

ANALYSE TECHNIQUE DU RAPPORT FINAL

" CONVENTION RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT ANSES CSTB "

N°2016-CRD-16

« ÉVALUATION DE L'EXPOSITION DE LA POPULATION AUX CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES ÉMIS DANS LES LOGEMENTS PAR LES COMPTEURS COMMUNICANTS D'ÉLECTRICITÉ LINKY »

N/Réf. DSC/ECE/2017-011/FG/BG

CSTB - Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

Division Eclairage et Electromagnétisme
24 Rue Joseph Fourier
38400 SAINT-MARTIN-D'HERES
04 76 76 25 25
www.cstb.fr

1 -	INTRODUCTION	2
2 -	ANALYSE PAR PAGE DU RAPPORT CSTB	2
2.1 -	p 10/45 Table 2-1 : matériel utilisé pour le mesures	2
2.2 -	p 11/45 "Enedis a prêté au CSTB deux compteurs Linky	2
2.3 -	p 13/45 Analyse spectrale 30 kHz à 100 kHz avec fenêtre de pondération de Van Hann.....	3
2.4 -	p 15/45 Table 3-2 : caractérisation des charges électriques utilisées	4
2.5 -	p 16/45 Table 3-3: tension émise par les compteurs G1 et G3 prêtés par Enedis.	4
2.6 -	p 16/45 Courant émis par les compteurs G1 et G3 prêtés par ENEDIS	5
2.7 -	p 18/45 Données incomplètes impossibles à comparer au Décret 2002-775.....	6
3 -	CALCUL DE L'ERREUR DE MESURE DU CHAMP MAGNÉTIQUE RÉSULTANT ENTRE VALEUR CRÊTE DU SPECTRE ET INTÉGRALE SUR LA BANDE FRÉQUENCE DU CPL	7
3.1 -	Cas du spectre du champ magnétique en CPL G3:.....	8
3.2 -	p 18/45 Estimation du champ magnétique émis par la rallonge électrique du CSTB en G1	9
3.3 -	p 35/45 Différences entre les valeurs annoncées en table et sur les graphes de spectres présentés	10
3.4 -	Champs magnétiques haute fréquence émis par des appareils domestiques courants	11
3.4.1 -	p 37/45 Champ magnétique émis par un écran plat ordinateur	11
3.4.2 -	p 38/45 Champ magnétique émis par des tubes fluorescents en plafond de laboratoire.....	11
3.4.3 -	p 42/45 Champ magnétique émis par une plaque à induction de cuisine.....	12
3.5 -	Relevés de Spectre de champ magnétique en situation réelle - document EDF R&D France CIRED..	13
3.6 -	Bande spectrale d'analyse du spectre de champ magnétique du document EDF R&D France	14
4 -	CONCLUSIONS.....	15
4.1 -	Niveaux constatés dans le rapport toujours faibles.....	15
4.1.1 -	Courant CPL émis par les compteurs LINKY.....	15

1 - INTRODUCTION

Le rapport final du CSTB « **Evaluation de l'exposition de la population aux champs électromagnétiques émis dans les logements par les compteurs communicants d'électricité « LINKY »** », référencé **2016-CRD-16** décrit les mesures de l'émission du champ magnétique par le courant CPL LINKY dans plusieurs configurations définies par le CSTB. Il comporte des informations intéressantes, mais souffre aussi d'irrégularités techniques, dont une au moins est importante.

Nous proposons au lecteur d'avancer dans le rapport page par page, avec [nos commentaires dans le texte imprimés en bleu](#).

2 - ANALYSE PAR PAGE DU RAPPORT CSTB

p 10/45 "Les niveaux de champ magnétique relevés sont des valeurs instantanées maximales, conformément au décret n°2002-775 sur les valeurs limites d'exposition aux ondes électromagnétiques⁵. La durée des communications CPL Linky ne modifie donc pas les valeurs mesurées."

Nous comprenons ici que le CSTB relève bien les valeurs crête du champ magnétique dans les fréquences du CPL, et non des valeurs moyennées. Cette mesure donne donc le pire cas.

p 10/45 "La bande de fréquences mesurée, dite « bande de fréquences CPL Linky » est située entre 30 kHz et 95 kHz. Elle intègre l'ensemble des 36 porteuses en technologie G3 et les deux fréquences porteuses en technologie G1. Dans le cas du CPL G1, des mesures spécifiques en bande étroite ont également été réalisées autour des deux fréquences porteuses (63,3 et 74 kHz)"

2.1 - **p 10/45** Table 2-1 : matériel utilisé pour le mesures

Equipement	Modèle	Caractéristiques techniques
Analyseur de spectre	Narda SRM 3006	9 kHz – 6 GHz
Antenne de champ magnétique	Three Axis H-field 3581/02	9 kHz – 250 MHz 2,5 µA/m à 560 mA/m
Oscilloscope numérique	Teledyne LeCroy 640Zi	4 GHz – 4 canaux
Sonde différentielle de tension	Teledyne LeCroy HVD3102	1 kV, 25 MHz
Sonde de courant	Teledyne LeCroy CP030A+	30 A rms CC - 50 A peak 50 MHz bandwidth - 1 mA/div
Réseau stabilisateur d'impédance de ligne (RSIL)	Rohde & Schwarz HM6050-2	10 kHz à 30 MHz, $Z_{\text{entrée}} = 50 \Omega // (50 \mu\text{H} + 5 \Omega)$
Analyseur de puissance	Chauvin Arnoud CA 8230	Puissances : W, VA, var, DF, THD, $\cos \varphi$, $\tan \varphi$ Harmoniques: jusqu'au rang 50
Impédance-mètre et testeur d'installation électrique	FLUKE 1654B	Mesure de l'impédance de ligne/boucle

2.2 - **p 11/45** "Enedis a **prêté** au CSTB deux compteurs Linky

- Compteur G1 de marque Itron (T10624) : une commande logicielle permet de forcer le compteur à émettre de façon répétée des communications CPL
- Compteur G3 de marque SAGEMCOM : un interrupteur placé sur le Compteur permet de forcer le Compteur à émettre de façon répétée des communications CPL.

Le niveau du courant émis a été paramétré par ENEDIS en interne des compteurs lors de leur prêt au CSTB. Nous verrons § 2.6 qu'ils sont 8 fois plus faibles que le maximum possible de leur capacité d'émission de courant CPL.

2.3 - **p 13/45** Analyse spectrale 30 kHz à 100 kHz avec fenêtre de pondération de Van Hann

"Les mesures de champ magnétique sont réalisées avec l'antenne tri axe et l'**analyseur de spectre SRM 3006**. La largeur de bande du filtre de résolution est de 50 Hz pour les mesures sur la bande de fréquences 30 kHz – 95 kHz. L'antenne est placée sur un trépied isolant à 20 cm du câble électrique

« largeur de bande du filtre de résolution (RBW) : **50 Hz** »

La largeur de la fenêtre d'analyse spectrale d'un analyseur de spectre est un paramètre essentiel pour les mesures. Plus elle est fine, plus elle révèle des raies d'énergie individualisées. Mais dans cas, la densité spectrale de puissance collectée dans une fenêtre d'analyse étroite diminue.

Et donc, lorsque l'on désire obtenir la puissance résultante d'un signal dont la bande spectrale est supérieure à la fenêtre d'analyse, objectif explicite que se donne le CSTB dans son rapport, les **lois de la physique imposent** de réaliser une **intégrale de la densité spectrale de puissance** quadratique sur la totalité du spectre de signal analysé. Or, le CSTB se contente de donner la valeur maximale du spectre du champ magnétique collecté dans diverses mesures. Ce choix, erroné à minima ou intentionnel, minimise nous le verrons plus bas d'un facteur très important les valeurs annoncées dans ce rapport.

« Analyse spectrale 30 kHz à 95 kHz »

Cette bande spectrale est correcte pour observer les courants et les champs magnétique du courant CPL G1 et G3 à leur fréquence fondamentale. En revanche, elle ne prend pas en compte les éventuelles harmoniques supérieures de ces signaux, Ce choix du CSTB masque surtout les 'harmoniques 3' du CPL qui se situent entre **90 et 300 kHz**. Les valeurs mesurées sont donc forcément inférieures au champ magnétique réel.

Le niveau moyen dans la bande CPL Linky est de **0,1×10⁻⁵ μT**, pour un niveau maximum de **0,7×10⁻⁵ μT**."

Ce sont des niveaux mesurés avec un fenêtrage en bande étroite 50 Hz. La valeur RMS s'obtient en intégrant quadratiquement la densité spectrale sur la bande du signal utile du CPL, 30 à 95 kHz. Pour un bruit blanc constant sur la bande du CPL, le coefficient multiplicateur pour obtenir la valeur pic pleine bande est de **36**. Sa formule figure dessous. L'intégrale quadratique s'explique par le fait que nous additionnons des niveaux décorrélés temporellement, aléatoires. La résultante vectorielle intégrée sur la bande impose donc de prendre la racine de ces bandes.

$$\text{Ratio "iso niveau"}_{\text{PLEINE BANDE}} = \sqrt{\frac{(95\text{kHz} - 30\text{kHz})}{0,05\text{kHz}}} \approx 36,05$$

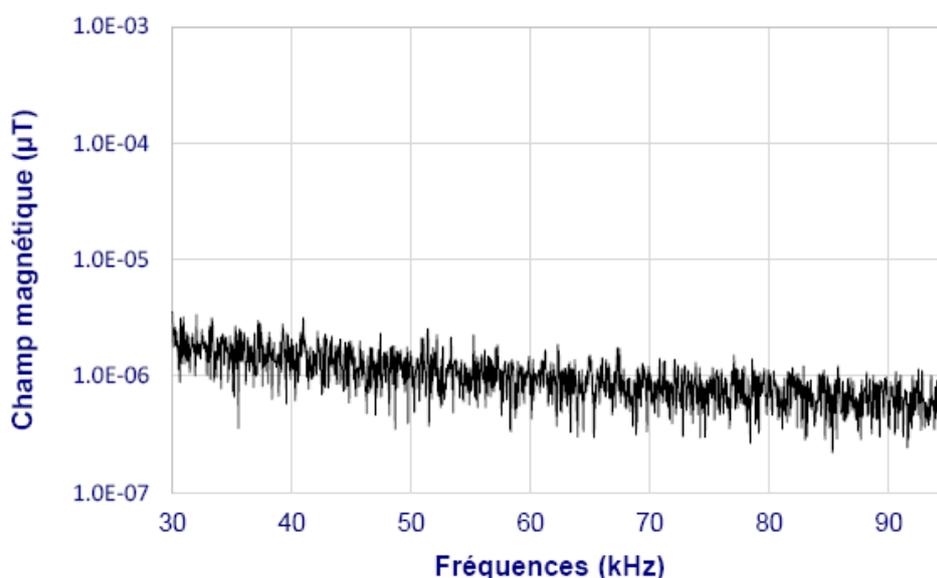


Figure 3-4: niveau de champ magnétique mesuré dans la chambre anéchoïque du CSTB

La courbe de bruit ambiant magnétique dans la chambre anéchoïque du CSTB en figure 3-4 est mesurée avec une bande d'analyse très fine de **50 Hz**. Elle **doit être intégrée sur la bande** des fréquences entre **30 kHz et 95 kHz** pour avoir la valeur pic résultante du champ ambiant.

La valeur centrale de la figure 3-4 est d'environ **1,2 pico tesla**. Intégrée quadratiquement sur la bande **30-95 kHz**, la valeur du champ magnétique pic en chambre anéchoïque est de : **0,044 nT pic**, valeur faible mais réaliste.

nota : **1 pico tesla** intégré sur une bande plus large 10 kHz – 1 MHz, donne **0,14 nT pic**. Or nos relevés avec un champmètre large bande 10 kHz – 1 MHz indiquent justement **0,15 nT pic** dans un sous-sol urbain.

L'anomalie de présentation des mesures de champ magnétique par le CSTB est **grave** d'un point de vue strictement technique. Nous allons voir ci après que le **CSTB annonce dans tout son rapport des valeurs de densité spectrale en bande étroite au lieu des champs magnétiques large bande en présence de CPL**, et de plus, les compare directement au champ maximal prévu par le décret 2002-775, ce qui est une **erreur technique avérée**.

2.4 - **p 15/45** Table 3-2 : caractérisation des charges électriques utilisées

Charge électrique en aval du compteur		Courant	Puissance active	Puissance apparente	Puissance réactive	Impédance à 50 Hz (Ohms)	Angle de phase entre courant et tension
		A (rms)	W	VA	VAR		
n°2	Lampe 40 W	0,2	43,3	43,3	0,8	1336 + j×25	1,0°
n°3	Radiateur 2000W	8,5	1983,2	1983,2	11,9	27 + j×0,2	-0,3°
n°4	Chargeurs / alimentations	0,1	1,4	25,4	-25,4	2306 - j×2303	86,9°

L'impédance imaginaire du chargeur $Z_{im}=2306 \text{ i}\Omega$ permet de calculer à **50 Hz** la capacité d'entrée de ces chargeurs par la formule dessous. Elle est de **1,38 microfarads**.

$$C_{equ.CHARGEUR} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot F \cdot Z_{imaginaire}} \approx 1,38 \mu\text{F}$$

A la fréquence **65kHz** du CPL, l'impédance du chargeur vu par le CPL descend à la très faible valeur de **1,77 iΩ**. Ainsi, une toute petite tension CPL induit un courant CPL important à travers les câbles électriques du logement entre le tableau électrique et la prise de courant.

Cette configuration est la plus fréquemment rencontrée car tous les appareils modernes à alimentation à découpage comportent un condensateur de forte valeur en entrée.

2.5 - **p 16/45** Table 3-3: tension émise par les compteurs G1 et G3 prêtés par Enedis.

Compteur	Emission CPL	Charge électrique en aval du compteur	Tension crête - crête	Tension dBμV
G1	activée	Sans charge	926 mV	110.3 dBμV
		Lampe 40W	944 mV	110.5 dBμV
		Chargeurs / alimentations	444 mV	103.9 dBμV
G3	activée	Sans charge	1228 mV	112.8 dBμV
		Lampe 40W	1180 mV	112.4 dBμV
		Chargeurs / alimentations	660 mV	107.4 dBμV

"Le compteur adapte donc son niveau d'émission CPL en fonction de l'impédance qu'il détecte dans la bande de fréquence CPL. Dans le cas de faibles impédances, comme les charges très capacitives, **le niveau d'émission sera plus faible.**"

FAUX : c'est l'inverse. Une charge capacitive excessive dans un logement absorbe beaucoup du courant CPL émis et reçu par le compteur. Elle affaiblit donc aussi le courant envoyé vers l'extérieur par le compteur. Pour compenser cette atténuation, le protocole CPL LINKY qui est adaptatif, va envoyer une requête d'augmentation du niveau d'émission au compteur, augmentant d'autant le champ rayonné dans le domicile. Dans le rapport CSTB, la tension du signal CPL décroît avec le chargeur capacitif parce qu'il n'y a PAS de concentrateur pour réagir adaptativement à l'atténuation.

2.6 - **p 16/45** Courant émis par les compteurs G1 et G3 prêtés par ENEDIS

Table 3-6 : mesures de courant électrique maximum en amont et en aval du compteur G1

Alimentation électrique	G1		Charge électrique	
	Amont du compteur	Aval du compteur		
	Avec communication CPL	Avec communication CPL		Sans charge
	103,8 mA 201,2 mA 82,7 mA	2,6 mA 9,6 mA 127,8 mA		Radiateur 2000 Watts Chargeurs / alimentations

Table 3-7 : mesures de courant électrique maximum en amont et en aval du compteur G3

Alimentation électrique	G3		Charge électrique	
	Amont du compteur	Aval du compteur		
	Avec communication CPL	Avec communication CPL		Sans charge
	58,4 mA 57,4 mA 28,7 mA	0,2 mA 2,9 mA 38,9 mA		Radiateur 2000 Watts Chargeurs / alimentations

Le courant émis par le compteur se répartit entre amont et aval.
La somme de ces deux valeurs est relativement constante avec et sans charge.

Somme des courants amont et aval G1 en G3

sans charge :	106,4 mA	58,6 mA
radiateur :	210,8 mA	60,3 mA
chargeur :	210,5 mA	67,6 mA

Les compteurs prêtés par ENEDIS émettent en absence de concentrateur dans les essais du CSTB. Aucun ordre adaptatif de modification de niveau n'est reçu d'un concentrateur. Les compteurs semblent paramétrés pour émettre un courant beaucoup plus faible que celui mesuré généralement en habitats.

Ils émettent seulement le huitième de la capacité maximale d'émission des composants électroniques bien connus sur le marché qui gèrent complètement les protocoles CPL G1 et G3 :

- **1,5 Ampère crête** pour le **APE031** en CPL G1
- **480 mA crête** le **ATMEL ATPL 250** en CPL G3.

2.7 - **p 18/45 Données incomplètes impossibles à comparer au Décret 2002-775**

Table 3-4 : mesures de champ magnétique maximum en amont et aval du compteur G1

Alimentation électrique	Amont du compteur		G1	Aval du compteur		Charge électrique
	Sans communication CPL	Avec communication CPL		Sans communication CPL	Avec communication CPL	
	0,5 × 10 ⁻⁵ μT	19,1 × 10 ⁻⁵ μT		0,7 × 10 ⁻⁵ μT	0,6 × 10 ⁻⁵ μT	Sans charge
	0,6 × 10 ⁻⁵ μT	18,8 × 10 ⁻⁵ μT		0,6 × 10 ⁻⁵ μT	0,6 × 10 ⁻⁵ μT	Lampe 40 Watts
	0,6 × 10 ⁻⁵ μT	18,6 × 10 ⁻⁵ μT		0,6 × 10 ⁻⁵ μT	2,6 × 10 ⁻⁵ μT	Radiateur 2000 Watts
	0,6 × 10 ⁻⁵ μT	7,8 × 10 ⁻⁵ μT		0,6 × 10 ⁻⁵ μT	32,7 × 10 ⁻⁵ μT	Chargeurs / alimentations

Table 3-5 : mesures de champ magnétique maximum en amont et aval du compteur G3

Alimentation électrique	Amont du compteur		G3	Aval du compteur		Charge électrique
	Sans communication CPL	Avec communication CPL		Sans communication CPL	Avec communication CPL	
	0,6 × 10 ⁻⁵ μT	5,4 × 10 ⁻⁵ μT		0,6 × 10 ⁻⁵ μT	0,6 × 10 ⁻⁵ μT	Sans charge
	0,6 × 10 ⁻⁵ μT	5,3 × 10 ⁻⁵ μT		0,6 × 10 ⁻⁵ μT	0,6 × 10 ⁻⁵ μT	Lampe 40 Watts
	0,6 × 10 ⁻⁵ μT	5,2 × 10 ⁻⁵ μT		0,6 × 10 ⁻⁵ μT	0,9 × 10 ⁻⁵ μT	Radiateur 2000 Watts
	0,6 × 10 ⁻⁵ μT	2,9 × 10 ⁻⁵ μT		0,6 × 10 ⁻⁵ μT	11,9 × 10 ⁻⁵ μT	Chargeurs / alimentations

Les valeurs des tables 3-4 et 3-5 sont des **densités spectrales de puissance** du champ magnétique sur une bande de **50 Hz** pour les CPL G1 et G3. Ce ne sont pas les valeurs du **champ magnétique pic intégré sur la bande de fréquence complète** des CPL.

Pour obtenir le **champ magnétique pic sur la bande complète**, ces valeurs doivent être intégrées entre **30-95 kHz** à minima, et entre **30-285 kHz** si on veut prendre en compte les harmoniques 3 du signal CPL. L'appareil de mesure du CSTB utilisé, le **NARDA SRM 3006** associé à l'antenne magnétique 3581/02 calcule certainement cette intégrale.

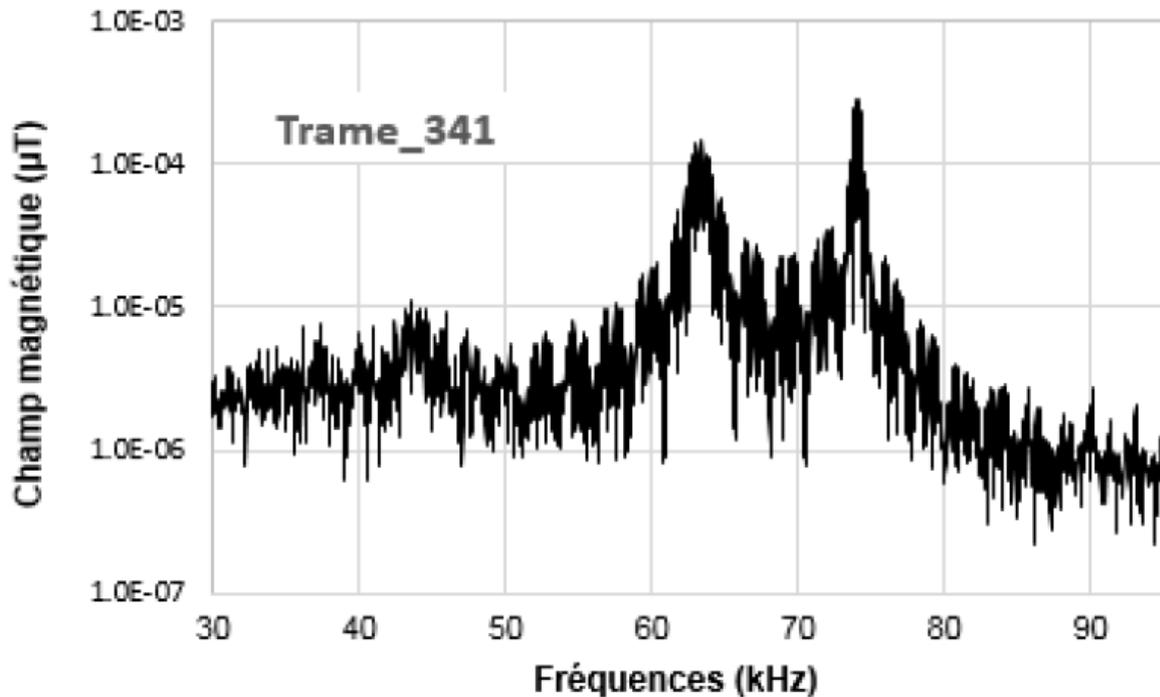
Fait aggravant, le rapport du CSTB ne montre aucun spectre de champ magnétique pour du CPL G3. Nous n'avons donc pas pu calculer le champ magnétique résultant pleine bande en CPL G3. Nous verrons plus bas qu'en regard des différences de spectre bien visibles sur les figures 3.7 et 3.8 du rapport CSTB, page 15 et 16 de leur rapport, les champs magnétiques annoncés dans le tableau récapitulatif pour le CPL G3 sont encore plus erronés que ceux du G1.

Seul, un champ magnétique émis intégré sur toute la bande spectrale du CPL englobant les premières harmoniques, et seulement dans ce cas, peut être comparé au niveau maximal du décret 2002-775.

Dans l'ensemble du rapport du CSTB sont comparées des densités spectrales de puissance de champ magnétique avec la valeur du décret 2002-775, ce qui est une faute technique avérée.

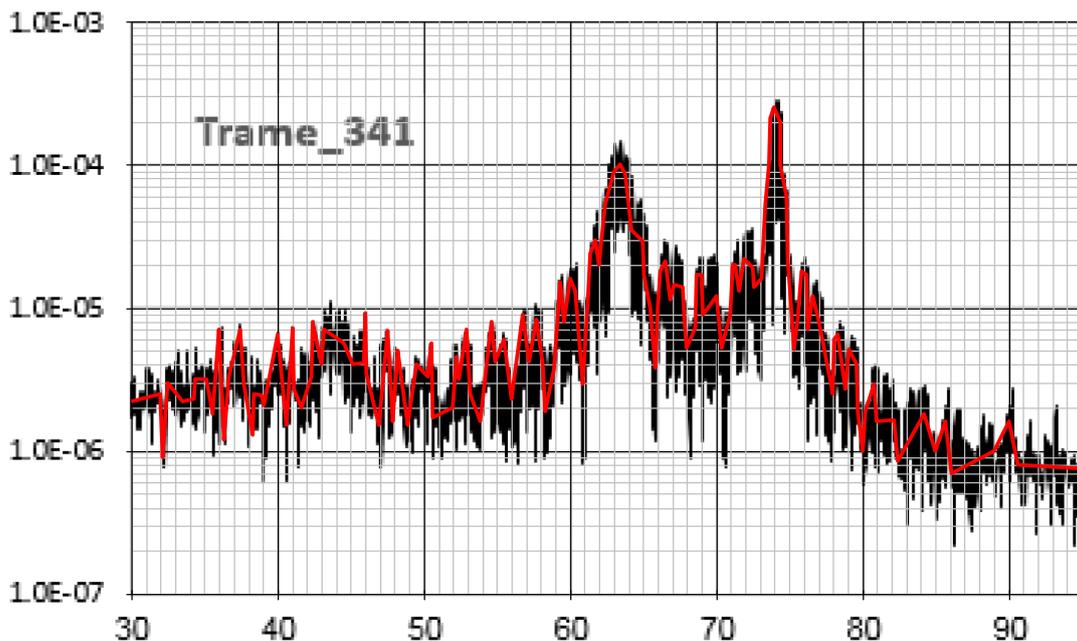
3 - CALCUL DE L'ERREUR DE MESURE DU CHAMP MAGNÉTIQUE RÉSULTANT ENTRE VALEUR CRÊTE DU SPECTRE ET INTÉGRALE SUR LA BANDE FRÉQUENCE DU CPL

Les courbes du spectre du champ magnétique en CPL G1 et G3 manquent dans le test de la rallonge en chambre anéchoïque [page 18](#). On trouve en revanche [page 35](#) plusieurs exemples du spectre du champ magnétique émis sur la voie publique en CPL G1.

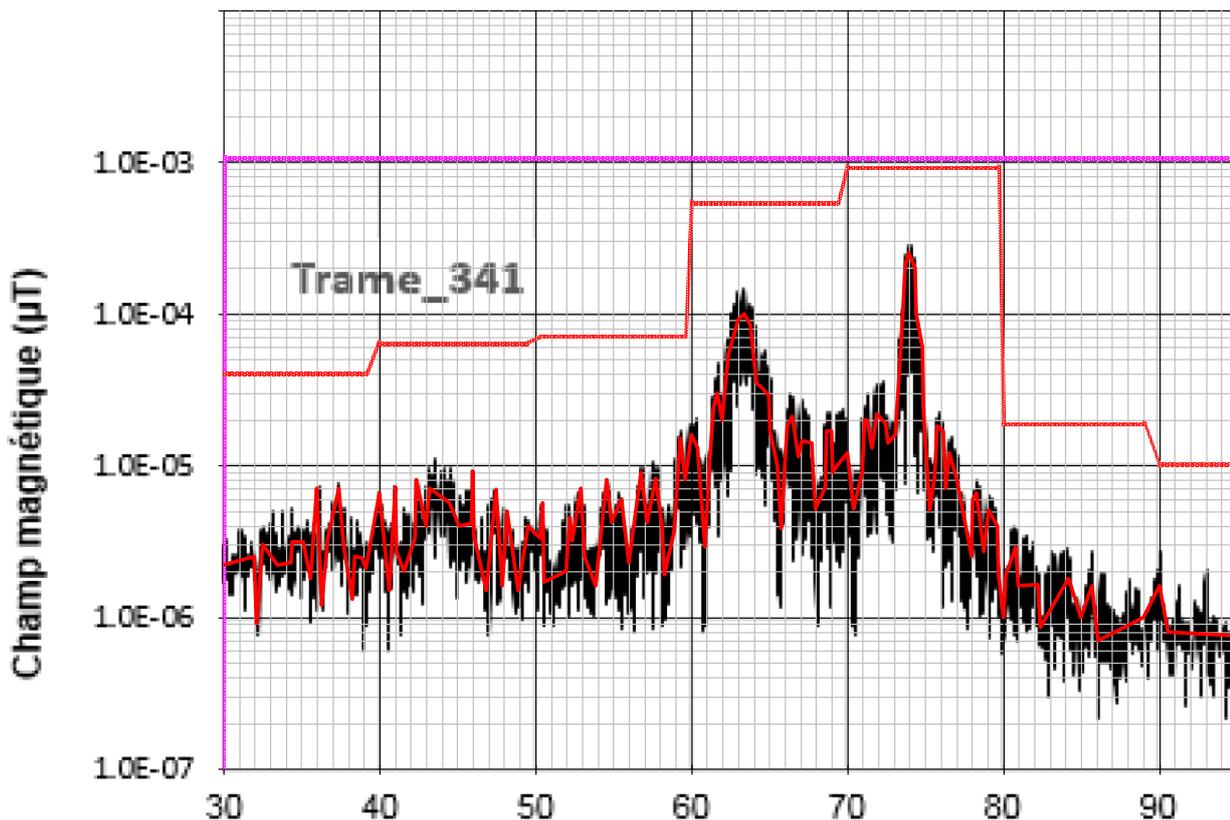


[p 35/45](#) Figure 4-16 : site PT1 « Fontenelle » - exemples de spectres de trames mesurées

Pour bien se rendre compte de la différence de valeur entre [densité spectrale de puissance](#) sur une bande de **50 Hz** annoncée par le CSTB et la [valeur pic du champ magnétique global](#), objet du décret **2002-775**, nous réalisons ici une intégration graphique quadratique de la [trame 341 p35](#) du rapport CSTB, relevée sur la voie publique [à 3 mètres devant la porte d'un transformateur ERDF](#).



Basé sur l'hypothèse d'une fenêtre fréquentielle de l'analyseur de spectre de **50 Hz**, nous additionnons quadratiquement toutes les portions évaluées graphiquement, ici en rouge.



Le résultat du calcul de l'intégration de la trame **341** donne un **champ magnétique pic pleine bande 30-95 kHz** de **1,7 nanoteslas pic**, soit **$1,07 \cdot 10^{-3} \mu\text{T}$** au lieu de la valeur maximale du CSTB sur le spectre de **$25 \cdot 10^{-5} \mu\text{T}$** .

Le rapport entre la densité spectrale maximale du graphique et le champ résultant pour le CPL G1 est de **4,3**, causé par l'étalement du spectre autour des fréquences porteuses par la modulation bi fréquences du CPL G1.

La contribution principale au champ magnétique total émis par le courant CPL modulé se situe dans les 2 décades fréquentielles de ses fréquences porteuses. Le graphique montre les énergies du champ magnétique calculées par décade.

Le trait violet supérieur indique la valeur réelle du champ magnétique pleine bande calculée par nos soins. On retrouve bien le facteur **4,3** entre la valeur pic du spectre du champ magnétique et cette valeur réelle du champ magnétique sur le site au moment de la mesure.

3.1 - Cas du spectre du champ magnétique en CPL G3:

Le rapport du CSTB ne montre aucun spectre du champ magnétique rayonné par le CPL G3.

Dans le cas d'un CPL **G3**, la différence entre le niveau maximal du spectre et l'intégration pleine bande du champ magnétique sera encore plus grande puisque le spectre du G3 est très étalé comme on peut le voir sur les figures 3-7 et 3-8 du rapport CSTB qui sont des spectres de courant CPL.

Le champ magnétique CPL émis étant strictement proportionnel au courant CPL, ces spectres sont bien représentatifs de ceux du champ magnétique émis par ces CPL.
 Les figures 3-7 et 3-8 permettent donc de bien se rendre compte de la différence importante de répartition des énergies entre les spectres du G1 et du G3.
 Il est impérativement nécessaire d'intégrer le spectre sur toute la bande 30-285 kHz pour les deux CPL.



Figure 3-7 et 3-8 (p15 et 16) : spectres des CPL G1 et G3 Linky dans la bande de fréquences CPL

3.2 - **p 18/45** Estimation du champ magnétique émis par la rallonge électrique du CSTB en G1

Pour pallier à l'erreur de mesures du rapport du CSTB, nous posons l'hypothèse que la densité spectrale du champ magnétique G1 autour de la rallonge électrique, qui ne figure pas dans le rapport du CSTB, a le même aspect que le spectre de la trame 341 qui est aussi en CPL G1.

Ainsi, nous pouvons extrapoler la valeur du champ magnétique réel autour de la rallonge avec le ratio de 4,3. Les valeurs de la table 3-4 page 18 sont les valeurs du test G1. (ces valeurs sont-elles justes ? voir § 3.3). Pour les valeurs sans CPL, nous reprenons le coefficient de 36 calculé § 2.3.

Nous ne pourrions pas faire le même estimation pour le G3, car le rapport du CSTB ne montre aucun graphique de densité spectrale magnétique avec du CPL G3, qui aurait été nécessaire pour déterminer le ratio du CPL G3.

Table 3-4 : valeur du CSTB de la densité spectrale magnétique maximum en amont et aval du compteur G1

Alimentation électrique	Amont du compteur		G1	Aval du compteur		Charge électrique
	Sans communication CPL	Avec communication CPL		Sans communication CPL	Avec communication CPL	
	0,5 × 10 ⁻⁵ μT	19,1 × 10 ⁻⁵ μT		0,7 × 10 ⁻⁵ μT	0,6 × 10 ⁻⁵ μT	Sans charge
	0,6 × 10 ⁻⁵ μT	18,8 × 10 ⁻⁵ μT		0,6 × 10 ⁻⁵ μT	0,6 × 10 ⁻⁵ μT	Lampe 40 Watts
	0,6 × 10 ⁻⁵ μT	18,6 × 10 ⁻⁵ μT		0,6 × 10 ⁻⁵ μT	2,6 × 10 ⁻⁵ μT	Radiateur 2000 Watts
	0,6 × 10 ⁻⁵ μT	7,8 × 10 ⁻⁵ μT		0,6 × 10 ⁻⁵ μT	32,7 × 10 ⁻⁵ μT	Chargeurs / alimentations

La table 3-4 du CSTB est convertie dessous en nanoteslas pour la comparer à nos valeurs.

Table 3-4 spectres de densité spectrale magnétique pic en amont et aval du compteur G1 en nanoteslas

Amont du compteur		G1	Aval du compteur		
Sans communication CPL	Avec communication CPL		Sans communication CPL	Avec communication CPL	
0,01 nT pic	0,19 nT pic		0,01 nT pic	Sans charge	
0,01 nT pic	0,19 nT pic		0,01 nT pic	Lampe 40 Watts	
0,01 nT pic	0,19 nT pic		0,03 nT pic	Radiateur 2000 Watts	
0,01 nT pic	0,08 nT pic		0,33 nT pic	Chargeurs / alimentation	

Nous ne savons pas quel pas de torsade présente la rallonge du CSTB pour leurs mesures, mais il faut savoir que le torsadage des fils est utilisé couramment par ENEDIS pour fortement réduire le champ magnétique émis par le courant électrique. Ce choix de matériel précis du CSTB pour mesurer un champ magnétique émis par le CPL minimise au maximum celui-ci.

Valeurs calculées d'après les données du CSTB du champ magnétique CPL G1 réel pic en amont et aval du compteur :

Amont du compteur		G1	Aval du compteur		
Sans communication CPL	Avec communication CPL		Sans communication CPL	Avec communication CPL	
0,18 nT pic	0,82 nT pic		0,25 nT pic	0,03 nT pic	Sans charge
0,22 nT pic	0,80 nT pic		0,22 nT pic	0,03 nT pic	Lampe 40 Watts
0,22 nT pic	0,80 nT pic		0,22 nT pic	0,11 nT pic	Radiateur 2000 Watts
0,22 nT pic	0,33 nT pic		0,22 nT pic	1,40 nT pic	Chargeurs / alimentation

Les valeurs estimées du champ magnétique réel à 20 centimètres de la rallonge du CSTB par notre calcul sont **4,3 fois plus fortes** que celles qui sont annoncées par le CSTB en CPL G1, en amont et aval du compteur.

Nous constatons en dernière ligne que la charge capacitive des chargeurs aspire beaucoup du courant CPL G1 en aval, car l'impédance de ce côté devient plus faible que celle de l'alimentation électrique externe. Attendu que le compteur Linky n'est pas connecté à un concentrateur, il n'y a aucune modification de puissance en condition de laboratoire.

En revanche, dans un logement, la multiplication de capacités dans un logement oblige le concentrateur à demander au compteur Linky d'augmenter le courant émis afin que la communication reste possible.

Nos relevés sur sites ont révélé des courants CPL sur charge capacitatives beaucoup plus importants, de l'ordre de **350 milliampères pic en G1 et 200 mA pic en G3**, soit respectivement 2.7 et 5.3 fois plus forts que les conditions du CSTB.

En définitive, les données techniques du rapport du CSTB sur lesquelles nous avons basé nos extrapolations sont ténues et peu explicites, ce qui peut expliquer notre difficulté à accéder aux valeurs du champ résultant, qui est le résultat qui aurait dû être donné. Il n'en reste pas moins que ce champ magnétique résultant du signal CPL devrait être annoncé en intégrant le spectre relevé sur toute la bande spectrale utile, ce qui n'est jamais fait dans le rapport du CSTB.

3.3 - **p 35/45 Différences entre les valeurs annoncées en table et sur les graphes de spectres présentés**

Table 4-4 : niveaux maximum de champ magnétique et estimation du nombre moyen de trames autour des postes de transformation électriques

Point de mesure Postes de transformation électrique HTA/MT	Niveau maximum de champ magnétique Bande CPL Linky : 30 - 95 kHz			Estimation du nombre moyen de trames
	Sans signal CPL Linky	Avec signal CPL Linky	Valeur Limite d'exposition	
PT1 FONTENELLE	$1,9 \times 10^{-5} \mu\text{T}$	$37 \times 10^{-5} \mu\text{T}$	6,25 μT	7 à 9 trames CPL / minute
PT2 BIGOT	$1,2 \times 10^{-5} \mu\text{T}$	$11 \times 10^{-5} \mu\text{T}$	6,25 μT	4 à 6 trames CPL / minute
PT3 COLLEGE VAILLANT	$2,3 \times 10^{-65} \mu\text{T}$	$32 \times 10^{-5} \mu\text{T}$	6,25 μT	8 à 10 trames CPL / minute

Les maximums des graphes présentés sur trois sites urbains et les chiffres annoncés dans la table 4-4 ne correspondent pas. La table est plus forte pour les deux premiers et plus faible pour PT3.

Différences entre graphes et table	N° trame	Max du graphe	table
Fig 4-16 PT1 "FONTENELLE"	341	$27 \cdot 10^{-5}$	$37 \cdot 10^{-5}$
Fig 4-17 PT2 "BIGOT"	279	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$11 \cdot 10^{-5}$
Fig 4-18 PT3 "Coll. VAILLANT"	1024	$40 \cdot 10^{-5}$	$32 \cdot 10^{-5}$

3.4 - Champs magnétiques haute fréquence émis par des appareils domestiques courants

3.4.1 - p 37/45 Champ magnétique émis par un écran plat ordinateur

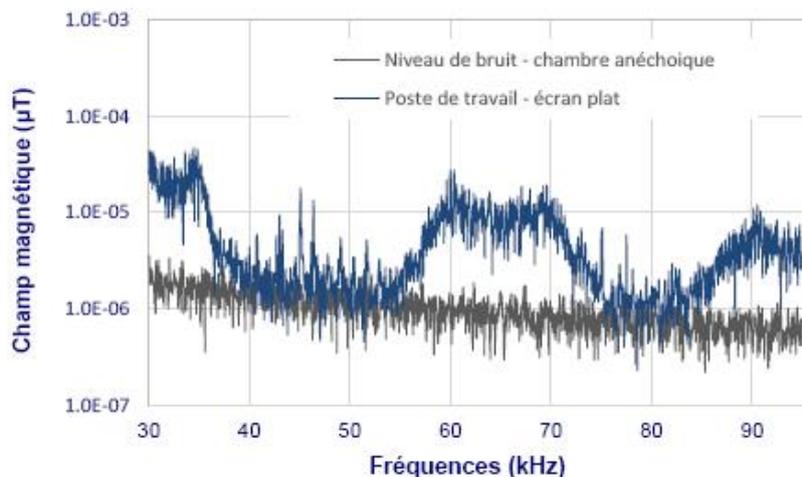


Figure 5-1: niveau de champ magnétique dans la bande de fréquences utilisée pour le CPL Linky Mesure sur un poste de travail, devant un écran plat d'ordinateur

Sur ce relevé, dont la distance n'est pas précisée, l'intégrale de la contribution dominante, arrondie à $10^{-5} \mu\text{T}$, sur sa bande spectrale estimée en tout à **20 kHz**, donne **0,4 nT pic**.

Par expérience, nous pouvons dire que soit cet écran rayonne très peu, où que la mesure est réalisée à plusieurs mètres du matériel, ce qui semble être le cas sur la photo.

3.4.2 - p 38/45 Champ magnétique émis par des tubes fluorescents en plafond de laboratoire

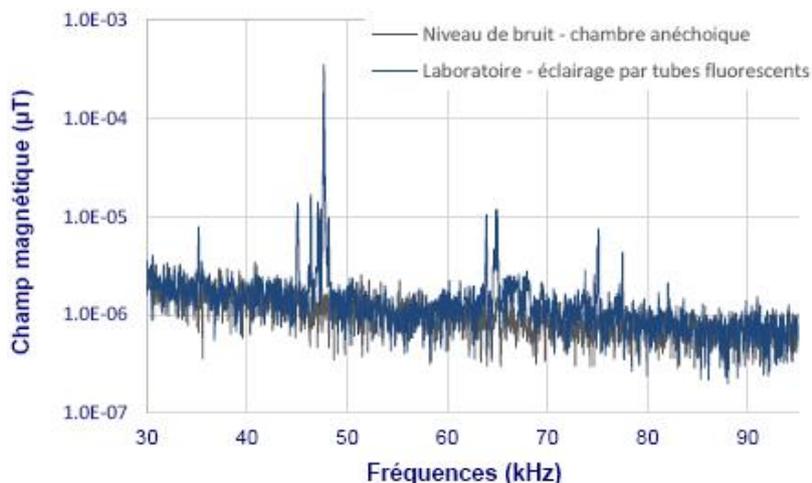


Figure 5-2: niveau de champ magnétique dans la bande de fréquences utilisée pour le CPL Linky Mesure dans un laboratoire éclairé par des tubes fluorescents à ballast électronique

Sur la figure 5-2 la raie dominante vers **48 kHz** est très fine. Cela signifie que l'électrique des tubes émet une fréquence très pure et révèle la finesse de la fenêtre d'analyse de l'analyseur de spectre, ici de **50 Hz**.

Dans le cas où une seule raie très fine domine le spectre, il est acceptable d'annoncer que le champ magnétique résultant pleine bande est égal au niveau de la raie principale, car la contribution des autres parties du spectre devient négligeable.

Ici, le champ magnétique résultant serait donc de environ **0,4 nanoteslas**. Des mesures réalisées par nos soins sous des dispositifs similaires donnent fréquemment des champs de l'ordre de **10 nT pic**. Cette valeur semble donc très réduite.

3.4.3 - p 42/45 *Champ magnétique émis par une plaque à induction de cuisine*

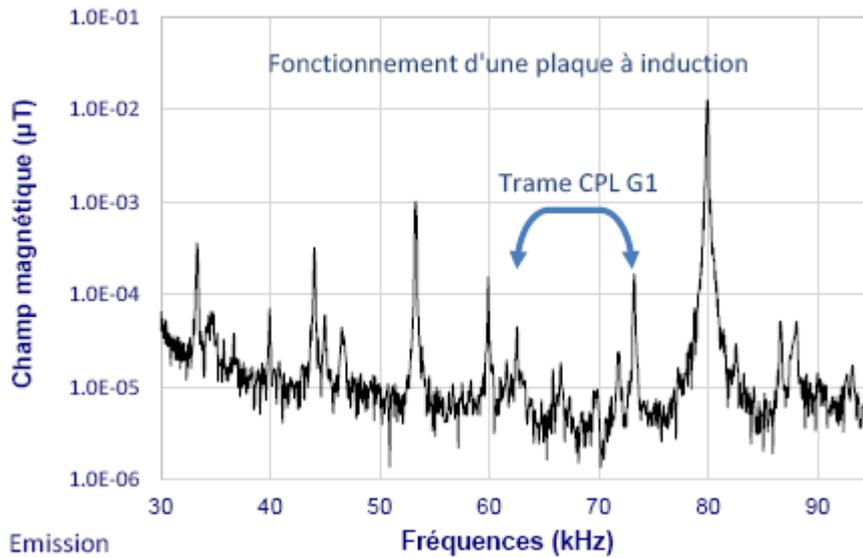


Figure 5-11: *point de mesure situé devant une plaque à induction en fonctionnement*

Sur la figure 5-11 la raie dominante vers **80 kHz** est fine mais comporte une énergie non négligeable à son pied. Annoncer que le champ magnétique résultant pleine bande est égal au niveau de la raie principale devient ici une approximation qui minimise le niveau, car la contribution des parties latérales de la raie dominante s'ajoute.

Le champ magnétique résultant devant la plaque serait donc environ **15 nanoteslas pic**. Là aussi, cette valeur semble très réduite au regard de mesures réalisées par nos soins devant des dispositifs similaires, qui donnent des champs magnétiques beaucoup plus puissants.

A **3 mètres**, nos mesures atteignent plutôt **10 nT pic**, et contre la paillasse de la cuisine, la valeur **dépasse 300 nanoteslas pic**, donc **$3 \cdot 10^{-1} \mu T$** , **30** fois plus que la valeur du CSTB.

3.5 - Relevés de Spectre de champ magnétique en situation réelle - document EDF R&D France CIRED

Un document du CIRED que l'on trouve sur internet, « **Exposure to Electromagnetic Fields emitted by smart meters using power lines communication technology** » présenté par 6 ingénieurs de EDF R&D France à la 23^{ème} conférence Internationale sur la distribution d'électricité, en juin 2015 à Lyon, mentionne des champs magnétiques relevés proche de compteurs Linky très élevés comparés à ceux du CSTB.

La table 2 de ce rapport donne aux deux fréquences du CPL G1 les pics de spectres du champ magnétique proche de compteurs linky, en **micro teslas et non en cent millième de teslas comme le CSTB !**

Ces relevés sont effectués à 5 centimètres et non à 20 centimètres du compteur.

Table 2 : Electromagnetic fields measured in laboratory close to smart meters at PLC frequencies

	Smart meter	A	B	C	D	E
63.3 kHz	E (V/m) (20 cm)	0.37	0.16	0.17	0.18	0.14
	B (μT) (5 cm)	0.02	0.1	0.06	0.05	0.01
74 kHz	E (V/m) (20 cm)	0.54	0.47	0.46	0.59	0.33
	B (μT) (5 cm)	0.18	0.33	0.10	0.12	0.02
50 Hz	E (V/m) (20 cm)	56	38	230.3	227	70.2
	B (μT) (5 cm)	18	12	7.4	15	6.5

La table 4 en page 3 donne ensuite les maximums des spectres magnétiques en différents lieux de l'habitation. Là aussi, ils sont en micro tesla et non en cent millième de teslas. Ces valeurs sont considérables, **20 nanoteslas pic** dans une chambre, **260 nanoteslas pic** dans le hall d'entrée.

Table 4 : Maximum values of electromagnetic fields measured in each room of the apartment

	B _{63,3kHz} (μT)	B _{74kHz} (μT)	E _{63,3kHz} (V/m)	E _{74kHz} (V/m)
Entrance hall	0.02	0.26	0.39	1.14
Kitchen	0	0	0.8	1.1
Bathroom	0.01	0	0.41	0.76
Bedroom 1	0.01	0	0.77	1.39
Bedroom 2	0.01	0.01	0.59	0.55
Bedroom 3	0.01	0.02	0.55	1.14
Bedroom 4	0.01	0	0.71	1.48
Bedroom 5	0.01	0.01	0.76	1.22
Living room	0.01	0	0.5	1.09

3.6 - Bande spectrale d'analyse du spectre de champ magnétique du document EDF R&D France

Le rapport de EDF R&D France nous montre un exemple du spectre qui leur a servi à annoncer les valeurs mesurées. Il n'indique pas la largeur de fenêtre d'analyse du spectre, ni si l'intégration plein bande a bien été effectuée.

On voit en revanche à l'aspect de ce spectre que leur fenêtre d'analyse choisie est beaucoup plus élevée que les 50 Hz du CSTB. Elle est vraisemblablement de 1000 Hz minimum.

Plus la fenêtre d'analyse est élargie, plus elle collecte d'énergie d'un spectre étalé, comme celui le CPL G1. Ici, dans l'hypothèse où leurs valeurs annoncées du champ magnétique CPL G1 à ses deux fréquences principales de 63,3 et 74 kHz sont les pics du spectre, alors le champ magnétique pleine bande serait légèrement supérieur aux valeurs annoncées dans un ratio proche de 1, contrairement aux relevés du CSTB réalisés en fenêtre d'analyse 20 fois plus fine.

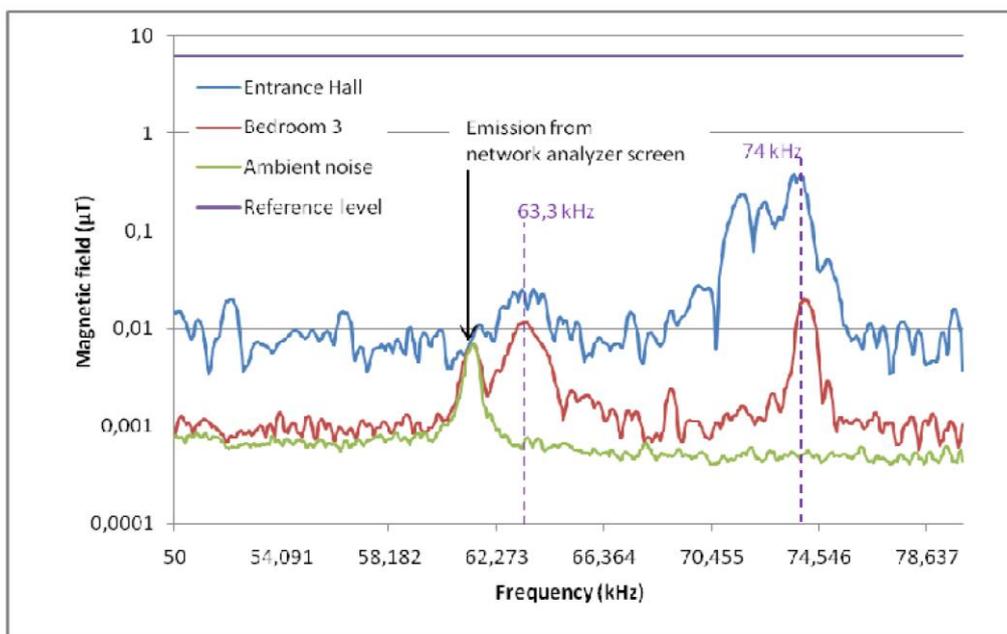


Figure 3 : Measured magnetic field in the apartment

4 - CONCLUSIONS

4.2.3 - Erreur dans la méthode de calcul du champ magnétique émis par le courant CPL dans des fils

Comme mentionné en § 2.3 et argumenté dans notre analyse, l'erreur de méthodologie du **CSTB** dans leurs mesures du champ magnétique pleine bande émis par un courant CPL est **grave** d'un point de vue strictement technique.

Le **CSTB** annonce dans tout son rapport des valeurs de densité spectrale en bande étroite au lieu des champs magnétiques large bande en présence de CPL, et de plus, les compare directement au champ maximal prévu par le décret 2002-775, ce qui est une **erreur technique avérée**.

p 44/45 "Toutes configurations de mesure confondues, à 20 cm du câble le niveau maximum de champ magnétique mesuré en laboratoire est environ **15000** fois inférieur à la valeur limite d'exposition."

p 45/45 "Tous les niveaux de champ magnétique mesurés in situ sont très largement inférieurs aux valeurs limites d'exposition. Toutes configurations de mesure in situ confondues, le niveau maximum de champ magnétique mesuré est environ **6000** fois inférieur à la valeur limite d'exposition."

FAUX : Ces deux phrases relevées (entre autres) dans le rapport témoignent de la confusion du CSTB entre la densité spectrale du champ magnétique en bande étroite et sa valeur réelle pleine bande obtenue par l'intégration de ce spectre sur la bande fréquentielle utile.

En CPL G1, nous avons estimé qu'un facteur **4,3** doit multiplier les valeurs annoncées pour rendre compte du potentiel de rayonnement du CPL LINKY.

Il n'y a **aucun** spectre de champ magnétique relevé en **CPL G3** dans le rapport, ce qui est une lacune importante.

4.1 - Niveaux constatés dans le rapport toujours faibles

Toujours par leur erreur de méthodologie, tous les résultats de mesure de champ magnétique annoncés par le CSTB sont sous-estimés par rapport au niveau que nous avons mesuré en plusieurs lieux privés ou publics, tant lors du passage du CPL LINKY dans les fils du réseau que lors du fonctionnement des appareils similaires à ceux choisis par le CSTB. Pour les appareils domestiques mesurés, les distances de mesure ne sont pas mentionnées, ce qui leur ôte toute légitimité.

4.1.1 - Courant CPL émis par les compteurs LINKY

Dans le cas du compteur LINKY, les compteurs prêtés par ENEDIS au CSTB émettent le huitième du courant maximal prévu par les composants électroniques CPL utilisés dans les compteurs (voir article de **Canard PC** 2018-05). Un facteur **8** doit multiplier les valeurs annoncées en chambre anéchoïque pour rendre compte du potentiel de rayonnement maximal du CPL LINKY G1 et G3.