde utilisée limite au maximum la récupération de champ électrique, en utilisant un blindage spécifique. Les résultats obtenus pourraient laisser penser à une telle récupération, mais les caractéristiques de la sonde semblent garantir une bonne réjection. Il est possible de trancher la question en utilisant des boucles de tailles différentes. On devrait alors obtenir le même champ H, ou plus si la sonde est plus petite, compte tenu du moyennage spatial. Sinon, cela signifierait que l'on mesure aussi du champ E.

Le fait de retrouver deux classes de champ émis par les lampes bien distinctes pourrait s'expliquer par le fait que la l'antenne boucle récupère du champ électrique. En effet, les lampes utilisent la même tension, responsable du champ E, alors que le courant, qui détermine le champ H, dépend de la puissance de la lampe. Toutefois, le fonctionnement du ballast reste complexe, et pourrait aussi expliquer ces différences par des technologies différentes.

En champ non uniforme, et pour des distances très courtes, le capteur utilisé pour les mesures reportées figure 10 est trop grand.

Comme dans l'étude de l'OFE-OFSP, cette méthode a l'avantage de mesurer le spectre de la source, ce qui est indispensable pour l'évaluation correcte de l'exposition. Il est cependant nécessaire de faire les mesures à une distance où les erreurs dues au moyennage spatial sont négligeable, et de s'assurer que la sonde n'est pas sensible aux champs électriques.

2.6 Normalisation : cas du projet de norme IEC 62493

Le comité technique 34 au sein de la CEI (commission Electrotechnique Internationale), relayé par son comité miroir au sein de l'UTE (Union Technique de l'Electricité) a engagé des travaux de normalisation pour construire une méthodologie de certification des luminaires utilisant des lampes fluorescentes. Ces travaux sont en phase d'achèvement, la norme devant être approuvée avant la fin de l'année 2009. Cette norme répond, *a priori*, en partie à la question posée par l'Ademe, dans la mesure où elle propose un cadre pour la certification des équipements d'éclairage et notamment des lampes fluo-compactes, qui pour la plupart possèdent des ballasts intégrés. Cette norme propose par ailleurs un protocole d'évaluation de l'exposition aux champs émis par les luminaires, dont une partie normative et des annexes informatives. Certaines limitations pratiques apparaissent néanmoins, relatives à la méthodologie de mesure proposée, qui utilise des moyens *a priori* peu répandus dans les laboratoires (« tête de Van der Hoofden »), et impose des distances de mesure supérieures à 30 cm des sources pour les lampes fluo-compactes, limitant ainsi la possibilité de l'étude de l'exposition dans des situations de grande proximité.

- En particulier, le texte de la norme précise que les luminaires testés sont réputés être conformes aux valeurs limites exprimées par l'ICNIRP en 1998 s'ils respectent la norme de compatibilité électromagnétique CISPR 15 éd. 7.1⁷ et que les densités de courant induit mesurés dus au champ électrique dans la bande de fréquence 20 kHz – 10 MHz n'excèdent pas le facteur 0.85 (cf. Annexe D, IEC 62493). Le recours à une norme de compatibilité électromagnétique pour évaluer la conformité des lampes introduit une étape implicite dans la caractérisation de l'exposition, et provoque le recours conjoint à des

⁷ « Limites et méthodes de mesure des perturbations radioélectriques produites par les appareils électriques d'éclairage et les appareils analogues », CISPR 15 éd. 7.1, IEC.

valeurs limites fondées sur des perturbations de matériel électronique acceptables et des valeurs limites issues d'effets biologiques connus et avérés. Par ailleurs, dans l'hypothèse de modifications futures des normes et valeurs limites auxquelles se réfère la norme IEC 62493 pour construire le protocole proposé, il conviendrait de le réviser. En revanche, dans la mesure où les lampes sont de toute façon certifiées pour la compatibilité électromagnétique, il est vrai que cela peut constituer un gain de temps dans l'ensemble de la caractérisation de l'exposition. Le fait de supposer que les lampes émettent des champs d'intensités égales aux valeurs limites constitue un pire cas dans l'évaluation de l'exposition. Cela empêche d'obtenir une mesure d'exposition réelle, mais est tout à fait compatible avec une logique de certification, ou de comparaison avec des valeurs limites.

- L'approche méthodologique utilisée dans la future norme IEC 62493 consiste à mesurer des densités de courants sur une sphère métallique placée à proximité d'une lampe. La méthode utilise une approche de type CEM (compatibilité électromagnétique) : un banc de mesure avec un élément sous test et diverses configurations suivant la source d'émission radioélectrique. Cela permet de caractériser de façon globale une lampe ou un luminaire (sources étendues, plusieurs lampes), ce qui consiste plutôt à réaliser de la certification de produit. Il n'y a notamment pas de distinction et de focalisation sur les différentes parties des luminaires qui contribuent aux différents rayonnements électromagnétiques (i. e. recherche du niveau d'émission maximum sur toute la bande de fréquence considérée, même s'il est bien tenu compte de la fréquence dans l'évaluation des champs). Cette méthode est quelque peu éloignée des travaux classiques utilisés pour réaliser l'évaluation de l'exposition humaine aux champs électromagnétiques, qui consistent le plus souvent à trouver des situations de mesure des champs électriques et magnétiques dans l'environnement, avant de chercher à quantifier les effets produits dans le corps (courants induits, DAS).

La particularité des lampes dans ce domaine, réside cependant dans la gamme très étendue des fréquences émises. Cette approche d'évaluation préalable où les mesures des champs sont comparées aux niveaux de référence, est utilisée, si possible, dans l'arbre de décision pour l'évaluation d'un équipement dans la plupart des normes produites sur la question de l'exposition humaine aux champs électromagnétiques, et en particulier dans la norme NF EN 50392, citée en référence dans le projet CEI 62493 concernant l'utilisation de la tête « Van der Hoofden ».

Le projet de norme CEI 62493 donne peu de références pour évaluer la validité du modèle de tête utilisé (*Van der Hoofden Head*), et en particulier ne précise pas s'il constitue une approche de type pire cas pour l'exposition aux champs électromagnétiques dans cette bande de fréquence. Cette construction physique d'une tête est en fait issue des dimensions proposées à titre informatif dans la norme NF EN 50392 (modèles de corps homogènes, plus simples, figure C.2). Il serait intéressant d'obtenir des comparaisons entre les valeurs de courant obtenues grâce au modèle numérique, et celles obtenues par les mannequins métalliques.

La norme prévoit de réaliser les mesures sur des lampes déjà utilisées au moins pendant 100 heures, et après un temps de stabilisation de 15 minutes pour les lampes fluorescentes compactes.

D'autres remarques importantes concernant la méthodologie proposée par la future norme IEC 62493 concernent le système de protection (*protection network*), qui ne comporte pas de retour de masse, celui-ci se faisant par le système sous test. Par ailleurs, la mesure se fait au niveau de la partie lumineuse du système, ou au milieu de l'ensemble lampe – ballast déporté, et non pas au niveau du starter ou du ballast, a priori principal contributeur de l'émission des champs électromagnétiques entre 20 kHz et quelques MHz. Il faudrait pouvoir déterminer, dans les cas particuliers des luminaires composés de ballasts et d'éléments éclairant séparés physiquement, quel est l'élément contributeur et trouver la situation d'exposition maximum.

La difficulté rencontrée dans la définition d'un protocole de mesure simple au voisinage très proche des lampes est que les niveaux de référence recommandés par l'ICNIRP notamment, et requis pour garantir la protection du public par le décret français n°2002-775, sont pris dans le cas d'une exposition uniforme de type corps entier. Cette situation n'est évidemment pas caractéristique de l'exposition proche d'une lampe fluo-compacte, pour laquelle le champ n'est pas uniforme, dans un rayon d'un mètre au moins. La comparaison de valeurs de champ électrique ou magnétique avec les niveaux de référence pourrait donc donner lieu à des interprétations erronées, avec notamment une probable surestimation importante des valeurs mesurées. Il conviendrait donc d'examiner les restrictions de base, à savoir, aux fréquences considérées, la mesure des courants induits dans le corps ainsi que la mesure du DAS induit dans les parties du corps exposé. Cependant, la mesure de DAS aux fréquences situées entre 100 kHz et quelques MHz est extrêmement compliquée et il n'est pas certain que l'on dispose aujourd'hui de méthodes de mesure éprouvées pour cela.

Enfin, afin de vérifier la conformité des lampes avec les valeurs limites d'exposition en vigueur, la mesure des densités de courant induites ne serait pas suffisante, il faudrait également mesurer le DAS induit dans les parties du corps exposé, ce qui, aux fréquences situées entre 100 kHz et quelques MHz est extrêmement compliqué. Il n'est pas certain que l'on dispose aujourd'hui de méthodes de mesure éprouvées pour cela. L'accès à la puissance rayonnée pourrait au moins être obtenu dans une cellule GTEM (*Gigahertz Transverse Electromagnetic Cell*), afin de déterminer la conformité aux valeurs limites. Si la puissance rayonnée mesurée est inférieure à 20 mW, alors on peut montrer la conformité avec les valeurs limites actuelles en DAS, forcément inférieures à 2 W/kg⁸.

La norme IEC 62493 préconise la mesure des courants de surface apparaissant au niveau d'une sphère représentant la "tête" d'une personne (tête de Van der Hoofden).

⁸ En effet, même si toute la puissance émise (20 mW maximum) était absorbée par la tête, par exemple, le DAS résultant serait inférieur à 2 W/kg.

3 Proposition de protocole

Il est important de rappeler ici l'objet de ce rapport : proposer une méthode si possible fiable, simple et rigoureuse, dans le but d'évaluer l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques émis par des lampes fluo-compactes, lors d'une campagne de mesure particulière. Ce protocole n'a pas vocation à se substituer à une norme, et ne saurait être dissocié des résultats de mesure présentés par l'Ademe. En particulier, il ne peut être fait usage de ce protocole, qui représente l'état des connaissances scientifiques à un moment donné, pour démontrer la conformité des lampes fluo-compactes aux valeurs limites d'exposition aux champs électromagnétiques dans un contexte différent de la présente étude.

Pour vérifier que l'exposition d'une personne est inférieure aux valeurs limites d'exposition, il convient de s'intéresser aux restrictions de base (densité de courant en dessous de 100 kHz et DAS au dessus de 100 kHz). En pratique, la mesure de ces restrictions de base, qui correspondent à des phénomènes macroscopiques observables dans le corps humain (circulation de courant électrique, ou élévation de température des tissus) est extrêmement complexe. Cette mesure requiert souvent du matériel coûteux, une grande expertise de la part des opérateurs ou n'est tout simplement pas envisageable, par manque de métrologie applicable. Il faut alors recourir à des modélisations, avec leurs limites intrinsèques. Lorsque cela est possible, pour simplifier l'évaluation de l'exposition, on a recours à la mesure des niveaux de champs (E, H) dans l'environnement. Cette solution n'est pas toujours possible, notamment lorsque la mesure doit se faire à proche distance de la source. Dans ce cas, les dimensions de la source rayonnante ne sont plus négligeables, et imposent de considérer une répartition des champs complexe autour de celle-ci. A contrario, en champ lointain, c'est-à-dire loin de la source (distance dépendante de la longueur d'onde et des dimensions de l'antenne), le champ peut-être modélisé comme provenant d'une source infiniment petite, et son comportement est généralement aisément prédictible ou mesurable. A ces difficultés se rajoutent celles inhérentes à la mesure, qui en champ proche, peut perturber la source, et donner des résultats totalement aberrants en l'absence de précautions élémentaires.

Les paragraphes suivants proposent donc une méthode pragmatique pour évaluer les champs électromagnétiques émis par les lampes fluo-compactes, en tenant compte des éléments cités ci-dessus. L'approche proposée consiste à évaluer l'exposition par des moyens simples mais robustes dans un premier temps, en indiquant précisément le domaine de validité et les limitations de ces méthodes. D'autres solutions sont ensuite proposées, plus lourdes, pour caractériser plus précisément l'exposition. Cette méthode peut donc être utilisée dans le cas où les valeurs mesurées sont en-dessus des valeurs de références, afin de déterminer si les émissions génèrent des densités de courant et des valeurs de DAS en-dessus des restrictions de base.

3.1 Conditions générales de mesure

- Il est recommandé d'effectuer les essais dans une cage de Faraday ou en chambre anéchoïque, afin d'éliminer les rayonnements "parasites" extérieurs.
- Il est recommandé d'effectuer une mesure du bruit de fond électromagnétique, en situation de non fonctionnement des lampes, dans la grandeur physique choisie pour caractériser l'exposition (champs électrique, magnétique, ou grandeurs de base : DAS ou courants induits).

- Il est recommandé de caractériser au préalable la source d'émission, afin de déterminer les fréquences d'émission (fondamentale, harmoniques, large bande), et la stabilité dans le temps des rayonnements émis.
- Il conviendra donc de laisser à la lampe le temps de se stabiliser, en particulier du point de vue thermique, afin d'obtenir des mesures reproductibles. La durée de stabilisation des lampes est variable et doit être estimée pour chaque échantillon.
- Les lampes doivent être placées en situation de telle manière que le culot utilisé, ainsi que le câble d'alimentation électrique ne perturbe pas les mesures. Il peut être utile de comparer les résultats obtenus avec une lampe à incandescence par exemple.
- Les mesures de champ électrique et magnétique au contact de la lampe, et jusqu'à une distance de 30 cm sont à proscrire, en raison des problèmes de fiabilité de la mesure qui seraient alors rencontrés (cf. chapitre 2).
- Il convient de réaliser des mesures dans des conditions réelles d'utilisation des lampes incluant, si possible, des situations d'exposition maximales.
- Des situations typiques d'utilisation peuvent être déterminées : lampe de chevet, de bureau, pour présenter des mesures représentatives de conditions réelles d'utilisation.
- S'agissant de lampes fluo-compactes, il convient de s'assurer de la position du ballast, étant un des principaux émetteurs des champs électromagnétiques que l'on cherche à caractériser. Si le ballast est déporté (pour certains luminaires disposés dans des têtes de lit par exemple), il conviendra de réaliser des mesures à l'emplacement correspondant à l'exposition plausible maximale.

3.2 Protocole de mesure simplifié

Ce protocole simplifié vise à réaliser des mesures de rayonnement émis par les lampes fluo-compactes dans l'environnement, de façon à les comparer avec les valeurs limites d'exposition en vigueur (niveaux de référence décrits dans le décret n°2002-775). En raison de la grande difficulté de mesure des champs électrique (E) et magnétique (H) au voisinage proche des lampes, il convient de respecter scrupuleusement les indications données ci-après, en considérant toutes les limitations et mises en gardes exprimées.

- Les fréquences d'émission concernées sont *a priori* comprises entre 10 kHz et 60 kHz pour la fondamentale, et jusqu'à 10 MHz pour les harmoniques. Ce spectre fréquentiel doit être identifié et validé pour chaque lampe testée.
- L'intensité de l'émission à la fréquence fondamentale doit être évaluée, de même que le rapport d'intensité entre la fondamentale et les harmoniques.
- Pour les spectres de rayonnement présentant des harmoniques, il convient de vérifier que l'exposition liée à ces harmoniques est conforme aux valeurs limites. La norme NF EN 50392 donne par exemple des indications pour réaliser les sommations des différentes contributions fréquentielles (cf. NF EN 50392, paragraphe 8.1).
- Les mesures de champ E et H doivent être effectuées à une distance aussi proche que possible de la lampe, dans la limite de spécification des appareils utilisés garantissant un résultat rigoureux des mesures. En pratique, il est difficile aux fréquences considérées, avec les instruments disponibles aujourd'hui, de s'approcher d'une source de champ à moins de 30 cm, sous peine d'obtenir des résultats entachés d'erreurs grossières.

- Il convient de déterminer la zone de rayonnement maximal de la lampe avant de faire une mesure précise des champs. Un système rotatif pour le luminaire ou le système de mesure est ainsi fortement recommandé.
- L'incertitude de la mesure doit être évaluée, conformément aux règles standard de calcul des incertitudes (cf. CEI « guide pour l'expression de l'incertitude de mesure », Ed. 1, 1995).
- Le banc de mesure doit être étalonné conformément aux règles standard d'étalonnage des systèmes de mesure de champ électromagnétique.
- Le capteur de champ magnétique le plus adapté à ce type de mesure est la boucle magnétique, à condition toutefois de vérifier les conditions de validité de la mesure :
 - taille du capteur en rapport avec la distance à la source, compte tenu de la fréquence de mesure,
 - influence du champ électrique émis par la source, qui pourrait être capté par la boucle.
 - Possibilité de moyennage spatial du champ, et donc de sous-estimation, lié à la taille du capteur.
- Un analyseur de spectre couplé à la boucle magnétique est approprié pour effectuer le relevé des données de champ magnétique.
- Pour le champ électrique, la dimension des antennes ne semble pas adaptée pour des mesures très proches de la source. Il existe cependant des sondes de « petites » dimensions (10cm*10cm*10cm) qui permettent des mesures des champs E et H (par exemple PMM, Narda STS...). Certaines ont aussi une fonction d'analyse spectrale. Il est dans tous les cas indispensable de quantifier les incertitudes sur ce type de matériel, de déterminer les limites de la mesure et aussi d'expliquer pourquoi les mesures au contact ne sont pas valables et inexploitable.
- Une sonde de mesure de champ électrique et magnétique isotropique⁹ constitue également une bonne solution. Une telle sonde peut détecter les champs magnétique et électrique dans la bande de fréquence 9 kHz – 30 MHz, et possède un taux de réjection du champ électrique supérieur à 20 dB¹⁰. Ce type d'appareil possède un analyseur de spectre interne, permettant de réaliser les calculs des équations 2.4.1 et 2.4.2. L'utilisation de cette sonde se heurte cependant à 3 limitations :
 - La sonde ne doit pas être placée à moins de 30 cm des lampes.
 - La résolution fréquentielle est insuffisante pour résoudre certains détails dans le spectre, comme par exemple les harmoniques attendus liés à la modulation 100 Hz, ne pourront être résolus (résolution spectrale 1 kHz [4]).
 - A une distance de 30 cm, l'intensité du champ magnétique pourrait être en-dessous du seuil de sensibilité de l'instrument, bien que ceci puisse ne pas constituer de

⁹ Par exemple de type Narda EHP-200. Les références matérielles sont données ici à titre strictement indicatif.

¹⁰ Cela signifie que l'intensité du champ magnétique résiduel est donné par : $H_{res} = \frac{E}{377 * 10^{\frac{-R}{20}}} \text{ (A/m)}$

avec E le champ électrique et R le taux de réjection de E en dB.

limitation majeure dans un contexte de vérification de la conformité aux valeurs limites d'exposition.

- Il pourrait être envisageable d'effectuer des mesures à une certaine distance des sources, dans des conditions maîtrisées, pour la source et l'instrument, garantissant la qualité des mesures, et réaliser des extrapolations des champs par le calcul, par exemple au moyen de techniques de rétropropagation des champs utilisant la méthode des sources équivalentes, ou des techniques de mesure en champ proche.

3.3 Protocole de mesure complémentaire

Afin de compléter le protocole précédent, et à condition de disposer des instruments cités, une solution peut être d'utiliser les préconisations de la norme IEC 62493, qui propose d'évaluer les restrictions de base, plutôt que les niveaux de référence, c'est-à-dire les courants induits pour l'exposition jusqu'à 10 MHz et le DAS à partir de 100 kHz.

La mesure des courants induit utilise une sonde représentant une tête, et la mesure de DAS des mannequins.

- La mesure de DAS dans ces bandes de fréquence est peu développée, particulièrement complexe, et apparaît donc difficilement envisageable. En revanche, il est possible de mesurer la puissance totale émise par les lampes dans la bande 100 kHz – 10 MHz dans une cellule TEM ou en chambre réverbérante pour les bandes de fréquences plus élevées (au-delà de quelques centaines de MHz). Si la puissance totale mesurée est inférieure à 20 mW, alors on montre que les restrictions de base en termes de DAS sont nécessairement respectées. En effet, toute la puissance qui se serait dissipée dans des tissus biologiques par cette source ne pourrait créer de DAS supérieur à 2 W/kg, dans le contexte d'un modèle de tête homogène standard, tel que ceux utilisés pour tester la conformité en DAS des systèmes de télécommunication (cf. normes NF EN 50371 et NF EN 50361, ou CEI 62209-1 et 2).
- La mesure des courants induit nécessiterait par ailleurs de vérifier que le modèle de tête utilisé est bien représentatif d'une exposition humaine, dans une situation de pire cas.

4 Conclusions et avertissement

Ce document propose de vérifier la possibilité de réaliser une évaluation simple de l'exposition aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes, explicitant notamment les difficultés propres à ces mesures, ainsi que les instruments ou méthodes qui ne seraient pas adéquates. Les avantages et inconvénients de méthodes actuelles ou utilisées dans le passé ont été examinés afin de déterminer le meilleur protocole.

Il est apparu qu'une analyse spectrale des champs électrique et magnétique à une distance minimale de 30 cm est requise, au moyen de sondes de mesure disponibles sur le marché (boucles de courant et analyseurs). La taille des sondes et la réjection des champs parasites par l'instrument de mesure doivent être considérés avec la plus grande attention au moment de son choix, en raison des risques de moyennage spatial du champ et de captage du champ électrique.

L'Afsset souligne que la non-conformité avec les niveaux de référence ne signifie pas que les restrictions de base soient dépassées. Cela est particulièrement possible dans le cas des lampes fluorescentes compactes, pour lesquelles la non-uniformité du champ due à la proximité de la source, et la décroissance très rapide de l'amplitude du champ avec la distance, rendent la comparaison des champs mesurés avec les niveaux de référence très complexe. Si les amplitudes des champs mesurés étaient plus élevées que les niveaux de référence, des mesures de puissance rayonnée dans une cellule GTEM et de courants induits en utilisant des modèles de tête conducteurs (tête de test de Van der Hoofden) devraient être préconisés.

Avertissement :

Le protocole défini dans ce rapport n'a pas vocation à se substituer à une norme utilisable pour la certification de produit. Il est indissociable des résultats de mesure obtenus à la suite de la campagne spécifique d'évaluation des champs électromagnétiques émis par des lampes fluo-compactes pour lequel il est proposé. Il ne saurait être utilisé tel quel dans un contexte différent, ou pour réaliser d'autres mesures.

5 Bibliographie

5.1 Publications

[1] ICNIRP, Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz), Health Physics, 74 (4), p. 494 (1998).

[2] Guidelines on limiting exposure to non-ionizing radiation : A reference book based on the guidelines on limiting exposure to non-ionizing radiation and statements on special applications, ICNIRP 7/99 (1999).

[3] Hubert Trzaska, Electromagnetic field measurements in the near field, Noble Publishing (2001).

[4] EHP 200 datasheet (site internet Narda) :

http://www.narda-sts.de/pdf/niederfrequenz/DS_EHP200_EN.pdf

[5] Durrenberger G., Klaus G., EMF von Energiesparlampen: Feldmessungen und Expositionsabschätzungen mit Vergleich zu anderen Quellen im Alltag, BFE, OFEN, UFE, SFQE, 2004.

5.2 Normes

NF EN 50392 : Norme de base pour démontrer la conformité des appareils électriques et électroniques, aux restrictions de base pour l'exposition du corps humain aux champs électromagnétiques (0 Hz - 300 GHz).

NF EN 50371 : Norme générique pour démontrer la conformité des appareils électriques et électroniques de faible puissance aux restrictions de base concernant l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques (10 MHz - 300 GHz) – Public.

NF EN 50361 : Norme de base relative à la mesure du Débit d'Absorption Spécifique relatif à l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques émis par les téléphones mobiles (300 MHz - 3 GHz).

CEI 62209-1 : 2005 : Exposition humaine aux champs radiofréquence produits par les dispositifs de communications sans fils tenus à la main ou portés près du corps - Modèles de corps humain, instrumentation et procédures - Partie 1 : détermination du débit d'absorption spécifique (DAS) produit par les appareils tenus à la main et utilisés près de l'oreille (plage de fréquence de 300 MHz à 3 GHz).

CEI 62209-2 : Exposition humaine aux champs radio fréquence produits par les dispositifs de communications sans fils tenus à la main ou portés près du corps - modèles du corps humain, instrumentation et procédures Partie 2 : Procédure pour la détermination du débit d'absorption spécifique produit par les dispositifs de communications sans fils utilisés très près du corps humain (plage de fréquence de 30 MHz à 6 GHz).

CEI 62493 : Evaluation d'un équipement d'éclairage relativement à l'exposition humaine aux champs électromagnétiques.

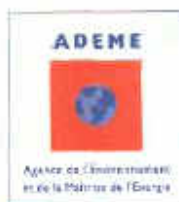
5.3 Législation et réglementation

Recommandation du Conseil, du 12 juillet 1999, relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz).

Décret n° 2002-775 du 3 mai 2002 pris en application du 12° de l'article L.32 du code des postes et télécommunications et relatif aux valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques.

ANNEXES

Annexe 1 : lettre de saisine



LA PRÉSIDENTE

COURRIER REÇU LE

Paris, le - 3 AVR. 2008

08 AVR. 2008
1331

Madame Michèle Froment-Védrine
Directrice Générale de l'Agence
Française de Sécurité Sanitaire de
l'Environnement et du Travail
253 Avenue du Général Leclerc
94701 Maison-Alfort

Lettre recommandée avec accusé de réception

Objet : Saisine de l'Afsset sur l'analyse des champs électromagnétiques associés aux lampes fluorescente-compactes (LFC)

Madame la Directrice,

Deux communiqués de presse du CRIIREM (Centre de Recherche et d'Information Indépendantes sur les Rayonnements Electromagnétiques) parus le 21 août 2007 (intitulé "Alerte ! Mise en garde sur les ampoules à économie d'énergie") et le 22 septembre 2007 (intitulé "Ampoules à économie d'énergie. Alerte à l'allumage électropolluant"), alertaient sur les enjeux de santé publique du fait des champs électromagnétiques produits par les LFC. Or, des nombreux échanges que l'ADEME a avec les représentants du Syndicat de l'Eclairage, il apparaît que les industriels sont assurés que les LFC sont conformes aux recommandations concernant les niveaux de champs électromagnétiques. L'ADEME a donc invité le Criirem, l'AFE, le Syndicat de l'Eclairage et l'AFSSET à une réunion de concertation qui a fait apparaître le besoin de clarification sur la métrologie des champs électromagnétiques à utiliser pour les LFC et le besoin de la réalisation d'une nouvelle campagne de mesures respectant ce protocole métrologique.

Compte tenu de l'objectif national et même européen de sortie programmée du marché des sources d'éclairage les moins efficaces, il est urgent et nécessaire d'avoir des mesures fiables sur les champs électromagnétiques associés à l'utilisation des LFC.

S'agissant d'une problématique touchant son domaine de compétence, l'ADEME souhaite saisir l'AFSSET pour établir un protocole de mesure des champs électromagnétiques liés aux LFC, en vue d'apporter une information fiable aux consommateurs sur les risques sanitaires associés à ces émissions.

Je vous prie, Madame la Directrice, d'agréer l'expression des mes salutations distinguées.

Chantal JOUANNO

Annexe 2: niveaux de référence et restrictions de base

Les tableaux suivants présentent les valeurs limites préconisées par l'ICNIRP pour limiter l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques.

Tableau 1 : restrictions de base pour les champs électriques et magnétiques pour la population générale et les travailleurs (source : ICNIRP)

Table 4. Basic restrictions for time varying electric and magnetic fields for frequencies up to 10 GHz.^a

Exposure characteristics	Frequency range	Current density for head and trunk (mA m ⁻²) (rms)	Whole-body average SAR (W kg ⁻¹)	Localized SAR (head and trunk) (W kg ⁻¹)	Localized SAR (limbs) (W kg ⁻¹)
Occupational exposure	up to 1 Hz	40	—	—	—
	1–4 Hz	40/ <i>f</i>	—	—	—
	4 Hz–1 kHz	10	—	—	—
	1–100 kHz	<i>f</i> /100	—	—	—
	100 kHz–10 MHz	<i>f</i> /100	0.4	10	20
General public exposure	10 MHz–10 GHz	—	0.4	10	20
	up to 1 Hz	8	—	—	—
	1–4 Hz	8/ <i>f</i>	—	—	—
	4 Hz–1 kHz	2	—	—	—
	1–100 kHz	<i>f</i> /500	—	—	—
	100 kHz–10 MHz	<i>f</i> /500	0.08	2	4
	10 MHz–10 GHz	—	0.08	2	4

^a Note:

1. *f* is the frequency in hertz.
2. Because of electrical inhomogeneity of the body, current densities should be averaged over a cross-section of 1 cm² perpendicular to the current direction.
3. For frequencies up to 100 kHz, peak current density values can be obtained by multiplying the rms value by $\sqrt{2}$ (~1.414). For pulses of duration t_p the equivalent frequency to apply in the basic restrictions should be calculated as $f = 1/(2t_p)$.
4. For frequencies up to 100 kHz and for pulsed magnetic fields, the maximum current density associated with the pulses can be calculated from the rise/fall times and the maximum rate of change of magnetic flux density. The induced current density can then be compared with the appropriate basic restriction.
5. All SAR values are to be averaged over any 6-min period.
6. Localized SAR averaging mass is any 10 g of contiguous tissue; the maximum SAR so obtained should be the value used for the estimation of exposure.
7. For pulses of duration t_p the equivalent frequency to apply in the basic restrictions should be calculated as $f = 1/(2t_p)$. Additionally, for pulsed exposures in the frequency range 0.3 to 10 GHz and for localized exposure of the head, in order to limit or avoid auditory effects caused by thermoelastic expansion, an additional basic restriction is recommended. This is that the SA should not exceed 10 mJ kg⁻¹ for workers and 2mJ kg⁻¹ for the general public, averaged over 10 g tissue.

Tableau 2 : niveaux de référence pour les champs électriques et magnétiques pour la population générale et les travailleurs (source : ICNIRP)**Table 6.** Reference levels for occupational exposure to time-varying electric and magnetic fields (unperturbed rms values).^a

Frequency range	E-field strength (V m ⁻¹)	H-field strength (A m ⁻¹)	B-field (μT)	Equivalent plane wave power density S_{eq} (W m ⁻²)
up to 1 Hz	—	1.63×10^5	2×10^5	—
1–8 Hz	20,000	$1.63 \times 10^5/f^2$	$2 \times 10^5/f^2$	—
8–25 Hz	20,000	$2 \times 10^4/f$	$2.5 \times 10^4/f$	—
0.025–0.82 kHz	$500/f$	$20/f$	$25/f$	—
0.82–65 kHz	610	24.4	30.7	—
0.065–1 MHz	610	$1.6/f$	$2.0/f$	—
1–10 MHz	$610/f$	$1.6/f$	$2.0/f$	—
10–400 MHz	61	0.16	0.2	10
400–2,000 MHz	$3f^{1/2}$	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$	$f/40$
2–300 GHz	137	0.36	0.45	50

^a Note:

1. f as indicated in the frequency range column.
2. Provided that basic restrictions are met and adverse indirect effects can be excluded, field strength values can be exceeded.
3. For frequencies between 100 kHz and 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any 6-min period.
4. For peak values at frequencies up to 100 kHz see Table 4, note 3.
5. For peak values at frequencies exceeding 100 kHz see Figs. 1 and 2. Between 100 kHz and 10 MHz, peak values for the field strengths are obtained by interpolation from the 1.5-fold peak at 100 kHz to the 32-fold peak at 10 MHz. For frequencies exceeding 10 MHz it is suggested that the peak equivalent plane wave power density, as averaged over the pulse width, does not exceed 1,000 times the S_{eq} restrictions, or that the field strength does not exceed 32 times the field strength exposure levels given in the table.
6. For frequencies exceeding 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any $68/f^{1.05}$ -min period (f in GHz).
7. No E-field value is provided for frequencies <1 Hz, which are effectively static electric fields. Electric shock from low impedance sources is prevented by established electrical safety procedures for such equipment.

Table 7. Reference levels for general public exposure to time-varying electric and magnetic fields (unperturbed rms values).^a

Frequency range	E-field strength (V m ⁻¹)	H-field strength (A m ⁻¹)	B-field (μT)	Equivalent plane wave power density S_{eq} (W m ⁻²)
up to 1 Hz	—	3.2×10^4	4×10^4	—
1–8 Hz	10,000	$3.2 \times 10^4/f^2$	$4 \times 10^4/f^2$	—
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	$87/f^{1/2}$	$0.73/f$	$0.92/f$	—
10–400 MHz	28	0.073	0.092	2
400–2,000 MHz	$1.375f^{1/2}$	$0.0037f^{1/2}$	$0.0046f^{1/2}$	$f/200$
2–300 GHz	61	0.16	0.20	10

^a Note:

1. f as indicated in the frequency range column.
2. Provided that basic restrictions are met and adverse indirect effects can be excluded, field strength values can be exceeded.
3. For frequencies between 100 kHz and 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any 6-min period.
4. For peak values at frequencies up to 100 kHz see Table 4, note 3.
5. For peak values at frequencies exceeding 100 kHz see Figs. 1 and 2. Between 100 kHz and 10 MHz, peak values for the field strengths are obtained by interpolation from the 1.5-fold peak at 100 kHz to the 32-fold peak at 10 MHz. For frequencies exceeding 10 MHz it is suggested that the peak equivalent plane wave power density, as averaged over the pulse width does not exceed 1,000 times the S_{eq} restrictions, or that the field strength does not exceed 32 times the field strength exposure levels given in the table.
6. For frequencies exceeding 10 GHz, S_{eq} , E^2 , H^2 , and B^2 are to be averaged over any $68/f^{1.05}$ -min period (f in GHz).
7. No E-field value is provided for frequencies <1 Hz, which are effectively static electric fields. perception of surface electric charges will not occur at field strengths less than 25 kV m^{-1} . Spark discharges causing stress or annoyance should be avoided.

Notes
