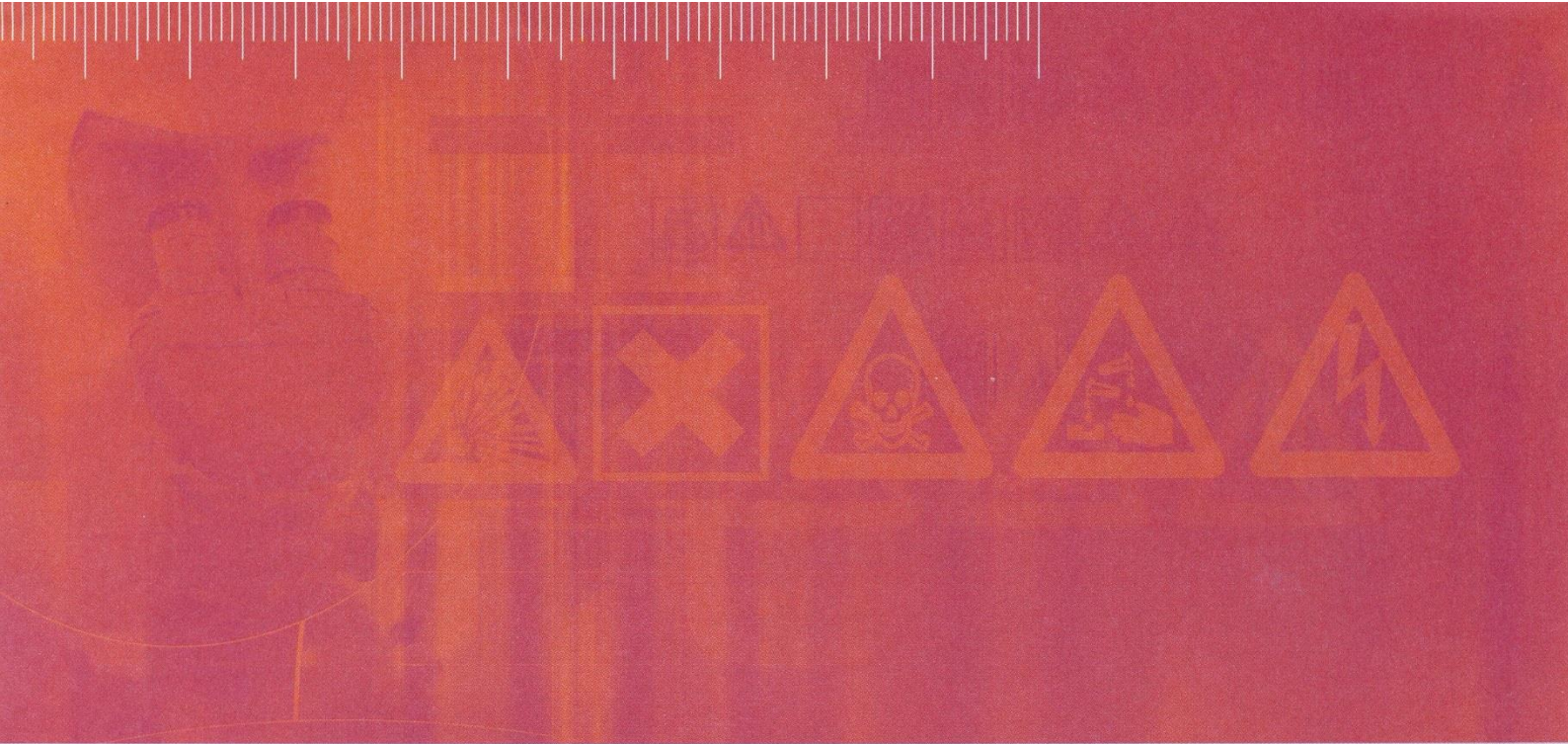




RAPPORT D'ÉTUDE
N° DRC-16-148901-04977A

29/06/2016

**Champs électromagnétiques produits
par les compteurs de télérelève électrique Linky
Mesures exploratoires**

INERIS

maîtriser le risque |
pour un développement durable |

Champs électromagnétiques produits par les compteurs de télérelève électrique Linky

Mesures exploratoires

Direction des Risques Chroniques (DRC)
Pôle Dangers et Impact sur le vivant (VIVA)
Unité de Toxicologie Expérimentale (TOXI)

Client: MEEM

Liste des personnes ayant participé à l'étude : René de SEZE, Patrice CAGNON

PRÉAMBULE

Le présent rapport a été établi sur la base des informations fournies à l'INERIS, des données (scientifiques ou techniques) disponibles et objectives et de la réglementation en vigueur.

La responsabilité de l'INERIS ne pourra être engagée si les informations qui lui ont été communiquées sont incomplètes ou erronées.

Les avis, recommandations, préconisations ou équivalents qui seraient portés par l'INERIS dans le cadre des prestations qui lui sont confiées, peuvent aider à la prise de décision. Etant donné la mission qui incombe à l'INERIS de par son décret de création, l'INERIS n'intervient pas dans la prise de décision proprement dite. La responsabilité de l'INERIS ne peut donc se substituer à celle du décideur.

Le destinataire utilisera les résultats inclus dans le présent rapport intégralement ou sinon de manière objective. Son utilisation sous forme d'extraits ou de notes de synthèse sera faite sous la seule et entière responsabilité du destinataire. Il en est de même pour toute modification qui y serait apportée.

L'INERIS dégage toute responsabilité pour chaque utilisation du rapport en dehors de la destination de la prestation.

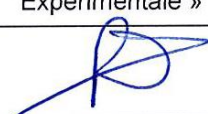
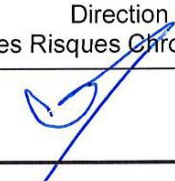
	Rédaction	Vérification	Approbation
NOM	René de SEZE	Eric THYBAUD	Philippe HUBERT
Qualité	Ingénieur de l'unité de « Toxicologie Expérimentale »	Responsable du pôle « Dangers et impact sur le vivant »	Directeur, Direction des Risques Chroniques
Visa			

TABLE DES MATIÈRES

RESUME	6
1. INTRODUCTION.....	8
2. CARACTERISATION DU SIGNAL PRODUIT PAR LES COMPTEURS LINKY8	
3. VALEURS LIMITES D'EXPOSITION : NIVEAUX DE REFERENCE.....	9
4. MATERIEL DE MESURE.....	9
5. METHODES.....	10
6. MESURES EN LABORATOIRE	11
6.1 Mesures sur un compteur G1	11
6.1.1 Forme de l'émission du signal émis	11
6.1.2 Mesure du champ magnétique CPL.....	12
6.2 Mesures sur un compteur G3	13
6.2.1 Forme du signal émis et mesure du champ magnétique CPL	13
6.2.2 Influence d'une charge électrique	13
6.2.3 Influence de la méthode de mesure – Mesure large bande	14
6.3 Mesures du champ magnétique à 50 Hz	14
6.4 Synthèse des mesures en laboratoire	15
7. MESURES SUR LE TERRAIN CHEZ DES PARTICULIERS	16
7.1 Mesures a 20 cm des compteurs	16
7.1.1 Mesure avec l'analyseur de spectre sans communication forcée	17
7.1.2 Mesures avec l'analyseur de spectre en communication forcée	18
7.1.3 Mesures du champ magnétique à 50 Hz avec le champmètre	20
7.2 Mesures à distance du compteur	20
7.2.1 Mesures en fonction de la distance au compteur.....	21
7.2.2 Mesures sur le réseau électrique ou au milieu d'une pièce de vie	22
7.3 Reproductibilité des mesures à des périodes différentes	24
7.4 Variabilité du champ en fonction de la marque du compteur.....	25
8. SYNTHESE - CONCLUSION.....	26
8.1 Mesures en laboratoire.....	26
8.2 Mesures de terrain à Montlouis sur Loire et Vouvray	26
8.3 Perspectives.....	26

RESUME

Un remplacement de compteurs d'électricité est en cours, par de nouveaux compteurs permettant une relève automatique par la technologie dite de courants porteurs en ligne (CPL). Ces courants modulent le signal électrique d'énergie à des fréquences comprises entre 35 et 90 kHz.

La question est posée de savoir quel champ électromagnétique ce signal électrique pourrait générer autour des compteurs et quel niveau d'exposition il serait susceptible de générer pour les habitants d'un logement ainsi équipé.

En appui aux politiques publiques du Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer (MEEM), l'INERIS a entrepris de caractériser les signaux émis et de faire une série de mesures exploratoires en laboratoire et sur le terrain.

Il existe actuellement des compteurs de deux générations : G1 et G3. Le signal à mesurer a été caractérisé en fréquence et en durée (environ une minute par jour). Le champ électromagnétique a été mesuré autour d'un compteur en communication forcée en conditions de laboratoire, dans le laboratoire Linky d'ErDF, et dans un laboratoire de référence, le LNE.

Le champ électromagnétique a aussi été mesuré autour de compteurs en situation chez des particuliers lors de 2 campagnes (décembre 2015 et avril 2016). Afin de disposer d'un signal mesurable, les compteurs ont été mis en mode de communication forcée. Au préalable, une des mesures a été effectuée en fonctionnement normal (mode nominal, sans communication forcée). Les compteurs étaient disposés à l'extérieur de maisons individuelles, en bordure de propriété, ou à l'intérieur de l'habitation.

En fonctionnement nominal (pour les compteurs G1 en phase pilote, une émission de 100 millisecondes toutes les minutes aux fréquences 63,3 et 74 kHz), le champ magnétique aux fréquences CPL n'est pas détectable, il est de l'ordre du bruit de fond mesuré.

En mode de communication forcée, le champ magnétique mesuré à 20 cm des compteurs présente une variabilité importante entre les compteurs (0,002 à 0,048 A/m). Le niveau est légèrement plus élevé à la fréquence 74 kHz qu'à la fréquence 63,3 kHz. La valeur maximum de champ magnétique relevée à 20 cm du compteur a été de 0,048 A/m. Les niveaux de champ mesurés sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés sur les compteurs G1 ou G3 en laboratoire. Le champ électrique est inférieur à 4 V/m (0,21 à 3,9 V/m).

Des mesures ont ensuite été effectuées :

- en fonction de la distance à la surface du compteur : le champ décroît rapidement avec la distance, pour atteindre le bruit de fond entre 50 cm pour le champ magnétique et 1 m pour le champ électrique
- le long du réseau à l'intérieur d'une habitation : le champ magnétique sur le réseau ou dans les pièces de vie est très inférieur à celui mesuré à proximité du compteur

Les mesures de champ magnétique effectuées en avril 2016 sont comparables à celles mesurées en décembre 2015. Le champ électrique est plus variable.

Dans tous les cas, les valeurs mesurées restent très inférieures aux valeurs limites recommandées, de 5 A/m pour le champ magnétique, et de 87 V/m pour le champ électrique.

Un plus grand nombre de mesures permettrait d'en calculer la variabilité statistique avec plus de précision.

La décroissance du champ en fonction de la distance aux compteurs devrait être complétée par d'autres mesures.

Afin de définir un protocole de mesure commun pour l'ensemble des compteurs existants et à venir, il serait pertinent d'effectuer des mesures sur une largeur de bande plus importante de 55 kHz (de 35 à 90 kHz, fréquence centrale 62,5 kHz), couvrant les 2 fréquences CPL des compteurs de type G1 et l'émission large bande des compteurs de type G3.

1. INTRODUCTION

Un remplacement de compteurs d'électricité est en cours, par de nouveaux compteurs permettant une relève automatique par la technologie dite de courants porteurs en ligne (CPL). Ces courants modulent le signal électrique d'énergie (à 50 Hz) à des fréquences comprises entre 35 et 90 kHz. Les nouveaux compteurs sont installés en lieu et place des précédents, à l'extérieur ou à l'intérieur de l'habitation. La question est posée de savoir quel champ électromagnétique ce signal pourrait générer autour des compteurs et quel niveau d'exposition il serait susceptible de générer pour les habitants d'un logement ainsi équipé.

Afin de répondre à ces interrogations, il a été décidé de :

1. caractériser le signal à mesurer sur les différents types de compteurs existants : durée, fréquence
2. mesurer le champ électromagnétique autour de compteurs en mode communication forcée en conditions de laboratoire, dans le laboratoire Linky d'ErDF et dans un laboratoire de référence, le LNE
3. mesurer le champ électromagnétique produit autour de compteurs réellement installés chez des personnes, en communication forcée ou sans communication

En absence de protocole défini, différentes conditions de mesure de champ ont été testées :

- à 20 cm du compteur
- à distance du compteur
- sur le réseau électrique et dans quelques pièces à l'intérieur d'habitations, plus ou moins éloignées des compteurs

Dans la gamme des fréquences CPL, la composante du champ qui interagit le plus avec l'organisme est le champ magnétique, la mesure de ce champ a donc été plus détaillée.

2. CARACTERISATION DU SIGNAL PRODUIT PAR LES COMPTEURS LINKY

Il existe actuellement des compteurs de deux générations : G1 et G3. Les compteurs de type G1 ont été installés sur les zones test en phase pilote, et continuent à être installés au début de la phase de déploiement, qui a commencé en décembre 2015. Les compteurs de nouvelle génération de type G3 commenceront à être installés en 2017.

Les fréquences CPL utilisées par les compteurs G1 sont des bandes de 5 kHz de largeur alternativement centrées sur 63,3 ou 74 kHz, et celles utilisées par les compteurs G3 sont des multifréquences CPL (36 fréquences de 1,5 kHz de largeur environ), entre 35 et 90 kHz.

Lors d'un télérelevé standard, un signal est envoyé par le compteur vers un concentrateur situé dans le poste de transformation du quartier pendant une durée inférieure à une minute (~ 20 secondes), une fois par 24h, entre minuit et six heures du matin. Ponctuellement, des signaux différents mais du même ordre de durée, peuvent être envoyés, par exemple pour mettre à jour le forfait d'abonnement choisi par les clients.

Pour vérifier l'état du réseau électrique, un signal est envoyé itérativement du concentrateur vers les compteurs d'un quartier (une « grappe »). Ce signal, d'une durée de l'ordre de 100 millisecondes, est envoyé pendant la phase pilote une fois par minute ; en phase de déploiement (ou de routine), il est prévu qu'il soit envoyé une fois toutes les dix minutes.

3. VALEURS LIMITES D'EXPOSITION : NIVEAUX DE REFERENCE

Les valeurs limites d'exposition de la recommandation européenne 1999/519/CE^a et du décret 2002-775 sont appelés « niveaux de référence », et sont pour la fréquence du secteur de 50 Hz et dans la gamme des fréquences CPL, les suivantes :

Tableau 1. Valeurs limites d'exposition à 50 Hz et aux fréquences CPL

Fréquences	Induction magnétique B en μT	Champ magnétique H en A/m	Champ électrique E en V/m
50 Hz	100	80	5000
63,3 kHz et 74 kHz ou 35-90 kHz	6,25	5	87

A 50 Hz, il est habituel d'indiquer l'induction magnétique en μT , tandis qu'aux fréquences CPL de l'ordre du kHz, le champ est plus habituellement indiqué en A/m^b.

4. MATERIEL DE MESURE

Pour les mesures aux fréquences CPL, un analyseur de spectre FSH8 de Rohde & Schwarz (R&S) a été utilisé avec des antennes adaptées au champ magnétique (sonde de champ magnétique HMDA100 – photo 1) et au champ électrique (antenne isotrope TSEMF-B3 de R&S photo 2).

La boucle de champ magnétique HMDA 100 a aussi été utilisée en mode autonome sans connexion à l'analyseur de spectre.

Quelques mesures ont aussi été effectuées avec le champmètre PMM 8053 et la sonde EHP50C, pour avoir des valeurs du champ magnétique à 50 Hz et des valeurs aux fréquences CPL (photo 3).

^a Recommandation du Conseil 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)

^b 1 A/m = 1,27 μT

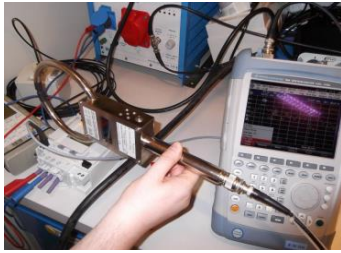


Photo 1. Boucle de champ magnétique HMDA 100 et analyseur FSH8



Photo 2. Sonde de champ électrique isotropique TSEMF-B3



Photo 3. Sonde EHP50C

5. METHODES

Afin d'assurer l'existence d'une communication et donc d'une émission lors des mesures, il est possible de faire configurer les compteurs en mode communication forcée à raison d'une série de signaux d'une milliseconde répétés pendant une centaine de millisecondes, toutes les 2 secondes pendant plusieurs heures. Ces conditions n'étant pas celles d'un fonctionnement en routine, peuvent générer une déformation du signal, mais assurent la possibilité des mesures. Il sera utile de comparer avec les émissions utilisées en fonctionnement de routine sur les compteurs.

Les mesures ont été effectuées à une fréquence définie, ou de façon intégrée sur la largeur de bande des signaux CPL (5 ou 15 kHz pour les compteurs de génération G1 à 63,3 et 74 kHz, 55 kHz sur des compteurs G3 de 35 à 90 kHz).

Pour comparaison, le champ magnétique à 50 Hz a aussi été mesuré.

La boucle de champ magnétique HMDA a un diamètre de 15 cm ; lorsqu'elle est posée près du compteur, elle mesure un champ moyen intégré sur une distance de dix à vingt centimètres autour du compteur. Comme la boucle mesure le champ de façon privilégiée dans la direction perpendiculaire à sa surface, le champ magnétique a été mesuré dans les 3 directions de l'espace, avec l'antenne boucle soit parallèle à la surface du compteur, soit dans l'axe du compteur dans sa position habituelle, verticale, soit perpendiculairement à cet axe dans un plan horizontal. La valeur de champ indiquée est la résultante calculée de ces 3 mesures.

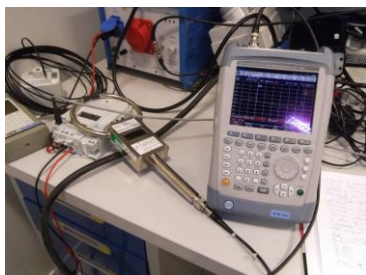


Photo 4. Champ magnétique parallèle



Photo 5. Champ magnétique vertical

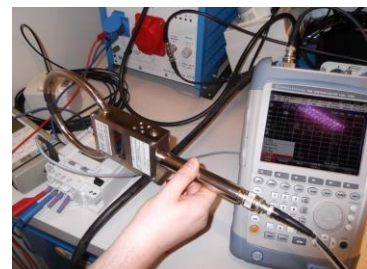


Photo 6. Champ magnétique horizontal

Pour déterminer le champ maximal au contact du compteur, en laboratoire, la boucle de l'antenne était placée au contact de la surface du compteur pour les mesures en position verticale et horizontale, et la boucle était positionnée à la surface du compteur pour les mesures dans un plan parallèle.

Dans les conditions quotidiennes d'exposition, une personne peut difficilement se trouver à moins de 20 cm du compteur, et de nombreuses normes de mesure prennent cette distance comme référence. Les mesures sur le terrain ont donc été effectuées à 20 cm du compteur, aussi bien avec les antennes reliées à l'analyseur de spectre qu'avec la sonde EHP50C.

6. MESURES EN LABORATOIRE

Des mesures ont été effectuées au laboratoire Linky d'ErDF, et au Laboratoire National d'Essais (LNE).

Le mode communication forcée a été rendu possible par une communication répétée (dite « Euridis ») entre un ordinateur et le compteur, et le champ a été mesuré, avec ou sans charge. Une charge résistive mime le fonctionnement d'un équipement électroménager alimenté en électricité, dans lequel circule un courant.

6.1 MESURES SUR UN COMPTEUR G1

6.1.1 FORME DE L'EMISSION DU SIGNAL EMIS

L'analyseur de spectre permet de visualiser la forme du spectre fréquentiel de l'émission.

Mesure avec un compteur G1 sous tension :



Figure 1. Signaux CPL avec un compteur G1

Les marqueurs indiquent ici le sommet de l'enveloppe des signaux de 5 kHz de largeur centrés sur les fréquences CPL de 63,3 et 74 kHz. Les flèches indiquent la largeur de bande de 5 kHz autour de la fréquence centrale qui définit l'émission CPL des compteurs G1.

Mesure effectuée G1 hors tension :



Figure 2. Hors tension, les signaux CPL ne sont pas visibles

Lorsque le compteur n'est plus alimenté, il existe toujours un niveau de champ électrique (bruit de fond ambiant), mais les signaux électriques aux fréquences CPL ne sont plus retrouvés.

6.1.2 MESURE DU CHAMP MAGNETIQUE CPL

Une première mesure a été effectuée sur le compteur G1 hors tension. Le bruit de fond est inférieur à 0,00004 A/m.

Lorsque le compteur G1 est sous tension sans communication, le bruit de fond est de l'ordre de 0,0004 A/m.

Lorsque le compteur G1 est en mode communication forcée, la valeur du champ est entre 0,001 et 0,01 A/m à 63,3 kHz, et entre 0,002 et 0,02 A/m à 74 kHz.

6.2 MESURES SUR UN COMPTEUR G3

Les mesures ci-après ont été effectuées en mode de communication forcée.

6.2.1 FORME DU SIGNAL EMIS ET MESURE DU CHAMP MAGNETIQUE CPL

Avec l'analyseur de spectre FSH8 associé à l'antenne cadre HMDA100 :

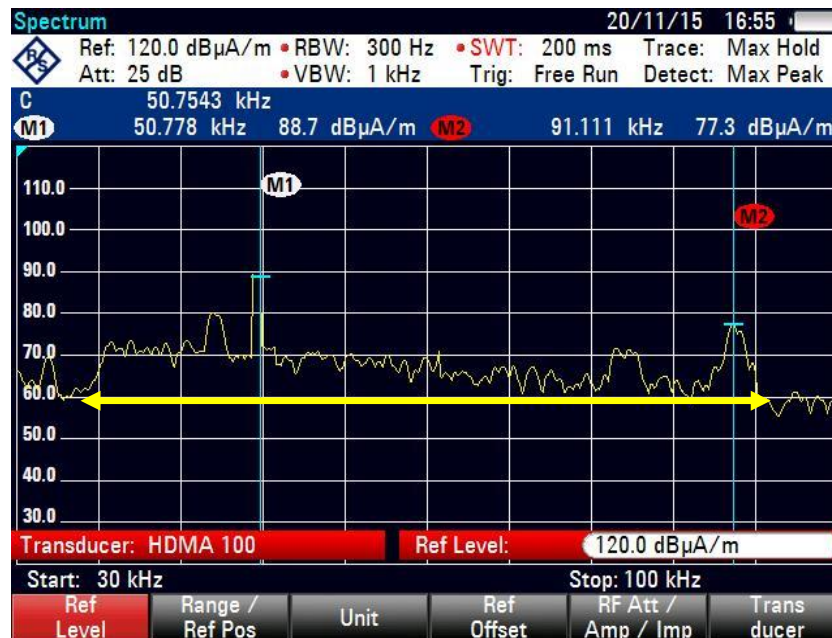


Figure 3. Signal CPL avec un compteur G3

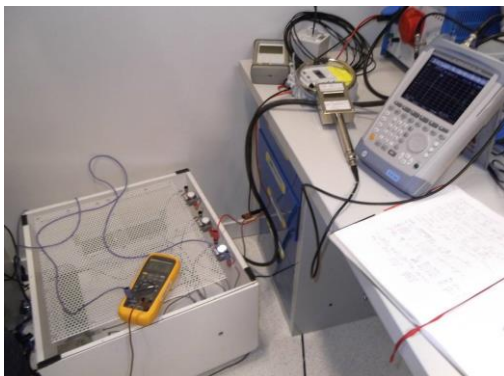
Le signal d'intérêt pertinent ici est le plateau entre 35 et 90 kHz. Le pic en M1 à 51 kHz correspond à une fréquence de l'ordinateur d'émulation. La valeur du champ au niveau du plateau est de 70 dBμA/m environ, correspondant à un champ magnétique de 0,003 A/m. Le bruit de fond en dehors du signal CPL est de 0,001 A/m.

6.2.2 INFLUENCE D'UNE CHARGE ELECTRIQUE

Pour mimer une installation avec des équipements électroménagers, une charge résistive a été branchée sur le compteur, dans laquelle circule un courant $I = 2,4$ A.

Le champ magnétique a été mesuré avec l'analyseur de spectre.

Avec charge, la valeur moyenne du champ magnétique est de 0,003 à 0,006 A/m, donc il est du même ordre de grandeur avec ou sans charge.



Le champ magnétique émis par les compteurs CPL n'est pas significativement modifié par la consommation électrique du compteur.

Photo 7. Branchement d'une charge en aval du compteur

6.2.3 INFLUENCE DE LA METHODE DE MESURE – MESURE LARGE BANDE

Un niveau de 0,012 A/m est obtenu avec l'antenne boucle HMDA100, utilisée en mode autonome, indépendamment de l'analyseur de spectre. La mesure intègre dans ce cas toutes les fréquences entre 5 Hz et 100 kHz, et donc les signaux de l'ordinateur à 51 kHz. La valeur mesurée est du même ordre de grandeur que celle mesurée avec l'analyseur de spectre à 51 kHz.

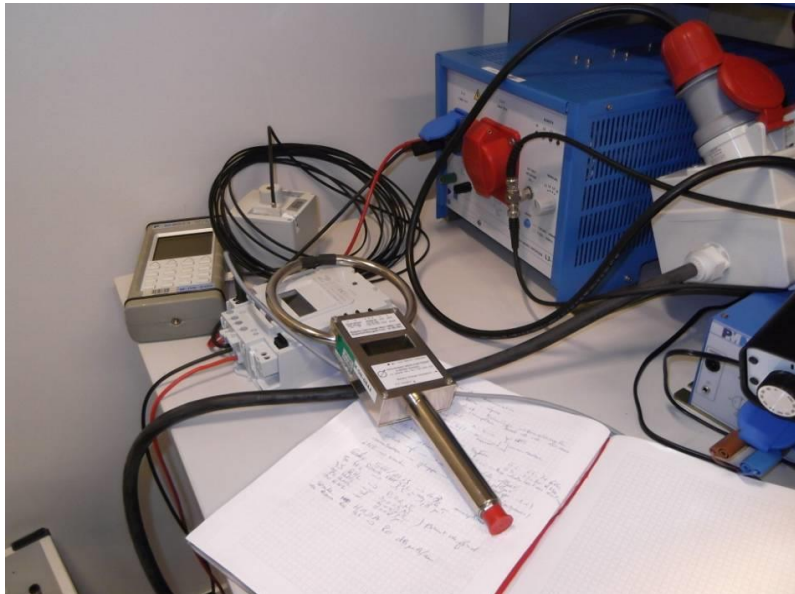


Photo 8. Antenne boucle HMDA100 en mode autonome - Champ parallèle

La mesure large bande peut intégrer des signaux qui se propagent sur le réseau et qui ne correspondent pas à des émissions CPL.

6.3 MESURES DU CHAMP MAGNETIQUE A 50 Hz

Avec le mesureur de champ PMM8053 et la sonde EHP50C, le champ magnétique a été mesuré :

i) Sur la bande 0-100 Hz :

$B = 0,07$ à $1,8 \mu\text{T}$, suivant les compteurs G1 ou G3

ii) Sur la bande 0-100 kHz :

Uniquement ici par analogie, le champ aux fréquences CPL est indiqué en μT au lieu d'A/m. La valeur maximale du champ magnétique à la fréquence de 35 kHz est $0,02 \mu\text{T}$. Sur le reste des fréquences CPL (35-90 kHz), il est inférieur à $0,01 \mu\text{T}$.

Le champ magnétique des émissions CPL est donc très inférieur au champ à 50 Hz, mais la comparaison est d'interprétation complexe, car l'interaction du champ avec le corps humain varie fortement avec la fréquence, et les valeurs limites sont très différentes à 50 Hz et aux fréquences CPL.

6.4 SYNTHÈSE DES MESURES EN LABORATOIRE

Le champ magnétique maximum mesuré à une dizaine de centimètres autour des compteurs G1 et G3 aux fréquences CPL est de l'ordre de 1 à 2 centièmes d'ampère par mètre.

Les niveaux des compteurs G3 sont inférieurs à ceux des compteurs G1.

Le champ magnétique émis par les compteurs CPL n'est pas modifié par la consommation électrique du compteur.

Les mesures large bande indiquent des valeurs qui peuvent intégrer des signaux sans lien avec une émission CPL. Il est donc important d'identifier la forme du signal avec un analyseur de spectre si on souhaite effectuer une mesure précise des signaux CPL.

7. MESURES SUR LE TERRAIN CHEZ DES PARTICULIERS

Pour caractériser les niveaux d'exposition de personnes ayant un compteur Linky à leur domicile, des mesures de champ électromagnétique produit autour de compteurs installés chez des particuliers ont été réalisées. Huit mesures ont été effectuées à Montlouis sur Loire sur des compteurs situés à l'extérieur de l'habitation (Montlouis 1 à 8), et une mesure sur un compteur situé en intérieur (Vouvray). Ces 9 compteurs étaient de type G1. Les mesures ont été faites à 20 cm des compteurs.

Ces mesures ont été complétées :

- par des mesures à distance du compteur,
- sur le réseau électrique dans des pièces proches du compteur
- ou dans des pièces éloignées du compteur.

Le signal se propage le long des fils électriques, qui ne sont souvent pas visibles ; pour être sûr d'être près des fils électriques, plusieurs mesures ont été effectuées près des prises électriques. D'autres mesures ont été effectuées au milieu des pièces de vie, séjour ou salle-à-manger, plus représentatives de « lieux de vie ».

7.1 MESURES A 20 CM DES COMPTEURS



Photo 9. Champ magnétique horizontal sur site



Photo 10. Champ magnétique vertical sur site



Photo 11. Champ magnétique parallèle sur site



Photo 12. Champ électrique sur site -
Antenne E isotropique

7.1.1 MESURE AVEC L'ANALYSEUR DE SPECTRE SANS COMMUNICATION FORCEE

Pour la 1ère mesure sur Montlouis 1, le compteur n'était pas en mode de communication forcée. Il était en mode normal ou « nominal ».



Figure 4. Sans communication forcée, le signal CPL n'est pas visible

Il n'y a pas de signaux visibles aux fréquences CPL à 63,3 et 74 kHz. Le niveau du bruit de fond autour de 60 dBμA/m est de 0,001 A/m. Une raie fine est visible à 63,3 kHz.

En comparaison, à la fréquence 50 Hz, le champ magnétique mesuré avec la sonde EHP50C à 20 cm du compteur, est proche de 0,1 A/m.

7.1.2 MESURES AVEC L'ANALYSEUR DE SPECTRE EN COMMUNICATION FORCEE

Pour les mesures suivantes, les compteurs à mesurer ont été mis en mode communication forcée pour faciliter la mesure (Montlouis 2 à 8 et Vouvray).

Avec communication forcée, le champ magnétique aux fréquences CPL est mesurable.

Une série de mesures a été effectuée sur la fréquence précise des émissions CPL à 63,3 et 74 kHz, sur un spectre étalé sur les 2 courbes en cloche de 5 kHz, soit sur une étendue de 15 kHz.



Figure 5. Mesures sur une largeur de bande de 15 kHz, à 63,3 kHz (M4) et à 74 kHz (M2)

Comme l'émission CPL a en fait lieu alternativement à 63,3 kHz ou à 74 kHz, une autre série de 2 mesures a été effectuée, une sur chaque pic, intégrée sur la largeur de bande de 5 kHz de l'émission CPL (mesure dite en mode « power channel »).



Figure 6. Mesure sur une largeur de bande de 5 kHz, à 63,3 kHz



Figure 7. Mesure sur une largeur de bande de 5 kHz, à 74 kHz

Tableau 2. Mesures de champs électrique et magnétique de compteurs G1 aux fréquences CPL
Enregistrements sur une largeur de bande de 15 kHz incluant les 2 fréquences
de 63,3 kHz et 74 kHz ou de 5 kHz à chacune de ces 2 fréquences

	Champ magnétique H (A/m)				Champ électrique E (V/m)	
Fréquence (kHz)	63,3 kHz		74 kHz		63,3 kHz	74 kHz
Largeur de bande	15 kHz	5 kHz	15 kHz	5 kHz	5 kHz	5 kHz
Montlouis 2		0,005		0,010	1,0	2,2
Montlouis 3		0,008		0,005	0,40	0,98
Montlouis 4	0,019	0,011	0,048	0,036	1,5	3,9
Montlouis 5	0,011		0,036			
Montlouis 6	0,004	0,004	0,007	0,006		
Montlouis 7	0,007	0,003	0,009	0,003	0,32	0,41
Montlouis 8		0,002		0,002	0,21	0,24
Vouvray	0,023	0,019	0,047	0,021	1,8	2,8

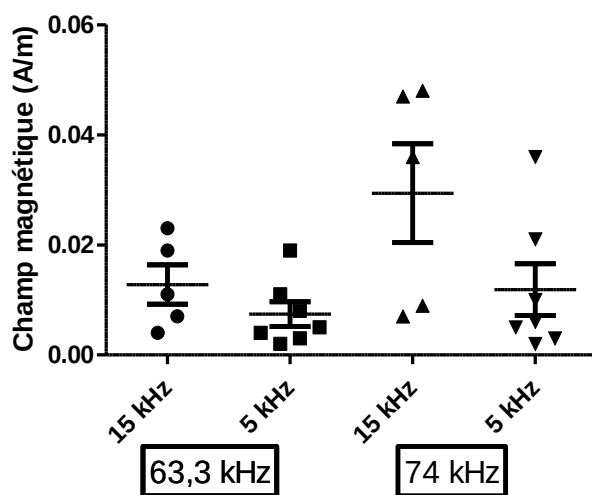


Figure 8. Champ magnétique à 20 cm
du compteur (moyenne $\pm$ EM).
EM est l'écart à la moyenne,
ou intervalle de variabilité.
La valeur limite ou niveau de référence
est de 5 A/m.

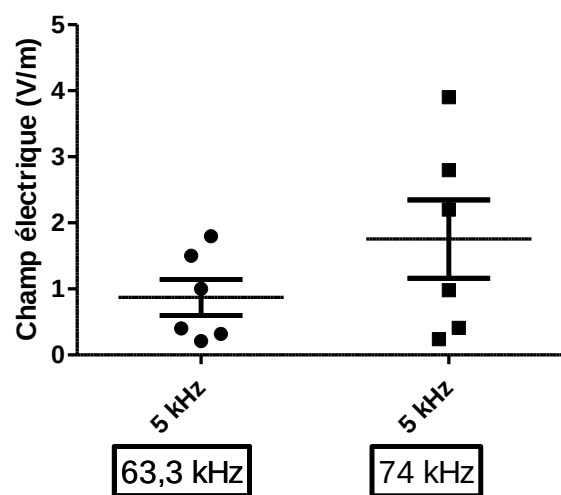


Figure 9. Champ électrique à 20 cm
du compteur (moyenne $\pm$ EM).
EM est l'écart à la moyenne,
ou intervalle de variabilité.
La valeur limite ou niveau de référence
est de 87 V/m.

A 20 cm du compteur, le champ magnétique lié aux émissions CPL est très variable d'un compteur à l'autre (0,002 – 0,048 A/m), mais toujours inférieur à 0,05 A/m, soit 100 fois moins que la valeur limite de 5 A/m.

Le champ électrique est compris entre 0,2 et 3,9 V/m, soit 20 fois moins que la valeur limite de 87 V/m.

Les niveaux de champ magnétique mesurés sont du même ordre de grandeur que ceux mesurés en laboratoire.

Les mesures intégrées sur une bande de 5 kHz sont légèrement inférieures, mais du même ordre de grandeur que les mesures à la fréquence précise CPL sur un spectre étalé sur 15 kHz.

Les écarts sont très inférieurs à la variabilité du champ entre les différents compteurs. L'incertitude sur la chaîne de mesures est de l'ordre de 5,1 dB, soit moins d'un facteur 2, très inférieure à la variabilité du niveau de champ d'un compteur à l'autre, d'un facteur 40.

Quelques mesures ont montré une raie très fine à 63,3 kHz, non reproductible, visible aussi sans émulation et qui semble donc être un artefact sur le réseau ce jour-là. Cette raie était le plus souvent inférieure à 0,05 A/m, et a atteint une fois un maximum de 1,6 A/m.

Les mesures à la fréquence de 74 kHz sont légèrement supérieures, mais du même ordre de grandeur que les mesures à la fréquence de 63,3 kHz (pas de différence statistiquement significative).

7.1.3 MESURES DU CHAMP MAGNETIQUE A 50 Hz AVEC LE CHAMPMETRE

Avec le champmètre PMM 8053, le champ magnétique aux fréquences CPL n'est pas détectable. Le champ à 50 Hz est lié à l'alimentation électrique de l'habitation. Les mesures à 50 Hz sont présentées ci-dessous.

Tableau 3. Mesures à 50 Hz avec le champmètre PMM 8053

Fréquence	Induction magnétique (μT)						
	Montlouis 1	2	3	4	5	6	7
50 Hz	0,11	0,05	0,10	0,06	0,06	0,40	0,25

L'induction magnétique à 50 Hz sur le terrain est plus faible que certaines valeurs mesurées au laboratoire. Comme en laboratoire, les niveaux des émissions CPL sont plus faibles que les niveaux à 50 Hz, et très inférieurs à la valeur limite à cette fréquence, de 100 μT. Ils sont aussi variables (0,005-0,40 μT). Lors d'une communication forcée CPL, le niveau est du même ordre que sur un compteur sans communication forcée (0,11 μT sur Montlouis 1).

7.2 MESURES A DISTANCE DU COMPTEUR

Afin d'identifier comment évolue le champ électromagnétique avec la distance au compteur, 2 types de mesures ont été réalisées :

- * des mesures de champ dans l'air en s'éloignant progressivement du compteur
- * des mesures de champ sur le réseau électrique de l'habitation au niveau de prises de courant à différentes distances du compteur.

7.2.1 MESURES EN FONCTION DE LA DISTANCE AU COMPTEUR

En laboratoire, dès qu'on s'éloigne du compteur à 1m50, le champ magnétique est de 0,0001 A/m, soit dans le bruit de fond, et l'émission CPL n'est plus mesurable (mesure avec l'antenne boucle HMDA100 en mode autonome).

Sur le terrain, le champ électrique et le champ magnétique ont aussi été mesurés en fonction de la distance au compteur, à Vouvray pour le champ électrique, à Montlouis 7 pour le champ magnétique :

Tableau 4. Mesure du champ en fonction de la distance

Distance	Champ électrique E (V/m)		Champ magnétique H (A/m)	
	63,3 kHz	74 kHz	63,3 kHz	74 kHz
20 cm	1,8	2,8	0,003	0,003
50 cm	0,33	0,40	0,0006	0,0005
1 m	0,10	0,12	0,0008	0,0002

Le champ électrique et le champ magnétique ont diminué d'un facteur 5 à 7 à 50 cm du compteur, et sont encore plus faibles à 1 m. Le champ magnétique à 63,3 kHz à 1 m n'est pas moindre qu'à 50 cm, car le niveau à cette fréquence est déjà de l'ordre du bruit de fond pour ce compteur. D'autres mesures effectuées par l'ANFR en laboratoire montrent la décroissance du champ avec la distance.

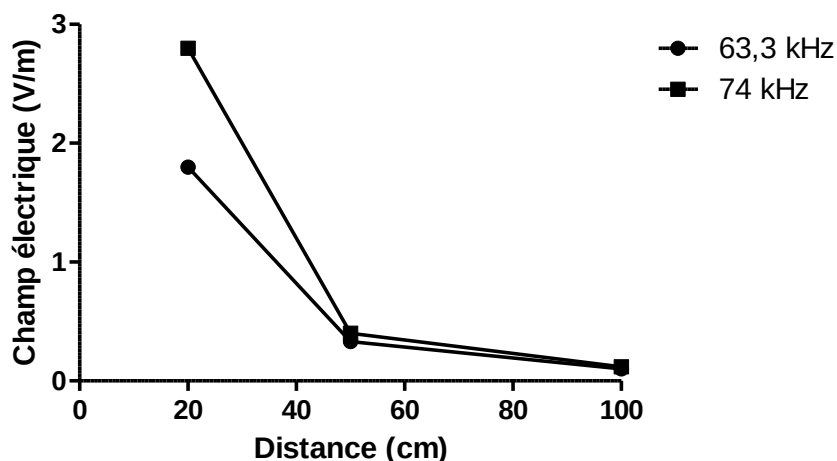


Figure 10. Décroissance du champ électrique avec la distance au compteur

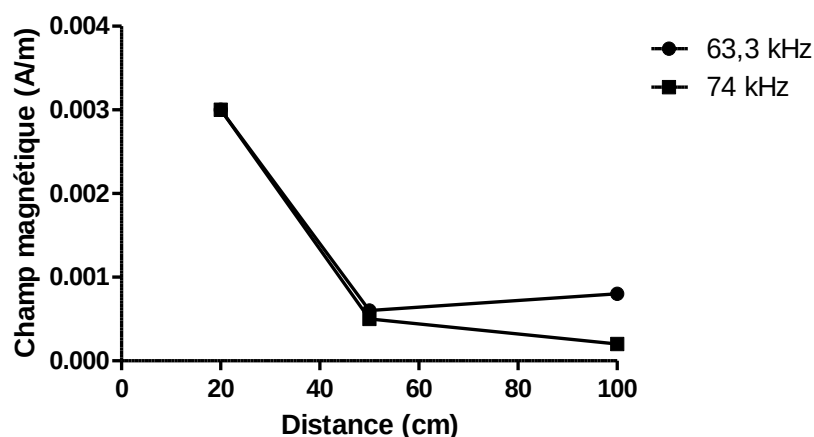


Figure 11. Décroissance du champ magnétique avec la distance au compteur

7.2.2 MESURES SUR LE RESEAU ELECTRIQUE OU AU MILIEU D'UNE PIECE DE VIE

A Vouvray, le compteur était à l'intérieur de l'habitation et une mesure a été effectuée sur une prise de la cuisine située à une distance de 4,7 m du compteur ; sur Montlouis, les compteurs étaient à l'extérieur, et les mesures ont été effectuées dans une pièce proche de l'entrée (cuisine) ou plus à distance (chambre, séjour ou salle-à-manger). Ces mesures ont été effectuées de façon intégrée sur une bande de fréquence de 5 kHz autour de chaque fréquence CPL en mode « power channel ».

7.2.2.1 CHAMP MAGNETIQUE

Tableau 5. Champ magnétique à 20 cm du compteur, sur le réseau électrique à distance du compteur ou au milieu d'une pièce de vie

Champ magnétique H (A/m)	Compteur à 20 cm	Prise pièce proche du compteur ou de l'entrée	Prise pièce à distance du compteur ou de l'entrée	Niveau ambiant séjour ou salle-à-manger
63,3 kHz				
Vouvray	0,019	0,00006	0,00002	
Montlouis 3	0,008			0,0002
Montlouis 4	0,011	0,0002		
Montlouis 6	0,004	0,0005		
Montlouis 8	0,002		0,0002	0,0002
74 kHz				
Vouvray	0,021	0,00006	0,00002	
Montlouis 3	0,005			0,0002
Montlouis 4	0,036	0,0002		
Montlouis 6	0,006	0,0007		
Montlouis 8	0,002		0,0002	0,0002

Devant une prise à distance dans la pièce du compteur ou près de l'entrée, le champ magnétique est inférieur à 0,0007 A/m et est encore plus faible dans les pièces à distance.

7.2.2.2 CHAMP ELECTRIQUE

Tableau 6. Champ électrique sur le réseau électrique à distance du compteur ou au milieu d'une pièce de vie

Champ électrique E (V/m)	Compteur	Prise pièce proche du compteur ou de l'entrée	Prise pièce à distance du compteur ou de l'entrée	Niveau ambiant séjour ou salle-à-manger
63,3 kHz				
Montlouis 3	0,4			0,007
Montlouis 4	1,5	0,01		
Montlouis 6	1,1 ^c	0,03		
Montlouis 8	0,21		0,005	0,005
74 kHz				
Montlouis 3	1,0			0,004
Montlouis 4	3,9	0,04		
Montlouis 6	0,7 ^d	0,06		
Montlouis 8	0,24		0,008	0,010

Devant une prise à distance dans la pièce du compteur, le champ électrique est inférieur à 0,06 V/m, et inférieur à 0,01 V/m dans les autres pièces.

^c Mesure sur fréquence CPL, bande 15 kHz

^d idem

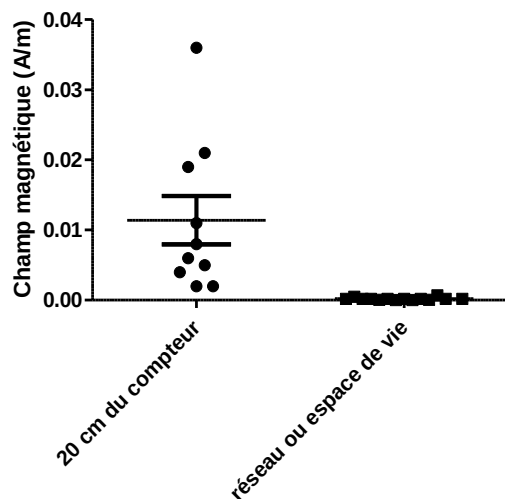


Figure 12. Mesure du champ magnétique à 20 cm du compteur ou à distance sur le réseau électrique (moyenne $\pm$ EM)
EM est l'écart à la moyenne, ou intervalle de variabilité.

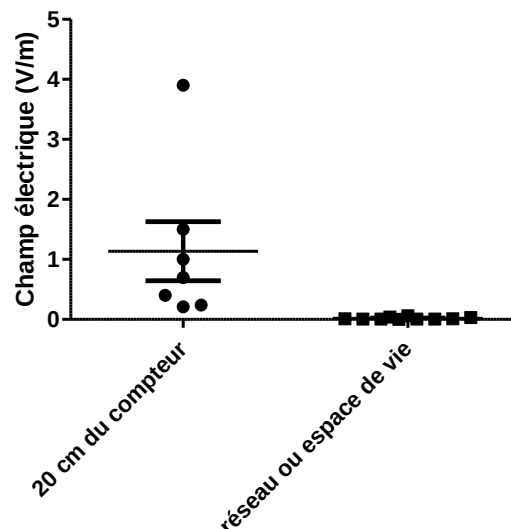


Figure 13. Mesure du champ électrique à 20 cm du compteur ou à distance sur le réseau électrique (moyenne $\pm$ EM)
EM est l'écart à la moyenne, ou intervalle de variabilité.

7.3 REPRODUCTIBILITE DES MESURES A DES PERIODES DIFFERENTES

Sur 2 compteurs, des mesures ont eu lieu en décembre 2015 et en avril 2016, soit sur une bande de 15 kHz, soit sur une bande de 5 kHz. Les résultats sont présentés dans le Tableau 7 ci-après.

Tableau 7. Reproductibilité des mesures à des périodes différentes : décembre 2015 et avril 2016

H (A/m)	Décembre 2015	Avril 2016		Décembre 2015	Avril 2016	
Fréquence	63,3 kHz			74 kHz		
Largeur de bande	15 kHz	15 kHz	5 kHz	15 kHz	15 kHz	5 kHz
4	0,024	0,019	0,011	0,075	0,048	0,036
6	0,007	0,004	0,004	0,006	0,007	0,006

Le niveau du champ magnétique peut varier d'une fois sur l'autre de près d'un facteur 2, mais reste du même ordre de grandeur. Il est globalement plus faible en avril 2016 qu'en décembre 2015. Là aussi, la variabilité de la mesure est très inférieure à celle existant entre les compteurs.

7.4 VARIABILITE DU CHAMP EN FONCTION DE LA MARQUE DU COMPTEUR

Pour étudier les facteurs de variabilité des mesures, 2 conditions ont été analysées :

1. Mesures sur 3 compteurs de marques différentes A, B et C
2. Mesures sur plusieurs compteurs d'une même marque

Tableau 8. Variabilité du champ en fonction de la marque du compteur. Mesures à 20 cm.

	A		B		C	
	63,3 kHz	74 kHz	63,3 kHz	74 kHz	63,3 kHz	74 kHz
	Vouvray		Montlouis 6		Montlouis 5	
H (A/m)	0,019	0,021	0,004	0,006	0,011	0,036
E (V/m)	1,8	2,8				
					Montlouis 7	
H (A/m)					0,003	0,003
E (V/m)					0,32	0,41
					Montlouis 3	
H (A/m)					0,008	0,005
E (V/m)					0,40	0,98
					Montlouis 2	
H (A/m)					0,005	0,010
E (V/m)					1,0	2,2

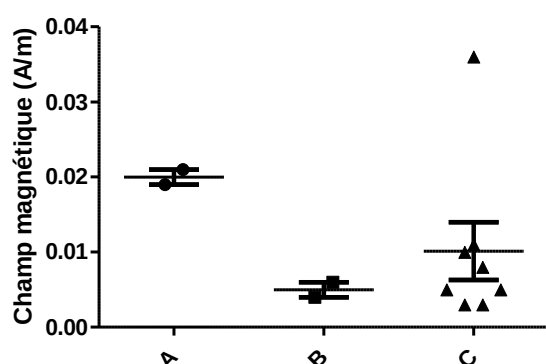


Figure 14. Champ magnétique pour des compteurs de marque différente (moyenne $\pm$ EM).
EM est l'écart à la moyenne, ou intervalle de variabilité.

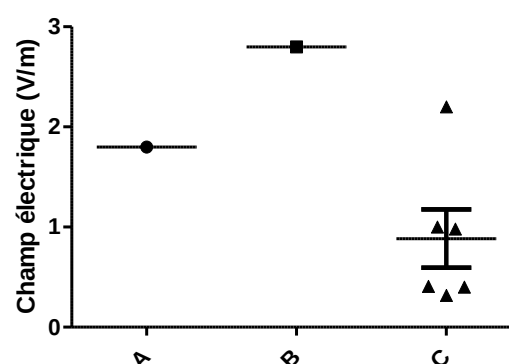


Figure 15. Champ électrique pour des compteurs de marque différente (moyenne $\pm$ EM).
EM est l'écart à la moyenne, ou intervalle de variabilité.

Pour plusieurs compteurs de la même marque, le niveau de champ magnétique varie de façon importante, entre 0,003 et 0,036 A/m.

Le niveau de champ magnétique sur 2 autres compteurs est compris dans ce même intervalle. Le champ électrique est également variable. La variabilité semble donc aléatoire et plus liée à l'emplacement du compteur qu'à sa marque. Des mesures plus nombreuses seront nécessaires pour confirmer cette observation.

8. SYNTHESE - CONCLUSION

8.1 MESURES EN LABORATOIRE

Le champ magnétique maximum mesuré à une dizaine de centimètres autour des compteurs G1 et G3 est de quelques centièmes d'ampère par mètre. Les résultats de l'ensemble des mesures effectuées sont inférieurs aux niveaux d'exposition de référence définis dans la recommandation européenne 1999/599/CE.

L'introduction d'une charge résistive mimant une consommation électrique sur un équipement électroménager ne modifie pas le champ électromagnétique aux fréquences CPL.

8.2 MESURES DE TERRAIN A MONTLOUIS SUR LOIRE ET VOUVRAY

En fonctionnement nominal, le champ magnétique aux fréquences CPL n'est pas détectable.

En mode communication forcée, le champ magnétique est variable d'un compteur à l'autre (0,006 à 0,048 A/m). La valeur moyenne relevée à 20 cm d'un compteur est néanmoins toujours très inférieure à la valeur d'exposition recommandée (5 A/m).

Le champ électrique à 20 cm d'un compteur est inférieur à 4 V/m, là encore très inférieur à la valeur d'exposition recommandée (87 V/m).

Les niveaux de champ mesurés sur le terrain sont équivalents à ceux mesurés en laboratoire. Les mesures de champ magnétique effectuées en avril 2016 sont du même ordre de grandeur que celles mesurées en décembre 2015.

Par ailleurs, le champ magnétique décroît rapidement avec la distance au compteur, et il est bien plus faible le long du réseau électrique qu'à proximité du compteur.

8.3 PERSPECTIVES

Un plus grand nombre de mesures permettrait de calculer la variabilité statistique des niveaux de champ avec plus de précision et de préciser la décroissance du champ en fonction de la distance aux compteurs, notamment pour ces compteurs à l'intérieur d'habitations et en fonction du type d'habitat.

Il serait intéressant d'effectuer une mesure en fonctionnement nominal pendant l'émission pour vérifier qu'elle est comparable au mode de communication forcée.

Afin de définir un protocole de mesure commun pour l'ensemble des compteurs existants et à venir, il serait pertinent d'effectuer des mesures sur une largeur de bande plus importante de 55 kHz (de 35 à 90 kHz, fréquence centrale 62,5 kHz), couvrant les 2 fréquences CPL des compteurs de type G1 et l'émission large bande des compteurs de type G3.



INERIS

*maîtriser le risque
pour un développement durable*

Institut national de l'environnement industriel et des risques

Parc Technologique Alata
BP 2 - 60550 Verneuil-en-Halatte

Tél. : +33 (0)3 44 55 66 77 - Fax : +33 (0)3 44 55 66 99

E-mail : ineris@ineris.fr - **Internet :** <http://www.ineris.fr>