

Rapport technique sur les niveaux
de champs électromagnétiques
créés par les compteurs Linky
VOLET 1 : mesures en laboratoire

Mai 2016

Synthèse

Conformément à la réglementation française en vigueur en matière d'énergie, ERDF a généralisé le déploiement d'une nouvelle génération de compteurs électriques, les compteurs Linky.

Comment fonctionne un compteur Linky ?

Comme les précédents appareils, ce nouveau compteur mesure, en permanence l'énergie consommée par une installation électrique domestique et stocke cette valeur sous la forme d'index. Un dispositif de stockage, le concentrateur, situé dans le transformateur du quartier, interroge le compteur une fois par jour entre minuit et 6 heures du matin pour collecter les index stockés au cours de la journée écoulée. Cette interrogation dure moins d'une minute. Le concentrateur transmet ensuite ces données à un serveur informatique par un réseau de téléphonie mobile existant. En plus de cette collecte quotidienne, le concentrateur interroge l'ensemble des compteurs qui lui sont rattachés à intervalles réguliers afin de surveiller l'état général du réseau basse tension. Le compteur interrogé répond alors en transmettant une réponse élémentaire, d'une durée comprise entre 0,1 et 0,2 s. L'intervalle dépend du paramétrage choisi par le gestionnaire du réseau de distribution et du nombre de compteurs gérés par le concentrateur.

Comment les données sont-elles transmises par le compteur ?

Les échanges entre le compteur et le concentrateur utilisent les courants porteurs en ligne (CPL). La technologie CPL consiste à utiliser le réseau électrique pour propager les signaux par conduction dans les câbles électriques. Les compteurs Linky ne sont donc pas des émetteurs radioélectriques. Toutefois, comme tout appareil électrique, ces compteurs induisent un champ électromagnétique. Ce rayonnement n'est pas exploité pour la transmission de l'information et son niveau maximal est normalisé. Ces compteurs sont donc conçus pour respecter les normes de compatibilité électromagnétique. Ils doivent également respecter les valeurs limites d'exposition du public aux ondes radioélectriques.

Quelle est la réglementation en matière d'exposition du public aux ondes électromagnétiques ?

En France, le décret n° 2002-775 du 3 mai 2002 fixe les valeurs limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques. Pour la bande de fréquence mise en œuvre par le CPL bas débit utilisés par les compteurs Linky (35,9-90,6 kHz), ces valeurs limites sont respectivement de 6,25 μ T pour le champ magnétique et de 87 V/m pour le champ électrique.

Comment mesurer l'exposition aux champs électromagnétiques créés par un compteur Linky ?

Ce rapport constitue le premier volet de l'étude par l'ANFR des niveaux de champs électromagnétiques créés par les compteurs Linky. Il caractérise en laboratoire les rayonnements CPL créés périodiquement par les compteurs lors de leurs échanges avec le réseau de distribution. Les niveaux des champs rayonnés de deux compteurs Linky de

technologie G1 et de technologie G3 ont été mesurés dans différentes configurations dans un laboratoire de l'ANFR dans la bande de fréquence utilisée par le CPL.

La distance de mesure constitue un critère fondamental du protocole car plus cette distance par rapport à la source est importante, plus le niveau mesuré est faible. Certaines normes définissent des distances de mesures pour différents cas : 0 cm (par exemple pour les rasoirs ou les brosses à dents électriques), 30 cm (par exemple pour les réveils ou les lave-vaisselles) et jusqu'à 200 cm (pour les éclairages publics). Le protocole doit préciser les distances de mesure par rapport à la source, cette distance étant par défaut de 20 cm en l'absence de précision dans la norme.

C'est donc la distance de 20 cm qui a été retenue pour évaluer la conformité des niveaux de champs électromagnétiques vis-à-vis des valeurs limites réglementaires.

Dans la bande de fréquence étudiée (35 - 91 kHz), les deux composantes du champ (magnétique et électrique) doivent être mesurées, du fait des distances de mesure très faibles vis-à-vis des longueurs d'onde dans cette bande de fréquence, qui varient en effet entre 3,2 km et 8,5 km.

Quels sont les niveaux d'exposition créés par les compteurs Linky en condition de laboratoire ?

Cette étude montre à proximité immédiate du compteur (20 cm) des niveaux de champs électromagnétiques substantiellement plus faibles que les valeurs-limites réglementaires. Ils décroissent très rapidement avec la distance.

En champ magnétique

Dans les configurations testées en laboratoire, le niveau de champ magnétique à 20 cm du compteur est au maximum de $8 \cdot 10^{-3}$ μ T dans la bande de fréquence CPL, c'est-à-dire près de mille fois en-deçà de la valeur-limite (6,25 μ T). A 50 cm, ce niveau de champ magnétique est divisé par un facteur 10. En champ magnétique, les niveaux mesurés sont ainsi plus élevés que ceux relevés à proximité des compteurs d'ancienne génération.

En champ électrique

Le champ électrique a été mesuré avec une sonde spécifique dans la bande 1,2 kHz – 100 kHz, captant donc non seulement la bande du CPL mais aussi une partie du bruit électrique ambiant. Cette démarche produit néanmoins un majorant du champ créé par l'appareil. Les valeurs de champ électrique relevées à 20 cm du Linky sont du même ordre de grandeur (1 V/m), que le compteur soit ou non en transmission CPL. Le niveau maximal mesuré en champ électrique est plus de 60 fois en-deçà des valeurs-limites réglementaires. La différence maximale de niveau de champ électrique relevée en présence et en absence de transmission CPL est de l'ordre du dixième de V/m. En champ électrique, les niveaux mesurés apparaissent peu différents de ceux relevés à proximité des compteurs d'ancienne génération.

Le bilan des mesures des niveaux de champ maximum mesurés dans la bande de fréquences CPL utilisée par Linky en laboratoire à 20 cm en face respectivement de deux modèles différents de compteur Linky et d'un compteur d'ancienne génération est le suivant :

	Champ électrique	Champ magnétique
Valeur-limite réglementaire	87 V/m	6,25 μT
Compteur ancienne génération	1,8 V/m	$3 \cdot 10^{-4}$ μT
Compteur Linky G1 avec CPL	0,9 V/m	$5 \cdot 10^{-4}$ μT
Compteur Linky G1 sans CPL	0,8 V/m	$2 \cdot 10^{-4}$ μT
Compteur Linky G3 avec CPL	1,3 V/m	$8 \cdot 10^{-3}$ μT
Compteur Linky G3 sans CPL	1,3 V/m	$1 \cdot 10^{-3}$ μT

Les compteurs Linky étudiés n'étaient pas équipés d'émetteurs radio Linky (ERL). Les ERL sont des modules optionnels, destinés à être installés par le client d'un distributeur d'énergie, qui permettront de transmettre en temps réel les données du compteur Linky vers les appareils situés à l'intérieur du domicile. Ces ERL seront fournis aux utilisateurs par les fournisseurs et associés aux offres de services qu'ils proposeront. Ces ERL feront également l'objet de mesures ultérieures.

Table des matières

1.	Introduction.....	5
2.	Réglementation en matière d'exposition du public aux ondes électromagnétique.....	7
3.	Description des équipements testés, des moyens de mesures et des configurations de mesures8	
3.1.	Description des compteurs G1	8
3.2.	Description des compteurs G3	8
3.3.	Configuration nominale in situ.....	8
3.4.	Configuration de test en laboratoire, moyens de mesure et méthode de mesures	9
3.4.1.	Configuration de test en laboratoire.....	9
3.4.2.	Moyens de mesure.....	9
3.4.3.	Méthode de mesure.....	10
4.	Etude d'un compteur G1 de marque Itron.....	12
4.1.	Caractéristiques techniques du compteur G1.....	12
4.1.1.	En mode conduit	12
4.1.2.	En mode rayonné	13
4.2.	Niveaux de champ rayonné par le compteur G1	14
4.2.1.	Champ magnétique	14
4.2.2.	Champ électrique	15
5.	Etude du compteur G3	17
5.1.	Caractéristiques techniques du compteur G3.....	17
5.1.1.	En mode conduit	17
5.1.2.	En mode rayonné	18
5.2.	Niveaux de champ rayonné par le compteur G3	18
5.2.1.	Champ magnétique	18
5.2.2.	Champ électrique	20
6.	Comparaison avec d'autres équipements domestiques.....	22
6.1.	En champ magnétique.....	22
6.2.	En champ électrique.....	23

1. Introduction

L'objet de ce rapport est la mesure des rayonnements électromagnétiques induits par les dispositifs de télé-relève des compteurs d'électricité. Cette télé-relève repose sur la technologie des courants porteurs en ligne (CPL).

Le compteur Linky, comme les précédents compteurs, mesure en permanence la quantité d'énergie électrique consommée par le client et stocke cette valeur sous la forme d'index. Selon les informations communiquées par ERDF, un dispositif de stockage, le concentrateur, va interroger le compteur par CPL une fois par jour, pendant la nuit, pour collecter les index stockés au cours de la journée écoulée. Le concentrateur transmet ensuite les données collectées à un serveur informatique via un réseau existant de téléphonie mobile (cf. Figure 1).

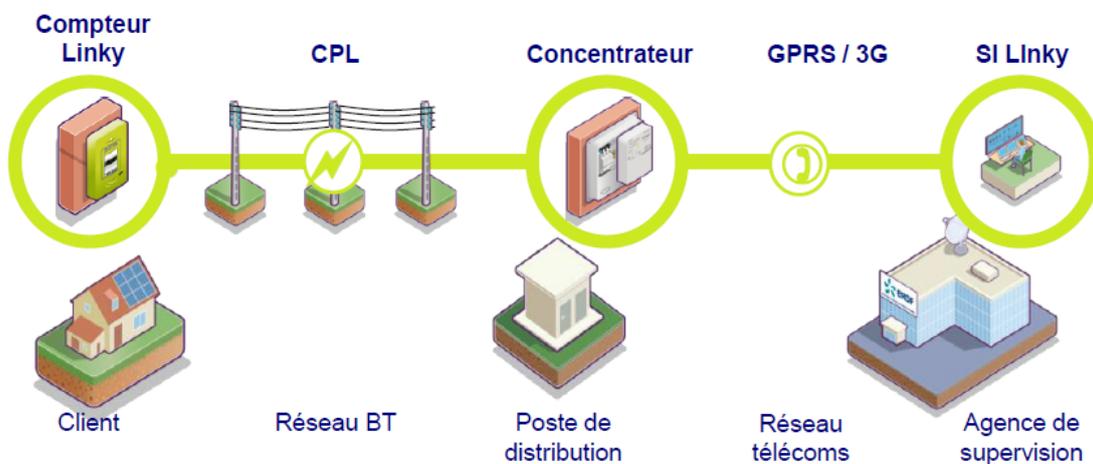


Figure 1 : illustration du fonctionnement du réseau de télé-relève d'ERDF – Source ERDF

La technologie CPL utilise le réseau électrique pour transmettre des informations. Elle consiste à coupler un signal haute fréquence (HF) au signal 50 Hz du réseau électrique (cf. Figure 2). Le signal HF peut ainsi se propager sur l'installation électrique et être reçu par tout récepteur CPL connecté à ce même réseau. Le signal utile n'est pas diffusé par rayonnement mais par conduction, via le réseau électrique. Les installations CPL ne sont donc pas des réseaux radioélectriques. Toutefois, la modulation du courant dans les câbles électriques produit des ondes rayonnées. Ces rayonnements non intentionnels sont réglementés de façon à ne pas perturber outre mesure leur environnement électromagnétique : ces compteurs sont donc conçus pour respecter les normes de compatibilité électromagnétique. Ils doivent également respecter les valeurs-limites d'exposition du public aux ondes électromagnétiques.

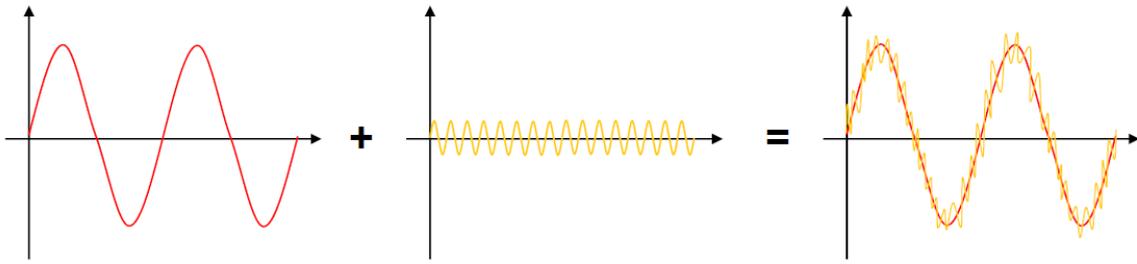


Figure 2 : illustration du principe général du CPL c'est-à-dire la superposition d'un signal 50 Hz à un signal plus haute fréquence

La technologie CPL est utilisée depuis de nombreuses années par ERDF pour envoyer les ordres tarifaires. Elle est également utilisée par des équipements domestiques comme certaines box ADSL ou certaines commandes de volets roulants ou de radiateurs électriques. Un réseau CPL doit s'adapter au réseau électrique qui comporte plusieurs obstacles à la propagation du signal (types de câbles, fusibles, disjoncteurs, compteurs, prises connectées...).

On distingue deux types de réseau CPL, les réseaux CPL bas débit (comme les réseaux de télé-relève) et les réseaux CPL haut débit (comme les réseaux ADSL). Les CPL bas débit peuvent moduler des fréquences situées dans la bande allant de 3 kHz à 148 kHz. Selon les générations de compteurs Linky, les fréquences porteuses utilisées sont comprises dans la bande autorisée, plus précisément entre 35,9 et 90,6 kHz.

Ce rapport est le premier volet de l'étude des niveaux de champs électromagnétiques créés par les compteurs Linky. Il caractérise en laboratoire les niveaux de champs électromagnétiques créés par ces appareils lors de leur fonctionnement. Les deux générations de compteurs G1 actuellement déployés et G3 ont été testées en laboratoire. Les compteurs Linky étudiés n'étaient pas équipés d'émetteurs radio Linky (ERL). Les ERL sont des modules optionnels, destinés à être installés par le client d'un distributeur d'énergie, qui permettront de transmettre en temps réel les données du compteur Linky vers les appareils situés à l'intérieur du domicile. Ces ERL seront associés aux offres de services proposées aux clients.

Les volets suivants de cette étude porteront sur l'analyse du niveau des champs électromagnétiques créés :

- en laboratoire, par les compteurs lors de la collecte des index, ou par les ERL associés aux compteurs ;
- *in situ*, par les compteurs à proximité des appareils et dans les lieux de vie ;
- et enfin, *in situ*, par les concentrateurs.

2. Réglementation en matière d'exposition du public aux ondes électromagnétique

En France, le décret n° 2002-775¹ du 3 mai 2002 fixe les valeurs-limites d'exposition du public aux champs électromagnétiques émis par les équipements utilisés dans les réseaux de télécommunication ou par les installations radioélectriques. Ces limites ont été proposées, au niveau international, par le comité de protection contre les rayonnements non ionisants (ICNIRP), association officiellement reconnue par l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS), dans son guide pour l'établissement de limites d'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques en 1998. L'Union Européenne a repris ces limites dans sa recommandation 1999/519/CE.

Les valeurs-limites dépendent des fréquences (cf. Figure 3). Pour la bande de fréquence CPL bas débit utilisée par les compteurs Linky (35,9 - 90,6 kHz), elles valent 6,25 μT pour le champ magnétique et 87 V/m pour le champ électrique.

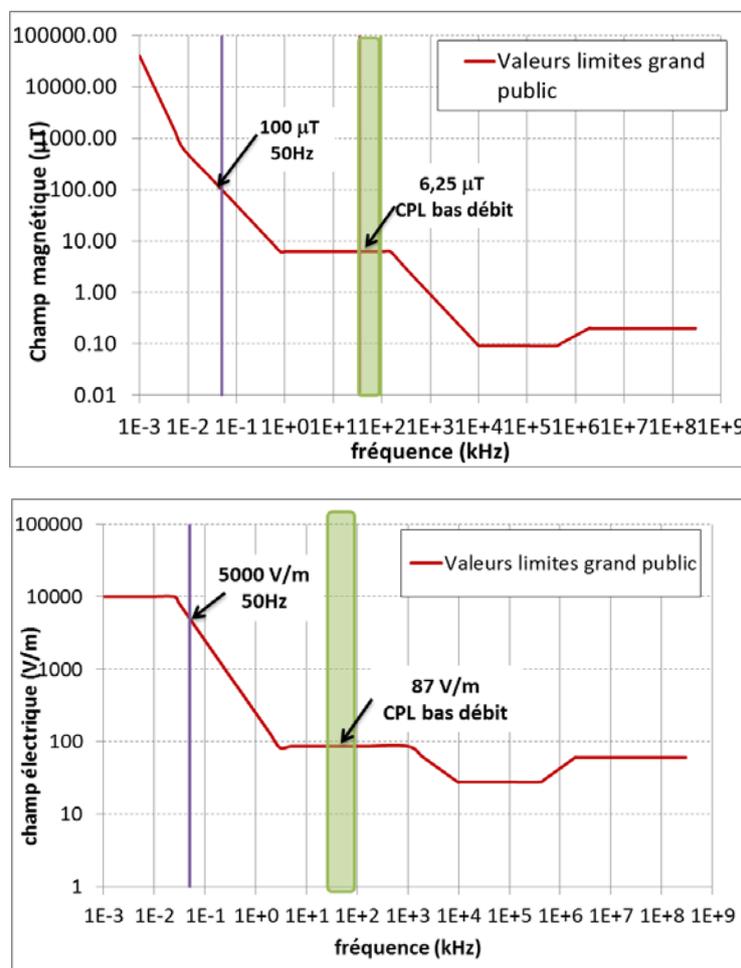


Figure 3 : valeurs-limites fixées par le décret du 3 mai 2002 en champ magnétique exprimé en μT et en champ électrique exprimé en V/m

¹ <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000226401>

3. Description des équipements testés, des moyens de mesures et des configurations de mesures

3.1. Description des compteurs G1

Le compteur Linky G1 est le modèle qui a été installé durant la phase expérimentale de déploiement d'ERDF entre 2008 et 2011 et qui est actuellement déployé par ERDF.

L'information est transmise en CPL suivant une modulation par déplacement de fréquence ou S-FSK pour « *spread frequency shift-keying* ». Le signal est modulé suivant deux fréquences prédéterminées, 63,3 kHz et 74 kHz dans le cas du signal Linky G1. Une porteuse est ainsi utilisée pour coder le bit « 0 » et l'autre pour coder le bit « 1 ». L'écart de 10 kHz entre les deux porteuses permet de s'affranchir de la qualité de leur transmission respective. Chaque sous-porteuse présente une largeur de bande de 5 kHz. Les émissions ne sont pas simultanées dans les deux bandes de fréquences.

Le niveau d'émission « conduit » est réglementé par la norme NF EN 50065-1 pour la tension de sortie de l'émetteur. Pour des signaux bande étroite (c'est-à-dire dont la largeur de bande est inférieure à 5 kHz), le niveau de tension en sortie décroît linéairement de 134 dB μ V (5 V) à 9 kHz à 120 dB μ V (1 V) à 95 kHz.

3.2. Description des compteurs G3

Le compteur G3 correspond au compteur Linky de deuxième génération. Il utilise un protocole de communication plus évolué, fondé sur un multiplexage par répartition orthogonale de fréquences ou OFDM (*Orthogonal frequency-division multiplexing*). L'OFDM consiste à répartir le signal à transmettre sur un plus grand nombre de sous-porteuses. Dans le cas du protocole Linky G3, ce sont 36 sous-porteuses comprises entre 35,9 et 90,6 kHz qui sont utilisées, par blocs de 6.

Le niveau d'émission « conduit » est réglementé par la norme NF EN 50065-1 pour la tension de sortie de l'émetteur. Pour les signaux large bande, le niveau de tension en sortie doit être inférieur à 134 dB μ V.

3.3. Configuration nominale in situ

Selon les informations communiquées par ERDF, dans le réseau réel, les concentrateurs gèrent des grappes de compteurs allant de quelques unités en milieu rural à quelques centaines en milieu urbain. La taille moyenne d'une grappe est de 50 compteurs. Les concentrateurs sont installés dans les postes de transformation haute tension/basse tension (HTA/BT). ERDF dispose de plus de 750 000 postes de transformation HTA/BT pour desservir 35 millions de clients.

La collecte des index de consommation a lieu la nuit entre minuit et 6 heures du matin. Le concentrateur interroge successivement tous ses compteurs, qui répondent en transmettant les index stockés ainsi qu'un registre donnant l'état de fonctionnement du compteur.

En plus de cette collecte quotidienne, le concentrateur interroge successivement l'ensemble des compteurs de la grappe à intervalle régulier (pouvant aller de toutes les minutes ou toutes les 10 minutes selon la configuration du réseau) afin de surveiller l'état général du réseau basse tension et détecter rapidement d'éventuelles pannes. Le compteur interrogé répond en transmettant une trame élémentaire très brève.

Dans des circonstances particulières, lorsque la sécurité est mise en jeu (par exemple, dans le cas d'une surtension ou de l'ouverture du capot scellé du compteur), des signaux d'alerte sont transmis en temps réel par les compteurs vers le concentrateur.

Enfin, de façon ponctuelle, à l'occasion d'un déménagement ou d'un changement de contrat, un échange entre le concentrateur et le compteur a lieu suite à la demande du client.

3.4. Configuration de test en laboratoire, moyens de mesure et méthode de mesures

3.4.1. Configuration de test en laboratoire

En laboratoire, les compteurs sont interrogés par un modem qui joue le rôle de concentrateur. Des scripts fournis par ERDF permettent de reconstituer différents scénarios. Dans cette première étude, le scénario testé consiste en un échange de messages élémentaires entre le modem et le compteur, à l'image des requêtes du concentrateur pour surveiller l'état du réseau basse tension. L'intervalle entre ces requêtes est fixé à un rythme rapide, facilitant la caractérisation des rayonnements en laboratoire. Un compteur G1 et un compteur G3 fournis par ERDF ont été testés. Les mesures ont été réalisées dans le laboratoire du Centre de Contrôle International de l'ANFR.

3.4.2. Moyens de mesure

- pour le champ magnétique :

Les moyens de mesures utilisés sont un analyseur de spectre NARDA SRM 3006 associé à une sonde tri-axe de champ magnétique 3581/02. Les caractéristiques de la sonde sont indiquées dans le tableau ci-dessous. Cette sonde présente l'avantage de pouvoir mesurer des niveaux de champ magnétique très faibles comme l'indique sa dynamique.

NARDA 3581-02	
Plage de fréquences	9 kHz – 250 MHz
Type d'antenne	Champ magnétique, tri-axe
Dynamique	2.5 μ A/m à 560 mA/m



- pour le champ électrique :

Le moyen de mesure utilisé est un mesureur de champ PMM 8053 associées à une sonde tri-axe de champs électrique et magnétique EHP 50A. Les caractéristiques de la sonde sont indiquées dans le tableau ci-dessous pour le champ électrique.

EHP 50A	
Plage de fréquences	5 Hz – 100 kHz
Sensibilité	100 mV/m
Type d'antenne	Champ électrique, tri-axe
SPAN	100 Hz, 200 Hz, 500Hz, 1 kHz, 2 kHz, 10 kHz, 100 kHz.
Fréquence de début	1.2% du SPAN
Fréquence de fin	Egale au SPAN



Les niveaux de champ électrique créés par les transmissions CPL sont trop faibles pour être précisément caractérisés par les équipements de mesure dont disposait l'ANFR pour cette étude. L'ANFR mesure en général des champs de niveaux plus élevés, et ses équipements de mesure sont sélectionnés pour cet usage.

La sonde EHP50A utilisée dans cette étude ne permet pas d'isoler en fréquence la contribution des rayonnements des seuls compteurs Linky. La mesure est réalisée avec un intervalle de 100 kHz sur une bande de fréquences 1,2 kHz -100 kHz, ce qui permet de couvrir largement les bandes de fréquences des compteurs Linky. Les niveaux de champ électrique relevés constituent donc un majorant du champ électrique émis par les compteurs. Néanmoins, le champ électrique de la fréquence 50 Hz du réseau électrique est bien resté exclu de la mesure.

Des équipements de mesure complémentaires sont en cours d'acquisition et de nouvelles mesures de champ électrique feront l'objet d'un rapport complémentaire.

3.4.3. Méthode de mesure

- Caractérisation des signaux :

Des relevés temporels et fréquentiels ont été réalisés pour caractériser la signature des signaux. Ces relevés ont d'abord été réalisés en mode « conduit » pour caractériser le signal utile transmis par le réseau électrique. Les caractéristiques fréquentielles du champ rayonné non intentionnellement ont ensuite été analysées.

- Niveaux d'exposition :

Les niveaux des champs rayonnés ont été relevés dans différentes configurations. La distance de mesure est un critère fondamental du protocole.

Certaines normes définissent des distances de mesures pour des cas particuliers. Ainsi, la norme NF EN 62233 Septembre 2013 (*méthodes de mesure des champs électromagnétiques des appareils électrodomestiques et similaires en relation avec l'exposition humaine*) fixe des distances allant de 0 cm (par exemple pour les rasoirs ou les brosses à dents électriques) à 30 cm (par exemple pour les réveils ou les lave-vaisselle). Pour les équipements d'éclairage, la norme IEC 62493:2009 (*Evaluation d'un équipement d'éclairage relativement à l'exposition*) fixe des distances entre 30 cm (pour les éclairages de bureau par exemple) à 200 cm pour les éclairages publics.

La norme de base IEC 61786-2 (*mesure de champs magnétiques continus et de champs magnétiques et électriques alternatifs dans la plage de fréquences de 1 Hz à 100 kHz dans leur rapport à l'exposition humaine – partie 2: norme de base pour les mesures*) indique que le protocole doit préciser les distances de mesure aux sources et qu'elle est par défaut de 20 cm. Cette distance de 20 cm a donc été retenue pour évaluer la conformité des niveaux de champs électromagnétiques vis-à-vis des valeurs-limites réglementaires.

Dans la bande de fréquence étudiée (35 - 91 kHz), les deux composantes du champ (magnétique et électrique) doivent être mesurées, du fait des distances de mesure très faibles vis-à-vis des longueurs d'onde dans cette bande de fréquence, qui varient en effet entre 3,2 km et 8,5 km. Les niveaux relevés sont des valeurs instantanées maximales, conformément au décret n°2002-775 sur les valeurs limites d'exposition aux ondes électromagnétiques.

Pour le compteur G1, les niveaux de champs magnétiques sont évalués successivement dans les bandes de fréquence de 5 kHz autour des deux fréquences porteuses 63,3 kHz et 74 kHz. Comme les transmissions ne sont pas simultanées dans les deux bandes de fréquences, le niveau d'exposition est le niveau maximal obtenu dans les deux bandes de fréquences mesurées séparément.

Pour le compteur G3, les niveaux de champs magnétiques sont évalués autour de la fréquence centrale de 63 kHz de façon à couvrir toute la largeur de bande des rayonnements CPL.

Les compteurs sous test ainsi que la sonde de mesure sont placés sur des trépieds isolants afin de permettre une bonne reproductibilité des essais, en s'éloignant de tout autre objet (cf. Figure 4).

Le compteur G1 testé est de la marque Itron et le compteur Linky G3 est de la marque Sagemcom.



Figure 4 : compteur Linky et sonde de mesure installés sur des trépieds pour les tests



Figure 5 : compteur Linky ouvert faisant apparaître le bornier

4. Etude d'un compteur G1 de marque Itron

4.1. Caractéristiques techniques du compteur G1

4.1.1. En mode conduit

Pour bien caractériser les signaux CPL transmis par conduction sur le réseau électrique, des mesures en mode « conduit » sont indispensables. Elles sont réalisées à l'aide d'un oscilloscope branché sur le réseau électrique. Le modem interrogateur a été éloigné de façon à ne mesurer que les signaux émis par le compteur.

Le relevé temporel (cf. Figure 6) au niveau du compteur permet de vérifier que conformément au script d'essai, le compteur est interrogé toutes les 600 ms². La durée d'une requête élémentaire est de 140 ms.

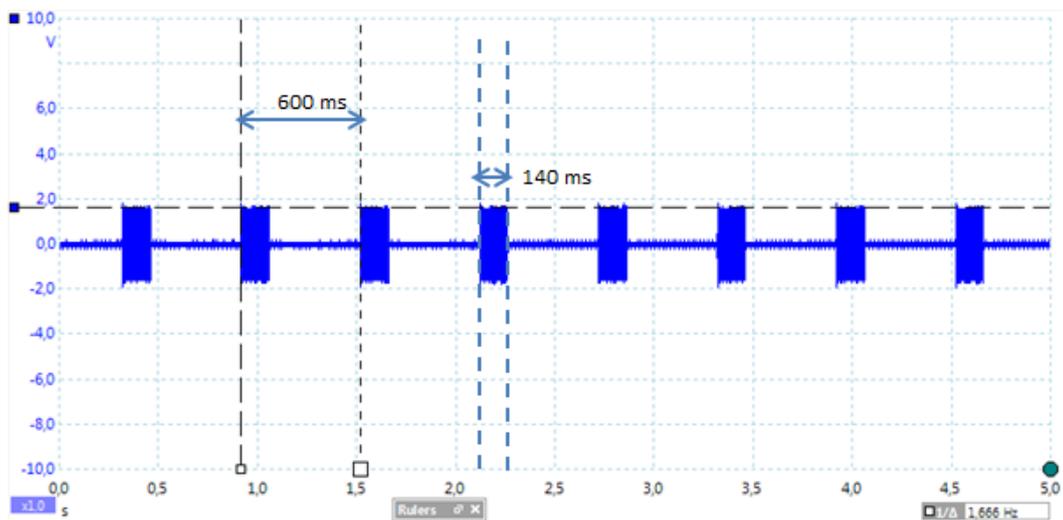


Figure 6 : trame temporelle du signal transmis par le compteur G1 par conduction sur le réseau électrique

Le relevé fréquentiel (cf. Figure 7) permet d'illustrer le mode S-FSK du compteur G1 qui repose sur l'utilisation de deux porteuses aux fréquences 63,3 kHz et 74 kHz.

² Comme indiqué précédemment, le rythme d'interrogation du compteur a été artificiellement accru par rapport au mode normal d'exploitation, pour faciliter la mesure du champ produit.

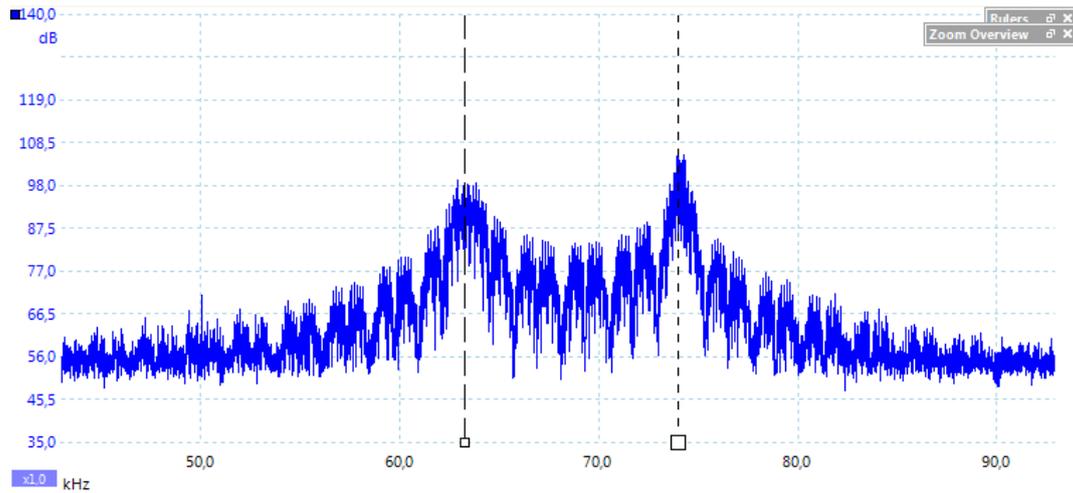


Figure 7 : trame fréquentielle du signal transmis par le compteur G1 par conduction sur le réseau électrique

4.1.2. En mode rayonné

Ce signal utile conduit par le réseau électrique génère, comme tout courant électrique, des rayonnements non intentionnels dont l'évaluation fait l'objet de ce rapport. Le champ rayonné est caractérisé à l'aide de l'analyseur de spectre SRM 3006 qui permet de relever les trames temporelles et fréquentielles.

Le spectre du champ rayonné est similaire au spectre du champ conduit avec les deux fréquences 63,3 kHz et 74 kHz (cf. Figure 8). Dans ce cas, le niveau de la porteuse 63,3 kHz est plus faible que celui à 74 kHz.

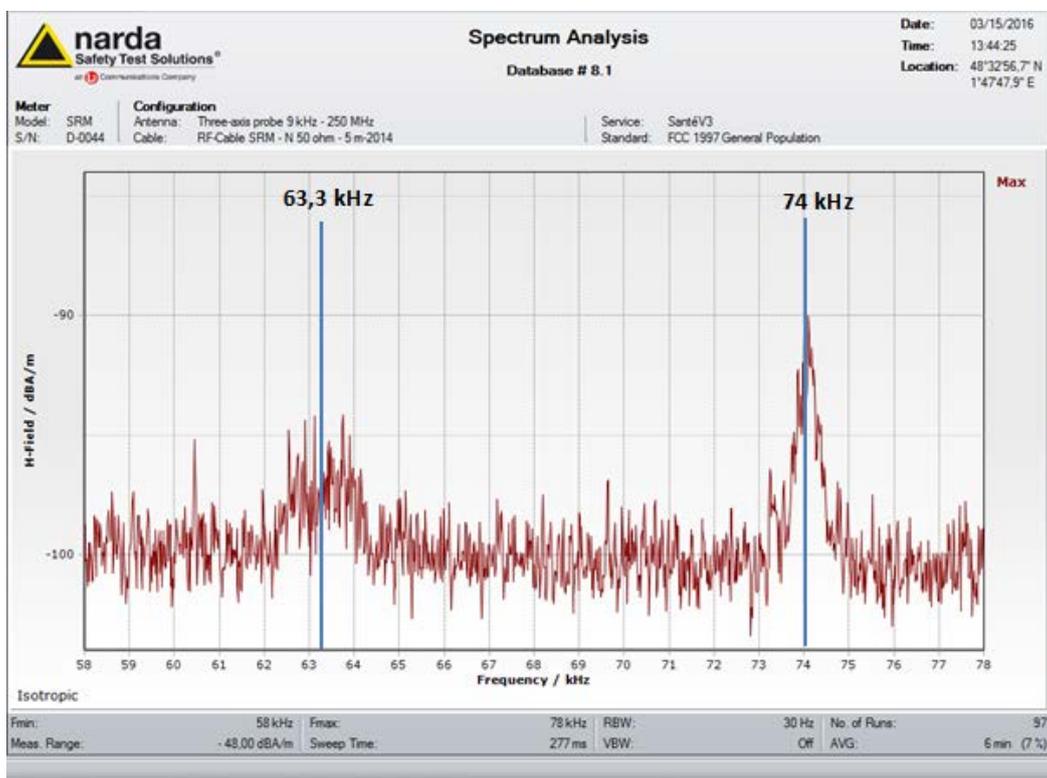


Figure 8 : analyse spectrale du signal rayonné lors d'une requête élémentaire émise par compteur G1

4.2. Niveaux de champ rayonné par le compteur G1

4.2.1. Champ magnétique

Conformément aux recommandations de la norme 62786-2, une distance minimale de 20 cm par rapport au compteur a été retenue.

La Figure 9 illustre les niveaux de champ magnétique instantanés maximaux relevés à 20 cm en face du compteur G1 dans les deux bandes de fréquences 63,3 et 74 kHz. Dans chaque bande de fréquence, lorsque le compteur est en communication (c'est-à-dire qu'un signal CPL est transmis), le niveau maximal est de l'ordre de $5 \cdot 10^{-4}$ μT , c'est-à-dire 12 000 fois en-deçà de la valeur-limite (6,25 μT dans cette gamme de fréquence).

A titre de comparaison, le niveau de champ dans le laboratoire dans les mêmes gammes de fréquences lorsque le compteur est hors tension est de l'ordre $2 \cdot 10^{-5}$ μT ; lorsque le compteur est sous tension mais qu'il ne communique pas en CPL, il est dix fois plus élevé, de l'ordre de $2 \cdot 10^{-4}$ μT .

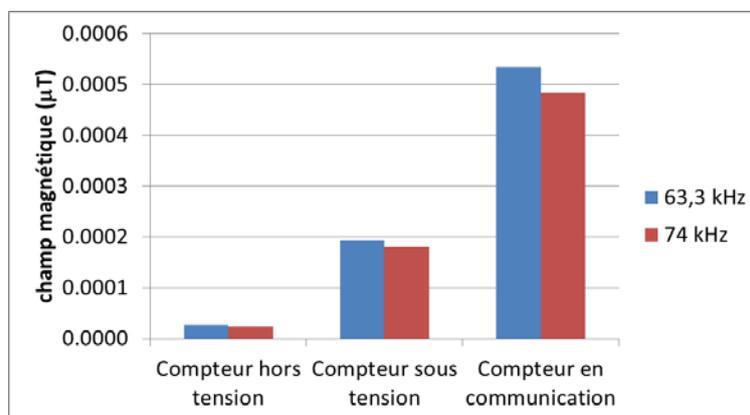


Figure 9 : niveau de champ magnétique relevé à 20 cm en face du compteur dans différentes configurations

Le niveau de champ magnétique décroît très rapidement avec la distance comme l'illustre la Figure 10. Au-delà de 50 cm, les champs rayonnés par le CPL ne sont plus détectables. Ils sont de l'ordre de $5 \cdot 10^{-5}$ μT à 50 cm en face du compteur G1, c'est-à-dire 10 fois plus faible qu'à 20 cm et 125 000 fois plus faibles que le niveau de référence dans cette gamme de fréquence.

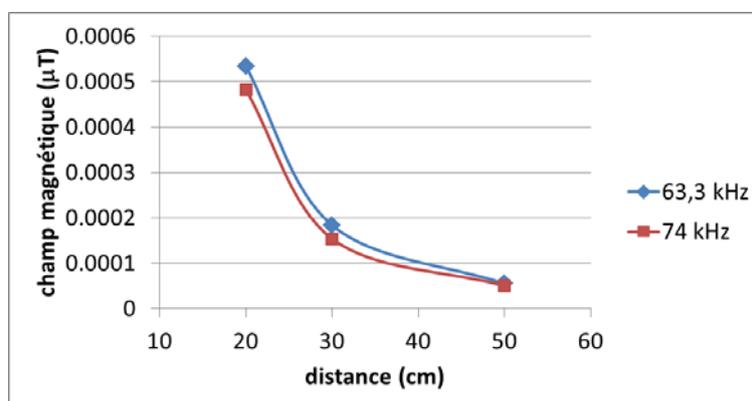


Figure 10 : décroissance du champ magnétique en fonction de la distance en face avant du compteur G1 en communication

La Figure 11 illustre les niveaux maximaux de champ magnétique instantané mesurés à 20 cm des différentes faces du compteur. Les niveaux les plus élevés sont mesurés en face et à l'arrière du compteur entre 5.10^{-4} μT et 7.10^{-4} μT . En situation réelle, la face arrière du compteur n'est pas accessible puisque le compteur est fixé au mur.

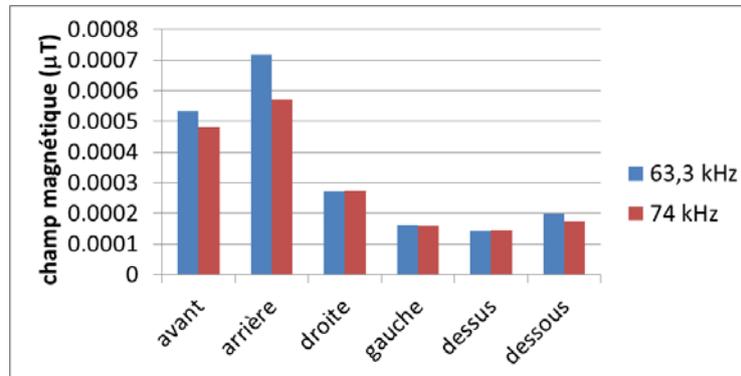


Figure 11 : niveaux de champ magnétique instantanés maximaux relevés à 20 cm des différentes faces du compteur en communication

4.2.2. Champ électrique

Comme indiqué précédemment, le moyen de mesure de champ électrique est un équipement large bande qui ne permet pas d'isoler les deux porteuses du compteur G1. Le niveau de champ mesuré est intégré sur la bande 1,2 kHz – 100 kHz et constitue un majorant de la contribution du champ rayonné par le CPL.

Le niveau de champ électrique mesuré avec ou sans communication CPL apparaît du même ordre de grandeur entre 0,8 V/m et 0,86 V/m (cf. Figure 12), c'est-à-dire presque 100 fois en-dessous du niveau de référence dans cette bande de fréquence qui est de 87 V/m. La transmission CPL contribue à une augmentation du niveau de champ de moins de 10 % dans ce cas.

Le niveau de champ électrique ambiant, c'est-à-dire lorsque le compteur est hors tension, ressort à 0,5 V/m. Comme les valeurs de champ électrique s'additionnent quadratiquement, la contribution du compteur sous tension sans CPL peut donc être approximativement évaluée à 0,7 V/m, qui est supérieure à la contribution du rayonnement du CPL.

La transmission CPL à 20 cm en face du compteur G1 dans les bandes de fréquences du CPL conduit à une augmentation du niveau de champ électrique de moins de 10 % dans la configuration étudiée. Le niveau de champ global (champ ambiant + compteur sous tension + transmission CPL), de l'ordre de 1 V/m, ne provient majoritairement pas des transmissions CPL et est très inférieur aux valeurs réglementaires. L'estimation du niveau d'exposition sera précisée dans le prochain volet de cette étude à l'aide de nouveaux équipements de mesure spécifiquement adaptés à la mesure des champs électriques de très faibles niveaux dans ces bandes de fréquences.

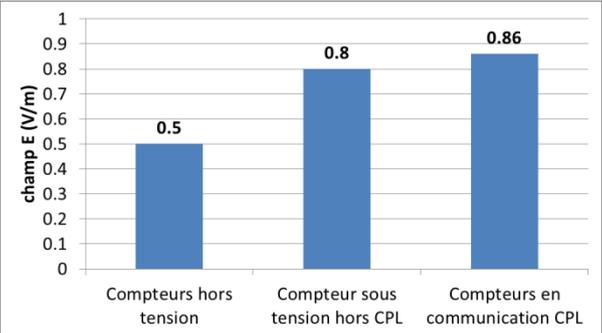


Figure 12 : niveau de champ électrique mesuré dans la bande 1,2 – 100 kHz dans différentes configurations en face du compteur Linky G1.

5. Etude du compteur G3

5.1. Caractéristiques techniques du compteur G3

5.1.1. En mode conduit

Des mesures en mode « conduit » sont réalisées pour caractériser le signal utile. Ces mesures sont réalisées à l'aide d'un oscilloscope branché sur le réseau électrique. Le modem interrogateur a été éloigné de façon à ne mesurer que les signaux émis par le compteur.

Le relevé temporel (cf. Figure 13) permet de vérifier que conformément au script d'essai³, le compteur est interrogé toutes les 1,2 s. Le compteur accuse réception en émettant un premier signal d'une durée de 15 ms puis répond, 30 ms après, une requête élémentaire d'une durée de 80 ms.

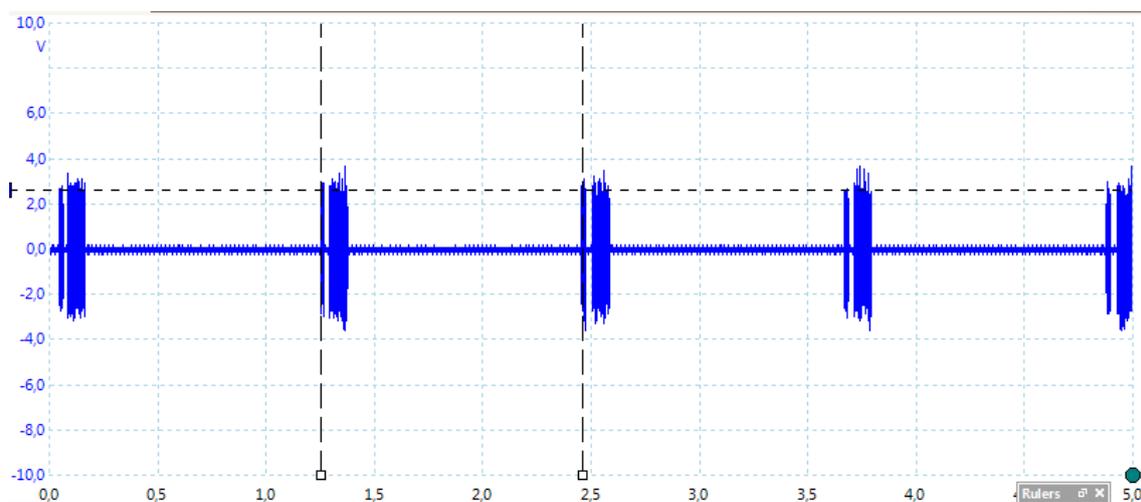


Figure 13 : trame temporelle du signal transmis par le compteur G3 par conduction sur le réseau électrique lors d'une requête élémentaire

Le relevé fréquentiel (cf. Figure 14) permet d'illustrer le mode OFDM du compteur G3 qui repose sur l'utilisation de 36 porteuses dans la bande de fréquences entre 35,9 kHz et 90,6 kHz.

³ Pour ces mesures également, le rythme d'interrogation du compteur a été artificiellement accru par rapport au mode normal d'exploitation, pour faciliter la mesure du champ produit.

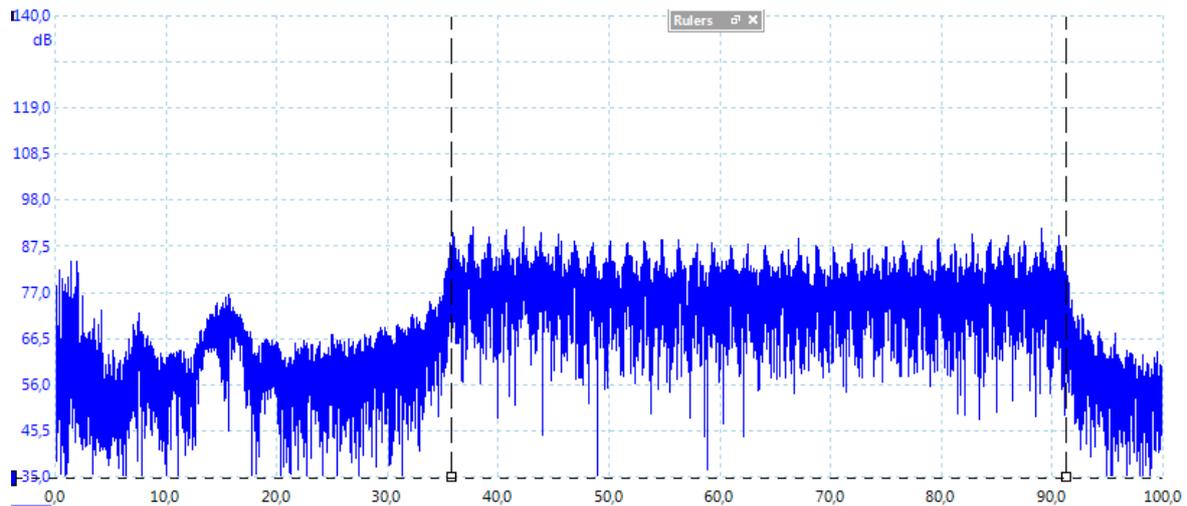


Figure 14 : trame fréquentielle du signal transmis par le compteur G3 par conduction sur le réseau électrique lors d'une requête élémentaire

5.1.2. En mode rayonné

La transmission du signal utile par conduction génère des rayonnements non intentionnels qui sont comme pour le compteur G1 caractérisés à l'aide d'un analyseur de spectre SRM 3006 et d'une sonde de champ magnétique.

Le spectre du champ rayonné est similaire au spectre du champ conduit avec les 36 fréquences comprises entre 35,9 et 90,6 kHz (cf. Figure 15).

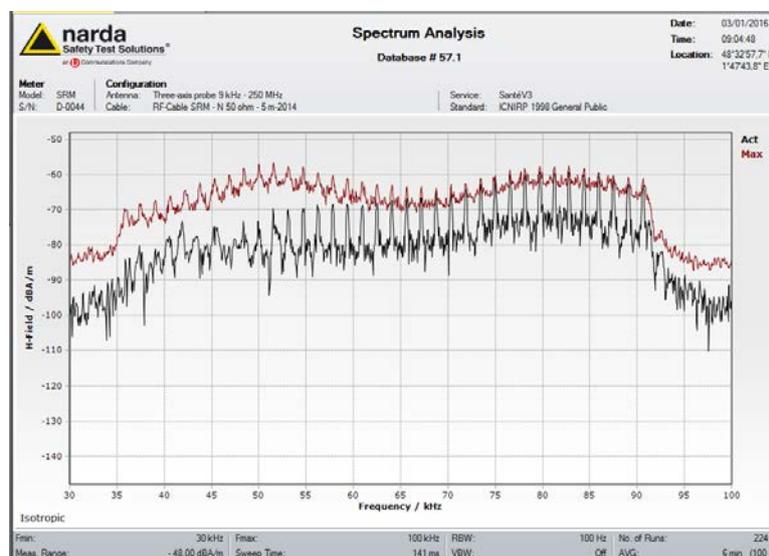


Figure 15 : trame fréquentielle du signal rayonné par le compteur G3 lors d'une requête élémentaire en CPL, en rouge les valeurs maximales relevées et en noir les mesures instantanées

5.2. Niveaux de champ rayonné par le compteur G3

5.2.1. Champ magnétique

Comme pour le compteur G1, pour l'analyse en laboratoire, des mesures à 20 cm du compteur ont été réalisées. Le niveau mesuré est intégré sur toute la largeur de bande du signal c'est-à-dire de 35,9 à 90,6 kHz.

La Figure 16 illustre les niveaux de champ magnétique instantané maximal relevés à 20 cm en face du compteur G3 sur la largeur de bande du signal. Lorsque le compteur est en communication (c'est-à-dire lorsqu'un signal CPL est transmis), le niveau est inférieur à $8.10^{-3} \mu\text{T}$, c'est-à-dire plus de 800 fois en-dessous du niveau de référence ($6,25 \mu\text{T}$ dans cette gamme de fréquence).

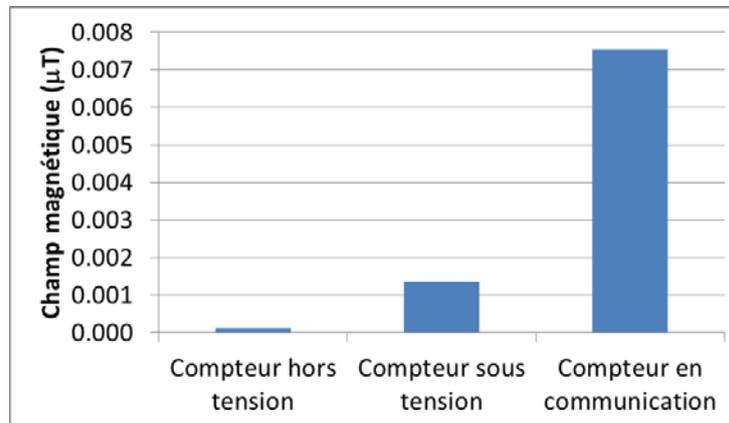


Figure 16 : niveaux de champ magnétique sur la bande de fréquences 35,9-90,6 kHz relevés à 20 cm en face du compteur G3 dans différentes configurations

A titre de comparaison, le niveau de champ magnétique dans le laboratoire sur la même largeur de bande est de l'ordre de

- $1.10^{-4} \mu\text{T}$ lorsque le compteur est hors tension ;
- et de $1.10^{-3} \mu\text{T}$ lorsque le compteur est sous tension mais qu'il ne communique pas en CPL.

La Figure 17 illustre la décroissance du champ magnétique avec la distance. A 50 cm, le niveau de champ magnétique instantané maximal intégré sur la bande de fréquences 35,9-90,6 kHz n'est plus que de $7.10^{-4} \mu\text{T}$ c'est-à-dire plus de 9 000 fois en dessous de la valeur limite réglementaire. A 1 m, ce niveau décroît à $2.10^{-4} \mu\text{T}$ c'est-à-dire environ au niveau mesuré lorsque le compteur est débranché.

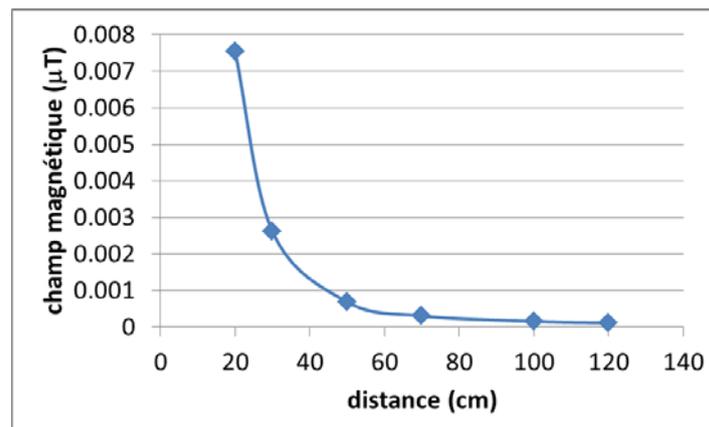


Figure 17 : décroissance du niveau de champ magnétique instantané maximal intégré sur la bande de fréquences 35,9-90,6 kHz en fonction de la distance à la face avant du compteur

La Figure 18 compare les niveaux de champ magnétique instantanés maximum intégrés sur la bande de fréquences 35,9-90,6 kHz relevés à 20 cm des différentes faces accessibles du compteur G3. Les niveaux de champ magnétique les plus élevés sont relevés en face et à l'arrière du compteur. En

situation réelle, la face arrière du compteur ne sera pas accessible puisque le compteur est fixé au mur.

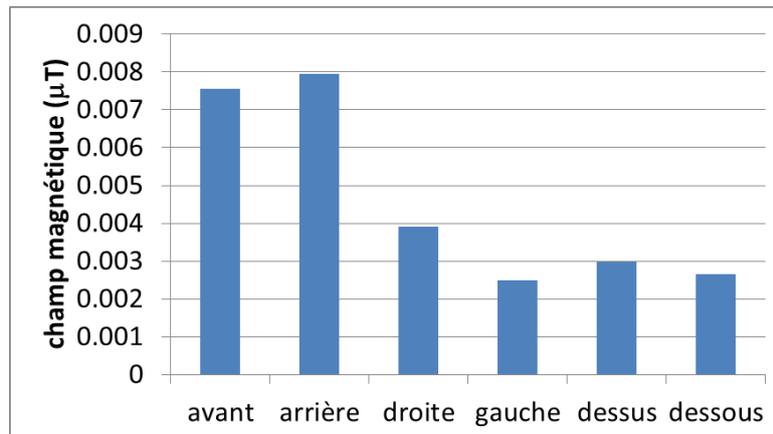


Figure 18 : niveaux de champ magnétique instantanés maximum intégrés sur la bande de fréquences 35,9-90,6 kHz relevés à 20 cm des différentes faces du compteur en communication

5.2.2. Champ électrique

Comme dans le cas du compteur G1, le moyen de mesure de champ électrique est un équipement large bande sur la bande 1,2 kHz – 100 kHz et constitue un majorant de la contribution du champ rayonné par le CPL.

Le niveau de champ électrique mesuré avec ou sans CPL est du même ordre de grandeur de 1,3 V/m (cf. Figure 19). La contribution du CPL est donc trop faible pour pouvoir être précisément estimée à partir de ces mesures.

Le niveau de champ électrique ambiant c'est-à-dire lorsque le compteur est hors tension est de 0,5 V/m. La contribution du compteur sous tension émettant du CPL peut donc être approximativement évaluée à 1,2 V/m, les champs électriques s'additionnant quadratiquement.

Le champ électrique créé par la transmission CPL mesuré à 20 cm en face du compteur dans les bandes de fréquences du CPL n'a pas pu être estimé du fait de son trop faible niveau. Il sera précisé dans le prochain volet de cette étude à l'aide de nouveau équipement de mesure spécifiquement adapté à la mesure de champ électrique de faible niveau dans ces bandes de fréquences.

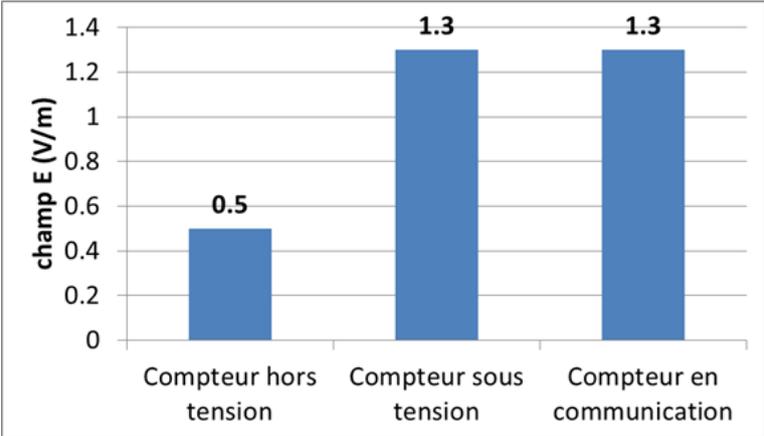


Figure 19 : niveau de champ électrique mesuré dans la bande 1,2 – 100 kHz dans différentes configurations en face du compteur Linky G3.

6. Comparaison avec d'autres équipements domestiques

Tous les appareils électriques induisent dans leur voisinage des champs électriques et magnétiques. L'exposition aux champs électromagnétiques émis par les appareils électriques domestiques est le plus souvent évaluée à une distance de 30 cm comme indiqué dans la norme IEC 62233 (*Méthodes de mesure des champs électromagnétiques émis par les appareils électrodomestiques et appareils similaires en relation avec l'exposition humaine*).

Ce chapitre compare donc les niveaux de champs électromagnétiques mesurés à 30 cm du compteur Linky avec ceux des différents équipements suivant :

- Compteur électrique d'ancienne génération ;
- Lampe fluo compacte de 15 W ;
- Alimentation d'un ordinateur portable en charge ;
- Ecran plat de télévision de 19" ;
- Ecran cathodique de télévision (CRT) ;
- Plaque de cuisson à induction portative de 2 000 W ;
- Perceuse sans fil.

Les mesures ont toutes été réalisées dans le laboratoire de l'ANFR.

Les compteurs Linky induisent lors des communications CPL des niveaux de champs électromagnétiques très faibles, à l'instar d'autres équipements électriques et en particulier comme le compteur électrique d'ancienne génération. Une grande variabilité de ces niveaux peut être observée en fonction des caractéristiques de l'équipement (marque, modèle, puissance...) et de son installation dans le réseau électrique. Les mesures réalisées dans le cadre de ce rapport ne permettent donc pas de généraliser le classement de ces équipements.

6.1. En champ magnétique

Dans les configurations testées, les compteurs Linky rayonnent lors des communications CPL des niveaux de champ magnétique légèrement supérieurs à ceux des anciens compteurs, comparables à d'autres équipements comme un écran plat de télévision ou l'alimentation d'un PC en charge.

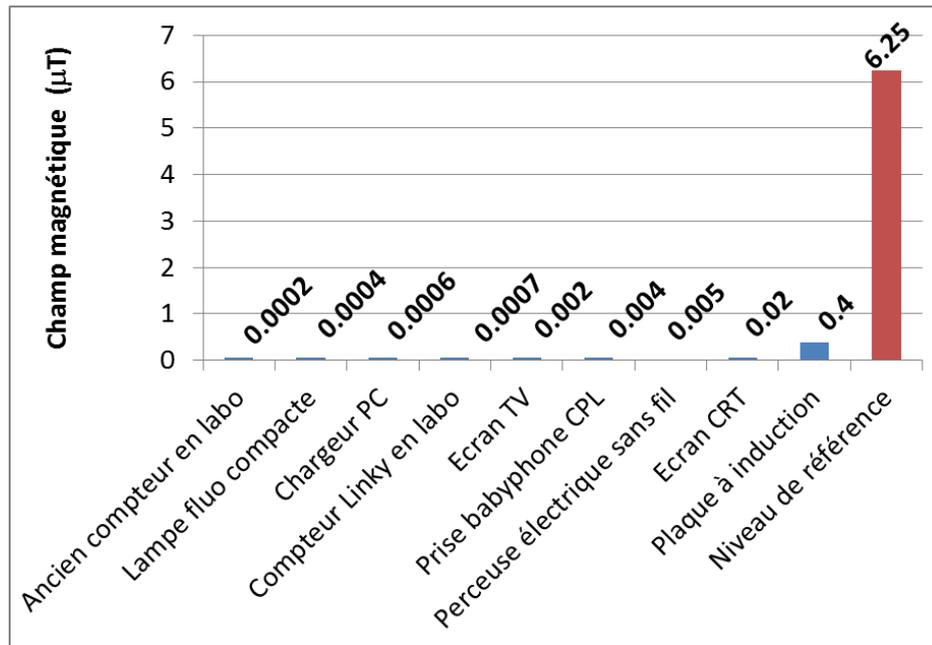


Figure 20 : comparaison des niveaux de champ magnétique mesurés à 30 cm de différents équipements dans la bande de fréquences 30-95 kHz contenant la bande de fréquence Linky.

6.2. En champ électrique

Les moyens de mesure de champ électrique dans les bandes de fréquences des rayonnements CPL n'ont pas permis dans le cadre de cette étude d'évaluer finement la contribution des rayonnements CPL. Les niveaux de champ électrique mesurés, arrondis à 0,5 V/m près, représentent le niveau global dans une bande de fréquence allant de 1,2 kHz à 100 kHz.

En laboratoire, le champ électrique mesuré à proximité du compteur Linky est du même ordre de grandeur que le champ électrique mesuré à proximité d'un compteur électrique d'ancienne génération.

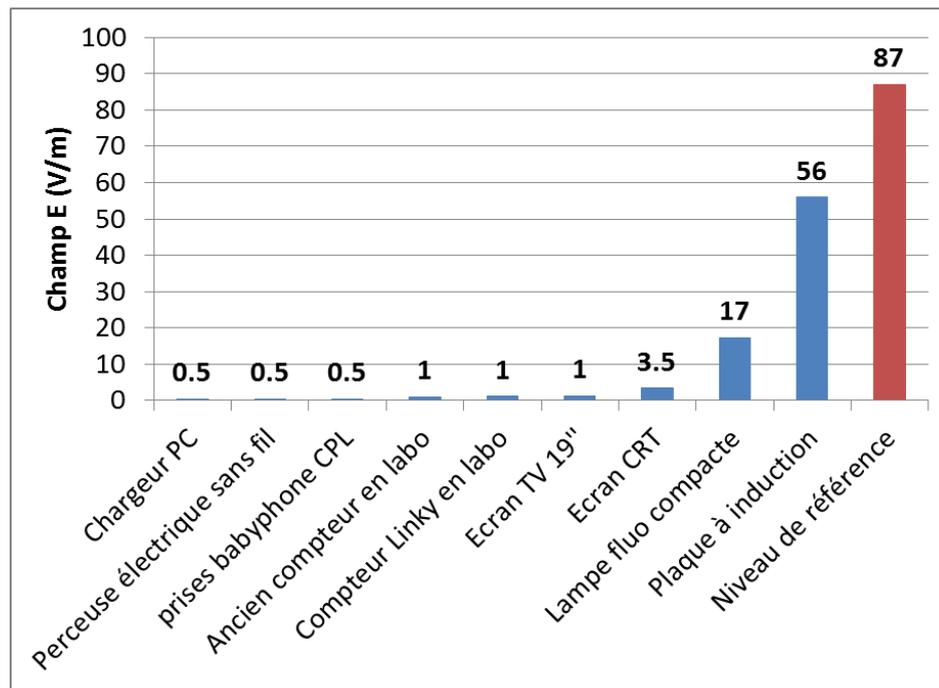


Figure 21 : comparaison des niveaux de champ électriques à 30 cm de différents équipements mesurés dans la bande 1,2 kHz -100 kHz.

Cette partie pourra être complétée dans les volets suivants de cette étude.

Ces premiers résultats montrent que les compteurs Linky créent une exposition en champ électrique et en champ magnétique comparable à d'autres équipements électriques du quotidien.