

anses
agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes

Mise à jour
de l'évaluation des risques

Avis de l'Anses
Rapport d'expertise collective

Février 2013

Édition scientifique

anses

agence nationale de sécurité sanitaire
alimentation, environnement, travail



Champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes

Mise à jour
de l'évaluation des risques

Avis de l'Anses
Rapport d'expertise collective

Février 2013

Édition scientifique

AVIS

de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

relatif aux « ondes émises par les lampes fluorescentes compactes »

L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.

L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.

Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.

Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).

Ses avis sont rendus publics.

L'Anses a été saisie le 7 octobre 2011 par la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF), la Direction générale de la santé (DGS) et la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) pour la réalisation d'une évaluation des risques sanitaires liés aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes.

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

La Commission de la sécurité des consommateurs (CSC) a rendu en janvier 2011 un avis¹ relatif aux lampes fluorescentes compactes dans lequel elle recommande aux consommateurs d'éviter toute exposition prolongée à ces lampes dans un rayon de proximité qu'elle fixe à une distance minimale de 30 cm. Elle précise que les porteurs de dispositifs médicaux implantables et de prothèses électriques devraient particulièrement respecter cette consigne, en raison des risques de perturbation du fonctionnement de ces appareils par les champs électromagnétiques produits par les lampes.

Le rapport de la CSC qui motive la recommandation mentionnée ci-dessus fait état d'une étude réalisée pour le compte de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) par le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) en suivant le protocole élaboré par l'Agence en 2009². Cette étude était destinée à vérifier le respect des valeurs limites d'exposition du public aux ondes électromagnétiques telles que prévues par la Recommandation européenne 1999/519/CE³. Les résultats des essais ont

¹ <http://www.securiteconso.org/article791.html>

² Afsset, *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, février 2009.

³ Conseil de l'Union européenne, *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)*, 1999/519/CE, 12 juillet 1999.

montré que les rayonnements électromagnétiques mesurés étaient bien inférieurs aux valeurs limites. La méthode de mesure choisie à l'époque, s'appuyant sur une caractérisation simple et rapide du champ électrique à plus de 30 cm des lampes, répondait à l'obligation de fournir un protocole dans les meilleurs délais.

Cependant, la CSC a estimé que les difficultés à caractériser le champ électrique à moins de 30 cm des lampes ne permettaient pas d'établir la preuve de l'innocuité de l'exposition aux lampes dans cette zone et qu'il faudrait appliquer le principe de précaution.

La CSC fait également état dans son rapport d'une étude⁴ effectuée à la demande du gouvernement suisse par la fondation It'is⁵. Cette étude, en utilisant des techniques de mesures innovantes, a permis de caractériser l'exposition aux champs électromagnétiques à moins de 30 cm des lampes. Ces essais montrent que les valeurs limites d'exposition sont respectées dans cette zone, mais que des écarts importants existent entre les différents échantillons testés.

L'Anses⁶ a donc été saisie par la DGCCRF, la DGS et la DGPR pour :

- *mettre à jour, compte tenu de la diffusion de nouveaux résultats expérimentaux, l'évaluation des risques pour la santé des personnes liés à leur exposition aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluocompactes. En particulier, l'étude réalisée par la fondation suisse It'is pour mesurer les champs électromagnétiques à moins de 30 cm des lampes pourra être analysée ;*
- *évaluer la pertinence et formuler des recommandations en vue de réaliser, sur la base d'un protocole adapté, des campagnes de mesures visant à caractériser l'émission de champs électromagnétiques par des lampes fluocompactes pour des distances d'utilisation inférieures à 30 cm.*

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (mai 2003) ».

L'expertise relève du domaine de compétences du comité d'experts spécialisé (CES) « agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements ». L'Anses a confié l'expertise à 3 rapporteurs externes. Les travaux ont été présentés au CES tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques entre le 3 novembre 2011 et le 26 octobre 2012. Le rapport et la synthèse d'expertise collective ont été adoptés par le CES « agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements » réuni le 20 novembre 2012.

⁴http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7t,lnp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCJdIN7g2ym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A

⁵ La fondation It'is est un institut de recherche à but non lucratif, « dédié à l'expansion des connaissances scientifiques nécessaires aux applications bénéfiques et sûres de l'énergie électromagnétique et des technologies de l'information ».

⁶ L'Afssset (Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail) et l'Afssa (Agence française de sécurité sanitaire de l'alimentation) ont fusionné le 1^{er} juillet 2010 pour créer l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses).

3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES

Compte tenu d'une part des spécificités techniques des mesures des caractéristiques des champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes (liées notamment aux appareils de mesure disponibles et aux propriétés des champs aux fréquences considérées), et compte tenu d'autre part des usages de ces lampes, le rayon de 30 cm semble être une valeur clé dans l'évaluation de l'exposition. Au-delà de ce rayon, les moyens de mesure actuels permettent d'effectuer, de façon maîtrisée, des contrôles de la conformité des lampes par rapport aux différentes réglementations ou recommandations actuelles en termes de valeurs limites d'exposition. Ainsi, deux campagnes de mesures ont été réalisées par le CSTB en 2010 et 2011 selon le protocole proposé par l'Afsset en 2009.

Dans son avis rendu en janvier 2011, la CSC a recommandé aux consommateurs d'éviter toute exposition prolongée à ces lampes dans un rayon de proximité qu'elle fixe à une distance minimale de 30 cm. Depuis la publication du protocole de l'Afsset, la fondation suisse It'is a communiqué des résultats de mesure obtenus à plus courte distance, à moins de 5 cm d'un fantôme représentant le corps humain aux fréquences émises par les lampes.

Considérant le premier point de la saisine objet du rapport et de la synthèse d'expertise collective, à savoir « mettre à jour l'évaluation des risques pour la santé des personnes liés à leur exposition aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluocompactes, en analysant en particulier l'étude réalisée par la fondation suisse It'is pour mesurer ces champs à moins de 30 cm des lampes », les conclusions suivantes sont formulées. Le CES souligne que :

- la Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (Icnirp⁷), a publié en 2010 des nouvelles lignes directrices qui, pour la gamme de fréquences 1 Hz – 100 kHz, ne prennent plus en compte la densité de courant induit, exprimé en A/m², comme paramètre représentatif des restrictions de base mais le champ électrique interne induit dans le corps humain, en V/m. Le spectre de rayonnement des lampes fluorescentes compactes étant majoritairement situé dans la bande 10 kHz – 300 kHz, qui correspond à l'émission du ballast électronique, il est justifié de vérifier dorénavant le respect des restrictions de base au regard de cette nouvelle recommandation ;
- les mesures effectuées sur des lampes fluorescentes compactes, au cours de trois campagnes successives (CSTB 2010 et 2011, It'is 2010), sont concordantes et montrent que le rayonnement en champ magnétique est très faible et souvent proche du niveau du bruit de mesure. Le rayonnement prépondérant est lié au champ électrique ;
- à une distance inférieure à 30 cm des lampes, correspondant à des situations d'expositions réalistes (lampes de bureau, de chevet, *ballast* électronique déporté, etc.), la mesure des champs électromagnétiques utilisant des sondes, électrique ou magnétique, classiques « large bande », n'est pas adaptée ;
- à une distance inférieure à 30 cm des lampes, la méthode proposée par la fondation It'is (sonde saline) est confortée par la simulation numérique proposée. Les calculs présentés dans le rapport de l'It'is permettent ainsi de faire la corrélation entre le courant induit dans une sonde saline et dans le corps humain, à

⁷ International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.

la fois pour une onde plane et pour une source ponctuelle représentative d'une lampe. Ainsi, le protocole de mesure des champs induits proposé par l'It'is, reposant sur le principe d'une pince ampèremétrique disposée autour d'un fantôme représentant le corps humain, semble apte à évaluer l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes dans de bonnes conditions.

Considérant le second point de la saisine : « évaluer la pertinence et formuler des recommandations en vue de réaliser, sur la base d'un protocole adapté, des campagnes de mesures visant à caractériser l'émission de champs électromagnétiques par des lampes fluorescentes compactes pour des distances d'utilisation inférieures à 30 cm », les conclusions et recommandations suivantes sont formulées :

- la méthode proposée par la fondation It'is pour accéder à la caractérisation des restrictions de base à proximité des lampes fluorescentes compactes (distance inférieure à 30 cm) apparaît aujourd'hui comme la plus pertinente parmi celles connues. Toutefois, l'intégralité des informations techniques concernant la méthode de l'It'is pour l'élaboration de la pince ampèremétrique et de son circuit électronique par exemple n'est pas disponible. Le CES recommande donc, dans l'éventualité de son utilisation pour caractériser les champs électriques à proximité des lampes, de chercher à documenter précisément ces informations afin que les futures campagnes de mesures soient comparables entre elles. Il conviendra par ailleurs de bien caractériser les incertitudes propres à cette méthode ;
- considérant que les mesures réalisées par l'It'is sur un nombre réduit de lampes fluorescentes compactes ont montré que, pour certaines d'entre elles, les valeurs de champ induit pouvaient être du même ordre de grandeur que les valeurs limites d'exposition recommandées par l'Icnirp, le CES recommande, dans l'objectif de vérifier que les niveaux d'exposition ne dépassent pas ceux préconisés par la Recommandation européenne 1999/519/CE, de mettre en œuvre une campagne de mesures des champs induits dans le corps humain situé à proximité des lampes fluorescentes compactes, en considérant un échantillon correctement dimensionné de lampes représentatif du marché français ;
- lors d'une campagne de mesures, avant les essais, le CES recommande que les lampes soient rodées pendant une centaine d'heures à la tension assignée. Les tests devraient en effet être réalisés sur des lampes dont le comportement est stable. Les lampes devraient de plus être allumées pendant au moins 15 minutes avant toute série de mesures ;
- comme pour tout composant électronique, le vieillissement modifie son comportement sans préjuger d'une amélioration ou d'une dégradation. Le CES recommande donc que des campagnes de mesures soient réalisées sur des lampes ayant dépassé la moitié de leur durée de vie nominale, afin d'évaluer les conséquences d'éventuelles dérives dans le temps sur l'exposition ;
- par ailleurs, le CES recommande que des mesures en régime transitoire, pendant la phase d'allumage (amorçage de la décharge) de la lampe, soient réalisées ;
- considérant les développements récents dans le domaine des techniques de mesure de champs électromagnétiques, en complément de la possibilité d'utiliser le protocole développé par l'It'is, le CES souligne qu'une mesure encore plus précise que celle réalisée avec le protocole de l'It'is pourrait être effectuée à proximité des lampes à l'aide de capteurs électro-optiques ;

- considérant que la campagne de mesures de l'It'is sur un nombre réduit de lampes a révélé des niveaux d'exposition se rapprochant, pour des distances courtes, des valeurs limites préconisées par l'Icnirp, le CES recommande, dans l'attente des résultats des campagnes préconisées ci-dessus, de limiter les expositions à moins de 30 cm des lampes fluorescentes compactes.

Le CES attire l'attention par ailleurs sur l'émission parasite de rayonnements ultraviolets [Scenihr 2012⁸].

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'Agence reprend les conclusions et recommandations du CES exposées au § 3.

En complément, considérant

- que le décret n°2002-775 du 3 mai 2002 relatif aux valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunications ou par les installations radioélectriques ne concerne pas les rayonnements émis par les autres sources de champs électromagnétiques auxquels la population générale peut être exposée, c'est le cas notamment des lampes fluorescentes compactes ;
- que ce décret s'appuie en particulier sur la recommandation 1999/519/CE⁹ du Conseil de l'Union européenne du 12 juillet 1999 relative à l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz) ;
- que la recommandation 1999/519/CE du Conseil de l'Union européenne prévoit notamment que :
 - (7) *les mesures visant à limiter l'exposition du public aux champs électromagnétiques doivent être mises en balance avec les avantages en matière de santé, de sûreté et de sécurité qu'apportent les dispositifs émettant des champs électromagnétiques en termes de qualité de vie dans des domaines tels que les télécommunications, l'énergie et la sécurité publique ;*
 - (11) *ces restrictions de base et niveaux de référence devraient s'appliquer à tous les rayonnements émis par des champs électromagnétiques, à l'exception des rayonnements optiques et des rayonnements ionisants; [...];*
 - (19) *les États membres devraient prendre note de l'évolution des connaissances scientifiques et de la technologie en matière de protection contre les rayonnements non ionisants, en tenant compte de l'élément de précaution, et ils devraient prévoir, à intervalles réguliers, des examens et des révisions dans ce domaine comportant une évaluation à la lumière des*

⁸ Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR). *Health Effects of Artificial Light*. Bruxelles, Belgique, Commission Européenne (2012).

⁹ 1999/519/CE: 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), *Journal officiel n° L 199 du 30/07/1999 p. 0059 – 0070*.

orientations fournies par les organisations internationales compétentes, telles que l'ICNIRP ;

l'Anses recommande, sans préjudice du respect des référentiels en vigueur concernant la compatibilité électromagnétique :

- que la réglementation actuelle concernant l'exposition de la population générale aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunications ou par les installations radioélectriques (décret n° 2002-775 du 3 mai 2002) soit étendue aux autres sources d'émissions artificielles de rayonnements non ionisants (de 0 à 300 GHz) et notamment aux lampes fluorescentes compactes ;
- que cette réglementation prenne en compte les lignes directrices les plus récentes publiées par l'icnirp ;
- que les lampes fluorescentes compactes présentes sur le marché soient conformes à ces nouvelles dispositions réglementaires, y compris pour des distances d'exposition comprises entre 0 et 30 cm.

Le directeur général

Marc Mortureux

MOTS-CLES

Lampes fluorescentes compactes, métrologie, champs électromagnétiques, basses fréquences.

Champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes

Mise à jour de l'évaluation des risques

Saisine 2011-SA-0260 « lampes fluorescentes compactes »

Rapport d'expertise collective

**« Comité d'Experts Spécialisés (CES) : Évaluation des risques liés aux agents
physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements »**

Novembre 2012

Mots clés

Lampes fluorescentes compactes, métrologie, champs électromagnétiques, basses fréquences.

Présentation des intervenants

LISTE DES EXPERTS RAPPORTEURS

M. Alexandre BOUNOUH – Responsable de projets R&D au Laboratoire National de mesures et d'Essais (LNE).

M. Pierre BRUGUIÈRE – Ingénieur de recherche au Commissariat à l'Énergie Atomique et aux énergies alternatives (CEA/DAM/Gramat).

M. Frédéric COUTURIER – Responsable du département « Études » à l'Agence nationale des Fréquences.

M. Eric GAFFET - Directeur de recherche au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS).

M. François GAUDAIRE – Responsable de laboratoire en électromagnétisme au Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB).

ADOPTION DU RAPPORT PAR LE COMITE D'EXPERTS SPECIALISES

Ce rapport a été soumis pour commentaires au CES « Évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements ».

Présidente

Martine HOURS – Médecin épidémiologiste, Directeur de recherche à l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (Ifsttar).

Membres

Francine BEHAR-COHEN – Ophtalmologiste praticienne, Directeur de recherche à l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm).

Jean-Marc BERTHO – Chercheur / Expert en radiobiologie au laboratoire de radiotoxicologie expérimentale de l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire (IRSN).

Jean-Pierre CÉSARINI – Retraité (Directeur du laboratoire de recherche sur les tumeurs de la peau humaine, fondation A. de Rothschild et Inserm).

Frédéric COUTURIER – Ingénieur, Responsable du département « Études » à l'Agence Nationale des Fréquences (ANFR).

Jean-François DORÉ – Directeur de recherche émérite à l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm).

Pierre DUCIMETIERE – Directeur de recherche honoraire à l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm).

Aïcha EL KHATIB – Chargée de mission à l'Assistance Publique des Hôpitaux de Paris - Hôpital Avicenne.

Nicolas FELTIN – Responsable de mission au Laboratoire national de métrologie et d'essais (LNE).

Emmanuel FLAHAUT – Directeur de recherche au Centre national de recherche scientifique (CNRS).

Eric GAFFET – Directeur de recherche au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS).

Murielle LAFAYE – Ingénieur, Coordinatrice applications au Centre national d'études spatiales (CNES).

Philippe LEPOUTRE – Ingénieur acousticien, Responsable du pôle technique de l'Autorité de Contrôle des Nuisances Sonores Aéroportuaires (Acnusa).

Christophe MARTINSONS – Docteur en physique, Chef de pôle au Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB).

Catherine MOUNEYRAC – Directrice de l'Institut de biologie et d'écologie appliquée et Professeur en Écotoxicologie aquatique à l'Université catholique de l'ouest (UCO).

Alain MUZET – Retraité CNRS, médecin, spécialiste du sommeil et de la vigilance.

Yves SICARD – Maître de conférences à l'Université Josef Fourier, Conseiller Scientifique au Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies alternatives (CEA).

Alain SOYEZ – Responsable de laboratoires, Ingénieur conseil, Caisse d'assurance retraite et de santé au travail Nord Picardie.

Esko TOPPILA – Professeur, Directeur de recherche à l'Institut finlandais de santé au travail.

Catherine YARDIN – Professeur, Chef de service, médecin biologiste à l'Hôpital Dupuytren, CHU de Limoges.

Les travaux d'expertise ont été discutés les 18 septembre 2012 et 26 octobre 2012 et validés le 20 novembre 2012 par le CES « Évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements ».

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

Dina ATTIA – Chef de projets scientifiques – Anses

Olivier MERCKEL – Chef de l'unité « Évaluation des risques liés aux agents physiques » à l'Anses.

Secrétariat administratif

Sophia SADDOKI – Anses

AUDITIONS

Syndicat de l'éclairage, le 20 février 2012

Denis Barondeau – *Philips Lighting*

Pierre-Yves Monleau – Syndicat de l'éclairage

Sommaire

Présentation des intervenants	3
Sommaire.....	5
EXPERTISE COLLECTIVE : SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS.....	7
Liste des tableaux	11
Liste des figures	12
Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine	13
1.1 Contexte.....	13
1.2 Objet de la saisine.....	13
1.3 Modalités de traitement	14
1 Généralités sur les lampes domestiques	15
1.1 Présentation des lampes domestiques	15
1.1.1 Lampes à incandescence.....	15
1.1.2 Lampes halogènes.....	16
1.1.3 Tubes fluorescents dits tubes « néon »	17
1.1.4 Lampes fluorescentes compactes (LFC)	17
1.1.5 Diodes électroluminescentes (LED) et lampes LED	18
1.2 Marché de l'éclairage domestique en France	19
2 Rayonnement des lampes fluorescentes compactes : contexte technique, normatif et réglementaire.....	21
2.1 Rayonnement électromagnétique émis par les lampes fluorescentes compactes	21
2.1.1 Origine du champ électromagnétique émis par les lampes fluorescentes compactes.....	21
2.1.2 Caractéristiques générales du champ électromagnétique émis par les lampes fluorescentes compactes.....	22
2.2 Valeurs limites d'exposition, normes et réglementations	23
2.2.1 Des effets sanitaires aux valeurs limites d'exposition recommandées.....	23
2.2.2 Recommandations et lignes directrices pour la limitation de l'exposition aux champs électromagnétiques.....	26
2.2.3 Normes pour démontrer la conformité des lampes fluorescentes compactes aux valeurs limites d'exposition du corps humain aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes.....	35
2.2.4 Réglementations françaises et européennes.....	36
2.2.5 Synthèse des valeurs limites d'exposition pour les lampes fluorescentes compactes – cas de l'exposition à moins de 30 cm	37
3 Évaluation de l'exposition aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes	40
3.1 Évaluation de l'exposition par évaluation du champ induit à moins de 30 cm de la source	40
3.1.1 Protocole de mesure de l'It'is	40
3.2 Analyse du protocole de l'It'is.....	47
4 Conclusions et recommandations	48
5 Bibliographie	50

5.1 Publications.....	50
5.2 Normes	50
5.3 Législation et réglementation.....	51
Annexe 1 : lettre de saisine	52
Annexe 2 : analyse des déclarations publiques d'intérêt (DPI) des experts par rapport au champ de la saisine.....	55
Annexe 3 : normalisation pour la compatibilité électromagnétique des lampes fluorescentes compactes.....	58
Annexe 4 : réglementations complémentaires dans le domaine de l'éclairage	59
Annexe 5 : évaluation de l'exposition par mesure du champ incident, à plus de 30 cm de la source	61
Annexe 6 : Norme de mesure IEC 62493	74

EXPERTISE COLLECTIVE : SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS

Relatives aux « ondes émises par les lampes fluorescentes compactes »

Ce document synthétise les travaux du comité d'experts spécialisé « agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements ».

Présentation de la question posée

L'Anses¹ a été saisie le 7 octobre 2011, conjointement par la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF), la Direction générale de la santé (DGS) et la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) sur la question des effets sanitaires potentiels des champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes.

Il est demandé dans cette saisine :

- de « mettre à jour, compte tenu de la diffusion de nouveaux résultats expérimentaux, l'évaluation des risques pour la santé des personnes liés à leur exposition aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluocompactes. En particulier, l'étude réalisée par la fondation suisse It's pour mesurer les champs électromagnétiques à moins de 30 cm des lampes pourra être analysée » ;
- d'« évaluer la pertinence et formuler des recommandations en vue de réaliser, sur la base d'un protocole adapté, des campagnes de mesures visant à caractériser l'émission de champs électromagnétiques par des lampes fluocompactes pour des distances d'utilisation inférieures à 30 cm ».

Contexte scientifique

La Commission de la sécurité des consommateurs (CSC) a rendu en janvier 2011 un avis² relatif aux lampes fluorescentes compactes dans lequel elle recommande aux consommateurs d'éviter toute exposition prolongée à ces lampes dans un rayon de proximité qu'elle fixe à une distance minimale de 30 cm. Elle précise que les porteurs de dispositifs médicaux implantables et de prothèses électriques devraient particulièrement respecter cette consigne, en raison des risques de perturbation du fonctionnement de ces appareils par les champs électromagnétiques produits par les lampes.

Le rapport de la CSC qui motive la recommandation mentionnée ci-dessus fait état d'une étude réalisée pour le compte de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) par le Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) en suivant le protocole élaboré par l'Agence (ex. Afsset) en 2009³. Cette étude était destinée à vérifier le respect des valeurs limites d'exposition du public aux ondes électromagnétiques telles que prévues

¹ L'Afsset (Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail) et l'Afssa (Agence française de sécurité sanitaire de l'alimentation) ont fusionné le 1^{er} juillet 2010 pour créer l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses).

² <http://www.securiteconso.org/article791.html>

³ Afsset, *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, février 2009.

par la recommandation européenne 1999/519/CE⁴. Les résultats des essais ont montré que les rayonnements électromagnétiques mesurés étaient bien inférieurs aux valeurs limites. La méthode de mesure choisie à l'époque, s'appuyant sur une caractérisation simple et rapide du champ électrique à plus de 30 cm des lampes, répondait à l'obligation de fournir un protocole dans les meilleurs délais.

Cependant, la CSC estime que les difficultés à caractériser le champ électrique à moins de 30 cm des lampes ne constituent pas une preuve d'innocuité de l'exposition aux lampes dans cette zone et qu'il faudrait faire application du principe de précaution.

La CSC fait également état dans son rapport d'une étude⁵ effectuée à la demande du gouvernement suisse par la fondation It'is⁶. Cette étude, en utilisant des techniques de mesures innovantes, a permis de caractériser l'exposition aux champs électromagnétiques à moins de 30 cm des lampes. Ces essais montrent que les valeurs limites d'exposition sont respectées dans cette zone, mais que des écarts importants existent entre les différents échantillons testés.

Organisation de l'expertise

L'Anses a confié au comité d'experts spécialisé (CES) « agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements » l'instruction de cette saisine. L'Agence a également mandaté 3 experts extérieurs au CES pour cette instruction.

Les travaux d'expertise ont été soumis régulièrement au CES, tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques. Le rapport d'expertise tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES.

Ces travaux d'expertise sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires. Ils ont été réalisés dans le respect de la norme NF X 50-110 « qualité en expertise ».

Résultat de l'expertise collective

Le comité d'experts spécialisé « agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements » a adopté les travaux d'expertise collective ainsi que ses conclusions et recommandations, lors de sa séance du 20 novembre 2012 et a fait part de cette adoption à la direction générale de l'Anses.

Conclusions et recommandations de l'expertise collective

Compte tenu des spécificités techniques des mesures des caractéristiques des champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes (liées notamment aux appareils de mesure disponibles et aux propriétés des champs aux fréquences considérées) ; compte tenu également des usages de ces lampes, le rayon de 30 cm autour des lampes semble être une valeur clé dans l'évaluation de l'exposition. Au-delà de ce rayon, les moyens de mesure actuels permettent d'effectuer, de façon maîtrisée, des contrôles de la conformité des lampes par rapport aux différentes réglementations ou recommandations actuelles en termes de valeurs limites d'exposition. Ainsi, deux

⁴ Conseil de l'Union européenne, *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)*, 1999/519/CE, 12 juillet 1999.

⁵ http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7t,Inp6lONTU042I2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCJdIN7g2ym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A

⁶ La fondation It'is est un institut de recherche à but non lucratif, « dédié à l'expansion des connaissances scientifiques nécessaires aux applications bénéfiques et sûres de l'énergie électromagnétique et des technologies de l'information ».

campagnes de mesure ont été réalisées par le CSTB en 2010 et 2011 selon le protocole proposé par l'Afsset en 2009.

Dans son avis rendu en janvier 2011, la Commission de la sécurité des consommateurs a recommandé aux consommateurs d'éviter toute exposition prolongée à ces lampes dans un rayon de proximité qu'elle fixe à une distance minimale de 30 cm. Depuis la publication du protocole de l'Afsset, la fondation suisse It'is a communiqué des résultats de mesure obtenus à plus courte distance, à moins de 5 cm d'un fantôme représentant le corps humain aux fréquences émises par les lampes.

Considérant le premier point de la saisine objet du rapport et de la synthèse d'expertise collective, à savoir « *mettre à jour l'évaluation des risques pour la santé des personnes liés à leur exposition aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluocompactes, en analysant en particulier l'étude réalisée par la fondation suisse It'is pour mesurer ces champs à moins de 30 cm des lampes* », les conclusions suivantes sont formulées. Le CES souligne que :

- la commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants (Icnirp⁷), en 2010, a publié des nouvelles lignes directrices pour la protection contre les rayonnements non ionisants qui, pour la gamme de fréquences 1 Hz – 100 kHz, ne prennent plus en compte la densité de courant induit comme paramètre représentatif des restrictions de base mais le champ électrique interne induit dans le corps humain. Le spectre de rayonnement des lampes fluorescentes compactes étant majoritairement situé dans la bande 10 kHz – 300 kHz, qui correspond à l'émission du *ballast* électronique, il est justifié de vérifier dorénavant le respect des restrictions de base au regard de cette nouvelle recommandation.
- À une distance inférieure à 30 cm des lampes, correspondant à des situations d'expositions réalistes (lampes de bureau, de chevet, *ballast* électronique déporté, etc.), la mesure des champs électromagnétiques utilisant des sondes, électrique ou magnétique, classiques large bande, n'est pas adaptée.
- Les mesures effectuées sur des lampes fluorescentes compactes, au cours de trois campagnes successives (CSTB 2010 et 2011 – It'is 2010), sont concordantes et montrent que le rayonnement en champ magnétique est très faible et souvent proche du niveau du bruit de mesure. Le rayonnement prépondérant est lié au champ électrique.
- À une distance inférieure à 30 cm des lampes, la méthode proposée par la fondation It'is (sonde saline) est confortée par la simulation numérique proposée. Les calculs présentés dans le rapport de l'It'is permettent ainsi de faire la corrélation entre le courant induit dans une sonde saline et dans le corps humain, à la fois pour une onde plane et pour une source ponctuelle représentative d'une lampe.
- Le protocole de mesure des champs induits proposé par l'It'is, reposant sur le principe d'une pince ampèremétrique disposée autour d'un fantôme représentant le corps humain, semble apte à évaluer l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes dans de bonnes conditions.

Considérant le second point de la saisine : « *évaluer la pertinence et formuler des recommandations en vue de réaliser, sur la base d'un protocole adapté, des campagnes de mesures visant à caractériser l'émission de champs électromagnétiques par des lampes fluocompactes pour des distances d'utilisation inférieures à 30 cm* », les conclusions et recommandations suivantes sont formulées :

- la méthode proposée par la fondation It'is pour accéder à la caractérisation des restrictions de base à proximité des lampes fluorescentes compactes (distance

⁷ International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

inférieure à 30 cm) apparaît aujourd'hui comme la plus pertinente parmi celles connues. Elle pourrait donc être utilisée afin de réaliser une campagne de mesures d'un échantillon de lampes fluorescentes compactes, dans l'objectif de vérifier que les niveaux d'exposition ne dépassent pas ceux préconisés par la recommandation européenne 1999/519/CE.

Toutefois, l'intégralité des informations techniques concernant la méthode de l'It'is pour l'élaboration de la pince ampèremétrique et de son circuit électronique par exemple n'est pas disponible.

Le CES recommande donc, dans l'éventualité de son utilisation pour caractériser les champs électriques à proximité des lampes, de chercher à documenter précisément ces informations afin que les futures campagnes de mesures soient comparables entre elles.

Il conviendra par ailleurs de bien caractériser les incertitudes propres à cette méthode.

- Considérant que les mesures réalisées par l'It'is sur un nombre réduit de lampes fluorescentes compactes ont montré que, pour certaines d'entre elles, les valeurs de champ induit pouvaient être du même ordre de grandeur que les valeurs limites d'exposition recommandées par l'Icnirp, le CES recommande de mettre en œuvre une campagne de mesures des champs induits dans le corps humain situé à proximité des lampes fluorescentes compactes, en considérant un échantillon correctement dimensionné de lampes représentatif du marché français.
- Lors d'une campagne de mesures, avant les essais, le CES recommande que les lampes soient rodées pendant une centaine d'heures à la tension assignée. Les tests devraient en effet être réalisés sur des lampes dont le comportement est stable. Les lampes devraient de plus être allumées pendant au moins 15 minutes avant toute série de mesures.
- Comme pour tout composant électronique, le vieillissement modifie son comportement sans préjuger d'une amélioration ou d'une dégradation. Le CES recommande donc que des campagnes de mesures soient réalisées sur des lampes ayant dépassé la moitié de leur durée de vie nominale, afin d'évaluer les conséquences d'éventuelles dérives dans le temps sur l'exposition.
- Par ailleurs, le CES recommande que des mesures en régime transitoire, pendant la phase d'allumage (amorçage de la décharge) de la lampe, soient réalisées.
- Considérant les développements récents dans le domaine des techniques de mesure de champs électromagnétiques, en complément de la possibilité d'utiliser le protocole développé par l'It'is, le CES souligne qu'une mesure encore plus précise pourrait être effectuée à proximité des lampes à l'aide de capteurs électro-optiques.

Considérant que la campagne de mesure de l'It'is sur un nombre réduit de lampes a révélé des niveaux d'exposition se rapprochant, pour des distances courtes, des valeurs limites préconisées par l'Icnirp, le CES recommande, en attente des résultats des campagnes préconisées ci-dessus, de limiter les expositions à courte distance (en-dessous de 30 cm).

Le CES attire l'attention par ailleurs sur l'émission parasite de rayonnements ultraviolets [Scenihp 2012⁸].

Date de validation de la synthèse par le comité d'experts spécialisé : 20 novembre

⁸ Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (Scenihp). *Health Effects of Artificial Light*. Brussels, Belgium: European Commission (2012).

Liste des tableaux

Tableau 1 : Estimation de l'évolution du marché des lampes fluorescentes compactes en France, selon le Syndicat de l'Éclairage.	19
Tableau 2 : interactions des champs électromagnétiques avec le corps humain	25
Tableau 3 : comparaison des valeurs limites d'exposition proposées par l'Icnirp	34
Tableau 4 : Mesures de courant induit dans la sonde de courant lorsque la lampe fluocompacte se situe à une distance de 20 mm. La composante x représente la composante horizontale de la densité de courant, la composante z représente la composante verticale .	45
Tableau 5 : Mesures de courant induit dans la sonde de courant lorsque la lampe fluocompacte se situe à une distance de 50 mm. La composante x représente la composante horizontale de la densité de courant, la composante z représente la composante verticale ²⁴	45
Tableau 6: densités de courant dans une personne exposée aux lampes fluorescentes compactes à proximité de la tête [It'is, 2010]	46
Tableau 7 : Mesures de courant induit dans la sonde de courant lorsque la lampe à incandescence se situe à une distance de 20 mm. La composante x représente la composante horizontale de la densité de courant, la composante z représente la composante verticale ²⁴	46
Tableau 8 : Mesures de courant induit dans la sonde de courant lorsque la lampe à LED se situe à une distance de 20 mm. La composante x représente la composante horizontale de la densité de courant, la composante z représente la composante verticale ²⁴	46
Tableau 9 : Mesures de courant induit dans la sonde de courant lorsque la lampe à incandescence se situe à une distance de 50 mm. La composante x représente la composante horizontale de la densité de courant, la composante z représente la composante verticale ²⁴	46
Tableau 10 : Mesures de courant induit dans la sonde de courant lorsque la lampe à Led se situe à une distance de 50 mm. La composante x représente la composante horizontale de la densité de courant, la composante z représente la composante verticale ²⁴	47
Tableau 11 : Mesures de champs effectuées par l'It'is sur des lampes fluorescentes compactes à une distance de 15 cm de la lampe.	72
Tableau 12 : Mesures de champs effectuées par l'iti's sur des lampes fluorescentes compactes à une distance de 30 cm de la lampe ²⁷	72
Tableau 13 : Mesures de champs effectuées par l'It'is sur des lampes à incandescence à une distance de 15 cm de la lampe ²⁷	73
Tableau 14 : Mesures de champs effectuées par l'It'is sur des lampes à LED à une distance de 15 cm de la lampe ²⁷	73
Tableau 15 : Mesures de champs effectuées par l'It'is sur des lampes à incandescence à une distance de 30 cm de la lampe ²⁷	73
Tableau 16 : Mesures de champs effectuées par l'iti's sur des lampes à LED à une distance de 30 cm de la lampe ²⁷	73
Tableau 17 : procédures d'évaluation de la norme IEC 62493.....	74

Liste des figures

Figure 1 : Zones de champ proche et champ lointain (avec λ la longueur d'onde).....	22
Figure 2 : Champ électrique, en V/m, en fonction de la fréquence en MHz pour une lampe fluorescente compacte disponible sur le marché. Mesure effectuée à 30 cm de la lampe (Protocole Afsset 2009) réalisée par le CSTB.	23
Figure 3 : restrictions de base pour les champs électrique et magnétique jusqu'à 10 GHz [Icnirp, 1998].	29
Figure 4: niveaux de référence pour la population générale [Icnirp, 1998].	30
Figure 5 : restrictions de base pour l'exposition humaine aux champs électrique et magnétique [Icnirp, 2010].	32
Figure 6 : Niveaux de référence pour l'exposition du public aux champs électrique et magnétique [INRS, 2011]	33
Figure 7 : présentation des lignes directrices de l'Icnirp.....	35
Figure 8 : synthèse des restrictions de base pour l'exposition à une source de type lampe fluorescente compacte à moins de 30 cm (données Icnirp)	38
Figure 9 : synthèse des restrictions de base du décret 2002-775	39
Figure 10 : Dispositif de mesure avec la sonde de mesure de la densité de courant utilisant une sonde de courant [Nadakuduti, 2010].	41
Figure 11 : Emplacement du capteur de courant sur le fantôme.....	42
Figure 12 : Schéma électrique de la sonde de courant [Nadakuduti, 2010]	43
Figure 13 : La sonde de courant Nadakuduti, 2010	43
Figure 14 : Positionnement de la lampe	65
Figure 15 : Goniomètre pour la recherche de la direction d'émission maximale et pour la mesure des champs électrique et magnétique	65
Figure 16 : Valeurs de champs électriques mesurés pour l'échantillon de lampe de l'Ademe.	66
Figure 17 : Champ électrique en V/m en fonction de la fréquence en MHz pour la lampe fluorescente compacte n°20.	68
Figure 18 : Champ électrique en V/m en fonction de la fréquence en MHz pour la lampe à LED n°19.....	69
Figure 19 : Champ électrique en V/m en fonction de la fréquence en MHz pour la lampe halogène n°3.	70
Figure 20 : dispositif de mesure des champs électrique et magnétique autour d'une lampe fluo-compactes – la flèche bleue indique la rotation de la lampe autour de son axe.	71
Figure 21 : dispositif de mesure de champ magnétique en très basses fréquences (50 Hz). 71	
Figure 22 : principe de la mesure de densité de courant utilisant la tête d'essai « Van der Hoofden » [IEC 62493].....	75

Contexte, objet et modalités de traitement de la saisine

1.1 Contexte

La Commission de la sécurité des consommateurs (CSC) a rendu en janvier 2011 un avis⁹ relatif aux lampes fluorescentes compactes dans lequel elle recommande aux consommateurs d'éviter toute exposition prolongée à ces lampes dans un rayon de proximité qu'elle fixe à une distance minimale de 30 cm. Elle précise que les porteurs de dispositifs médicaux implantables et de prothèses électriques devraient particulièrement respecter cette consigne, en raison des risques de perturbation du fonctionnement de ces appareils par les champs électromagnétiques produits par les lampes.

Le rapport de la CSC qui motive la recommandation mentionnée ci-dessus fait état d'une étude réalisée pour le compte de l'Ademe par le CSTB en suivant le protocole élaboré par l'Afsset en 2009. Cette étude était destinée à vérifier le respect des valeurs limites d'exposition du public aux ondes électromagnétiques telles que prévues par la recommandation européenne 1999/519/CE [Conseil de l'UE, 1999]. Les résultats des essais ont montré que les rayonnements électromagnétiques mesurés étaient bien inférieurs aux valeurs limites. La méthode de mesure choisie à l'époque, s'appuyant sur une caractérisation simple et rapide du champ électrique à plus de 30 cm des lampes, répondait à l'obligation de fournir un protocole dans les meilleurs délais.

Cependant, la CSC estime que les difficultés à caractériser le champ électrique à moins de 30 cm des lampes ne constituent pas une preuve d'innocuité de l'exposition aux lampes dans cette zone et qu'il faudrait faire application du principe de précaution.

La CSC fait également état dans son rapport d'une étude¹⁰ effectuée à la demande du gouvernement suisse par la fondation It'is¹¹. Cette étude, en utilisant des techniques de mesures innovantes, a permis de caractériser l'exposition aux champs électromagnétiques à moins de 30 cm des lampes. Ces essais montrent que les valeurs limites d'exposition sont respectées dans cette zone, mais que des écarts importants existent entre les différents échantillons testés.

1.2 Objet de la saisine

L'Anses a été saisie le 7 octobre 2011, conjointement par la Direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes (DGCCRF), la Direction générale de la santé (DGS) et la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) sur la question des effets sanitaires potentiels des champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes.

Il est demandé dans cette saisine :

- de « *mettre à jour, compte tenu de la diffusion de nouveaux résultats expérimentaux, l'évaluation des risques pour la santé des personnes liés à leur exposition aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluocompactes. En particulier, l'étude réalisée par la fondation suisse It'is pour mesurer les champs électromagnétiques à moins de 30 cm des lampes pourra être analysée* ».

⁹ <http://www.securiteconso.org/article791.html>

¹⁰

http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00053/index.html?lang=de&download=NHZLpZeg7t,Inp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2YUq2Z6gpJCJdlN7g2ym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A

¹¹ La fondation It'is se définit comme un institut de recherche indépendant à but non lucratif, dédié à l'expansion des connaissances scientifiques nécessaires aux applications bénéfiques et sûres de l'énergie électromagnétique et des technologies de l'information. Elle reçoit des financements provenant d'agences gouvernementales suisses et de divers pays du monde, d'organisations non gouvernementales ainsi que de grands groupes industriels, notamment dans le domaine des télécommunications, et de petites et moyennes entreprises.

- d'« évaluer la pertinence et formuler des recommandations en vue de réaliser, sur la base d'un protocole adapté, des campagnes de mesures visant à caractériser l'émission de champs électromagnétiques par des lampes fluocompactes pour des distances d'utilisation inférieures à 30 cm ».

1.3 Modalités de traitement

L'Anses a nommé, pour appuyer le travail d'expertise collective du Comité d'experts spécialisé (CES) « Évaluation des risques liés aux agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements », 5 experts rapporteurs.

Ces travaux d'expertise sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires. Le CES a examiné le contenu du présent rapport lors des séances des 18 septembre 2012 et 26 octobre 2012 et l'a validé le 20 novembre 2012.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (mai 2003) » avec pour objectif le respect des points suivants : compétence, indépendance, transparence, traçabilité.

1 Généralités sur les lampes domestiques

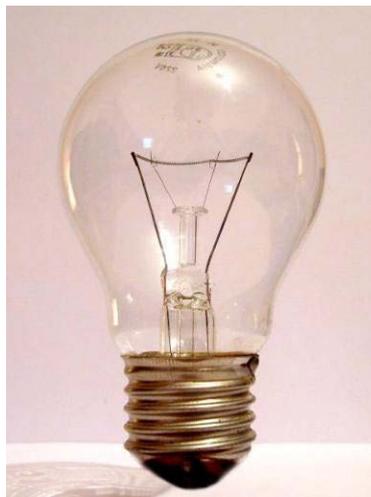
1.1 Présentation des lampes domestiques

Cette section présente les différents types de lampes domestiques actuellement disponibles sur le marché. Il existe 5 types de lampes domestiques : les lampes à incandescence, les lampes halogènes, les tubes fluorescents appelés parfois « tubes néon », les lampes fluorescentes compactes et les lampes incorporant des diodes électroluminescentes (lampes LED).

Chaque type de lampe présente des caractéristiques différentes. Leurs principes de fonctionnement, leurs coûts, leurs durées de vie, leurs efficacités lumineuses ainsi que leurs caractéristiques relatives aux aspects sanitaires sont présentés ci-dessous.

Il faut noter que le principe de fonctionnement des tubes fluorescents est le même que celui des lampes fluorescentes compactes. En effet, ces deux systèmes utilisent un tube fluorescent, souvent linéaire pour les tubes « fluo », replié et compact pour les lampes « fluocompactes », ainsi que des composants électroniques similaires pour entretenir l'ionisation du gaz dans les tubes (situés dans un boîtier à distance du tube « fluo » et dans le culot de la lampe « fluocompacte ». Ce sont ces composants électroniques qui sont à l'origine des champs électromagnétiques objets de ce rapport. En pratique, les tubes fluorescents sont situés souvent à plus grande distance des personnes que les lampes fluorescentes compactes (utilisation principalement dans le cadre de sites industriels, de bureaux). Dans certains cas, on peut trouver des lampes fluorescentes compactes dont le ballast est déporté, par exemple derrière une tête de lit.

1.1.1 Lampes à incandescence



*Cette image appartient au domaine public
Auteur : Alvimann, site : www.morguefile.com*

Principe de fonctionnement	Un filament de tungstène est porté à haute température (environ 2500° C) sous vide, de la lumière visible est émise ainsi qu'un rayonnement infrarouge invisible. Un gaz rare (krypton ou argon) peut être utilisé pour ralentir l'usure du filament.
----------------------------	---

Durée de vie	Environ 1000 heures
Efficacité lumineuse	8 à 15 lumens par watt
Indice de rendu de couleur (IRC ¹²)	Qualité de lumière excellente, IRC proche de 100
Aspects sanitaires	--

1.1.2 Lampes halogènes

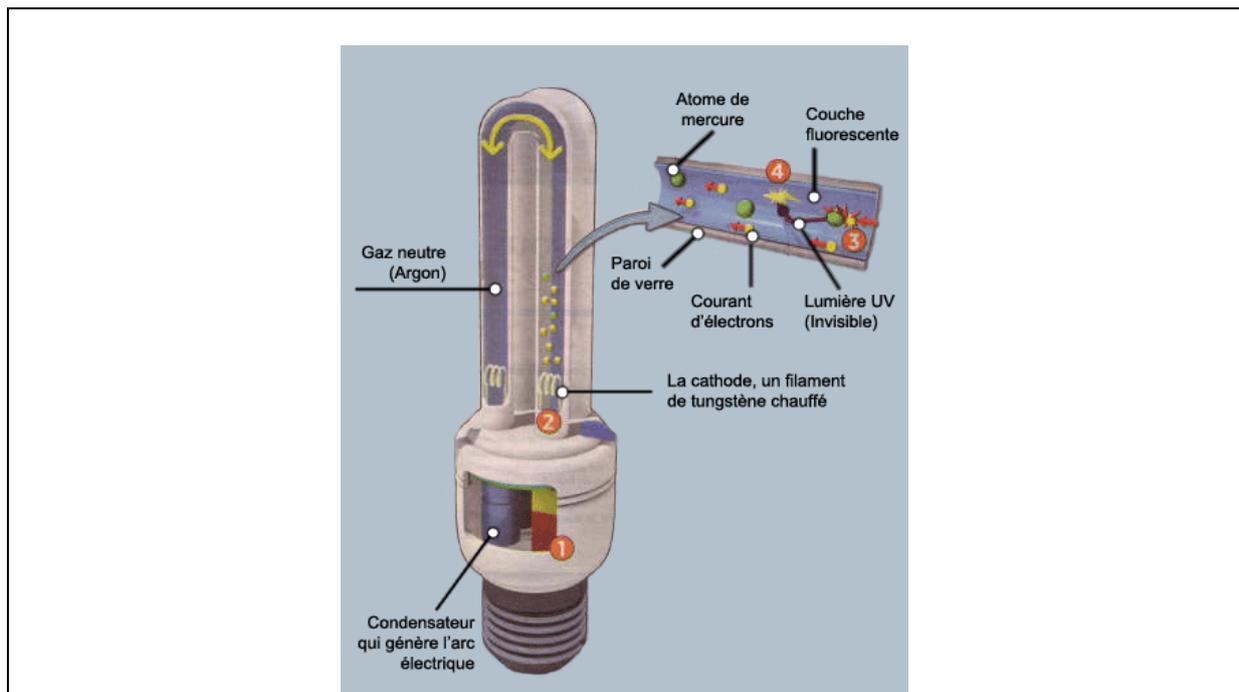
 <p><i>Cette image appartient au domaine public Auteur : Reinraum1, mars 2009</i></p>	
Principe de fonctionnement	Les lampes halogènes fonctionnent sur le même principe que les lampes à incandescence traditionnelles, sauf qu'un gaz halogène remplace les gaz rares et que le filament de tungstène est porté à plus haute température (2800° C à 2500° C). La présence du gaz halogène permet d'augmenter la durée de vie de la lampe en mettant en place un cycle de régénération du filament en tungstène.
Durée de vie	2000 à 3000 heures
Efficacité lumineuse	15 à 30 lumens/watt
Indice de rendu de couleur	Qualité de lumière excellente, IRC proche de 100
Aspects sanitaires	<ul style="list-style-type: none"> - Émission d'ultraviolets, généralement stoppés par une protection en verre. - Très haute température interne de la lampe (entre 600° C et 800 ° C).

¹² L'indice de rendu de couleur (IRC) rend compte de l'aptitude d'une source lumineuse à rendre visible et discernable les différentes couleurs d'un objet qu'elle éclaire. Un indice de 100 correspond par définition à la valeur maximale atteinte dans le cas d'une source de rayonnement purement thermique, comme la lampe à incandescence. Remarque : dans certains cas, la lumière solaire ne donne pas un IRC de 100.

1.1.3 Tubes fluorescents dits tubes « néon »

	
Principe de fonctionnement	Un arc électrique ionise et excite un gaz (typiquement un mélange d'argon et de vapeur de mercure) qui se désexcite en émettant une lumière dans la gamme des ultraviolets. Cette lumière est rendue visible à l'aide d'une couche de poudre fluorescente présente sur les parois internes du tube.
Durée de vie	12 000 heures
Efficacité lumineuse	60 à 80 lumens par watt
Indice de rendu de couleur	De 55 à 90 en fonction des applications
Aspects sanitaires	<i>Cf. ci-dessous les lampes fluorescentes compactes</i>

1.1.4 Lampes fluorescentes compactes (LFC)



<i>Cette Image appartient au domaine public</i> <i>Auteur : Antaya Source : journal de Montréal retravaillé, 2007</i>	
Principe de fonctionnement	Les lampes fluorescentes compactes sont des tubes fluorescents miniaturisés que l'on couple à un dispositif électronique intégré ou déporté (<i>ballast</i>). Un arc électrique généré entre deux filaments de tungstène ionise un gaz contenant du mercure. Des photons appartenant au domaine des ultraviolets sont alors émis. Ces photons sont convertis en lumière visible grâce à une poudre fluorescente présente sur les parois internes de la lampe. Pour favoriser l'ionisation, de l'argon est présent dans le tube.
Durée de vie	6 000 à 10 000 heures
Efficacité lumineuse	50 à 80 lumens / watt
Indice de rendu de couleur	Très variable selon les modèles. L'IRC est compris généralement entre 70 (très médiocre) et 90 (acceptable dans la plupart des applications courantes).
Aspects et questionnements sanitaires	<ul style="list-style-type: none"> – Émission parasite de rayonnement ultraviolet. – Rayonnements électromagnétiques parasites issus des dispositifs électroniques. – Émanation de mercure en cas de bris de la lampe. <p>Références associées :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avis de la commission de sécurité des consommateurs relatif aux risques liés à l'utilisation des lampes fluocompactes en milieu domestiques (janvier 2010) • Rapport du Scenihir « <i>Light sensitivity</i> » (septembre 2008) • Rapport Afsset « Analyse des champs électromagnétiques associés par les lampes fluorescentes compactes » (février 2009) • Rapport Scher 2010 « <i>Mercury in Certain Energy saving Light Bulbs</i> » (mai 2010) • Rapport du Scenihir (<i>Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks</i>), <i>Health effects of artificial light</i>, 19 mars 2012.

1.1.5 Diodes électroluminescentes (LED) et lampes LED

 <p><i>Image appartenant au domaine public</i> <i>Source : wikipedia Commons</i></p>	
Principe de fonctionnement	Deux matériaux semi-conducteurs forment une jonction (diode) sur laquelle on applique une tension adaptée,

	ce qui provoque l'émission de photons de longueur d'onde caractéristique du matériau utilisé. Pour produire de la lumière blanche, on couple le plus souvent une diode émettant une lumière bleue à un matériau fluorescent (luminophore) émettant dans le jaune ¹³ .
Durée de vie	Entre 10 000 et 30 000 heures en 2012
Efficacité lumineuse	40 à 80 lumens / watt en 2012
Indice de rendu de couleur	Très variable selon les modèles. L'IRC est compris généralement entre 80 (médiocre) et 90 (acceptable dans la plupart des applications courantes).
Aspects et questionnements sanitaires	<ul style="list-style-type: none"> - Proportion plus importante de lumière bleue dans le spectre par rapport aux autres types de lampes. - Éblouissement possible si la conception de la lampe n'est pas bonne. <p>Références associées :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rapport Anses 2010 « Effets sanitaires des systèmes d'éclairage utilisant des diodes électroluminescentes (LED) » • Rapport du Scenihhr (<i>Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks</i>), <i>Health effects of artificial light</i>, 19 mars 2012.

1.2 Marché de l'éclairage domestique en France

Le Syndicat de l'Éclairage, au cours d'une audition à l'Anses, a fourni des données concernant l'évolution du marché français des lampes fluorescentes compactes à *ballast* intégré présentées dans le tableau ci-dessous (Tableau 1) Entre 2006 et 2010, la part des lampes fluorescentes compactes dans les ventes de lampes domestiques a augmenté progressivement de 6 % à 23 %.

Tableau 1 : Estimation de l'évolution du marché des lampes fluorescentes compactes en France, selon le Syndicat de l'Éclairage.

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Part des lampes fluorescentes compactes dans les ventes de lampes de nature grand public* en France (volume)	6 %	9 %	12 %	20 %	23 %	20%
Évolution des ventes de lampes fluorescentes compactes en France (volume)	/	54 %	18 %	53 %	2 %	-23,5%
*Lampes de nature grand public : lampes à incandescence, halogènes, fluorescentes compactes à <i>ballast</i> intégré, à LED, sans distinction de destination finale (professionnels ou particuliers).						

Le Syndicat de l'Éclairage prévoit que l'évolution des ventes de lampes fluorescentes compactes, en volume, devrait être à la baisse en 2011 du fait :

- des grandes opérations de distribution menées par des fournisseurs d'énergie, des collectivités, etc. en 2009 notamment (opérations non répétées dans une même ampleur en 2011) ;

¹³ Une seule partie de l'émission bleue est absorbée par le phosphore de telle sorte que se superposent les 2 émissions en sortie de la LED, donnant l'impression d'une lumière blanche.

- du phénomène de stockage (de nombreuses lampes fluorescentes compactes ont été vendues en lots ces dernières années) ;
- de la longue durée de vie des lampes fluorescentes compactes : déjà installées dans de nombreux foyers sensibilisés aux questions d'économies d'énergie, il faut qu'elles atteignent leur fin de vie pour être remplacées.

Le Syndicat de l'Éclairage indique que, d'ici 2 à 3 ans, les ventes de lampes fluorescentes compactes pourraient repartir à la hausse, sauf si les lampes à LED gagnent suffisamment en maturité et baissent en prix.

2 Rayonnement des lampes fluorescentes compactes : contexte technique, normatif et réglementaire

Ce chapitre décrit les principales caractéristiques des rayonnements électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes, ainsi que les fondements scientifiques (connaissances sur l'interaction entre les rayonnements et le vivant) qui définissent aujourd'hui les valeurs limites d'exposition à ces rayonnements. Un état des lieux des normes applicables pour quantifier les champs électromagnétiques émis est ensuite présenté, ainsi que le cadre réglementaire qui s'applique pour limiter l'exposition des personnes.

2.1 Rayonnement électromagnétique émis par les lampes fluorescentes compactes

2.1.1 Origine du champ électromagnétique émis par les lampes fluorescentes compactes

La phase d'allumage d'un tube fluorescent standard à ballast ferromagnétique (à présent obsolète et remplacé par le tube fluorescent à ballast électronique en vertu de la directive européenne dite « *directive ballast* ») comprend plusieurs étapes :

- le *starter*¹⁴ est d'abord sollicité, puis le courant circule dans les électrodes aux extrémités du tube, réchauffant le mélange gazeux à proximité. Au cours de cette phase nécessitant un courant intense, de forts champs électromagnétiques sont produits.
- le *starter* coupe ensuite le courant électrique circulant dans le *ballast*¹⁵, ce qui 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 alors normalement dans le *starter* et le *ballast*, et la lampe reste allumée. Si ce n'est pas le cas, le cycle recommence, avec une nouvelle coupure de courant provoquant une surtension, mais avec cette fois plus de chance d'aboutir, le mélange gazeux étant plus chaud qu'initialement.

Dans le cas des lampes fluorescentes 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 des fréquences de 10 à 50 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 supprimé¹⁶.

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. Certaines lampes sont également recouvertes par un globe (en verre ou matériau polymère), leur donnant un aspect pratiquement similaire aux lampes à incandescence. Les ballasts électroniques sont

¹⁴ Le *starter* peut être un bilame, qui chauffe car il est mis en court-circuit à la mise sous tension.

¹⁵ Le *ballast* ferromagnétique, composé notamment d'une self, limite le courant dans le tube.

¹⁶ Il peut subsister, dans le cas des lampes fluorescentes 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].

situés dans le culot des lampes fluorescentes compactes. Ces *ballasts* électroniques sont responsables de l'émission d'une partie du champ électromagnétique. Ils génèrent en effet une haute tension continue par redressement du courant alternatif domestique (220 V) puis « hachent » le signal en hautes fréquences (quelques 10 kHz) pour améliorer le rendement.

2.1.2 Caractéristiques générales du champ électromagnétique émis par les lampes fluorescentes compactes

Les lampes fluorescentes 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 des fréquences plus élevées (au-dessus de 100 MHz environ), provenant *a priori* de la décharge électrique (arc) dans le tube lui-même (gaz).

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

Il n'existe pas encore de protocole de mesure de champ électromagnétique standardisé parfaitement adapté à ce type de mesures. Il est cependant possible de donner quelques indications pour éviter des problèmes de mesure.

La Figure 1 présente le comportement du champ électromagnétique en fonction de la longueur d'onde du rayonnement (λ), de la dimension de la source de champ (D) et de la distance à celle-ci.

Ainsi, dans le cas d'une lampe fluorescente compacte, compte tenu des fréquences émises par celle-ci, l'analyse du champ électromagnétique émis est systématiquement réalisée dans des conditions de champ proche, même à plusieurs mètres de distance de la source.

Cette situation est extrêmement importante, puisqu'elle conditionne la capacité à mesurer plus ou moins facilement le champ électromagnétique. En zone de champ lointain, les mesures de champ sont assez simples à réaliser. Ces mesures sont beaucoup plus difficiles à mener en zone de champ proche, du fait de la relation complexe entre les champs électrique et magnétique, et des possibles interactions entre les capteurs de mesure et ces champs électrique et magnétique.

Il est ainsi nécessaire, dans le cas des lampes fluorescentes compactes, d'utiliser des systèmes de mesure capables de donner la valeur du champ électrique et du champ magnétique de façon indépendante.

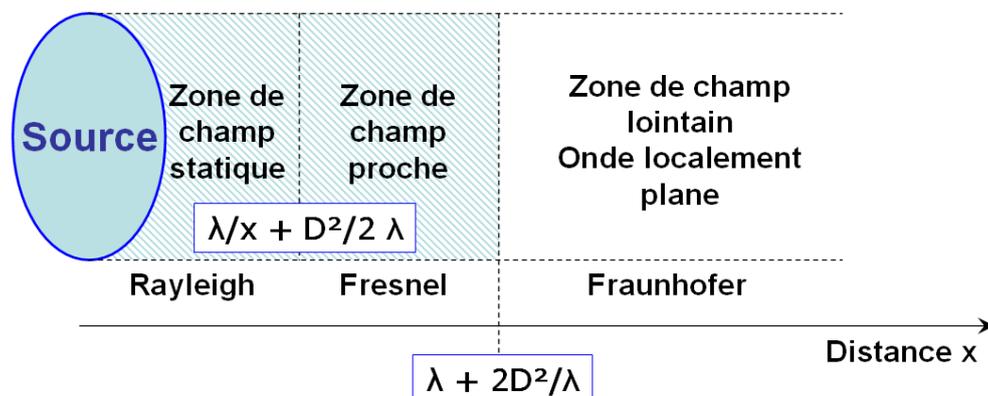


Figure 1 : Zones de champ proche et champ lointain (avec λ la longueur d'onde)

La particularité du rayonnement électromagnétique émis par ces sources consiste par ailleurs en la grande étendue de leur spectre, qui peut s'étendre de quelques kHz (typiquement 20 à 50 kHz pour la fréquence fondamentale) à plusieurs MHz parfois. La

Figure 2 illustre le spectre du champ électrique émis par une lampe fluorescente compacte disponible sur le marché, qui présente une fréquence fondamentale aux alentours de 40 kHz et des harmoniques jusque vers 200 kHz.

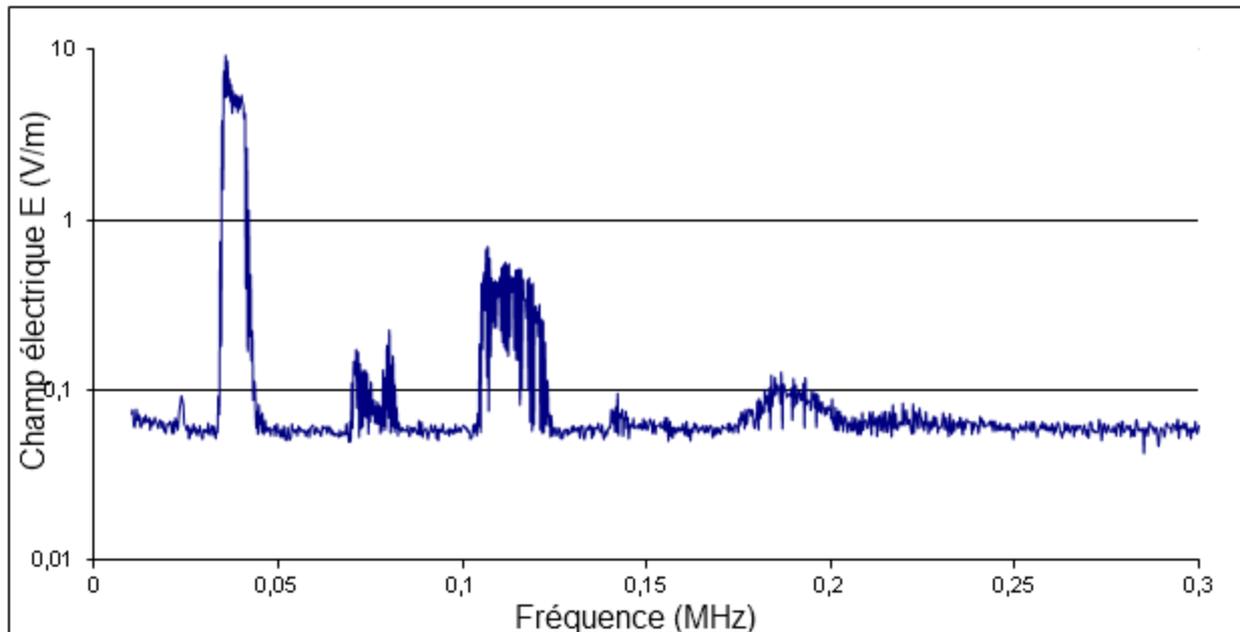


Figure 2 : Champ électrique, en V/m, en fonction de la fréquence en MHz pour une lampe fluorescente compacte disponible sur le marché. Mesure effectuée à 30 cm de la lampe (Protocole Afsset 2009) réalisée par le CSTB.

2.2 Valeurs limites d'exposition, normes et réglementations

2.2.1 Des effets sanitaires aux valeurs limites d'exposition recommandées

Un champ électromagnétique résulte du couplage entre un champ électrique et un champ magnétique. Les variations du champ électromagnétique se propagent dans l'espace sous forme d'ondes dites électromagnétiques en transférant de l'énergie à cet espace : c'est ce qu'on appelle le rayonnement électromagnétique.

L'intensité du champ auquel est soumis un objet diminue généralement quand sa distance par rapport à la source augmente. Toute paroi ou structure conductrice de l'électricité située entre la source et l'objet atténue fortement le champ électrique à proximité de l'objet, mais il n'en est pas toujours de même pour le champ magnétique qui n'est sensiblement atténué que par des matériaux ferromagnétiques.

La profondeur de pénétration des rayonnements dans l'organisme est inversement proportionnelle à leur fréquence. Les basses fréquences (qui correspondent à des longueurs d'ondes très grandes par rapport aux dimensions du corps humain) traversent l'organisme plus facilement que les hautes fréquences (hyperfréquences par exemple) qui ne pénètrent que superficiellement dans le corps.

Les effets immédiats et à court terme sur la santé humaine d'une exposition aux champs électromagnétiques, au contraire des effets à long terme, ont été considérés comme scientifiquement établis par des groupes comme l'Icnirp¹⁷. Ils consistent essentiellement,

¹⁷ *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*. L'Icnirp, la commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants, est un groupement d'experts indépendants¹⁷ chargé d'évaluer l'état des connaissances sur les effets sanitaires des rayonnements non-ionisants. Elle a succédé en 1992 au comité Inirc (Non-Ionizing Radiation Committee) de l'Irpa

selon la fréquence, en la stimulation des muscles ou des nerfs périphériques ou en l'élévation de température des tissus résultant de l'absorption d'énergie pendant l'exposition. Par ailleurs, le contact avec des objets conducteurs peut provoquer des chocs et des brûlures.

Seuls les effets à court terme ont été retenus comme fondements pour les valeurs limites d'exposition fixées par la plupart des normes ou directives. Ces effets peuvent être classés en deux grandes catégories : les effets indirects et les effets directs.

Effets indirects :

Un champ électromagnétique induit des courants électriques sur les objets conducteurs tels que les véhicules, les structures des grues ou les clôtures, par exemple. Lorsqu'une personne touche ou saisit un objet conducteur sans être muni de gants de protection, un courant peut circuler, dans certaines conditions, entre cet objet et le sol à travers la personne. L'intensité de ce courant dépend de l'objet (taille, forme), de la fréquence et de l'intensité du champ ainsi que de l'impédance électrique (équivalente à la résistance pour les courants alternatifs) de la personne. L'impédance dépend de la taille de la personne, de son poids et de la composition de son corps (rapport entre la masse maigre et la masse adipeuse), des caractéristiques diélectriques des tissus et des muscles, du type de contact (superficie de contact, c'est à dire si la personne touche avec les doigts ou si elle prend l'objet en main), et enfin du type de chaussures. L'impédance varie aussi avec la fréquence du champ. Le courant de contact circulant dans une personne n'est perçu qu'à partir d'un certain seuil; à un niveau plus élevé il provoque une douleur et à un niveau encore plus élevé il peut provoquer une lésion (par exemple : brûlure localisée, tétanie respiratoire, effets cardiaques).

Pour que ces effets soient maîtrisés, des restrictions sont spécifiées en termes d'intensité des courants de contact.

Effets directs :

L'exposition à des champs électromagnétiques génère des courants à l'intérieur du corps et/ou une absorption d'énergie par les tissus. Lorsque l'énergie absorbée atteint un niveau suffisamment important, sa transformation locale en chaleur peut entraîner, dans les tissus où elle se produit :

- des brûlures superficielles ou profondes en cas de forte densité de puissance focalisée ;
- en l'absence de focalisation, une hyperthermie plus ou moins locale provoquant diverses réponses physiologiques et thermorégulatrices, dont la gravité dépend de la région du corps exposée ;
- en cas d'exposition accidentelle brève, la création de points chauds à l'origine d'une nécrose, éventuellement retardée, difficile à évaluer, faute de pouvoir connaître précisément la répartition énergétique à l'intérieur du corps.

Par ailleurs, en ce qui concerne l'exposition des yeux, le cristallin présente une sensibilité particulière aux ondes en raison de son absence de vascularisation et de son absorption préférentielle dans sa partie postérieure. Une élévation thermique rapide peut dans certaines conditions entraîner une cataracte.

L'Icnirp considère que les seuls effets sanitaires avérés des champs électromagnétiques radiofréquences sont, selon les fréquences considérées, les effets thermiques dus à l'absorption d'énergie électromagnétique par les tissus vivants et/ou la stimulation électrique des systèmes nerveux et musculaire.

Le tableau suivant (Tableau 2), traduit du document *Icnirp : general approach to protection against non-ionizing radiation protection* (ICNIRP, 2002), présente une synthèse de ces effets en fonction de la gamme de fréquence :

(International Radiation Protection Association). L'Icnirp édite des lignes directrices visant à protéger les personnes contre les rayonnements ionisants qui sont régulièrement mises à jour et reprises comme référence dans la plupart des normes et réglementations internationales.

Tableau 2 : interactions des champs électromagnétiques avec le corps humain

Gamme de fréquences	Mécanisme d'interaction	Effet avéré	Grandeur physique biologique	Grandeur référence de l'exposition
Champ électrique statique	Charges électriques de surface	Sensation désagréable à la surface de la peau, choc électrique	Niveau de champ électrique externe (E)	Niveau de champ électrique (E)
Champ magnétique statique	Induction de champ électrique dans les fluides et les tissus	Effets sur le système cardiovasculaire et le système nerveux	Induction magnétique externe(B)	Induction magnétique (B)
Champ électrique CW (jusqu'à 10 MHz)	Charges électriques de surface	Sensation désagréable à la surface de la peau, choc électrique brulure	Niveau de champ électrique externe (E)	Niveau de champ électrique (E)
	Induction de champ électrique et de courant	Stimulation des cellules nerveuses et musculaires ; effets sur les fonctions du système nerveux	Niveau de champ électrique (E) ou densité de courant (J) dans les tissus	Niveau de champ électrique (E)
Champ magnétique CW (jusqu'à 10 MHz)	Induction de champ électrique et de courant	Stimulation des cellules nerveuses et musculaires ; effets sur les fonctions du système nerveux	Niveau de champ électrique (E) ou densité de courant (J) dans les tissus	Induction magnétique (B)
Champ électromagnétique (100 kHz – 300 GHz)	Induction de champ électrique et de courant ; absorption d'énergie par le corps	Elévation de température excessive, choc électrique et brulure	Débit d'absorption spécifique (SAR)	Niveaux de champs électrique (E) et magnétique (H) Densité de puissance
	Absorption d'énergie en surface pour $F > 10$ GHz	Elévation de température en surface	Densité de puissance (S)	Densité de puissance (S)
	Onde de propagation thermoacoustique pour des impulsions < 30 μ s, de 300 MHz à 6 GHz	Troubles de l'audition	Absorption spécifique (SA)	Densité de puissance crête

Les commentaires suivants peuvent y être apportés :

1. Entre 100 kHz et 10 GHz, les seuils de sécurité sont fondés sur le réchauffement des tissus sous-cutanés sur diverses parties du corps. Le débit d'absorption spécifique (DAS) de 4 W/kg constitue le seuil au-delà duquel cet effet thermique se produit et sert depuis 1982 de base aux lignes directrices de protection des personnes contre

l'exposition aux ondes radiofréquences. D'après l'IRPA (*International Radiation Protection Association*), un DAS de 4 W/kg dans une gamme de fréquences de 10 MHz à 6 GHz entraîne une augmentation de 1°C de la température corporelle après environ 30 minutes d'exposition continue au rayonnement. L'Icnirp reprend les mêmes valeurs pour appuyer ses recommandations (cf. paragraphes suivants).

2. Dans la gamme de fréquences de 1 Hz à 10 MHz, les courants induits dans l'organisme peuvent entraîner une stimulation électrique douloureuse. Dans la plage des très basses fréquences de 4 Hz à 1 kHz, ces effets apparaissent en liaison avec des densités de courant induit supérieures à 100 mA/m² (valeur efficace). Dans cette gamme de fréquences et en tenant compte d'un facteur de sécurité de 10, l'IRPA conseille un seuil de courant induit de 10 mA/m² pour le groupe des professionnels. Au delà de 1 kHz, le seuil augmente en fonction de f [Hz]/100. Pour les fréquences supérieures à 10 MHz, aucun seuil n'est spécifié.

En 2010, l'Icnirp a publié une nouvelle directive (cf. paragraphes suivants) qui, pour la gamme 1 Hz – 100 kHz – 10 MHz, ne prend plus en compte la densité de courant induit comme paramètre représentatif des restrictions de base, mais le champ électrique interne induit dans le corps humain. Les raisons et les modalités de ce changement sont décrites au § 2.2.2.1. Le spectre de rayonnement des lampes fluorescentes compactes étant majoritairement situé dans la bande 10 kHz – 300 kHz, qui correspond à la source d'émission du *ballast* électronique, cela justifie de vérifier le respect des restrictions de base au regard de cette nouvelle recommandation.

3. Autres effets : Les champs magnétiques pulsés peuvent produire d'autres effets telle que la perception acoustique d'impulsions micro-ondes. L'absorption de l'onde au niveau du liquide céphalo-rachidien donne lieu à une onde acoustique qui se propage à l'intérieur du crâne et provoque l'audition d'un son décrit comme un bourdonnement, un cliquètement, un sifflement ou un crépitement selon les caractéristiques du champ pulsé. Pour que ces effets soient maîtrisés, des restrictions sont spécifiées en termes d'absorption spécifique de l'énergie.

2.2.2 Recommandations et lignes directrices pour la limitation de l'exposition aux champs électromagnétiques

2.2.2.1 Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants

L'approche générale de l'Icnirp pour la protection contre les rayonnements non ionisants a été publiée dans un article en 1998 [Icnirp, 1998], elle concerne l'ensemble des fréquences jusqu'à 300 GHz. D'autres publications concernant notamment le domaine des basses fréquences ont fait l'objet d'articles scientifiques publiés par cette commission en 2003 [Icnirp, 2003] et 2010 [Icnirp, 2010]. L'Icnirp examine dans ces publications l'ensemble des effets sur la santé documentés dans la littérature, mais ne considère que ceux réputés avérés pour établir des limites d'exposition. Il est considéré qu'un effet néfaste sur la santé entraîne une altération détectable de la santé de l'individu exposé; alors qu'un effet biologique peut ne pas se traduire par un effet néfaste sur la santé. Le jugement dépend de la qualité, de la reproductibilité et de la cohérence des études. Les résultats obtenus sur des cellules *in-vitro* ne sont pas retenus, car l'Icnirp considère qu'ils ne sont pas suffisamment pertinents pour pouvoir servir de base à une ligne directrice.

Selon l'Icnirp, la limitation des effets liés à l'exposition aux rayonnements non ionisants doit être fondée sur l'observation des effets sanitaires avérés. Cette limitation est appelée

« restriction de base ». Les grandeurs physiques utilisées pour cette restriction de base sont par exemple, en fonction de la fréquence, la densité de courant, le débit d'absorption spécifique ou encore la densité de puissance. La protection contre les effets sanitaires des champs électromagnétiques est assurée par le non dépassement de ces restrictions de base. L'Icnirp considère par ailleurs qu'il n'y a aujourd'hui pas de preuves scientifiques convaincantes, dans les domaines de l'épidémiologie et de la biologie, permettant de conclure à l'existence d'effets sanitaires à long terme comme le cancer ou des pathologies dégénératives.

Les recommandations éditées par l'Icnirp sont donc données en termes de « restrictions de base » et de « niveaux de référence » dérivés de ces dernières.

Les restrictions de base

Ce terme couvre la valeur mesurée des champs électrique, magnétique et électromagnétique au-delà de laquelle il est démontré qu'ils entraînent des effets sanitaires sur l'organisme humain. En fonction de la gamme de fréquence du rayonnement incident sur le corps, ces restrictions de base sont présentées sous forme :

- d'induction magnétique (B),
- de champ électrique (E),
- de densité de courant induit (J),
- de débit d'absorption spécifique (DAS),
- ou encore de densité de puissance (S).

L'induction magnétique et la densité de puissance peuvent être facilement mesurées à l'emplacement de la personne exposée, mais ce n'est pas le cas pour les autres grandeurs qui ne sont accessibles qu'à l'intérieur du corps.

Les restrictions de base sont des exigences ou des valeurs spécifiées de grandeurs étroitement liées à la maîtrise des effets des rayonnements électromagnétiques. Leurs valeurs limites, qui incluent cependant des facteurs de sécurité importants, ne doivent pas être dépassées.

Dans sa mise à jour des lignes directrices pour limiter l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques publiée en 2010, concernant la bande de fréquences 1 Hz – 100 kHz, l'Icnirp a considéré qu'il convenait dorénavant d'utiliser les champs électriques internes en lieu et place des densités de courants internes. Dans la suite de ce document, le terme « interne » sera ajouté au champ électrique lorsqu'il s'agira de considérer des champs présents dans l'organisme.

Les niveaux de référence

La quantification des restrictions de base s'avère difficilement réalisable car elle doit être généralement évaluée à l'intérieur du corps humain (la plupart du temps par simulation numérique à partir d'une mesure externe). Des études expérimentales ont été réalisées et ont finalement conduit à adopter des niveaux, dits « de référence », plus facilement mesurables et dont le respect permet d'atteindre l'objectif de sécurité poursuivi.

Ces paramètres sont connus sous l'appellation de « niveaux de référence » et sont fondés soit sur des modèles mathématiques de l'absorption par le corps humain de l'énergie électromagnétique, soit sur l'extrapolation de données empiriques mesurées par exemple sur un mannequin présentant les mêmes caractéristiques physiologiques.

Les niveaux de référence sont des niveaux d'environnement électromagnétique exprimés en valeur de champ électrique, de champ (ou d'induction) magnétique, de densité de puissance et de courant, qui permettent de vérifier la conformité aux restrictions de base et d'évaluer ainsi les effets des rayonnements électromagnétiques. Ces niveaux tiennent compte de marges de sécurité établies en considérant un très large éventail de situations d'exposition possibles, de telle sorte que dans toutes les configurations d'exposition usuelles, le respect des niveaux de référence entraîne obligatoirement le respect des restrictions de base correspondantes. Les niveaux de référence sont employés pour évaluer de manière pratique l'exposition et déterminer avec fiabilité si les restrictions de base sont respectées. Certaines valeurs de référence sont déduites par mesure ou calcul des restrictions de base

appropriées, d'autres prennent en compte les risques indirects dus à l'exposition au champ électromagnétique. Les paramètres significatifs sont :

- le champ électrique (E),
- le champ magnétique (H),
- l'induction magnétique (B),
- la densité de puissance (S)
- et le courant passant à travers l'organisme (I).

Les paramètres prenant en compte les effets d'une exposition indirecte sont le courant de contact du corps (I_c) et, dans le cas des champs pulsés, l'absorption spécifique (AS). Tous ces niveaux sont donnés pour deux catégories : « public » et « travailleur ».

Les niveaux d'exposition tolérés pour le public sont inférieurs, car il est considéré qu'un travailleur a la connaissance (et donc la maîtrise des moyens de prévention) de l'environnement électromagnétique dans lequel il se trouve, ce qui n'est pas le cas d'une personne publique soumise à une exposition, en dehors de sa volonté, par conséquent sans la maîtrise de la durée d'exposition. Par ailleurs, il est considéré que l'âge et l'état de santé des personnes dans la catégorie « public » sont plus variables (enfants, personnes âgées, malades, etc.) que dans la catégorie « travailleur ».

Lignes directrices pour la protection contre les rayonnements non ionisants jusqu'à 300 GHz (Icnirp - 1998)¹⁸

L'objectif principal de cette publication est d'établir des lignes directrices visant à limiter l'exposition aux ondes électromagnétiques pour se protéger de leurs effets néfastes connus sur la santé, en prenant en compte l'ensemble des fréquences des champs variables dans le temps jusqu'aux premières longueurs d'ondes des rayonnements infrarouge. Ce document décrit les études sur les effets directs et indirects des champs électromagnétiques, c'est à dire les effets de l'interaction directe des champs avec le corps et les effets indirects qui font intervenir des interactions avec un objet à un potentiel électrique différent du corps.

À partir de l'analyse des résultats des études de laboratoire et épidémiologiques, des restrictions de base pour l'exposition et des niveaux de référence pour l'évaluation pratique du risque sont proposés et les lignes directrices devant s'appliquer à l'exposition professionnelle et du public sont données. Différentes bases scientifiques ont été utilisées dans le développement des limites d'exposition de base pour les différentes gammes de fréquence :

- entre 1 Hz et 10 MHz, des restrictions de base sur la densité de courant pour prévenir les effets sur les fonctions du système nerveux central ;
- entre 100 kHz et 10 GHz, des restrictions de base sur le DAS pour empêcher le chauffage du corps entier et le chauffage localisé excessif sur les tissus (au-delà des capacités de thermorégulation de l'organisme) ;
- entre 100 kHz et 10 MHz, des restrictions de base sont fournies à la fois sur la densité de courant et le DAS ;
- entre 10 GHz et 300 GHz, des restrictions de base sur la densité de puissance pour empêcher un chauffage excessif des tissus ou près de la surface du corps.

La publication recommande que pour les fréquences dans la gamme de 4 Hz à 1 kHz, l'exposition professionnelle soit limitée à des domaines qui induisent des densités de courant inférieures à 10 mA.m⁻², c'est à dire qu'il faut appliquer un facteur de sécurité de 10 par rapport aux valeurs induisant un effet sur le système nerveux central (100 mA.m⁻²). Pour le grand public, un facteur supplémentaire de 5 est appliqué, donnant une restriction d'exposition de base de 2 mA.m⁻². En dessous de 4 Hz et au-dessus de 1 kHz, la restriction de base sur la densité de courant induite augmente progressivement, correspondant à l'augmentation du seuil pour la stimulation d'un nerf dans ces plages de fréquences. Par ailleurs, les effets biologiques et sanitaires dans la gamme de fréquences de 10 MHz à

¹⁸ *Icnirp guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)* [Icnirp, 1998].

quelques GHz sont compatibles avec les réponses à une élévation de température du corps de plus de 1°C. Cette augmentation de la température résulte de l'exposition des individus à un DAS corps entier¹⁹ d'environ 4 W.kg⁻¹ pendant environ 30 minutes. Un DAS corps entier moyen de 0,4 W.kg⁻¹ a donc été choisi comme la restriction qui fournit une protection adéquate pour l'exposition professionnelle. Un facteur de sécurité supplémentaire de 5 est mis en place pour l'exposition du public, ce qui donne une limite moyenne de l'ensemble du corps de 0,08 W.kg⁻¹. Enfin, les restrictions de base pour les densités de puissance pour les fréquences de 10 à 300 GHz sont de 50 W.m⁻² pour les professionnels et de 10 W.m⁻² pour le grand public. Les restrictions de base sont données dans la figure suivante (Figure 3) :

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.

Figure 3 : restrictions de base pour les champs électrique et magnétique jusqu'à 10 GHz [Icnirp, 1998].

Les niveaux de référence sont ensuite déterminés pour les expositions des professionnels et du grand public sur toute la gamme de fréquence et donnent les valeurs limites des champs électrique et magnétique (cf. Figure 4 pour les limites pour le grand public).

¹⁹ Le DAS « corps entier » correspond à au débit d'absorption spécifique moyenné sur l'ensemble du corps.

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.

Figure 4: niveaux de référence pour la population générale [Icnirp, 1998].

Lignes directrices pour la protection contre les rayonnements non ionisants (1Hz - 100 kHz) (Icnirp - 2010)²⁰

Dans ce document, les lignes directrices sont établies pour la protection des êtres humains exposés à des champs électriques et magnétiques dans le domaine des basses fréquences du spectre électromagnétique où la gamme de fréquence s'étend de 1 Hz à 100 kHz. Au-dessus de 100 kHz, des effets tels que le chauffage doivent être considérés, mais ceux-ci sont couverts par d'autres lignes directrices de l'Icnirp (cf. ci-dessus). Cependant, à partir de 100 kHz et jusqu'à environ 10 MHz, des effets basses et hautes fréquences sur le système nerveux doivent être considérés en fonction des conditions d'exposition. Par conséquent, certaines lignes directrices dans ce document sont étendues à 10 MHz pour couvrir les effets sur le système nerveux. Notons que ce document remplace la partie basse fréquence des lignes directrices de 1998 [Icnirp, 1998] et les restrictions de base ne sont plus données avec des densités de courant mais par des intensités de champs induits. L'Icnirp explique en effet que pour les précédentes évaluations de risque, les données disponibles étaient fondées sur la mesure de la densité de courant induit. Aujourd'hui, il existe suffisamment d'informations utilisant le champ électrique induit à l'intérieur du corps, qui affecte directement les cellules nerveuses et d'autres cellules électrosensibles, pour utiliser cette grandeur. Mais l'intensité du champ électrique induit est difficile à évaluer et par conséquent, pour des raisons pratiques d'évaluation de l'exposition, des niveaux de référence d'exposition en champ électrique et magnétique sont déterminés

Fondements biologiques des limitations de l'exposition

Les effets biologiques avérés retenus pour la rédaction des lignes directrices dans le domaine des basses fréquences ont été validés par l'*International Agency for Research on Cancer* (IARC), l'Icnirp, et l'OMS (IARC 2002, ICNIRP 2003a, WHO 2007a). Ces effets sont de deux ordres :

²⁰ Icnirp guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields [ICNIRP, 2010].

- réponses biologiques pouvant aller de la perception légère à la douleur, dues aux effets de charges électriques de surface ;
- effets sur des volontaires exposés à des champs magnétiques basse fréquence : stimulation du tissu nerveux central (CNS - *Central Nerve Stimulation*) et périphérique (PNS – *Peripheral Nerve Stimulation*), apparition de phosphènes, sensations devant l'œil d'éclairs lumineux, bleutés ou blancs, liée à l'excitation de la rétine.

La rétine, qui fait partie du CNS, est considérée comme un modèle fiable des effets des champs électriques induits sur le système neuronal en général. Le facteur physique majeur de perturbation des fonctions neuronales est la tension induite par le champ électrique sur la membrane de la cellule.

À 20 Hz, le seuil de sensibilité de la rétine a été estimé entre 50 et 100 mV/m, progressivement croissant, en dessous et en dessus de cette fréquence (Saunders and Jefferys, 2007).

Par ailleurs, les propriétés d'intégration du système nerveux, qui le rendent plus sensible à ces champs de faible niveau, peuvent affecter les fonctions cognitives, notamment celles de la mémoire ou de la réactivité.

Selon l'Icnirp, les autres études, de type épidémiologiques ou neurodégénératives, ne peuvent permettre de conclure à une causalité avérée entre les ondes électromagnétiques basses fréquences et les excès de risque de pathologies parfois observés dans certaines populations.

Restrictions de base

Compte tenu des observations précédentes, la grandeur physique retenue comme référence à l'exposition aux champs électromagnétiques basses fréquences est le champ électrique interne (Ei), considéré comme étant le principal facteur de perturbation des cellules nerveuses.

La plage de fréquence où le système nerveux central est le plus sensible se situe entre 10 Hz et 25 Hz. Dans cette plage, le niveau de champ électrique à partir duquel la rétine et les cellules nerveuses du cerveau sont sensibles est évalué à 50 mV/m.

Pour le système nerveux périphérique, le niveau de sensibilité est constant jusqu'à 400 Hz et se situe autour de 800 V/m.

Les restrictions de base sont données à partir de ces valeurs, en prenant en compte des marges de sécurité d'un facteur 5 pour le public. Pour l'estimation du champ induit, les valeurs du champ électrique interne seront moyennées vectoriellement sur un volume de $2 \times 2 \times 2 \text{ mm}^3$. En régime pulsé ou transitoire, en basse fréquence, l'Icnirp recommande de ne pas moyenniser l'impulsion, mais de prendre en compte la valeur crête instantanée du champ électrique.

Les restrictions de base sont données dans la figure suivante (Figure 5) et varient de 0,1 V/m à 1,35 kV/m entre 1 Hz et 10 MHz.

Caractéristiques de l'exposition	Domaine de fréquences	Champ électrique interne $V.m^{-1}$
Travailleurs		
Tissus de la tête appartenant au SNC	1 – 10 Hz	$0,5 / f$
	10 Hz – 25 Hz	0,05
	25 Hz – 400 Hz	$2 \times 10^{-3} f$
	400 Hz – 3 kHz	0,8
	3 kHz – 10 MHz	$2,7 \times 10^{-4} f$
Tous les tissus autres de la tête et du corps	1 Hz – 3 kHz	0,8
	3 kHz – 10 MHz	$2,7 \times 10^{-4} f$
Population générale		
Tissus de la tête appartenant au SNC	1 – 10 Hz	$0,1 / f$
	10 Hz – 25 Hz	0,01
	25 Hz – 1000 Hz	$4 \times 10^{-4} f$
	1000 Hz – 3 kHz	0,4
	3 kHz – 10 MHz	$1,35 \times 10^{-4} f$
Tous les tissus autres de la tête et du corps	1 Hz – 3 kHz	0,4
	3 kHz – 10 MHz	$1,35 \times 10^{-4} f$

Notes :

- f est la fréquence, en Hz
- toutes les valeurs sont des moyennes quadratiques (rms).
- dans la gamme des fréquences dépassant 100 kHz, il faut en plus tenir compte des restrictions de base spécifiques aux radiofréquences (« RF »).

Figure 5 : restrictions de base pour l'exposition humaine aux champs électrique et magnétique [Icnirp, 2010²¹].

Niveaux de référence

Les niveaux de référence sont obtenus à partir des restrictions de base par modélisation numérique (Dimbylow 2005, 2006).

Les paramètres physiques de référence sont :

- le champ électrique E (V/m) ;
- le champ magnétique H (A/m) ;
- l'induction magnétique B (μT).

Les niveaux de référence préconisés considèrent deux effets distincts et donnent une approximation de la combinaison des champs électriques induits dans le cerveau (CNS) et dans le reste du corps (PNS). Ainsi, pour le champ magnétique à 50 Hz, le facteur de conversion de la restriction de base (champ électrique interne) en niveau de référence (champ magnétique externe) pour les CNS est de 33 V/m / T et de 60 V/m / T pour les PNS, valeurs auxquelles une marge de sécurité d'un facteur 3 a été appliquée.

Pour les champs électriques à 50 Hz, les facteurs sont d'environ 2,6 mV/m / kV/m pour les CNS et 33 mV/m / kV/m pour les PNS.

²¹ Figure extraite du document « Point de repère PR 47-22 Lignes directrices pour l'établissement de limites d'exposition aux champs électriques et magnétiques variables dans le temps (fréquences de 1 Hz à 100 kHz) », traduction par l'Inrs de [Icnirp, 2010].

Pour une source très localisée, à une distance de quelques centimètres du corps, la seule voie réaliste est de déterminer numériquement ou expérimentalement le champ électrique interne local, au cas par cas. Pour des distances un peu plus élevées, où le champ n'est pas uniforme, il est possible de faire une moyenne spatiale sur une partie du corps. La valeur obtenue ne doit pas excéder les niveaux de référence. Le niveau local peut dépasser le niveau de référence mais en s'assurant que la restriction de base n'est pas dépassée.

Les niveaux de référence pour le grand public sont donnés dans la figure suivante (Figure 6). Entre 3 kHz et 10 MHz, ils sont de 83 V/m pour le champ électrique et de 27 μ T pour l'induction magnétique.

Domaine de fréquences	Intensité de champ électrique E (kV.m ⁻¹)	Intensité de champ magnétique H (A.m ⁻¹)	Densité de flux magnétique B (T)
1 Hz – 8 Hz	5	$3,2 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^{-2} / f^2$
8 Hz – 25 Hz	5	$4 \times 10^3 / f$	$5 \times 10^{-3} / f$
25 Hz – 50 Hz	5	$1,6 \times 10^2$	2×10^{-4}
50 Hz – 400 Hz	$2,5 \times 10^2 / f$	$1,6 \times 10^2$	2×10^{-4}
400 Hz – 3 kHz	$2,5 \times 10^2 / f$	$6,4 \times 10^4 / f$	$8 \times 10^{-2} / f$
3 kHz – 10 MHz	$8,3 \times 10^{-2}$	21	$2,7 \times 10^{-5}$

Notes :

- f est la fréquence, en Hz,
- pour des recommandations en régime non sinusoïdal et à des fréquences multiples, voir les sections spécifiques ci-après,
- dans la gamme des fréquences dépassant 100 kHz, il faut en plus tenir compte des niveaux de référence spécifiques aux radiofréquences (« RF »).
- dans la gamme des fréquences dépassant 100 kHz, il faut en plus tenir compte des niveaux de référence spécifiques aux radiofréquences (« RF »).

Figure 6 : Niveaux de référence pour l'exposition du public aux champs électrique et magnétique [INRS, 2011]

Comparaison des restrictions de base et niveaux de référence des lignes directrices de l'Inirp 1998 et 2010

Après analyse des deux documents, il est possible de formuler les principales remarques suivantes :

- Les fréquences de coupure qui constituaient les classes de fréquence ont varié ;
- dans les nouvelles recommandations 2010, il y a également des fréquences nouvelles entre « professionnels » et « population générale ». C'est le cas pour les restrictions de base (RB) où une limite de 400 Hz pour les « professionnels » passe à 1 000 Hz pour la « population générale ».
- Pour les niveaux de référence (NR), la fréquence 50 Hz fait son apparition pour les populations générales, alors qu'elle n'existe pas pour le monde professionnel.
- Le ratio entre les niveaux « professionnels » et « population générale » est variable entre un rapport 2 à 5 (en 1998, il était constant à 5).
- Des diminutions de seuil apparaissent en champ électrique entre 1 kHz et 3 MHz, où les limites passent de 610 V/m à 170 V/m.

Enfin, même si les grandeurs physiques ont changé pour les restrictions de base, elles restent toujours hors de portée de mesures simples (champ électrique interne).

À la fréquence dominante du rayonnement des LFC de 40 kHz, les valeurs limites sont les suivantes (Tableau 3) :

Tableau 3 : comparaison des valeurs limites d'exposition proposées par l'Icnirp

	Restrictions de base (densité de courant) 1998	Restrictions de base (champ E interne) 2010	Niveaux de référence (champ E incident) 1998	Niveaux de référence (champ E incident) 2010
Professionnels	0,4 A/m ²	10,8 V/m	610 V/m	170 V/m
Population générale	0,08 A/m ²	5,4 V/m	87 V/m	83 V/m

Ainsi, pour la population générale, hormis le changement de grandeur physique pour les restrictions de base, les niveaux de champs sont du même ordre de grandeur.

2.2.2.2 Institut des ingénieurs de l'électricité et de l'électronique (IEEE)²²

La norme C95.1-2005 est une nouvelle édition de la C95.1 de l'*Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) publiée en 1999. Elle comprend des recommandations pour la protection contre les effets néfastes sur la santé des personnes de l'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques dans la gamme de fréquences de 3 kHz à 300 GHz. Les recommandations concernent à la fois la protection contre les effets associés à l'électrostimulation des tissus et ceux liés à l'échauffement des tissus.

Cette norme donne d'abord les restrictions de base admissibles pour les expositions au champ électrique interne à des fréquences comprises entre 3 kHz et 5 MHz. Les niveaux de référence concernent les champs électriques, les champs magnétiques (y compris les expositions uniformes et non-uniformes à des champs magnétiques sinusoïdaux), les courants de contact et induits. À titre d'exemple, les niveaux d'exposition acceptables des champs magnétiques pour le grand public doivent être en dessous de 163 A/m à 182 A/m en fonction des fréquences considérées. Pour les fréquences comprises entre 100 kHz et 3 GHz, la norme donne les niveaux de référence à l'exposition de l'ensemble du corps et de l'exposition localisée. Des recommandations sur les limites des courants de contact et induits sont également données entre 100 kHz et 110 MHz.

²² Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) (C95.1-2005) Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic fields 3 kHz to 300 GHz

2.2.2.3 Synoptique des valeurs limites d'exposition préconisées par l'Icnirp :

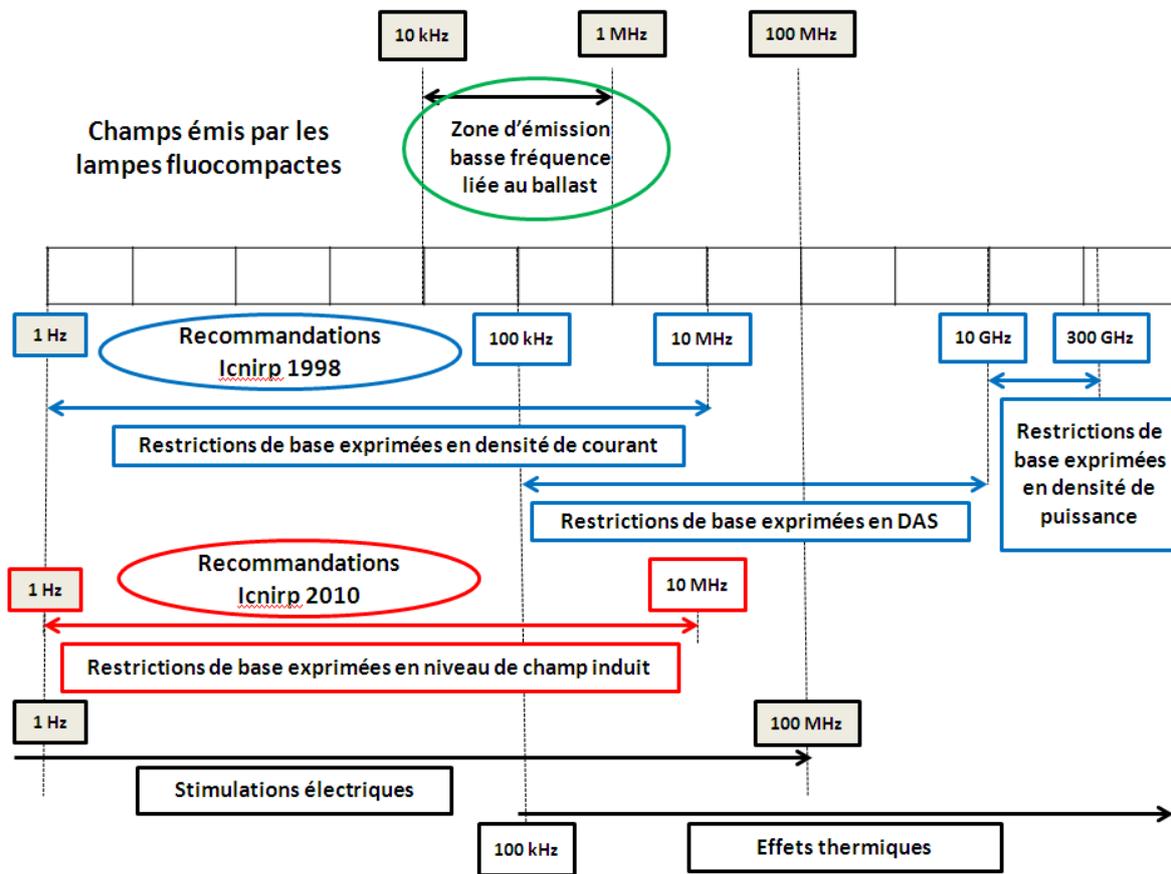


Figure 7 : présentation des lignes directrices de l'Icnirp.

2.2.3 Normes pour démontrer la conformité des lampes fluorescentes compactes aux valeurs limites d'exposition du corps humain aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes

Ce paragraphe présente les normes d'intérêt pour l'évaluation de l'exposition du corps humain aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes. Les normes consacrées à la problématique de la compatibilité électromagnétique sont présentées en Annexe 3.

NF EN 50392 (mai 2004) : 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 à 300 GHz)

Cette norme européenne s'applique aux appareils destinés à être utilisés par le grand public aux termes de la Recommandation du Conseil n° 1999/519/CE du 12 juillet 1999 sur la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (0 Hz à 300 GHz). Elle est utilisée pour démontrer que de tels appareils satisfont aux restrictions de base ou aux niveaux de référence pour l'exposition du grand public relative aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques, ainsi qu'aux courants induits et de contact. Elle propose notamment une ou plusieurs méthodes d'évaluation de la conformité de ces appareils qui doivent être effectuées conformément à une norme de base existante. En fonction du domaine d'application et des restrictions, plusieurs méthodes sont recommandées : calcul en

champ lointain, en champ proche, simulation avec ou sans fantôme²³, modélisation numérique, mesure du courant corporel, calcul et mesures de DAS entre 100 kHz et 10 GHz, mesure des champs électrique et magnétique, modélisation de la source avec prévision des expositions à partir de calculs des émissions à une distance spécifique, enfin des mesures directes des propriétés physiques comme le courant de contact, la puissance d'entrée et le courant de corps. Cette norme ne donne toutefois pas de méthode spécifique adaptée aux lampes fluorescentes compactes.

IEC 62493 (décembre 2009) : Évaluation d'un équipement d'éclairage relativement à l'exposition humaine aux champs électromagnétiques.

Cette norme internationale traite de l'évaluation d'un équipement d'éclairage relativement à l'exposition humaine aux champs électromagnétiques. L'évaluation concerne la densité du courant induit pour les fréquences comprises entre 20 kHz et 10 MHz et le débit d'absorption spécifique (DAS) pour les fréquences comprises entre 100 kHz et 300 MHz autour de l'équipement d'éclairage. La norme établit par ailleurs une méthode d'évaluation pour déterminer les champs électromagnétiques dans l'espace situé autour des équipements d'éclairage. Elle définit également les conditions de fonctionnement ainsi que les distances de mesure normalisées.

La méthode d'évaluation repose sur les restrictions de base données à la fois dans les recommandations de l'Inirp en 1998 et par l'IEEE C95.1-2005. La procédure de mesure utilisée simule la densité de courant à l'intérieur d'une personne se trouvant à proximité de l'équipement d'éclairage. Les mesures sont réalisées selon des conditions spécifiées et notamment la distance de mesure qui varie de 5 cm pour les lampes portatives à 200 cm pour les projecteurs. Cette norme utilise une configuration de mesure dans laquelle une sphère conductrice de 210 ± 5 mm de diamètre, isolée électriquement de la terre, est placée à une distance fixe (300 mm pour les lampes fluorescentes compactes) d'une source lumineuse. La tension mesurée au niveau du récepteur est proportionnelle aux champs électrique et magnétique incidents sur la sphère. Cette norme est discutée en annexe 6.

2.2.4 Réglementations françaises et européennes

Ce paragraphe expose les différentes réglementations et recommandations applicables au niveau national et européen. Des réglementations complémentaires sont présentées en Annexe 4.

Recommandation européenne 1999/519/CE relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (0 à 300 GHz).

Cette recommandation basée sur les travaux de l'Inirp émane du Conseil européen du 12 juillet 1999 et est relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques de 0 Hz à 300 GHz. Elle fait suite à l'action de la Communauté pour assurer un niveau élevé de protection de la santé des travailleurs et des consommateurs, comme le prévoit le traité instituant la Communauté européenne. Dans sa résolution du 5 mai 1994 sur la lutte contre les nuisances provoquées par les rayonnements non ionisants, le Parlement européen a invité la Commission à proposer des mesures normatives visant à limiter l'exposition des travailleurs et du public aux rayonnements électromagnétiques non ionisants. Cette recommandation met donc l'accent sur la protection du public dans la

²³ Un fantôme est une représentation du corps humain ou d'une de ses parties, ou encore d'un animal qui permet d'évaluer l'exposition aux champs électromagnétiques. Il existe des fantômes physiques (mannequins en général remplis de liquides ou gels simulant les propriétés globales diélectriques des tissus) ou numériques (homogènes ou hétérogènes décrivant plus ou moins précisément les différents tissus).

Communauté contre les effets nocifs avérés pour la santé qui peuvent survenir à la suite d'une exposition à des champs électromagnétiques. En revanche, elle ne traite pas de la protection des travailleurs contre l'exposition professionnelle à des champs électromagnétiques. Il est ainsi recommandé aux États membres, afin de fournir un niveau élevé de protection de la santé contre l'exposition aux champs électromagnétiques, d'adopter un cadre de restrictions de base et de niveaux de référence. Ils devraient également mettre en œuvre, conformément au présent cadre communautaire, des mesures concernant les sources ou procédures d'utilisation entraînant une exposition du public à des champs électromagnétiques lorsque la durée d'exposition est significative, à l'exception de l'exposition à des fins médicales pour laquelle les risques et avantages que présente l'exposition, au-delà des restrictions de base, doivent être correctement pesés.

La recommandation donne les restrictions de base et les niveaux de référence pour les grandeurs physiques suivantes :

- le courant de contact,
- la densité de courant,
- l'intensité de champ électrique,
- l'intensité de champ magnétique,
- l'induction magnétique,
- la densité de puissance,
- l'absorption spécifique de l'énergie,
- et le débit d'absorption spécifique.

Il faut noter que les restrictions de base concernent l'exposition à des champs électriques, magnétiques et électromagnétiques variables dans le temps qui sont fondées directement sur des effets avérés sur la santé et des considérations biologiques, alors que les niveaux de référence sont fournis aux fins de l'évaluation de l'exposition dans la pratique pour déterminer si les restrictions de base risquent d'être dépassées. Certains niveaux de référence sont dérivés des restrictions de base concernées au moyen de mesures et/ou de techniques de calcul, et certains autres ont trait à la perception et à des effets nocifs indirects de l'exposition aux champs électromagnétiques.

Décret n°2002-775 du 3 mai 2002 relatif aux valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunications ou par les installations radioélectriques.

Ce décret s'appuie notamment sur la directive 1999/5/CE du Parlement européen et du Conseil du 9 mars 1999 concernant les équipements hertziens et les équipements terminaux de télécommunication et la reconnaissance mutuelle de leur conformité, ainsi que sur la recommandation 1999/519/CE du Conseil de l'Union européenne du 12 juillet 1999 relative à l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz).

Il fixe des valeurs limites au niveau d'exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements des réseaux de télécommunications et par les installations radioélectriques. Ces valeurs sont réputées respectées lorsque le niveau des champs électromagnétiques émis par les équipements et installations radioélectriques concernés est inférieur aux niveaux de référence indiqués dans le décret. Toutefois, on notera que ce décret n'est *a priori* pas directement applicable aux lampes fluorescentes compactes, il ne concerne en effet que les équipements radioélectriques des systèmes de télécommunications.

2.2.5 Synthèse des valeurs limites d'exposition pour les lampes fluorescentes compactes – cas de l'exposition à moins de 30 cm

La figure suivante (Figure 8) représente une synthèse des valeurs limites d'exposition préconisées par l'Incirp (Incirp 1998 et Incirp 2010) correspondant au cas d'une exposition d'un utilisateur à moins de 30 cm d'une lampe fluorescente compacte. Le décret n° 2002-775

du 3 mai 2002 qui a repris les valeurs limites proposées par la recommandation européenne du 12 juillet 1999 pour les équipements de réseaux de télécommunications, elle-même basée sur la recommandation de l'Icnirp 1998, s'appuie donc sur des recommandations plus anciennes, synthétisées sur la Figure 9.

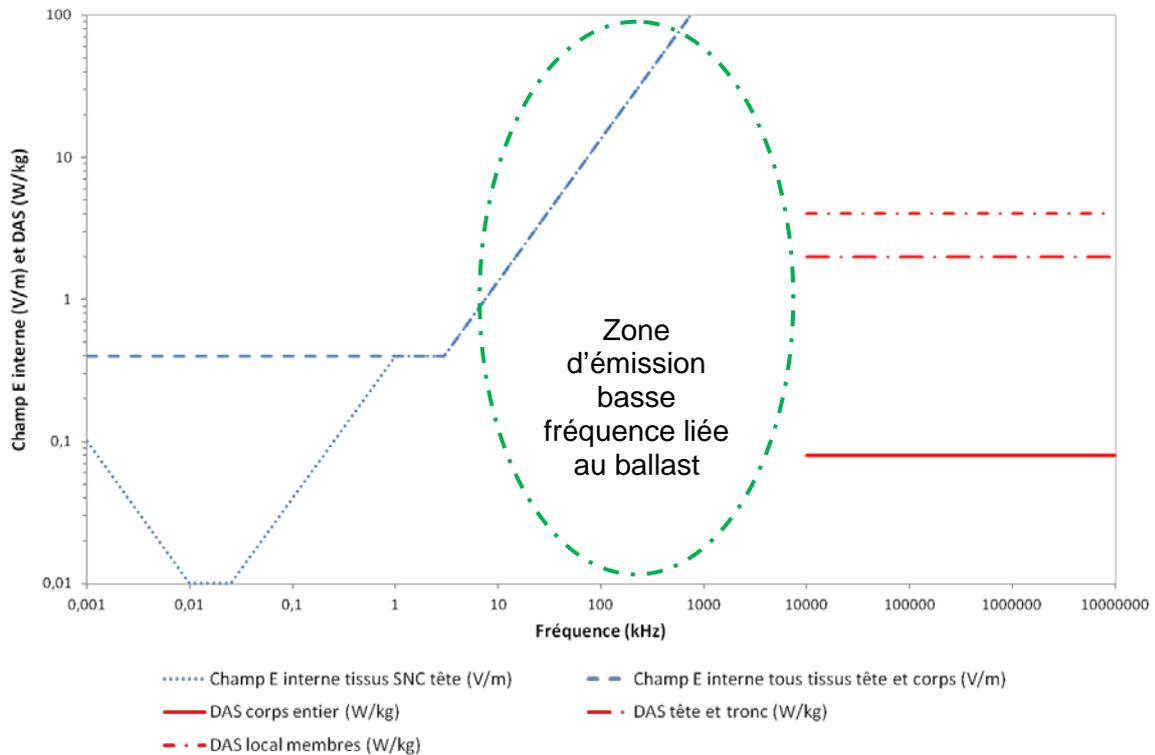


Figure 8 : synthèse des restrictions de base pour l'exposition à une source de type lampe fluorescente compacte à moins de 30 cm (données Icnirp)

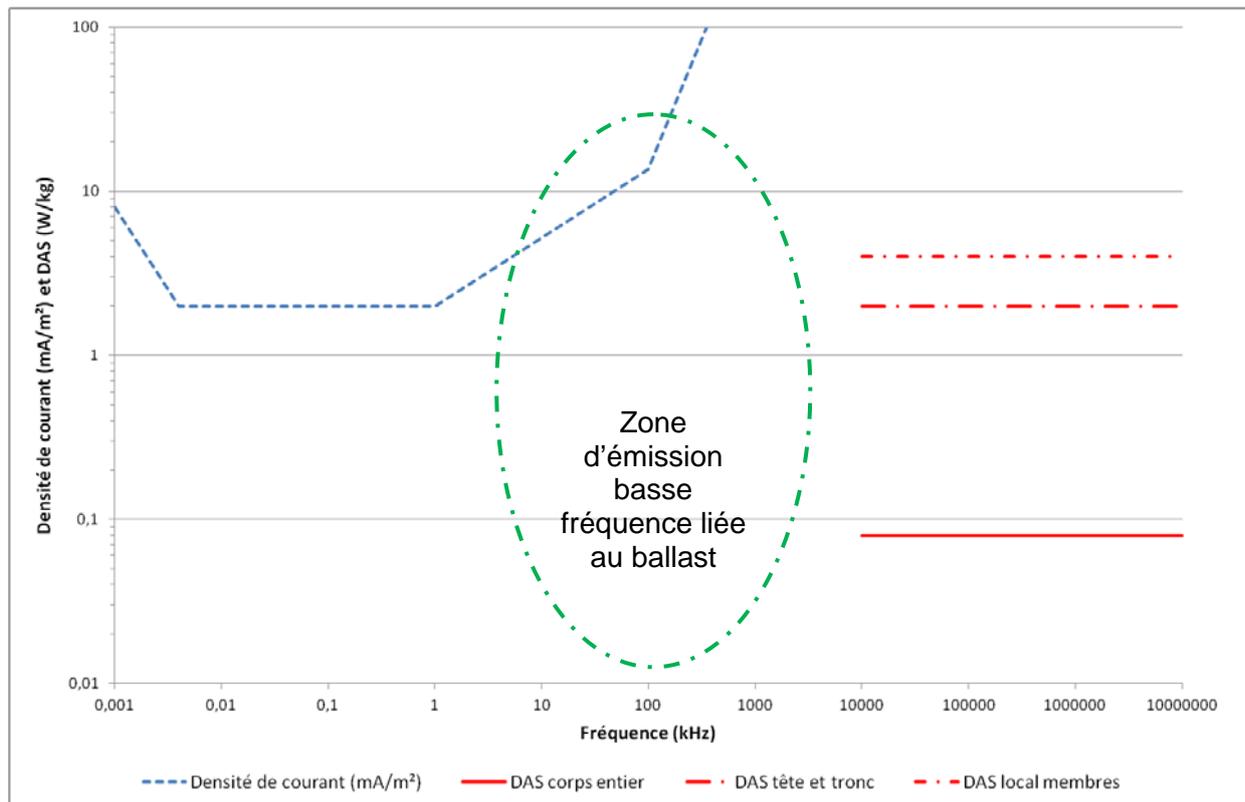


Figure 9 : synthèse des restrictions de base du décret 2002-775

Compte tenu des caractéristiques des champs émis par les lampes fluorescentes compactes (cf. paragraphe 3.1.2), il conviendrait principalement de quantifier le champ électrique interne dans le corps lorsque celui-ci est situé à moins de 30 cm d'une lampe fluorescente compacte.

3 Évaluation de l'exposition aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes

Dans ce chapitre sont présentés les différents protocoles existants, proposés dans des textes normatifs ou par des institutions ou laboratoires, visant à caractériser l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes. L'Anses a proposé en 2009 un protocole de mesure des champs électromagnétiques émis dans l'environnement par les lampes fluorescentes compactes limité à l'espace situé au-delà d'une distance de 30 cm des lampes [Afsset, 2009]. En effet, la complexité des mesures de champs à très courte distance des sources, en raison notamment du fort couplage électromagnétique entre la source et les sondes de mesures, n'autorisait pas la définition rapide d'un protocole simple à mettre en œuvre. A titre d'information, les résultats de mesures effectuées selon ce protocole par le CSTB sont présentés en Annexe 5. Les résultats de mesure du champ électromagnétique à distance des lampes obtenus par d'autres organismes sont également discutés dans cette annexe.

Pour répondre à la saisine objet du présent rapport d'expertise, l'Anses évalue dans ce chapitre les données obtenues par la fondation It'is pour caractériser l'exposition à très courte distance, en évaluant les courants induits, suivant ainsi les recommandations de l'Icnirp en 1998. Il faut souligner que les nouvelles recommandations de l'Icnirp publiées en 2010 concernant la prise en compte des champs induits internes sont parues après la réalisation des mesures par l'It'is. Toutefois, on notera que les courants induits sont reliés aux champs électriques internes par la relation $J = \sigma E$, avec J le courant induit, σ la conductivité des tissus, et E le champ électrique interne. Le passage des courants induits, utilisés auparavant sur des modèles simples et homogènes du corps, au champ électrique interne, n'est pas simple. C'est l'avènement des modèles hétérogènes du corps et les progrès réalisés par les simulations numériques qui ont permis de considérer dorénavant le champ électrique interne dans les différents tissus dont les conductivités sont variables.

La norme de mesure IEC 62493, qui présente un protocole de mesure des courants induits, est discutée en annexe de ce rapport. Cette norme ne prévoit pas de mesure à moins de 30 cm des lampes.

3.1 Évaluation de l'exposition par évaluation du champ induit à moins de 30 cm de la source

3.1.1 Protocole de mesure de l'It'is

3.1.1.1 Présentation du protocole de l'It'is

La fondation It'is a proposé une nouvelle méthode de détermination de l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes [Nadakuduti, 2010]. L'exposition est évaluée en termes de champs induits dans le corps. Pour cela, une relation est établie entre les densités de courant dans la sonde de mesure et les densités de courant dans un modèle anatomique humain homogène (fantôme), la relation entre champ et densité de courant étant alors simplement proportionnelle à la conductivité du milieu.

Pour cette étude, différentes lampes ont été sélectionnées : 11 lampes fluorescentes compactes (E1 - E11), deux lampes à incandescence (I1 et I2), deux lampes à LED (L1 et

L2) et deux longs tubes fluorescents (T1 et T2). Pour évaluer les champs incidents émis par les ampoules dans des environnements réalistes, trois luminaires ont été choisis : un luminaire de lecture, un luminaire de chevet ou de table et un lampadaire.

Les mesures ont été effectuées dans une enceinte blindée, ce qui garantit un environnement électromagnétique bien contrôlé. La lampe sous test est placée au centre de l'enceinte métallique qui a une longueur de $3\,700 \pm 5$ mm, une largeur de $2\,200 \pm 5$ mm et une hauteur de $2\,600 \pm 10$ mm.

Le dispositif de mesure pour les champs induits est illustré à la Figure 10. Les champs induits sont quantifiés en termes de densités de courant, mesurées dans un milieu avec perte et sont comparés aux restrictions de base de l'Icnirp. En effet, comme indiqué plus haut, pour les restrictions de base dans la gamme de fréquence de 1 Hz à 100 kHz, l'Icnirp recommande depuis 2010 d'utiliser les champs électriques induits au lieu des densités de courant. Le dispositif de mesure de la Figure 10 est utilisé pour mesurer les champs électriques induits à partir d'une simple relation qui existe entre les densités de courant et le champ induit. La distance pertinente d_j pour les mesures de densité de courant est la distance la plus proche entre la sonde et la source. Cette distance est utilisée pour corrélérer l'exposition de la sonde à l'exposition des modèles anatomiques humains.

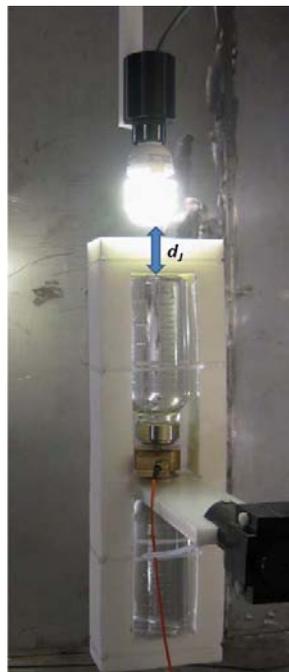


Figure 10 : Dispositif de mesure avec la sonde de mesure de la densité de courant utilisant une sonde de courant [Nadakuduti, 2010].

- **Le capteur de courant**

Le capteur de courant est une sonde qui détermine l'intensité du courant à haute fréquence circulant dans un conducteur électrique. La sonde de courant permet de mesurer des courants circulant dans un conducteur sans connexion directe à ce conducteur. Ce dernier constitue l'enroulement primaire d'un transformateur constitué par la sonde (« pince ») qui forme le noyau magnétique et l'enroulement secondaire.

C'est sur ce principe que les courants induits dans le corps humain sont mesurés dans le protocole It'is. Il s'agit de placer la sonde de courant sur un membre, par exemple, pour mesurer le courant total induit dans ce membre. La Figure 11 illustre la méthode avec le capteur de courant qui entoure un fantôme rempli d'une solution saline.

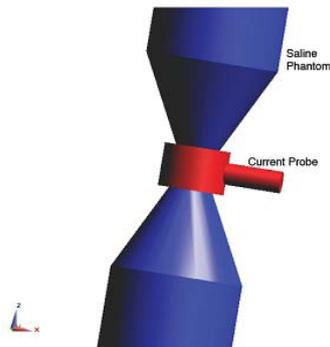


Figure 11 : Emplacement du capteur de courant sur le fantôme

Les performances d'une sonde de courant sont liées à la largeur de la bande passante et à l'impédance de transfert qui relie la tension de sortie du capteur au courant dans le conducteur. Les capteurs peuvent être munis de bornes de sortie secondaires et de résistances connectées en parallèle ; ils présentent ainsi une impédance de transfert sensiblement constante sur une large gamme de fréquence. De plus, la sensibilité de cette méthode de mesure des courants induits peut être très grande en jouant sur la conception du capteur en termes de nombre de spires de la bobine ou du matériau ferromagnétique du noyau.

Pour cette étude de l'It'is, une sonde spécifique de haute sensibilité avec une connexion optique fournissant des détails sur le spectre des courants induits a été développée et caractérisée. En effet, les sondes de courant du commerce sont généralement conçues pour être utilisées avec des systèmes d'impédance égale à 50 Ω (Ohm), elles possèdent alors des impédances de transfert très faibles, ce qui limite la sensibilité globale et nécessite un câble coaxial pour connecter la sonde à l'équipement de mesure. Or, ce câble coaxial peut potentiellement perturber le champ incident émis par les lampes et donc la mesure elle-même. De plus, lorsque la sonde a une connexion optique qui est transparente pour les champs incidents, le dispositif ne mesure que le courant total et ne fournit pas d'informations sur le contenu spectral des courants induits.

L'élément principal de la sonde de courant est un noyau toroïdal constitué d'un matériau magnétique en ferrite. Le matériau choisi est optimisé pour la gamme de fréquences de 1 kHz à 1 MHz pour les transformateurs d'impulsions et de 0,5 MHz à 20 MHz pour les transformateurs large bande. Pour le transformateur constitué par la sonde de courant et dont le circuit primaire est constitué par le conducteur portant le courant à mesurer, le nombre de tours dans le secondaire peut être modifié pour obtenir un meilleur compromis entre la fréquence de coupure basse et l'impédance de transfert. La fréquence de coupure est proportionnelle à $(n_1/n_2)^2$ et l'impédance de transfert est proportionnelle à $(n_1/n_2)^{1/2}$. Les deux étant fonction de la résistance de charge (avec n_1 le nombre de spires dans le circuit primaire et n_2 le nombre de spires dans le secondaire).

Pour cette étude, la charge est de 1 000 Ω et le rapport de transformation est de 28, de sorte que la fréquence de coupure basse est de 25 kHz. Néanmoins, le capteur peut être utilisé jusqu'à 5 kHz mais avec une plus faible sensibilité. Le signal de sortie de la sonde est amplifié grâce à un amplificateur à large bande présentant une charge constante de 1 k Ω avec un gain de 10. Ce signal module linéairement le signal d'une diode laser. Quand la diode laser est polarisée avec un courant entre 10 mA et 15 mA, la relation tension-courant est linéaire et la puissance de sortie sera une fonction directe de la tension de commande de l'amplificateur (cf. Figure 12).

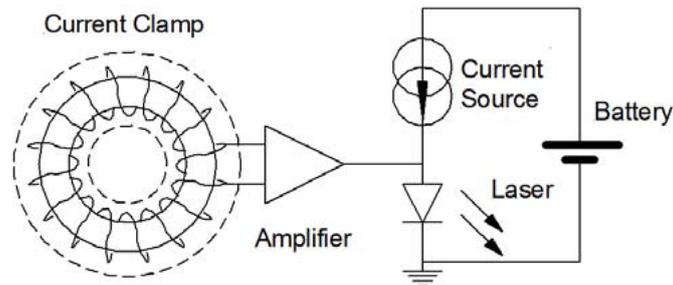


Figure 12 : Schéma électrique de la sonde de courant [Nadakuduti, 2010]

L'ensemble sonde de courant, émetteur optique et batterie sont logés dans un blindage (cf. Figure 13).



Figure 13 : La sonde de courant Nadakuduti, 2010

Le récepteur optique est constitué d'une diode PIN à couplage alternatif polarisée en inverse suivie d'un amplificateur de type transimpédance basé sur un amplificateur opérationnel large bande avec une impédance de transfert de 1 kOhm. L'impédance de sortie est assez faible et peut être connectée à un oscilloscope ou un analyseur de spectre. Le signal est échantillonné en utilisant un oscilloscope numérique et le spectre calculé en utilisant une transformée de Fourier rapide (FFT).

- **Le fantôme**

Pour mesurer les densités de courant induit, les auteurs ont adopté le concept de mesure que la société SPEAG et la fondation It'is ont développé conjointement pour un autre projet mené pour la société KABA. À des fréquences inférieures à 10 MHz, les champs électromagnétiques externes induisent des courants dans le corps. Pour estimer les courants induits dans une personne, des fantômes remplis de liquide ont été développés. Le but du fantôme est de représenter le mécanisme dominant des champs induits chez une personne. Deux fantômes ont été développés : un fantôme linéaire pour mesurer la densité de courant du champ électrique incident et un fantôme boucle pour mesurer la densité de courant du champ magnétique incident. Ce dernier n'a pas été utilisé car les champs magnétiques sont noyés dans le bruit de fond de la mesure pour toutes les lampes de cette enquête.

Le fantôme linéaire (cf. Figure 10) se compose de deux bouteilles cylindriques reliées à chaque extrémité avec une pièce en métal. Les bouteilles sont réalisées en un matériau polycarbonate. En raison de la faible épaisseur de la matière plastique (environ 1 mm) et de sa faible permittivité relative (ϵ_r , compris entre 3 et 4,5 à 1 MHz) par rapport à une solution saline, la matière plastique est considérée comme transparente aux champs à des fréquences inférieures à 1 MHz. Chaque bouteille a un diamètre extérieur de 74 mm et une hauteur de 180 mm. Le diamètre extérieur se rétrécit au niveau du cou à 40 mm. Le goulot de la bouteille est muni d'une bague d'étanchéité en silicone pour pouvoir contenir une solution saline. Le composant métallique est constitué d'une tige cylindrique entre deux

connecteurs. La tige cylindrique a une longueur de 50 mm et un diamètre de 8 mm. Les connecteurs ont des diamètres intérieur et extérieur de 40 mm et 50 mm respectivement. Les dimensions totales du fantôme sont 74x74x420 mm.

Les bouteilles sont remplies avec une solution saline 0,01 M. Cette concentration particulière a été choisie pour sa conductivité qui est similaire à la conductivité moyenne pour la matière blanche (0,0818 S/m) et la matière grise (0,1337 S/m) du cerveau humain à 100 kHz. La permittivité relative et la conductivité d'une solution saline 0,01 M sont de 80,14 et 0,094 S/m à 100 kHz. Les auteurs ont utilisé une solution saline obtenue en utilisant 0,561 g de NaCl pour 1 litre d'eau déionisée (conductivité de 50 μ S/m). La molarité de la solution saline a été vérifiée par la mesure de ses paramètres diélectriques en utilisant le kit de mesure Agilent 85070C. L'incertitude de mesure est généralement inférieure à 5 % à des fréquences supérieures à 200 MHz, mais la technique est moins adaptée pour les mesures dans la gamme de fréquences de 30 à 100 kHz. Par conséquent, les paramètres diélectriques ont été mesurés à des fréquences plus élevées pour vérifier la concentration saline. À une fréquence de 2 GHz, l'accord entre les mesures et les valeurs publiées est en deçà de 0,5 % pour la permittivité et 2 % pour la conductivité.

- **Niveau de bruit**

Les niveaux de bruit ont été mesurés pour l'instrumentation de mesure des densités de courant et de l'environnement du laboratoire. Dans la gamme de fréquences d'intérêt pour les lampes fluorescentes compactes (20-300 kHz), les niveaux de bruit sont inférieurs à 0,02 mA/m². Ces niveaux de bruit représentent moins de 1 % de la restriction de base de l'Icnirp qui est de 60 mA/m² à 30 kHz.

- **Procédure de calcul de la densité de courant**

Pour des signaux large bande, il n'est pas aisé de vérifier leur conformité avec les limites de l'Icnirp qui sont dépendantes de la fréquence. Les auteurs ont suivi la procédure suivante pour évaluer la conformité à ces directives : la tension aux bornes de la sonde de courant a été enregistrée au cours du temps avec une fréquence d'échantillonnage plus élevée que les fréquences d'intérêt (2 millions d'échantillons par seconde). Ce signal de tension a été décomposé dans le domaine temporel en ses composantes spectrales en appliquant une transformée de Fourier rapide en fonction du nombre d'échantillons de temps. En divisant cette valeur par l'impédance de transfert de la sonde de courant, on obtient le spectre de fréquence du courant induit. En divisant en plus par l'aire de la section transversale du fantôme, on en déduit le contenu spectral de la densité de courant induit.

Étant donné que les limites de l'Icnirp sont dépendantes de la fréquence dans cette gamme de fréquences ($f / 500$ mA/m²), le spectre de fréquences de la densité de courant induit est pondéré avec une fonction filtre centrée autour de la fréquence maximale f_0 (par exemple, $f_0 = 47$ kHz). Les fréquences inférieures à f_0 sont amplifiées et les fréquences supérieures à f_0 sont atténuées proportionnellement à (f_0/f) . La transformée de Fourier rapide inverse a été appliquée sur le résultat du spectre pour obtenir le signal dans le domaine temporel de la densité de courant induit. La valeur efficace a été calculée sur la totalité du temps de mesure et ceci a été comparé aux limites de l'Icnirp à la fréquence du pic ($f_0/500$) pour obtenir le pourcentage de la limite Icnirp.

- **Protocole de mesure**

Les densités de courant induit pour toutes les lampes testées ont été mesurées à deux distances : 20 mm en dessous de la lampe et 50 mm sur le côté de la lampe. Ces distances de mesure tiennent compte des dimensions caractéristiques des lampes et de l'encombrement de la sonde de mesure. Seules les composantes J_x et J_z sont données, J_y étant négligeable. Pour les mesures à une distance de 20 mm en dessous de la lampe, la composante J_z est mesurée avec la sonde de densité de courant orientée comme le montre la Figure 10 ci-dessus, tandis que la composante J_x est mesurée avec la sonde orientée horizontalement et le centre de la sonde de courant directement sous le centre de la lampe. Pour les mesures à une distance de 50 mm sur le côté de la lampe, la composante J_z est

mesurée avec la sonde orientée verticalement avec son centre directement à un côté du centre du tube fluorescent, tandis que la composante J_x est mesurée avec la sonde orientée horizontalement et le centre de son axe au centre du tube fluorescent. Pour les mesures sur le côté de la lampe, chaque lampe est tournée autour de son axe vertical et la densité de courant maximale a été enregistrée.

3.1.1.2 Données de mesures de l'It'is

Tableau 4 : Mesures de courant induit dans la sonde de courant lorsque la lampe fluocompacte se situe à une distance de 20 mm. La composante x représente la composante horizontale de la densité de courant, la composante z représente la composante verticale²⁴

Lampe fluocompacte	J_x (mA/m ²) Valeur efficace	J_z (mA/m ²) Valeur efficace	% de la limite Icnirp (1998)	f_0 (kHz)	Puissance (W)
1	0,17*	1,70	1,8 %	46,5	8
2	0,34*	2,40	2,8 %	43,6	18
3	0,19*	2,20	2,9 %	37,7	12
4	0,43*	8,60	9,1 %	47,1	20
5	0,47*	2,20	3,0 %	36,9	20
6	0,26*	1,40	1,9 %	37,7	11
7	0,18*	3,50	3,6 %	48,8	20
8	0,33*	1,70	1,8 %	17,1	11
9	0,12*	0,84	1,6 %	26,2	11
10	0,26*	1,20	1,4 %	41,5	12
11	0,27*	2,50	3,1 %	40,2	20

Tableau 5 : Mesures de courant induit dans la sonde de courant lorsque la lampe fluocompacte se situe à une distance de 50 mm. La composante x représente la composante horizontale de la densité de courant, la composante z représente la composante verticale²⁴

Lampe fluocompacte	J_x (mA/m ²) Valeur efficace	J_z (mA/m ²) Valeur efficace	% de la limite Icnirp (1998)	f_0 (kHz)	Puissance (W)
1	1,54	0,55*	1,7 %	46,5	8
2	2,23	1,03	2,8 %	43,6	18
3	1,91	0,73	2,7 %	37,7	12
4	7,17	1,82	7,9 %	47,1	20
5	2,46	0,78	3,5 %	36,9	20
6	1,68	1,09	2,7 %	37,7	11
7	3,16	0,64	3,3 %	48,8	20
8	1,69	0,63	1,9 %	47,1	11
9	0,92	0,27*	1,8 %	26,2	11
10	1,15	0,44*	1,4 %	41,5	12
11	3,24	0,92	4,2 %	40,2	20

Le tableau ci-dessous présente les résultats de densités de courants dans une personne lorsque les lampes fluorescentes compactes sont situées au-dessus de sa tête. Ces valeurs ont été obtenues en tenant compte de facteurs de conversion obtenus grâce à des simulations numériques utilisant des fantômes hétérogènes, représentant donc la complexité du corps humain. L'It'is a déterminé un facteur de conversion égal à 6,1 entre les valeurs de densités de courant obtenues avec sa sonde de mesure de courant autour du fantôme homogène (bouteilles remplies de solution saline) et un modèle numérique de personne debout. On constate que, dans cette situation, l'exposition peut atteindre 56 % des valeurs

²⁴ Les astérisques notent les cas où J_x et J_z sont inférieur à deux fois le niveau du bruit de fond. Si une valeur est en dessous de ce niveau, le pourcentage de la limite Icnirp est calculé sur la composante restante. Si les deux composante J_x et J_z sont inférieures à ce niveau, le pic de fréquence f_0 n'est pas reporté, et le pourcentage de la limite Icnirp est noté inférieur à 0,5 %.

limites d'exposition de l'Icnirp (1998). Dans le cas de postures particulières (bras levé par exemple), l'It'is mentionne que le facteur de conversion pourrait être deux fois plus élevé, renforçant d'autant le niveau des courants induits.

Tableau 6: densités de courant dans une personne exposée aux lampes fluorescentes compactes à proximité de la tête [It'is, 2010]

Bulb	J_{total} (mA/m ²) rms	f_0 (kHz)	% of ICNIRP limit
E1	10.4	46.5	11.2%
E2	14.6	43.6	16.8%
E3	13.2	37.7	17.5%
E4	52.5	47.1	55.7%
E5	13.4	36.9	18.2%
E6	8.54	37.7	11.3%
E7	21.4	48.8	21.9%
E8	10.4	47.1	11.0%
E9	5.13	26.2	9.8%
E10	7.32	41.5	8.8%
E11	15.3	40.2	19.0%

3.1.1.3 Comparaisons aux autres lampes domestiques (LED et lampes à incandescence)

Tableau 7: Mesures de courant induit dans la sonde de courant lorsque la lampe à incandescence se situe à une distance de 20 mm. La composante x représente la composante horizontale de la densité de courant, la composante z représente la composante verticale²⁴

Lampe à incandescence	J_x (mA/m ²) Valeur efficace	J_z (mA/m ²) Valeur efficace	% de la limite Icnirp (1998)	f_0 (kHz)	Puissance (W)
1	0,36*	0,23*	< 0,5 %	*	75
2	0,25*	0,24*	< 0,5 %	*	60

Tableau 8: Mesures de courant induit dans la sonde de courant lorsque la lampe à LED se situe à une distance de 20 mm. La composante x représente la composante horizontale de la densité de courant, la composante z représente la composante verticale²⁴

Lampe à LED	J_x (mA/m ²) Valeur efficace	J_z (mA/m ²) Valeur efficace	% de la limite Icnirp (1998)	f_0 (kHz)	Puissance (W)
1	0,31*	0,51*	< 0,5 %	*	8
2	0,30*	0,51*	< 0,5 %	*	1,5

Tableau 9: Mesures de courant induit dans la sonde de courant lorsque la lampe à incandescence se situe à une distance de 50 mm. La composante x représente la composante horizontale de la densité de courant, la composante z représente la composante verticale²⁴

Lampe à incandescence	J_x (mA/m ²) Valeur efficace	J_z (mA/m ²) Valeur efficace	% de la limite Icnirp (1998)	f_0 (kHz)	Puissance (W)
1	0,33*	0,71	0,5 %	68,0	75
2	0,26*	0,42*	< 0,5 %	*	60

Tableau 10 : Mesures de courant induit dans la sonde de courant lorsque la lampe à Led se situe à une distance de 50 mm. La composante x représente la composante horizontale de la densité de courant, la composante z représente la composante verticale²⁴

Lampe à LED	J _x (mA/m ²) Valeur efficace	J _z (mA/m ²) Valeur efficace	% de la limite Icnirp (1998)	f ₀ (kHz)	Puissance (W)
1	0,51*	0,34*	< 0,5 %	*	8
2	0,47*	0,33*	< 0,5 %	*	1,5

3.2 Analyse du protocole de l'It'is.

Les mesures de champs électromagnétiques analysées ci-dessus effectuées par les différents organismes utilisent quasiment les mêmes instruments et de surcroît du même fabricant (NARDA). L'étalonnage de ces instruments est réalisé par le fabricant lui-même et aucune procédure de vérification n'est proposée dans les trois séries de mesures. Il n'est presque pas étonnant de retrouver globalement les mêmes résultats obtenus dans les mêmes conditions. Il serait fortement souhaitable, soit d'utiliser des instruments différents, soit de procéder à leur étalonnage par des acteurs autres que le fabricant de l'instrument lui-même.

Toutes les données des mesures sont exprimées en valeur moyenne, qui est alors comparée à la limite d'exposition. Cette démarche reste très insuffisante pour tirer des conclusions sur le dépassement ou non des limites d'exposition si les incertitudes de mesures ne sont pas prises en compte. Le cas des mesures de l'It'is du champ électrique à 15 cm en est l'exemple type car l'incertitude de mesures donnée de 38,9 % relativise les conclusions sur le dépassement des limites de l'Icnirp. En effet, dix mesures sur onze montrent que la limite de l'Icnirp est comprise dans les barres d'incertitudes des mesures et on ne peut donc pas conclure sur le dépassement réel de cette limite sauf pour une seule des onze lampes testées (cf. Annexe 5). Il faudrait dans ce cas vérifier le respect des restrictions de base, en termes de champ électrique interne, dans des conditions de pire cas d'exposition.

Dans la conclusion de l'étude de l'It'is, il est mentionné que même si toutes les mesures du courant induit sont conformes aux limites de l'Icnirp, la dispersion des mesures entre les différentes lampes est de nature à mettre en doute la conformité des lampes fluorescentes compactes par rapport aux limites d'exposition. Or, si on considère l'incertitude de mesure des courants induits de 17 % et qu'on compare la dispersion des mesures pour les différentes lampes par rapport à la moyenne de ces mesures, en excluant celle de la lampe n°4, les dix autres mesures sont toutes comprises dans l'écart-type calculé par cette moyenne. Cela veut dire que la conclusion de l'It'is se base sur l'écart d'un seul échantillon sur les onze testés.

En revanche, il faut convertir les résultats fournis par la sonde de mesure par rapport à l'exposition réelle dans un corps humain. Ce travail de conversion a été effectué par l'It'is, il a permis de déterminer un facteur 6 environ entre les valeurs mesurées par la sonde (pince de courant et bouteilles remplies de solution saline) et celles obtenues dans un corps hétérogène (par simulation numérique). Au final, l'It'is obtient, pour une lampe, une valeur de densité de courant correspondant à près de 56 % de la valeur limite d'exposition [Icnirp, 1998]. Cette situation n'est a priori pas conservatrice, car comme l'a montré leur étude sur l'impact du positionnement (bras tendu etc.) sur les valeurs de densité de courant circulant dans le corps, le facteur de conversion peut-être encore plus élevé.

4 Conclusions et recommandations

Compte tenu des spécificités techniques des mesures des caractéristiques des champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes (liées notamment aux appareils de mesure et aux propriétés des champs aux fréquences considérées) ; compte tenu également des usages de ces lampes, le rayon de 30 cm autour des lampes semble être une valeur clé dans l'évaluation de l'exposition. Au-delà de ce rayon, les moyens de mesure actuels permettent d'effectuer des contrôles de la conformité des lampes par rapport aux différentes réglementations ou recommandations actuelles en termes de valeurs limites d'exposition de façon maîtrisée. Ainsi, selon le protocole proposé par l'Afsset en 2009, deux campagnes de mesure ont été réalisées par le CSTB en 2010 et 2011.

Dans son avis rendu en janvier 2011, la Commission de la sécurité des consommateurs a recommandé aux consommateurs d'éviter toute exposition prolongée à ces lampes dans un rayon de proximité qu'elle fixe à une distance minimale de 30 cm. Depuis la publication du protocole de l'Afsset, la fondation suisse It'is a communiqué des résultats de mesure obtenus à plus courte distance, à moins de 5 cm d'un fantôme représentant le corps humain aux fréquences émises par les lampes.

Considérant le premier point de la saisine objet de ce rapport d'expertise, à savoir *mettre à jour l'évaluation des risques pour la santé des personnes liés à leur exposition aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluocompactes, en analysant en particulier l'étude réalisée par la fondation suisse It'is pour mesurer ces champs à moins de 30 cm des lampes, les conclusions et recommandations suivantes sont formulées :*

- L'Icnirp, en 2010, a publié des nouvelles lignes directrices pour la protection contre les rayonnements non ionisants qui, pour la gamme de fréquences 1 Hz – 100 kHz ne prennent plus en compte la densité de courant induit comme paramètre représentatif des restrictions de base, mais le champ électrique interne induit dans le corps humain. Le spectre de rayonnement des lampes fluorescentes compactes étant majoritairement situé dans la bande 10 kHz – 300 kHz, qui correspond à la source d'émission du *ballast* électronique, cela justifie de vérifier le respect des restrictions de base au regard de cette nouvelle recommandation.
- À une distance inférieure à 30 cm des lampes, correspondant à des situations d'expositions réalistes (lampes de bureau, de chevet, ballast électronique déporté, etc.), la mesure de champ électromagnétique utilisant des sondes de champ électrique ou magnétique classiques n'est pas adaptée.
- Les mesures effectuées sur les lampes fluorescentes compactes, au cours des trois campagnes successives (CSTB 2010 et 2011 – It'is 2010), sont concordantes et montrent que le rayonnement en champ magnétique est très faible et souvent au niveau du bruit, le rayonnement prépondérant est le champ électrique.
- À une distance inférieure à 30 cm des lampes, la méthode proposée par la fondation It'is (sonde saline) est intéressante et semble validée par la simulation numérique. Les calculs présentés dans le rapport de l'It'is permettent ainsi de faire la corrélation entre le champ induit dans une sonde saline et dans le corps humain, à la fois pour une onde plane et pour une source ponctuelle représentative d'une lampe.
- Le protocole de mesure proposé par l'It'is, reposant sur le principe d'une sonde ampèremétrique disposée autour d'un fantôme représentant le corps humain, est une bonne manière d'accéder aux champs induits, cette méthode est donc apte à évaluer

l'exposition des personnes aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluorescentes compactes dans de bonnes conditions.

- Compte tenu de l'étalement en fréquence très large des signaux émis par les lampes fluorescentes compactes, il est important de signaler que le traitement des mesures doit être réalisé soigneusement afin d'évaluer correctement la densité de courant de ces signaux large bande.
- Il convient également de noter que la méthode de l'It'is n'est pas normalisée, ainsi toutes les informations techniques sur l'élaboration de la sonde ampèremétrique et son circuit électronique ne sont pas nécessairement disponibles. Il conviendra de documenter précisément ces éléments afin que les éventuelles campagnes de mesures soient comparables entre elles.

Considérant le second point de la saisine : « évaluer la pertinence et formuler des recommandations en vue de réaliser, sur la base d'un protocole adapté, des campagnes de mesures visant à caractériser l'émission de champs électromagnétiques par des lampes fluocompactes pour des distances d'utilisation inférieures à 30 cm », les conclusions et recommandations suivantes sont formulées :

- la méthode proposée par l'It'is (sonde saline) pour accéder à la caractérisation des restrictions de base est intéressante et semble validée par la simulation numérique. Elle pourrait donc être utilisée afin de réaliser une campagne de mesures d'un échantillon de lampes fluorescentes compactes.
- Les mesures réalisées par l'It'is sur un échantillon réduit de lampes fluorescentes compactes ont montré que, pour certaines lampes, les valeurs de champ induit peuvent être du même ordre de grandeur que les valeurs limites d'exposition recommandées par l'Incirp. Il semble donc important de faire une campagne de mesure des champs induits à proximité des lampes fluorescentes compactes sur un échantillon correctement dimensionné de lampes représentatives du marché français.
- En complément du protocole développé par l'It'is, les développements récents dans le domaine des techniques de mesure de champs électromagnétiques laissent penser qu'une mesure encore plus précise pourrait être effectuée à proximité de la lampe à l'aide de capteurs électro-optiques, par exemple en utilisant des sondes entièrement fibrées et de tailles inférieures au cm ; elles permettraient également de faire une mesure en régime transitoire, pendant la phase d'allumage de la lampe.
- Avant les essais, les lampes devraient être « vieilles » pendant au moins 100 h à la tension assignée (cf. norme EN 61000-3-2 : limites des teneurs en harmoniques concernant l'émission de champs électromagnétiques). En effet, comme pour tout composant électronique, le vieillissement modifie son comportement sans préjuger d'une amélioration ou d'une dégradation. Les tests devraient être réalisés sur un composant dont le comportement est stable, donc après vieillissement. Les lampes devraient par ailleurs fonctionner pendant au moins 15 min avant toute série de mesures. Enfin, pendant le vieillissement et la mesure, les lampes devraient être installées en situation d'utilisation normale.
- Il paraît important, au vu des données de mesure recueillies, de réaliser des mesures de champ électromagnétique dans les phases d'allumage des lampes (mode transitoire).

5 Bibliographie

5.1 Publications

Afsset, *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, février 2009.

Conseil de l'Union européenne, *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)*, 1999/519/CE, 12 juillet 1999.

Dimbylow PJ. *Development of the female voxel phantom, NAOMI and its application to calculations of induced current densities and electric fields from applied low frequency magnetic and electric fields*. Phys Med Biol 50:1047–1070; 2005.

Dimbylow PJ. *Development of pregnant female, hybrid voxel mathematical models and their application to the dosimetry of applied magnetic and electric fields at 50 Hz*. Phys Med Biol 51:2383–2394; 2006.

Icnirp, *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*. Health Physics 74 (4): 494-522; 1998.

Icnirp, *General approach to protection against non-ionizing radiation protection*, Health Physics 82(4):540-548; 2002.

Icnirp, *Exposure to Static and Low Frequency Electromagnetic Fields, Biological Effects and Health Consequences (0-100 kHz) - Review of the Scientific Evidence and Health Consequences*. Munich: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection; 2003. ISBN 978-3-934994-03-4.

Icnirp, *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric and Magnetic Fields (1 Hz - 100 kHz)*. Health Physics 99(6):818-836; 2010.

INRS, Point de repère PR 47-22 « Lignes directrices pour l'établissement de limites d'exposition aux champs électriques et magnétiques variables dans le temps (fréquences de 1 Hz à 100 kHz) », traduction par l'Inrs de [Icnirp, 2010], 2011.

Nadakuduti J. *et al. Assessment of EM Exposure of Energy-Saving Bulbs & Possible Mitigation Strategies*. It's foundation, 2010.

Saunders RD, Jefferys JG. *A neurobiological basis for ELF guidelines*. Health Physics 92:596–603; 2007.

5.2 Normes

CEI - CISPR 15, *Limites et méthodes de mesure des perturbations radioélectriques produites par les appareils électriques d'éclairage et les appareils analogues*, Commission électrotechnique internationale, septième édition, 2005-11.

CEI - CISPR 15, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods*, Commission électrotechnique internationale.

NF X 50-110 (mai 2003) Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise. AFNOR (indice de classement X 50-110).

NF EN 50392 (mai 2004) : 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 à 300 GHz)

NF EN 50492 (01/01/2009) - Norme de base pour la mesure du champ électromagnétique sur site, en relation avec l'exposition du corps humain à proximité des stations de base.

5.3 Législation et réglementation

Arrêté du 8 octobre 2003 fixant les spécifications techniques applicables aux équipements terminaux radioélectriques, NOR : INDI0320366A, JORF n°234 du 9 octobre 2003, page 17247.

Communication de la Commission au Parlement européen et au Conseil du 15 juin 2010 relative à l'utilisation de scanners de sûreté dans les aéroports de l'UE [COM(2010) 311 final – Non publiée au Journal officiel].

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, NOR : INDI0220135D, JORF du 5 mai 2002, pages 8624 à 8627.

Directive 1999/5/CE du Parlement européen et du Conseil, du 9 mars 1999 concernant les équipements hertziens et les équipements terminaux de télécommunications et la reconnaissance mutuelle de leur conformité, JOUE n° L 091 du 07/04/1999, pages 10 à 28.

Directive 2004/40/CE du Parlement européen et du Conseil du 29 avril 2004 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques, JOCE n° L 184 du 24/05/2004, pages 1 à 6.

Instruction n° 302143/DEF/SGA/DFP/PER5 du 18/08/03 relative à la protection des personnes contre les effets des champs électromagnétiques émis par les équipements ou installations relevant du ministère de la défense fixant les règles d'évaluation des risques aux rayonnements non ionisants, BOC/PP du 29/09/2003, n° 40, pages 6299 à 6350.

Recommandation du Conseil n° 1999/519/CE du 12 juillet 1999 relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 GHz), J.O. des Communautés européennes du 30/07/1999, n° L 199, pages 59 à 70.

Règlement (CE) n° 272/2009 de la Commission du 2 avril 2009 complétant les normes de base communes en matière de sûreté de l'aviation civile figurant à l'annexe du règlement (CE) n° 300/2008 du Parlement européen et du Conseil

Règlement des radiocommunications, Union Internationale des Télécommunications (UIT), Éditions 2008.

Annexe 1 : lettre de saisine

→ AD
6

2011 -SA- 0 2 6 0 COURRIER ARRIVE

07 OCT. 2011

DIRECTION GENERALE

Ministère du travail, de l'emploi et
de la santéMinistère de l'Écologie, du
Développement durable, des
Transports et du LogementMinistère de l'économie, des
finances et de l'industrie

Direction générale de la santé

Direction générale de la prévention
des risquesDirection générale de la
concurrence, de la consommation et
de la répression des fraudes

Paris le

13 1 AOU 2011

La Directrice générale de la concurrence,
de la consommation et de la répression
des fraudes

Le Directeur général de la santé

Le Directeur général de la prévention des
risques

à

Monsieur le Directeur général de
l'Agence nationale de sécurité sanitaire de
l'alimentation, de l'environnement et du
travail
27-31 avenue du Général Leclerc,
94701 Maisons-Alfort Cedex**Objet : Ondes électromagnétiques émises par les lampes fluocompactes.**

Monsieur le Directeur général,

Nous avons l'honneur de vous faire parvenir ci-joint une saisine relative aux ondes
électromagnétiques émises par les lampes fluocompactes.Le Directeur général
de la santé

Jean-Yves GRALL

Le Directeur général de la
prévention des risques

Laurent MICHEL

La Directrice générale de la
concurrence, de la consommation et de
la répression des fraudes

Nathalie HOMOBONO

2011-SA-0260

**SAISINE RELATIVE AUX ONDES ELECTROMAGNETIQUES
EMISES PAR LES LAMPES FLUOCOMPACTES****1. BASE LEGALE DE LA SAISINE**

Articles L. 1313-1 et L. 1313-3 du code de la Santé publique

2. DELAI DE REPONSE SOUHAITE

Fin 2011

3. COORDONNEES DES CONTACTS**DGCCRF**

Le dossier est coordonné à la DGCCRF par le bureau E2 « biens d'équipements »

E2@dgccrf.gouv.fr

Tel : 01 43 97 32 13

DGS

Le dossier est coordonné à la DGS par le bureau EA1 « Environnement extérieur et produits chimiques »

camille.fevrier@santc.gouv.fr

Tel : 01 40 56 58 84

DGPR

Le dossier est coordonné à la DGPR par la « mission bruit et agents physiques »

pascal.valentin@developpement-durable.gouv.fr

Tel : 01 40 81 88 12

4. PROBLÉMATIQUE ET ÉLÉMENTS DE CONTEXTE

La Commission de la sécurité des consommateurs (CSC) a rendu en janvier 2011 un avis relatif aux lampes fluocompactes dans lequel elle recommande aux consommateurs d'éviter toute exposition prolongée aux lampes fluocompactes dans un rayon de proximité qu'elle fixe à une distance minimale de 30 cm. Elle précise que les porteurs de dispositifs médicaux implantables et de prothèses électriques devraient particulièrement respecter cette consigne.

L'exposition des utilisateurs relève du décret n° 2002-775 du 3 mai 2002 relatif aux valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements électriques ou par les installations radioélectriques.

Par ailleurs, les lampes fluocompactes doivent être conformes aux dispositions du décret n° 2006-1278 du 18 octobre 2006 relatif à la compatibilité électromagnétique des appareils électriques et électroniques. Sur ce dernier point, une enquête nationale, réalisée en 2009 par la DGCCRF, a démontré que les lampes fluocompactes respectaient les dispositions en vigueur sur la compatibilité tant pour les ondes émises que pour les ondes reçues.

Le rapport de la CSC qui motive la recommandation sus mentionnée fait référence à l'étude réalisée par l'ADEME à la demande du ministère chargé de l'écologie qui a permis de réaliser une campagne de mesure des niveaux de champs électromagnétiques émis par ces lampes. Ces mesures ont été effectuées par le CSTB à partir d'un protocole élaboré par l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du Travail (l'ANSES désormais), permettant de caractériser les champs électromagnétiques émis à partir d'une distance de 30 cm de l'ampoule.

Les conclusions de cette étude, rendues publiques en juin 2010, montrent que les niveaux des champs électromagnétiques mesurés sont conformes aux dispositions du décret du 3 mai 2002 précité.

Cependant, la CSC précise que ces essais n'ont été réalisés qu'à partir d'une distance de 30 cm de l'ampoule testée, eu égard à la complexité de réalisation des mesures à proximité immédiate des ampoules. L'analyse de la CSC est développée aux pages 10 à 12 de son avis.

En l'absence de telles mesures, la CSC a estimé que les difficultés à caractériser une limite d'exposition en champ proche ne constituent pas une preuve d'innocuité d'une exposition dans cette zone et qu'il fallait faire application du principe de précaution.

Par ailleurs, la CSC fait également état d'une étude effectuée à la demande du gouvernement suisse par la fondation indépendante ITIS. Cette étude aurait permis, contrairement à celle réalisée par l'ADEME, la réalisation de mesures à moins de 30 cm. Ces essais à une distance inférieure à 30 cm de la lampe, montrent qu'en moyenne les seuils garantissant l'innocuité sont respectés mais que des écarts importants existent entre les différents échantillons.

5. QUESTIONS SUR LESQUELLES UN AVIS EST ATTENDU

Afin de prendre toutes dispositions éventuellement nécessaires, dans un souci de protection des consommateurs et de santé publique, les autorités françaises souhaitent :

- mettre à jour, compte tenu de la diffusion de nouveaux résultats expérimentaux, l'évaluation des risques pour la santé des personnes liés à leur exposition aux champs électromagnétiques émis par les lampes fluocompactes. En particulier, l'étude réalisée par la fondation suisse ITIS pour mesurer les champs électromagnétiques à moins de 30 cm des lampes pourra être analysée.
- évaluer la pertinence et formuler des recommandations en vue de réaliser, sur la base d'un protocole adapté, des campagnes de mesures visant à caractériser l'émission de champs électromagnétiques par des lampes fluocompactes pour des distances d'utilisation inférieures à 30 cm.

Annexe 2 : analyse des déclarations publiques d'intérêt (DPI) des experts par rapport au champ de la saisine

NOM	Prénom Rubrique de la DPI Description de l'intérêt <i>en cas de lien déclaré</i>	Dernière date de déclaration des intérêts
Analyse Anses :		

Experts rapporteurs

BOUNOUH	Alexandre	16/12/2011
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
BRUGUIERE	Pierre	06/01/2012
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
COUTURIER	Frédéric	12/01/2011
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
GAFFET	Eric	27/11/2012
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
GAUDAIRE	François	05/01/2012
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	

Membres du Comité d'experts spécialisés « agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements :

BEHAR	Francine	24/01/2012
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
BERTHO	Jean-Marc	24/02/2011
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
CESARINI	Jean-Pierre	03/11/2011
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
COUTURIER	Frédéric	12/01/2011
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	

DORÉ	Jean-François	12/01/2011
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
DUCIMETIÈRE	Pierre	02/03/2011
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
EL KHATIB	Aïcha	24/08/2011
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
FELTIN	Nicolas	01/03/2011
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
FLAHAUT	Emmanuel	10/01/2012
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
GAFFET	Eric	27/11/2012
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
HOURS	Martine	01/03/2011
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
LAFAYE	Murielle	24/02/2011
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
LEPOUTRE	Philippe	27/10/2009
Analyse Anses :	ENAC : Aéroport et environnement (01/03/2005 et 07/03/2006) <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
MARTINSONS	Christophe	01/03/2011
Analyse Anses :	Industriels de l'éclairage et de la distribution électrique (CSTB) : essais et caractérisations en laboratoire de lampes, luminaires, ballast et capteurs (5 % du budget du laboratoire où l'expert est chef de pôle) <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
MOUNEYRAC	Catherine	13/01/2012
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
MUZET	Alain	16/03/2011
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
SICARD	Yves	27/01/2012

Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
SOYEZ	Alain	11/01/2012
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
TOPPILA	Esko	24/11/2010
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	
YARDIN	Catherine	22/12/2011
Analyse Anses :	Aucun lien déclaré <i>Pas de conflit d'intérêt</i>	

Annexe 3 : normalisation pour la compatibilité électromagnétique des lampes fluorescentes compactes

- **EN 61 547 : immunité des équipements par rapport à d'autres sources de rayonnement**

Cette norme internationale concerne les exigences d'immunité électromagnétique s'appliquant aux appareils d'éclairage tels que les lampes, les accessoires et les luminaires, destinés à être raccordés au réseau d'alimentation électrique public basse tension ou à fonctionner sur piles. Les exigences d'immunité pour les appareils définis dans le domaine d'application de cette norme concernent les décharges électrostatiques, les perturbations continues et transitoires, les perturbations conduites et rayonnées ainsi que les perturbations relatives à l'alimentation.

Pour les champs électromagnétiques à fréquence radioélectrique, les essais sont effectués conformément à la CEI 61000-4-3 sur la plage de fréquences 80 MHz à 1 000 MHz et un niveau d'essai de 3 V/m non modulé et modulé à 1 kHz, à 80 % de l'amplitude maximale (onde sinusoïdale). Pour le champ magnétique, les essais sont effectués conformément à la CEI 61000-4-8 avec un niveau de 3 A/m et doivent uniquement s'appliquer aux matériels contenant des composants sensibles aux champs magnétiques (éléments Hall ou les capteurs de champs magnétiques).

- **EN 55 015 : interférences radioélectriques entre les équipements**

La présente norme concerne l'émission (rayonnée et conduite) des perturbations radioélectriques de tous les appareils d'éclairage dont la fonction principale est de produire et/ou de distribuer la lumière, qui sont prévus à des fins d'éclairage lumineux et destinés à être raccordés au réseau d'alimentation électrique à basse tension ou à fonctionner sur piles. La bande des fréquences couvertes s'étend de 9 kHz à 400 GHz.

Les limites spécifiées dans la présente norme ont été déterminées sur une base probabiliste, afin de maintenir la suppression des perturbations dans des limites raisonnables d'un point de vue économique, tout en assurant une protection radioélectrique et un niveau de compatibilité électromagnétique adéquats. Pour les perturbations électromagnétiques rayonnées, la composante magnétique du champ perturbateur pour la bande de fréquences de 9 kHz à 30 MHz est définie par la mesure du courant dans une antenne-cadre de 2 m, 3 m ou 4 m de diamètre autour de l'appareil d'éclairage en essai.

Annexe 4 : réglementations complémentaires dans le domaine de l'éclairage

- **Directive européenne basse tension 2006/95/EC**

Cette directive européenne du 12 décembre 2006 impose, avant la mise sur le marché de tout matériel électrique, le marquage CE qui indique la conformité aux dispositions présentes dans la directive, y compris la procédure d'évaluation de conformité. On entend par « matériel électrique » tout matériel destiné à être employé à une tension nominale comprise entre 50 V et 1 000 V pour le courant alternatif et 75 V et 1 500 V pour le courant continu. La déclaration CE de conformité doit comprendre plusieurs éléments tels que le nom du fabricant ou de son mandataire établi dans la Communauté, la description du matériel électrique ou bien la référence aux normes harmonisées et spécifications par rapport auxquelles la conformité est déclarée.

Ce marquage doit garantir que le matériel électrique est conçu et fabriqué de façon telle que la protection des personnes et des animaux domestiques contre les dangers soit garantie, sous réserve d'une utilisation conforme à la destination et d'un entretien adéquat. Les blessures ou autres dommages peuvent être causés soit par des contacts directs ou indirects, soit par les influences extérieures sur le matériel électrique.

- **Projet de directive européenne modifiant la directive 2004/40/CE concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (champs électromagnétiques).**

Cette directive du Parlement européen et du Conseil vise à modifier la directive 2004/40/CE du 29 avril 2004 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques. La directive 2004/40/CE est la dix-huitième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE du Conseil du 12 juin 1989 concernant la mise en œuvre de mesures visant à promouvoir l'amélioration de la sécurité et de la santé des travailleurs au travail. Elle porte sur les risques qu'entraînent pour la santé des travailleurs les effets nocifs à court terme d'une exposition professionnelle à des champs électromagnétiques.

Cette directive établit des valeurs limites d'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques variant dans le temps dont les fréquences sont comprises entre 0 Hz et 300 GHz. Aucun travailleur ne peut être exposé à des valeurs de champs dépassant ces limites, qui sont fondées sur des effets sur la santé et des considérations biologiques.

La nouvelle directive vise à reporter jusqu'au 30 avril 2014 le délai de transposition de la directive 2004/40/CE. En effet, en 2006, la communauté médicale a fait part à la Commission de ses préoccupations concernant la mise en œuvre de cette directive, en faisant valoir que les valeurs limites d'exposition fixées par celle-ci limiteraient de manière disproportionnée l'utilisation et le développement de la technique d'imagerie par résonance magnétique (IRM), considérée aujourd'hui comme un instrument indispensable pour le diagnostic et le traitement de plusieurs maladies. Par la suite, d'autres secteurs industriels ont exprimé leurs préoccupations quant aux répercussions de la directive sur leurs activités.

En outre, la proposition vise à actualiser et à améliorer plusieurs autres dispositions de la directive 2004/40/CE; elle introduit également de nouveaux éléments afin de simplifier la mise en œuvre des mesures par les employeurs, en particulier les petites entreprises. Les principaux changements introduits par la proposition, sur la base des dernières découvertes scientifiques, visent à :

- élaborer des définitions plus claires, en particulier pour les effets nocifs sur la santé ;

- instaurer un nouveau système de valeurs limites et de valeurs de référence différentes des valeurs limites et des valeurs déclenchant l'action actuelles pour la gamme de fréquences comprises entre 0 Hz et 100 kHz ;
- mettre en place des indicateurs de mesure et de calcul plus simples et adresser des instructions sur la prise en compte des incertitudes de mesure ;
- introduire une flexibilité limitée, mais appropriée, grâce à un cadre contrôlé de dérogations limitées, délivrées à l'industrie en ce qui concerne les valeurs déclenchant une action et les valeurs limites. La proposition prévoit deux dérogations spécifiques : l'une pour les applications médicales IRM et l'autre pour les forces armées. Une troisième dérogation concerne certains cas de figure susceptibles de se présenter occasionnellement et soumis à une stricte procédure de contrôle et d'autorisation des États membres, suivie d'une évaluation. Les États membres informent la Commission de toute autorisation accordée.

Annexe 5 : évaluation de l'exposition par mesure du champ incident, à plus de 30 cm de la source

Protocole de mesure proposé par l'Afsset

Présentation du protocole de l'Afsset (2009)

Pour vérifier que l'exposition d'une personne est inférieure aux valeurs limites d'exposition, il convient de s'intéresser aux restrictions de base (niveaux de champs induits pour des fréquences de 1 Hz à 10 MHz selon les valeurs guides de l'Icnirp). 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 complexe des champs 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. À 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 fluorescentes 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.

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 fluorescentes compactes, il convient de s'assurer de la position du ballast, celui-ci 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.

Protocole de mesure simplifié

Ce protocole simplifié vise à réaliser des mesures de rayonnement émis par les lampes fluocompactes 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 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 isotropique²⁵ 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 dB²⁶. 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 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.

Mesures effectuées par le CSTB en 2010 (campagne « Ademe ») et en 2011 (campagne « Anses »)

Le Centre Scientifique et Technique du bâtiment a réalisé deux campagnes de mesures, la première commanditée par l'Ademe en 2010 (échantillon de 3 fois 100 lampes) et une seconde commanditée par l'Anses en 2011 (échantillon de 3 fois 8 lampes). Lors de cette seconde campagne, l'Anses a aussi commandité des mesures sur de petits échantillons de lampes halogènes (3 fois 6 lampes) et de LED (3 fois 8 lampes).

²⁵ Par exemple de type Narda EHP-200. Les références matérielles sont données ici à titre strictement indicatif.

²⁶ Cela signifie que l'intensité du champ magnétique résiduel est donné par : $H_{res} = \frac{E}{377 * 10^{\frac{-R}{20}}}$ (A/m)

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

Dispositif de mesurages

Analyse spectrale

Les relevés des spectres des champs, électrique et magnétique, sont réalisés avec une sonde Narda EHP-200 :

- Fabricant : Narda ;
- Type : EHP200 ;
- n° de série : 020WJ80512 ;
- date de vérification : 08/07/10.

Les caractéristiques principales, telles qu'annoncées par le fabricant, sont :

1. Bande de fréquence : de 9 kHz à 30 MHz
2. Dynamique de champ électrique : de $0,02 \text{ V.m}^{-1}$ à 1000 V.m^{-1}
3. Dynamique de champ magnétique : de $0,6 \text{ mA.m}^{-1}$ à 300 A.m^{-1}
Pour chaque champ, cette sonde indique les mesures des projections sur trois axes orthogonaux ainsi que la norme du vecteur.
Cette sonde est utilisée avec sa résolution la plus fine :

4. Largeur de bande d'analyse : 1 kHz

5. Pas d'échantillonnage : 250 Hz

Les mesures rendues par la sonde et retenues pour exploitation sont celles des moyennes quadratiques des modules des champs dans la gamme de fréquence analysée.

Cette sonde est étalonnée, par son fabricant, en champs électrique et magnétique uniformes. En vue de son utilisation pour l'analyse des champs produits par les lampes, à proximité de celle-ci, la sonde étalonnée en champ à géométrie sphérique, sur la plate-forme PHELINE.

Un des résultats important de cet étalonnage est la localisation des foyers de la sonde pour les mesurages électriques et magnétiques.

Positionnement sonde-lampe

Selon la convention conjointement adoptée avec l'ADEME :

Le foyer de la lampe est situé dans son axe approximatif de révolution, dans le plan de sortie des tubes du corps du ballast, tel que schématisé en 0.

Cette convention a été établie dans le cas des lampes fluorescentes compactes. Elle est étendue, dans le cadre de la présente campagne de mesurages, aux autres technologies de lampes, où, ce qui est appelé « ballast », est laissé à l'appréciation de l'intervenant : typiquement le culot des lampes à incandescence, ou la partie supposée contenir l'électronique de pilotage des lampes à LED.

La position du point M d'observation (le foyer de la sonde), relativement à la lampe sous test, est relevée en coordonnées sphériques, avec (Figure 3.2.1) :

r : distance du point M au centre O de la lampe

θ : colatitude du point M

φ : azimut du point M

Comme il n'est pas possible de définir une référence des angles d'azimut commune à tous les types de lampes, cet angle n'est pas mesuré. Quand la recherche de la direction d'observation pour laquelle l'amplitude du champ électrique est maximum donne une

colatitude différente de 0, cet angle est matérialisé par un trait sur le culot de la lampe sous tests.

L'axe Oz, référence des angles de colatitude, est défini comme étant l'axe de symétrie approximative de l'ensemble culot + ballast.

Le dispositif pratique est un goniomètre, réalisé en bois de pin, supportant la lampe sous test, lui conférant les angles de rotation θ et φ , autour de son foyer O.

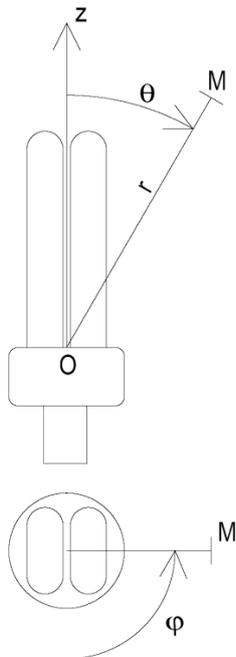


Figure 14 : Positionnement de la lampe



Figure 15 : Goniomètre pour la recherche de la direction d'émission maximale et pour la mesure des champs électrique et magnétique

La sonde est immobile, installée sur le trépied en bois fourni par son fabricant. Son axe repéré « X » sur son boîtier est dirigé vers le foyer de la lampe.

Le foyer de la sonde est placé à une distance de 30 cm du foyer de la lampe sous test. L'axe X de la sonde est dirigé vers le foyer de la lampe, l'axe Y de la sonde est dans le plan de rotation colatitudinal.

Avec cette disposition les composantes mesurées par la sonde, selon son axe X (resp. Y, Z), sont les composantes radiales E_r et H_r (resp. colatitudinales E_θ et H_θ , azimutales E_φ et H_φ) des champs électrique et magnétique.

Confinement

L'ensemble sonde + lampe + goniomètre est placé dans une cage de Faraday de dimensions :

Hauteur : 3 m

Largeur : 3,6 m

Longueur : 5,4 m

Le milieu du segment OM (sonde - lampe) est placé au centre de la cage, ce segment est aligné dans la longueur de la cage.

Les précédents essais de validation de la procédure ont montré que la proximité des parois de la cage avec la lampe et la sonde a une influence négligeable.

Alimentation

Le comportement fréquentiel de l'électronique des ballasts étant, pour différents types de lampes essayés dans ce cadre, dépendant de l'impédance présentée par la ligne d'alimentation un réseau stabilisateur d'impédance de ligne (RSIL) EMC MASTER PD-30 est utilisé. Ce type d'équipement est conçu et normalisé pour les essais de perturbation et susceptibilité conduite en qualification CEM.

Ce dispositif présente l'avantage de tester les lampes dans des conditions déterministe d'alimentation par le secteur.

Résultats de la campagne de mesure pour l'Ademe

La Figure 16 suivante présente l'ensemble des résultats des mesures de valeurs efficaces de champ électrique à une distance de 30 cm de la lampe, dans la bande de fréquences [10 kHz – 300 kHz]. Ces mesures sont obtenues selon la procédure et dans les conditions décrites dans les paragraphes précédents.

Les valeurs minimum et maximum de chaque point correspondent à la prise en compte des incertitudes de mesure, qui sont données pour un intervalle de confiance à 95% autour de la grandeur mesurée.

Enfin, les valeurs efficaces de champ électrique sont comparées aux niveaux de références de la réglementation (valeurs limites d'exposition « ICNIRP ») dans la bande de fréquence considérée et en accord avec la norme NF EN 50392 (valeur quadratique moyenne sur 6 minutes pour l'ensemble de la bande de fréquence).

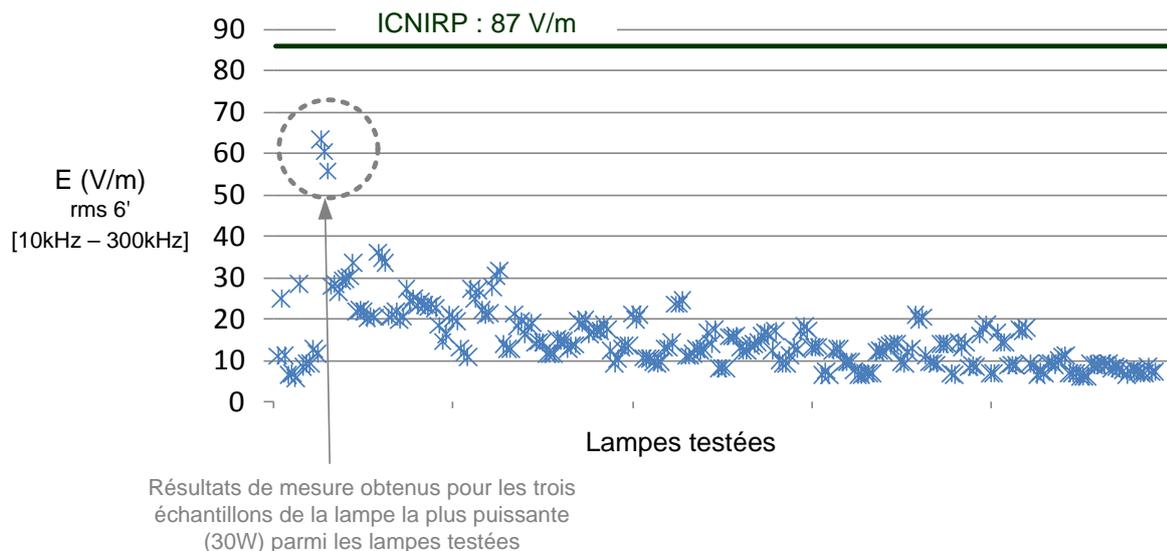


Figure 16 : Valeurs de champs électriques mesurés pour l'échantillon de lampe de l'Ademe.

Des mesures de valeurs efficaces de champ électrique ont été obtenues à une distance de 30 cm de la lampe en régime stabilisé sur environ 300 lampes (100 modèles à raison de 3 échantillons par modèle). Pour chaque lampe, la direction d'émission maximale a été identifiée et le spectre d'émission analysé.

Pour l'ensemble des lampes, la direction d'émission maximale est située dans l'axe de la lampe, la distribution fréquentielle de production de champ électrique est comprise dans la bande de fréquences située entre 10 kHz et 300 kHz. La source d'émission est le *ballast* électronique au sein duquel les distributions de charges électriques et leur mouvements, à l'origine des champs électromagnétiques produits par les lampes, sont probablement dus au hachage de la tension du secteur, redressée plus ou moins parfaitement à une fréquence comprise entre 30 kHz et 60 kHz.

Après analyse des résultats des mesurages, et compte tenu des incertitudes associées, toutes les lampes testées sont conformes aux valeurs limites d'exposition de la réglementation (valeurs données par l'Icnirp et reprises dans le décret n°2002-775).

En moyenne, sur l'ensemble des lampes testées, la valeur efficace du champ électrique dans la bande de fréquences [10 kHz – 300 kHz] dans la direction maximale d'émission à une distance de 30 cm vaut 15,2 V/m, soit 17,4 % de la valeur limite d'exposition.

La valeur efficace du champ magnétique, dans la bande de fréquence analysée, n'est pas quantifiable car inférieure à la valeur du bruit ambiant : elle est inférieure à 0,07 A/m, soit 1,4 % de la valeur limite d'exposition.

Parmi toutes les mesures obtenues, la valeur efficace de champ électrique maximum mesurée est de 63,4 V/m, soit 72 % de la valeur limite d'exposition. Ces niveaux n'ont été mesurés que pour les trois échantillons de la lampe la plus volumineuse et la plus puissante (puissance nominale électrique donnée par le constructeur de 30 Watts) parmi l'ensemble des lampes testées.

Conformément au protocole de mesure proposé par l'Afsset en 2009 et au cahier des charges de l'Ademe, cette campagne de mesures concerne la caractérisation de l'exposition continue en régime stabilisé des lampes fluorescentes compactes. L'exposition brève due à la phase d'allumage de la lampe, qui nécessiterait *a priori* des mesurages plus complexes (analyses temporelles et mesures de courants induits), n'a pas été étudiée.

Résultats de la campagne de mesures pour l'Anses

Le tableau suivant présente l'ensemble des mesures des valeurs efficaces de champ électrique à une distance de 30 cm de la lampe, dans la bande de fréquences [10 kHz – 300 kHz].

Ces valeurs efficaces sont à comparer avec la valeur limite d'exposition (niveau de référence du Décret n°2002-775) de 87 V/m, dans la bande de fréquence analysée.

N°	Marque	Modèle	Puissance électrique en W	Tension en V	Culot	Champ E min en V/m	Champ E max en V/m
Technologie : Lampes fluorescentes compactes*							
001	GE	Spot	11,0	230	E27	6,7	8,7
002	OSRAM	Parathom Pro	12,0	230	E27	3,5	4,6
004	OSRAM	Dulux Star	15,0	230	E27	11,1	14,3
009	PHILIPS	PL Electronic Reflector	7,0	230	E14	4,0	5,2
018	PHILIPS	My Ambiance	12,0	230	E27	3,3	4,7
020	ONLY PURE	Lumière purifiante	11,0	230	E27	12,0	15,5
021	ONLY PURE	Lumière purifiante	15,0	230	B22	8,2	10,6
022	CASTO	R10W32	15,0	230	E27	9,2	11,9

Les spectres de champ électrique obtenus pour chaque type de technologie de lampe sont illustrés dans les figures suivantes. Seul le spectre comportant les raies les plus significatives est reporté. Le spectre des lampes halogènes est plat et ne comporte aucune raie.

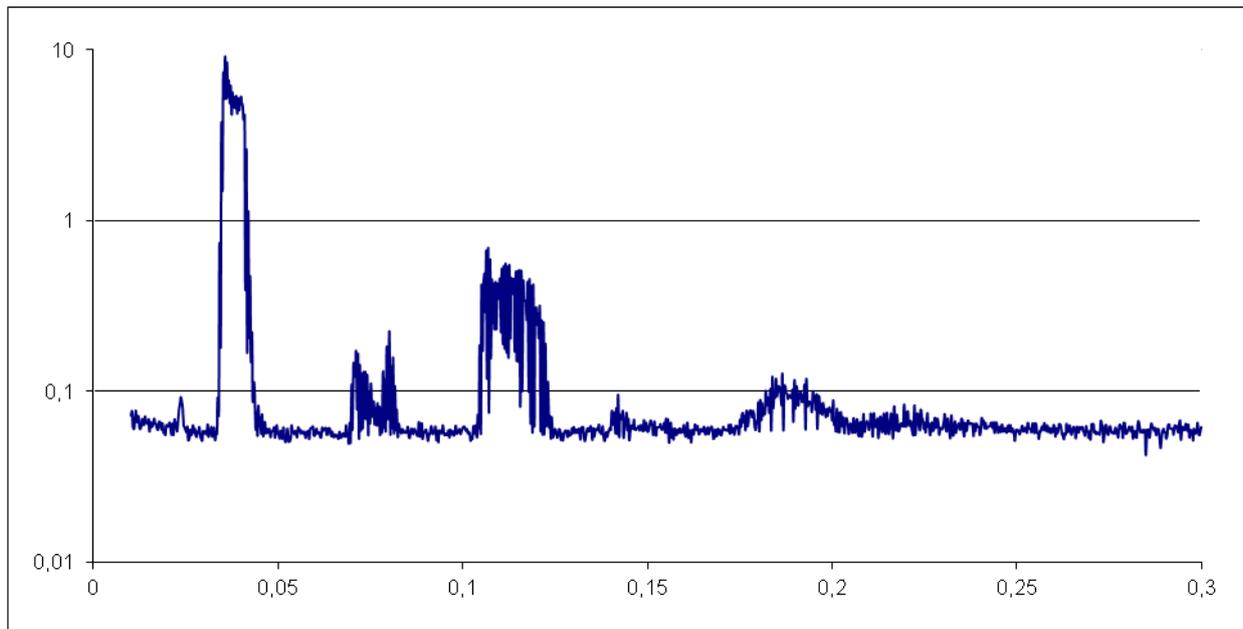


Figure 17 : Champ électrique en V/m en fonction de la fréquence en MHz pour la lampe fluorescente compacte n°20.

Aucune des lampes analysées ne produit de champ magnétique supérieur au minimum mesurable (0,15 A/m).

Parmi les lampes analysées, celle qui produit le champ électrique le plus intense a une valeur efficace égale à 18 % du niveau de référence normatif (87 V/m).

Par contre, les lampes fluorescentes compactes testées ici produisent des champs électriques compris entre 3,3 V/m et 15,6 V/m dans cette bande à la distance de 30 cm (soit 3,8 % à 18 % de la valeur limite d'exposition). Ces valeurs sont cohérentes avec les valeurs trouvées lors de l'étude de l'Ademe portant sur ce type de lampes et qui a été menée sur la même plate-forme d'essai.

Comparaisons aux autres lampes domestiques (LED et lampes halogènes)

N°	Marque	Modèle	Puissance électrique en W	Tension en V	Culot	Champ E min en V/m	Champ E max en V/m
Technologie : Lampes halogènes							
023	PHILIPS	Ecoclassic	42,0	230	E27	0,0	0,6
024	PHILIPS	Ecoclassic	42,0	230	E27	0,0	0,6
025	OSRAM	Halospot 111 ECO	50,0	012	G53	0,0	0,6
003	OSRAM	Spot R 63	42,0	230	E27	0,0	0,6
006	OSRAM	Decostar Titan	50,0	012	GU5,3	0,0	0,6
010	PHILIPS	Master Classic Eco Boost	30,0	230	E27	0,0	0,9

N°	Marque	Modèle	Puissance électrique en W	Tension en V	Culot	Champ E min en V/m	Champ E max en V/m
Technologie : Diodes électroluminescentes (LED)							
007	TOSHIBA	E-Core Ledlamp	8,5	230	GU10	0,0	0,8
008	OSRAM	Parathom Pro	5,5	012	GU5,3	0,0	0,6
012	OSRAM	Parathom Pro	9,5	230	GU10	0,1	1,2
013	ALTLED	Aurora V2	7,0	230	GU10	0,0	0,6
015	PHILIPS	My Accent	1,0	230	GU10	0,0	0,6
016	CASTO	R10W22	4,0	230	E14	0,0	0,6
017	XANLITE	Led XXX	2,0	230	E14	0,0	0,6
019	PHILIPS	My Ambiance	7,0	230	E27	0,9	1,5

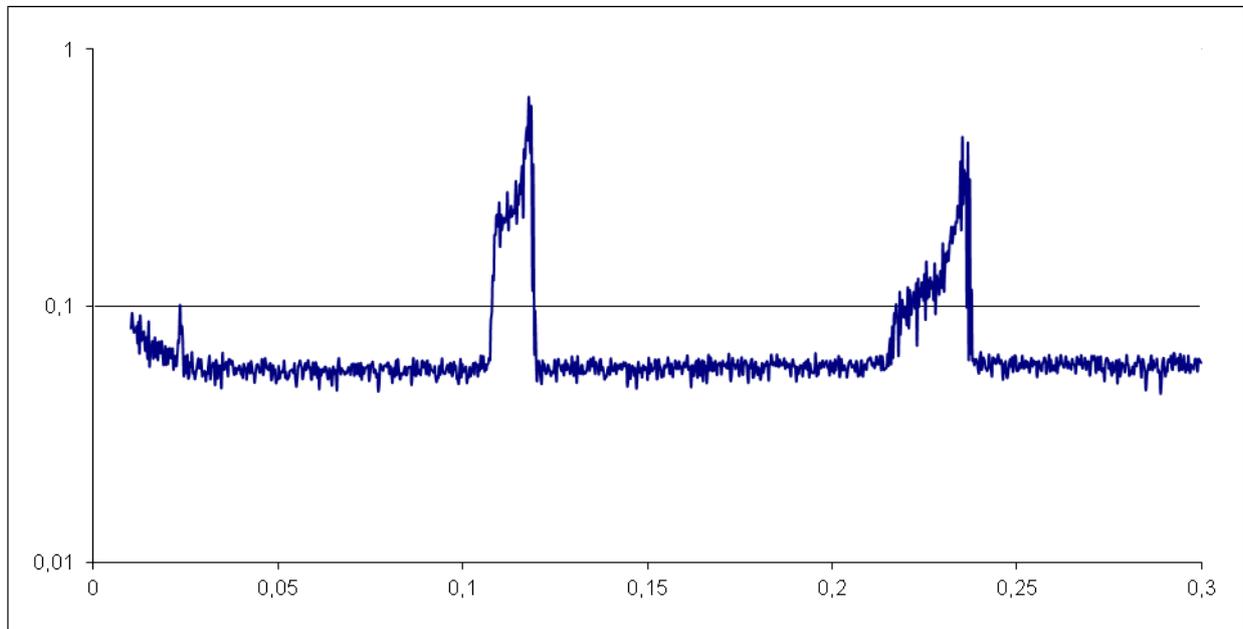


Figure 18 : Champ électrique en V/m en fonction de la fréquence en MHz pour la lampe à LED n°19.

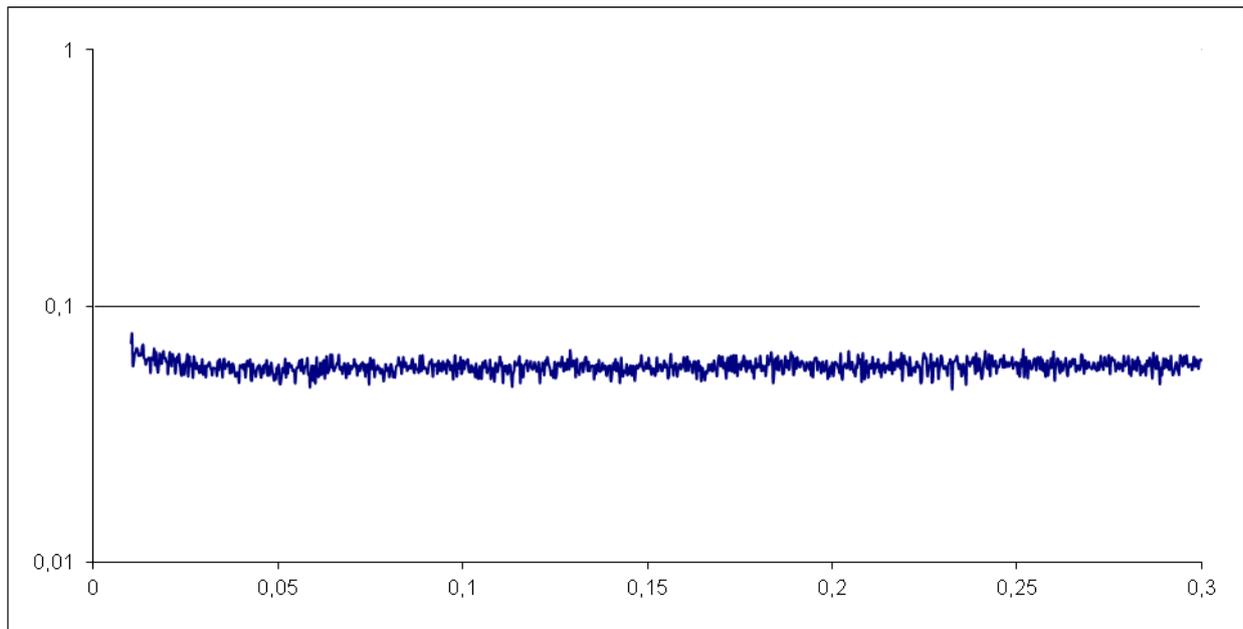


Figure 19 : Champ électrique en V/m en fonction de la fréquence en MHz pour la lampe halogène n°3.

On constate que les lampes halogènes et les lampes LED testées dans cette étude produisent des niveaux de champs électriques inférieurs au minimum mesurable dans la bande 100 kHz-300 kHz (0,6 V/m).

Protocole de mesure utilisé par l'It'is

Présentation du protocole de l'It'is

Le *work package* n°3 de l'étude de l'It'is concerne des mesures de champs incidents électrique et magnétique réalisées autour de luminaires (lampes fluorescentes compactes et autres lampes), à partir d'une distance de 15 cm. Les mesures sont réalisées dans une chambre réverbérante afin d'éviter toute perturbation électromagnétique extérieure. La lampe (élément sous test) est placée au centre de la chambre, à une distance suffisante des parois métalliques.

Les champs électrique et magnétique sont mesurés en espace libre en plusieurs points répartis sur une grille située dans un plan dans l'axe de la lampe (cf. Figure 20). Le support sur lequel est installée la lampe peut tourner autour de son axe. Ainsi, les mesures sont réalisées tout autour et à différentes distances de la lampe. Ce système permet de rechercher spatialement le niveau d'exposition maximum.

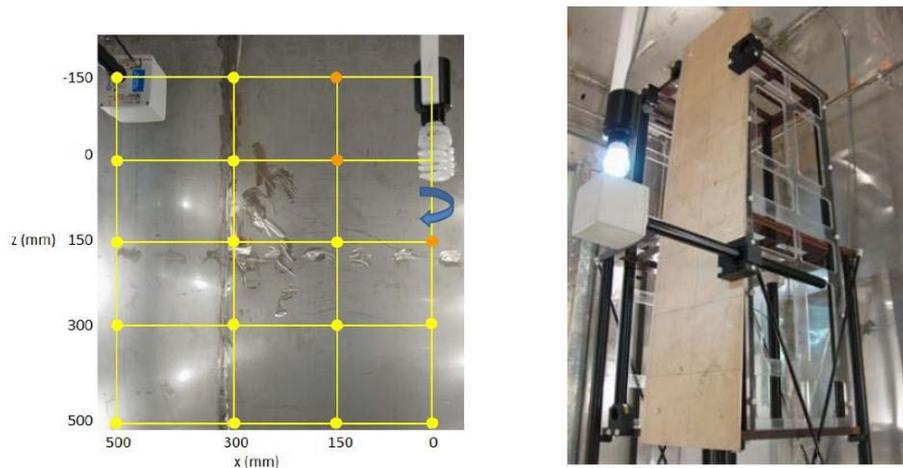


Figure 20 : dispositif de mesure des champs électrique et magnétique autour d'une lampe fluo-compactes – la flèche bleue indique la rotation de la lampe autour de son axe.

Le système de fixation de la sonde et de l'élément sous test est constitué de matériaux non conducteurs (plexiglas, bois). Deux moteurs permettent la rotation de la lampe autour de son axe et le déplacement de la sonde sur la grille de points de mesure.

La lampe fluorescente compacte est allumée pendant au moins 10 minutes avant la réalisation de la mesure.

La sonde de mesure utilisée est une sonde Narda EHP-200 qui permet la mesure sur les trois axes des niveaux de champs électrique et magnétique sur la bande de fréquences 9 kHz – 30 MHz. La sonde permet de plus une analyse spectrale des signaux et l'identification de la fréquence fondamentale du système d'émission (*ballast électronique*) du luminaire testé.

Dans ces mesures la sonde est utilisée en mode « peak hold » avec conservation de la valeur *rms* la plus élevée sur une durée de mesure de 30 secondes. La largeur de bande de résolution est de 10 kHz sur l'ensemble de la bande spectrale étudiée.

Le centre de la sonde est positionné sur les points de mesure. La distance la plus faible entre le centre de la sonde et le centre géométrique de la lampe est de 15 cm.

Pour compléter l'analyse spectrale en basses fréquences, des mesures de niveau de champ magnétique ont été effectuées avec une sonde Narda ELT-400 qui couvre la bande de fréquence 30 Hz – 400 kHz.

Ces mesures ont été réalisées pour une distance de 15 cm (distance entre le centre de la sonde – centre de la lampe, cf. Figure 21), pour deux positions : sonde sous la lampe et sonde sur le côté de la lampe.

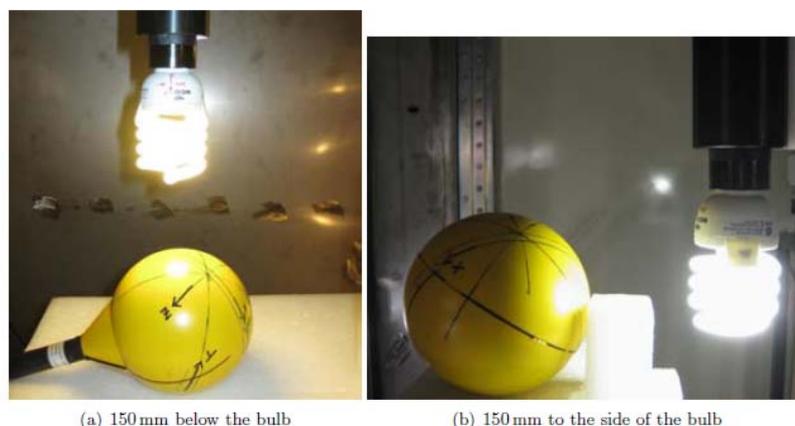


Figure 21 : dispositif de mesure de champ magnétique en très basses fréquences (50 Hz).

Mesures de l'Iti's

La présentation des résultats à 15 cm du champ électrique E et sa comparaison à la limite de l'Icnirp de 87 V/m semble de nature à pousser vers une mauvaise lecture des résultats (cf. Tableau 11). En effet, 7 lampes sur les 11 semblent montrer que les limites Icnirp sont dépassées. Or, si l'on tient compte des incertitudes de mesures données par le protocole de mesure de l'Iti's, soit une incertitude combinée de 38,9 %, les barres d'incertitudes des champs électriques mesurés sur 10 lampes contiennent la limite de l'Icnirp. Seules les mesures effectuées sur la lampe n° 4 dépasseraient la limite de l'Icnirp, soit une lampe sur les onze.

Les mesures de champs effectuées à une distance de 30 cm (tableau 5) restent quant à elles très inférieures aux valeurs de références de l'ICNIRP sur la gamme de fréquence étudiée.

Tableau 11 : Mesures de champs effectuées par l'Iti's sur des lampes fluorescentes compactes à une distance de 15 cm de la lampe²⁷.

Lampe fluocompacte	Champ électrique E (V/m) Valeur efficace	% de la limite Icnirp 1998	Champ magnétique H (A/m) Valeur efficace	% de la limite Icnirp	Fréquence fondamentale (kHz)
1	68,2	78,4 %	0,016*	< 0,5 %	50
2	102	118 %	0,018*	< 0,5 %	45
3	98,2	113 %	0,016*	< 0,5 %	45
4	433	497 %	0,020*	< 0,5 %	50
5	143	165 %	0,083	1,7 %	42,5
6	92,1	106 %	0,086	1,7 %	40
7	139	160 %	0,073	1,5 %	55
8	76,6	88,0 %	0,016*	< 0,5 %	47,5
9	74,5	85,6 %	0,098	2,0 %	25
10	71,8	82,5 %	0,016*	< 0,5 %	45
11	115	132 %	0,105	2,1 %	40

Tableau 12 : Mesures de champs effectuées par l'Iti's sur des lampes fluorescentes compactes à une distance de 30 cm de la lampe²⁷.

Lampe fluocompacte	Champ électrique E (V/m) Valeur efficace	% de la limite Icnirp	Champ magnétique H (A/m) Valeur efficace	% de la limite Icnirp	Fréquence fondamentale (kHz)
1	10,3	11,8 %	0,015*	< 0,5 %	
2	18,1	20,8 %	0,018*	< 0,5 %	
3	16,1	18,5 %	0,018*	< 0,5 %	
4	71,6	82,3 %	0,016*	< 0,5 %	
5	22,2	25,5 %	0,016*	< 0,5 %	
6	12,9	14,8 %	0,023*	< 0,5 %	
7	18,2	20,9 %	0,023*	< 0,5 %	
8	10,1	11,6 %	0,020*	< 0,5 %	
9	12,5	14,4 %	0,031	0,6 %	
10	10,6	12,1 %	0,018*	< 0,5 %	
11	17,2	19,7 %	0,029*	< 0,5 %	

²⁷ Les mesures d'intensité inférieure à deux fois le niveau de bruit de la sonde Narda EHP-200 sont signalées par un astérisque.

Comparaisons aux autres lampes domestiques (LED et lampes halogènes)**Tableau 13 : Mesures de champs effectuées par l'It'is sur des lampes à incandescence à une distance de 15 cm de la lampe27.**

Lampe à incandescence	Champ électrique E (V/m) Valeur efficace	% de la limite Icnirp	Champ magnétique H (A/m) Valeur efficace	% de la limite Icnirp	Fréquence fondamentale (kHz)
1	0,58	0,7 %	0,015*	< 0,5 %	67,5
2	0,58	0,7 %	0,015*	< 0,5 %	67,5

Tableau 14 : Mesures de champs effectuées par l'It'is sur des lampes à LED à une distance de 15 cm de la lampe27.

Lampe à LED	Champ électrique E (V/m) Valeur efficace	% de la limite Icnirp	Champ magnétique H (A/m) Valeur efficace	% de la limite Icnirp	Fréquence fondamentale (kHz)
1	0,63	0,7 %	0,018*	< 0,5 %	40
2	2,8	3,3 %	0,038	0,8 %	65

Tableau 15 : Mesures de champs effectuées par l'It'is sur des lampes à incandescence à une distance de 30 cm de la lampe27.

Lampe à incandescence	Champ électrique E (V/m) Valeur efficace	% de la limite Icnirp	Champ magnétique H (A/m) Valeur efficace	% de la limite Icnirp	Fréquence fondamentale (kHz)
1	0,2*	< 0,5 %	0,015*	< 0,5 %	-
2	0,2*	< 0,5 %	0,015*	< 0,5 %	-

Tableau 16 : Mesures de champs effectuées par l'lti's sur des lampes à LED à une distance de 30 cm de la lampe27.

Lampe à LED	Champ électrique E (V/m) Valeur efficace	% de la limite Icnirp	Champ magnétique H (A/m) Valeur efficace	% de la limite Icnirp	Fréquence fondamentale (kHz)
1	0,3*	< 0,5 %	0,016*	< 0,5 %	-
2	0,6	0,7 %	0,016	< 0,5 %	65

Annexe 6 : Norme de mesure IEC 62493

Le comité technique 34 de la CEI (Commission Électrotechnique Internationale), relayé par son comité miroir au sein de l'UTE (Union Technique de l'Électricité) a réalisé des travaux de normalisation pour l'évaluation des équipements d'éclairage relativement à l'exposition humaine aux champs électromagnétiques. Ces travaux ont abouti à la norme NF EN 62493 qui propose un protocole d'évaluation de l'exposition aux champs électromagnétiques émis par les équipements d'éclairage et notamment les lampes fluo-compactes. Conformément aux restrictions de base des recommandations de l'Incirp (1998), et compte tenu des équipements concernés, cette évaluation concerne la densité de courant induit pour les fréquences comprises entre 20 kHz et 10 MHz et le débit d'absorption spécifique pour les fréquences comprises entre 100 kHz et 300 MHz.

Présentation de la norme

Le principe de la méthode d'évaluation des équipements d'éclairage proposée dans cette norme repose sur le respect implicite des normes de compatibilité électromagnétique en vigueur (notamment les normes CISPR 15 et 16 [CISPR 15, 2005] et [CISPR 16]). En particulier, le texte de la norme précise que les équipements d'éclairage testés sont conformes aux valeurs limites exprimées par l'Incirp en 1998 s'ils respectent la norme de compatibilité électromagnétique CISPR 15 éd. 7.1 et si les densités de courant électrique induit mesurées dans la bande de fréquence 20 kHz – 10 MHz n'excèdent pas le facteur 0,85. Le calcul de ce facteur est explicité dans l'annexe D de la norme. Le tableau suivant résume l'ensemble des procédures d'évaluation mises en place dans cette norme, par rapport au respect des restrictions de base de l'Incirp.

Tableau 17 : procédures d'évaluation de la norme IEC 62493

Mesure des courants induits (§D1)	Vérification de la relation :	
	$\sum_{f_i=1\text{Hz}}^{10\text{MHz}} \frac{J(f_i, d)}{J_{Lim}(f_i)} \leq 1$	
Densité de courant magnétique (§D1.1)		
Fréquences entre 0 Hz et 20 kHz	Fréquences entre 20 kHz et 10 MHz	
Les fréquences concernées sont celles du réseau (50 Hz et 60 Hz). Les niveaux calculés sont négligeables au-delà de 30 cm.	En utilisant les émissions magnétiques rayonnées dans un pire cas (CISPR 15 éd. 7.1), la relation devient :	
	$\sum_{f_i=20\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{J_{eddy}(f_i, d_{loop})}{J_{Lim}(f_i)} \leq 0.15$	
	Cette relation a été vérifiée par des mesures sur plusieurs lampes.	
Densité de courant électrique (§D1.2)		
Fréquences entre 0 Hz et 20 kHz	Fréquences entre 20 kHz et 10 MHz	
Les fréquences concernées sont celles du réseau (50 Hz et 60 Hz). Les niveaux calculés sont négligeables au-delà de 30 cm.	En utilisant les émissions magnétiques rayonnées, dans un pire cas (CISPR 15 éd. 7.1), la relation à vérifier devient :	
	$\sum_{f_i=20\text{kHz}}^{10\text{MHz}} \frac{J_{cap}(f_i, d)}{J_{Lim}(f_i)} \leq 0.85$	

Un protocole de mesure des densités de courant est décrit dans la norme. Il utilise la tête d'essai « Van der Hoofden ».

Effets thermiques
(§D2)

Vérification de la relation :

$$P_{rad,max} = \sum_{100kHz}^{30MHz} P_{rad,max}(f_i) + \sum_{30MHz}^{300MHz} P_{rad,max}(f_i) \leq 20mW$$

Les fréquences au dessus de 300 MHz sont négligées. Le rayonnement d'un luminaire est assimilé à un monopôle. En termes de spectre d'émission, les équipements (*ballasts* électroniques) respectent la norme CISPR 15 éd. 7.1-2007, à savoir :

- Les niveaux de puissances rayonnées entre 100 kHz et 30 MHz sont inférieurs à 5,98 mW ;
- Les niveaux de puissances rayonnées entre 30 MHz à 300 MHz sont inférieurs à 0,1 mW.

À partir des puissances rayonnées maximales, il est démontré que les émissions rayonnées sont inférieures à 20 mW pour tous les équipements et qu'il y a donc conformité avec les valeurs limites en DAS, forcément inférieures à 2 W/kg.

Protocole de mesure des densités de courant électrique entre 20 kHz et 10 MHz :

La procédure de mesure utilisée simule la densité de courant à l'intérieur d'une personne se trouvant à proximité de l'équipement d'éclairage. En pratique, les densités de courant sont mesurées pour les fréquences comprises entre 20 kHz et 10 MHz sur une sphère métallique représentant la tête d'une personne (tête d'essai « Van der Hoofden ») et positionnée à proximité de l'équipement d'éclairage (cf. Figure 22).

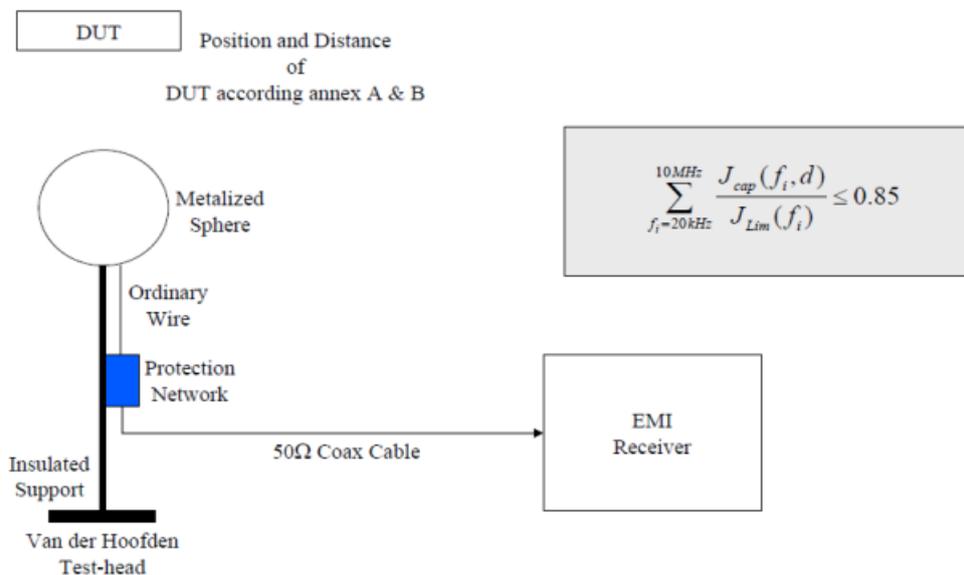


Figure 22 : principe de la mesure de densité de courant utilisant la tête d'essai « Van der Hoofden » [IEC 62493]

La tête d'essai « Van der Hoofden », de diamètre 210 mm, est reliée à un circuit de protection et montée sur un support non conducteur. L'équipement d'éclairage est placé à une certaine distance de la tête de mesure. Cette distance est fixée dans la norme (annexe A) en fonction du type d'équipement et de la configuration d'exposition ; elle correspond à une valeur d'usage pertinente de proximité entre l'équipement et une personne. Pour les

lampes fluorescentes compactes, la distance de mesure est de 30 cm. Cette valeur correspond à la distance minimale pour l'ensemble des configurations précisées dans la norme.

Les équipements sont mesurés après un temps de stabilisation de 15 à 30 minutes suivant le type de lampes (15 minutes pour les lampes fluorescentes compactes). La tension mesurée au niveau du récepteur est proportionnelle à la densité de courant électrique et au champ électrique incident sur la sphère.

Rappel de l'analyse de la norme IEC 62493 par l'Afsset en 2009 [Afsset, 2009]

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 valeurs limites issues d'effets biologiques connus et avérés. Par ailleurs, dans l'hypothèse de modifications futures des normes et des valeurs limites auxquelles se réfère la norme IEC 62493 pour construire le protocole proposé, il conviendrait de le réviser en conséquence.

Dans la mesure où les lampes sont certifiées pour la compatibilité électromagnétique, l'approche proposée 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 de l'exposition réelle, mais cela est tout à fait compatible avec une logique de certification ou de comparaison par rapport à des valeurs limites.

La méthodologie de mesure proposée dans la norme IEC 62493 utilise des moyens *a priori* peu répandus dans les laboratoires (tête « Van der Hoofden »), et impose une distance de mesure supérieure à 30 cm pour les lampes fluorescentes compactes, limitant ainsi la possibilité de l'étude de l'exposition dans des situations de plus grande proximité.

De plus, il n'y a 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 dans l'espace et sur toute la bande de fréquence considérée). 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 caractériser des configurations d'exposition en mesurant des champs électrique et magnétique dans l'environnement, avant de chercher à quantifier les effets produits dans le corps (courants induits, DAS).

La norme IEC 62493 donne peu de références pour évaluer la validité du modèle de tête utilisé (*Van der Hoofden Head*), et en particulier ne précise pas si l'utilisation de ce modèle 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). Il serait intéressant d'obtenir des comparaisons entre les valeurs de courant obtenues grâce au modèle numérique, et celles obtenues par les mannequins métalliques.

Une autre remarque importante concerne la méthodologie proposée par la norme IEC 62493 et le système de protection (*protection network*), qui ne comporte pas de retour de masse, celui-ci se faisant par le système testé. Ce point fondamental du dispositif de mesure n'est pas suffisamment explicité et justifié dans le texte de la norme.

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*, qui est *a priori* le 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 (analyse spatiale autour du luminaire).

Analyse de la norme IEC 62493 formulée par l'It'is en 2010

L'It'is [Nadakuduti, 2010] constate dans son rapport publié en 2010 que la norme IEC 62493 n'est pas basée sur l'évaluation du champ induit dans des tissus humains, mais sur le champ incident sur une sphère métallique. Or, *a priori*, la présence de tissus humains doit modifier le champ électrique incident. Le texte de la norme IEC 62493 est peu clair sur la justification du choix d'utiliser une sphère métallique dans le cas d'une problématique d'évaluation de l'exposition humaine, ainsi que sur la pertinence du calcul des courants induits à partir de la tension mesurée dans le circuit de protection.

Par ailleurs, le choix de ne pas raccorder à la terre la sphère métallique est insuffisamment justifié dans le texte de la norme.

Les restrictions de base de l'Icnirp doivent être évaluées en moyennant les courants sur une surface de 1 cm² perpendiculaire à la direction des courants induits dans les tissus. Cela nécessite d'avoir une information sur la polarisation des champs incidents, ce qui n'est pas compatible avec l'utilisation d'une sphère métallique comme surface réceptrice.



Agence nationale de sécurité sanitaire
de l'alimentation, de l'environnement et du travail
27-31 avenue du général Leclerc
94701 Maisons-Alfort Cedex
www.anses.fr