

# MESURE DU CHAMP MAGNÉTIQUE

## RAYONNÉ DANS UN DOMICILE

### PAR UN COURANT CPL LINKY PARCOURANT

### LES CÂBLES ÉLECTRIQUES DANS LES MURS

<b>1 -</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>2</b>
1.1 -	But de l'expérimentation .....	2
1.2 -	Le système Linky et son courant CPL .....	2
1.2.1 -	<i>Valeurs électriques mesurées du CPL Linky opérationnel .....</i>	<i>2</i>
<b>2 -</b>	<b>EXPÉRIMENTATION .....</b>	<b>3</b>
2.1 -	Présentation.....	3
2.1.1 -	<i>Configurations de la boucle de câble émettrice.....</i>	<i>3</i>
	<i>    Câblage "propre" : neutre et phase ensemble .....</i>	<i>3</i>
	<i>    Câblage "économique" : rayonnant.....</i>	<i>3</i>
2.1.2 -	<i>Installation de la boucle de câble émettrice.....</i>	<i>4</i>
2.2 -	Appareils de mesure .....	4
2.2.1 -	<i>Le générateur de courant CPL artificiel.....</i>	<i>5</i>
2.2.2 -	<i>Le nanoteslamètre impulsionnel.....</i>	<i>5</i>
2.2.3 -	<i>Calibrage de la mesure .....</i>	<i>5</i>
2.3 -	Relevés des mesures.....	6
2.3.1 -	<i>Placement du nanoteslamètre dans la pièce.....</i>	<i>6</i>
2.3.2 -	<i>Mesure préalable du champ ambiant .....</i>	<i>6</i>
2.3.3 -	<i>Mesure du champ émis par un circuit "propre", phase et neutre côte à côte. ....</i>	<i>6</i>
2.3.4 -	<i>Mesure du champ émis par le circuit "économique" phase et neutre autour de la pièce.....</i>	<i>7</i>
<b>3 -</b>	<b>CALCUL DU CHAMP MAGNÉTIQUE PRODUIT PAR LE COURANT CPL LINKY .....</b>	<b>9</b>
3.1 -	Facteurs aggravants .....	9
<b>4 -</b>	<b>CONCLUSIONS .....</b>	<b>9</b>

## 1 - INTRODUCTION

### 1.1 - But de l'expérimentation

Ce document propose d'étudier le rayonnement magnétique du courant dans les câbles 230volts d'une pièce d'une habitation ordinaire du signal CPL Linky, en fonction du câblage électrique physique dans ses murs. L'impact électromagnétique complet du CPL dans le domicile nécessiterait d'intégrer aussi la contribution du champ électrique des radiofréquences du CPL. Mais à la différence d'un champ électrique qui peut être annulé par un câblage blindé, le champ magnétique est ici pratiquement impossible à bloquer. C'est pourquoi ce document s'attache à quantifier le champ magnétique rayonné par le CPL.

Il a été réalisé car de nombreuses personnes, qui n'étaient pas spécialement sensibilisées au sujet du Linky, se retrouvent immédiatement chez elles en situation de souffrance diffuse et parfois violente dès la pose du nouveau compteur par Enedis. L'intrigante corrélation entre pose de compteur Linky et douleurs, que l'on retrouve dans de nombreux témoignages pose question, même si certains cas peuvent peut-être s'expliquer par d'autres causes.

En conclusion, cette étude quantifie le rayonnement magnétique du courant CPL dans un domicile et conclue à une corrélation étroite avec le placement physique des câbles électriques dans les murs de cette habitation. Il est à noter que le principe de la mesure de champ magnétique dans une pièce à vivre développé dans ce qui suit pourrait être réalisé à la fréquence 50 Hz, avec les courants de nos appareils domestiques.

### 1.2 - Le système Linky et son courant CPL

Le système Linky, que voudrait étendre à toute la France Enedis utilise du CPL\* pour collecter nos données privées depuis notre compteur jusqu'au concentrateur et, en sens inverse, envoyer les consignes de l'opérateur central.

\* CPL : acronyme de "Courant Porteur en Ligne"

Ce CPL est de nature pulsée, donc un courant maximal ... puis rien. Il est ajouté au 230 volts 50 hertz. Définies par la norme **CENELEC CPL-G1**, les fréquences porteuses CPL en service sont actuellement entre **63 et 74 KHz**. Elles seront peut-être augmentées dans le futur avec le protocole G3 jusqu'à 490 KHz, ce qui augmentera beaucoup leur émission électromagnétique. Ceci fera l'objet de futures investigations.

#### 1.2.1 - *Valeurs électriques mesurées du CPL Linky opérationnel*

Nous le verrons dans notre conclusion, il est essentiel de connaître le courant opérationnel du CPL Linky pour extrapoler le champ magnétique dans une situation réelle depuis les mesures réalisées ici en laboratoire. À nouveau, nous nous sommes intéressés au champ magnétique émis dans une pièce à vivre par le CPL, et pas à son champ électrique, l'autre composante de son rayonnement électromagnétique, qui elle est supprimable.

Effectué en 2018, un enregistrement de **2 heures** du courant CPL dans un immeuble de plus de 50 logements à Toulouse où le système Linky est opérationnel, montre que les salves de courant CPL sont permanentes. Elles circulent en moyenne **35 % du temps**, à raison de plusieurs dizaines de salves par minute. Ces salves durent plus d'une seconde et se suivent, ce qui donne des trains d'ondes de parfois 5 secondes.

Le courant CPL semble être un signal sinusoïdal. Pourtant il comporte des harmoniques supérieures aux 70 kHz de base qui rajoutent une pollution harmonique conséquente car il est de nature pulsée et sans fenêtrage temporel. L'amplitude maximale du courant constatée atteint **700 milliampères crête à crête** ( $\pm 350$  milliampères) et son amplitude superposée au 230V, véritable "dirty electricity", atteint **5 volts crête à crête**. La puissance instantanée émissive maximale de ce signal est donc de **850 mW crête**, directement connectée aux câbles électriques du réseau 230 V.

**850 mW** est une valeur importante en terme de puissance émise localement, surtout si elle est connectée à une grande antenne, ce que réalise les câbles 230 V courants dans toute la ville.

Par ailleurs, il faut savoir que la société Texas Instrument a développé en 2012 un circuit électronique spécialisé, très intégré, pour émettre et recevoir du CPL aux fréquences du G1 : le composant **APE031**. Très puissant, il peut émettre jusqu'à **3 ampères crête à crête** ( $\pm 1500$  milliampères) sous **2 volts**, soit **1,5 watts crête**.

Il est possible que ce circuit ait été intégré au compteur Linky pour ses signaux CPL, et dans ce cas, nous craignons que selon les difficultés du réseau électrique, maisons isolées, secteur très pollué ... des compteurs soient reprogrammés à distance pour émettre jusqu'aux 1,5 watts possibles. À mesurer pour confirmer ou non.

## 2 - EXPÉRIMENTATION

### 2.1 - Présentation

Les mesures se déroulent dans une habitation où le système CPL Linky Enedis n'est pas installé. Aucun champ magnétique radiofréquences dans la bande de fréquence G1 ne pollue le domicile.

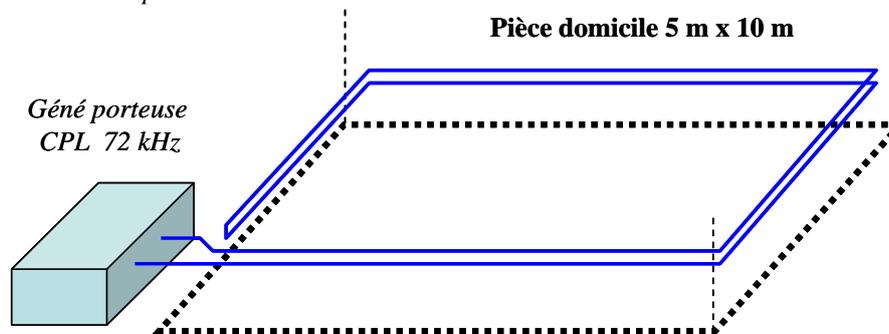
#### 2.1.1 - Configurations de la boucle de câble émettrice

Le câblage électrique d'un domicile est invisible car intégré dans les murs. À moins d'avoir les plans électriques, il est difficile de savoir si les fils de la phase et du neutre ont été associés dans chaque gaine de la maison, ou s'ils se séparent par endroits pour économiser le fil de cuivre qui coûte cher.

Afin de simuler le rayonnement magnétique de deux configurations opposées de câblage électrique d'une habitation lorsqu'un courant CPL circule, une boucle de deux fils électrique accolés, de type "scindex", suffit. En effet, seul le champ magnétique émis par la fréquence élevée du CPL est mesuré à des courants moyens.

La boucle installée pour nos mesures permet de simuler soit un câblage "propre", soit un câblage "économique".

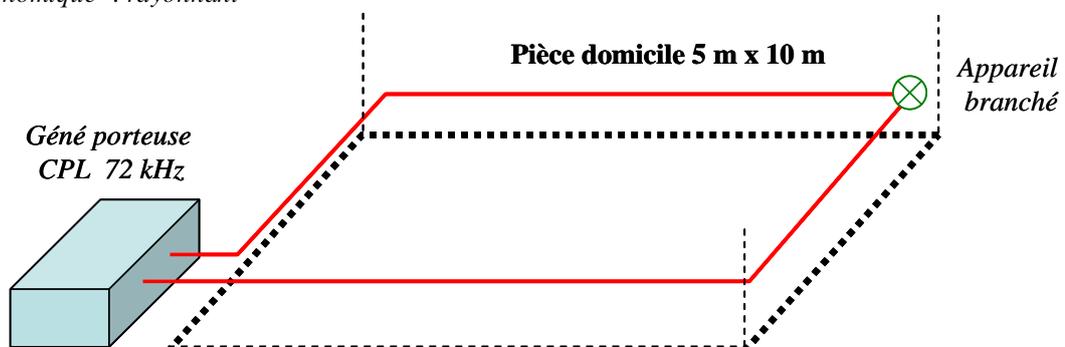
*Câblage "propre" : neutre et phase ensemble*



Ici, le courant CPL court sur l'aller et le retour le long de la même trajectoire en faisant demi-tour au point fermé, qui serait en réalité un appareil branché. On suppose que l'appareil branché laisse passer les radiofréquences.

En mode "propre", la phase et le neutre sont toujours ensemble dans la même gaine : l'aller et le retour du courant CPL passent par les mêmes emplacements, ce qui limite fortement la surface d'émission magnétique. Un câblage électrique à fils jointifs dans toutes les gaines réalise cette configuration. Un câblage sous fil blindé apporterait une amélioration importante sur l'émission du champ électrique, mais pas magnétique car ce dernier est impossible à bloquer.

*Câblage "économique" : rayonnant*



Pour cette configuration, nous simulons des fils du neutre et de la phase qui courent séparément dans la pièce en faisant le tour, soit un pire cas, mais tout à fait réaliste dans des habitats économiques, anciens, ou "rénovés". Le CPL fait le tour de la pièce comme pour alimenter un appareil branché au coin opposé.

### 2.1.2 - Installation de la boucle de câble émettrice

La boucle est déployée en faisant le tour d'une pièce de 5 x 10 mètres le long des murs. La position du fil n'est pas critique pour la mesure.



### 2.2 - Appareils de mesure

Trois appareils de mesure, dont deux étudiés et réalisés par le Laboratoire de Recherche de Robin des Toits Midi-Pyrénées, sont utilisés pour ces mesures.



### 2.2.1 - Le générateur de courant CPL artificiel

L'appareil à gauche, développé par notre Laboratoire de Recherches Robin des Toits Midi-Pyrénées, permet de générer une sinusoïde entre **64 et 300 kHz**. Cette sinusoïde peut être pure, ou modulée en amplitude par un signal basse fréquence. Cette autre fonction permet de vérifier le facteur émissif de réseaux câblés de distribution existants.

Ici, il génère simplement un courant injecté à la fréquence de **72 kHz** dans la boucle filaire. Pour les mesures, il sera ajusté à **80 milliampères crête à crête** ( $\pm 40$  milliampères, valeur faible) grâce à une sonde de courant **P6022** et un oscilloscope, de marque **Tektronix**.

L'injection du CPL et les mesures du champ magnétique dans la pièce sont effectuées en émission continue par commodité. Elles représentent fidèlement le champ crête qui serait émis par un CPL pulsé comme celui du Linky.

### 2.2.2 - Le nanoteslamètre impulsionnel

L'appareil au centre, aussi développé par notre Laboratoire de Recherches Robin des Toits Midi-Pyrénées, est un champmètre magnétique qui mesure le champ magnétique entre les fréquences de **45 et 100 kHz**. Il a été conçu spécifiquement pour pouvoir mesurer sur sites le champ magnétique émis par le courant CPL Linky dans la bande de fréquence du Cenelec G1. Il comporte **3 calibres** de mesure **1, 10 et 100 nano teslas**.

Son bruit de fond est de 5 pico teslas. Il mesure, et démodule en audio grâce à son haut-parleur, les champs continu et impulsionnel comme ceux du CPL Linky. La mesure de pics impulsionnels est possible grâce à une fonction mémoire courte.

### 2.2.3 - Calibrage de la mesure

Le **ME3840B** de GIGAHERTZ SOLUTIONS mesure lui aussi des champs magnétiques, mais uniquement continus. Il est utilisé ici pour vérifier l'étalonnage de la mesure, en champ continu.

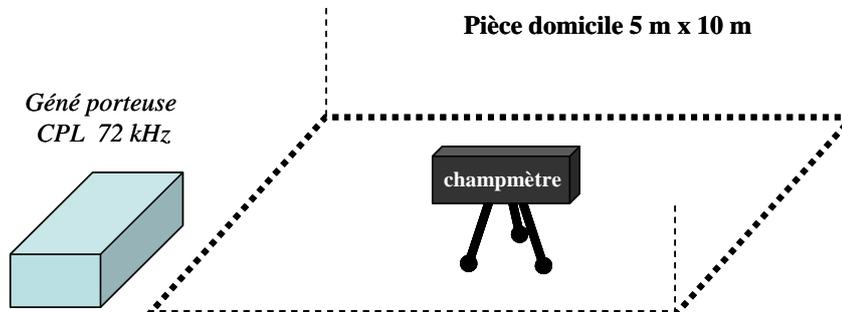
Sur la photo, une bobine de 3 spires génère un champ **de 10 nano teslas à 72 KHz**, mesuré par le **ME3840B**. Les deux appareils, inclinés orthogonalement de par leur bobine interne, mesurent la même valeur.



## 2.3 - Relevés des mesures

### 2.3.1 - *Placement du nanoteslamètre dans la pièce*

Pour les mesures le nanoteslamètre est placé au centre de la pièce sur trépied.  
Sa bobine est orientée de façon à recevoir coaxialement le champ émis par la boucle sur les murs.

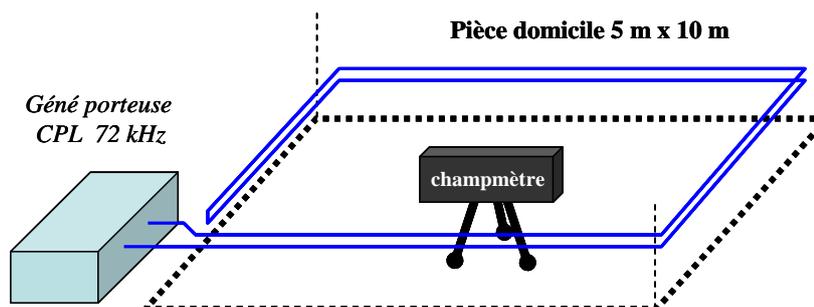


### 2.3.2 - *Mesure préalable du champ ambiant*

En absence d'injection du courant dans la bobine entourant la pièce, nous relevons un champ résiduel trop faible pour être mesuré, et non parasité. Sa démodulation audio par le haut-parleur laisse entendre un petit chuintement.

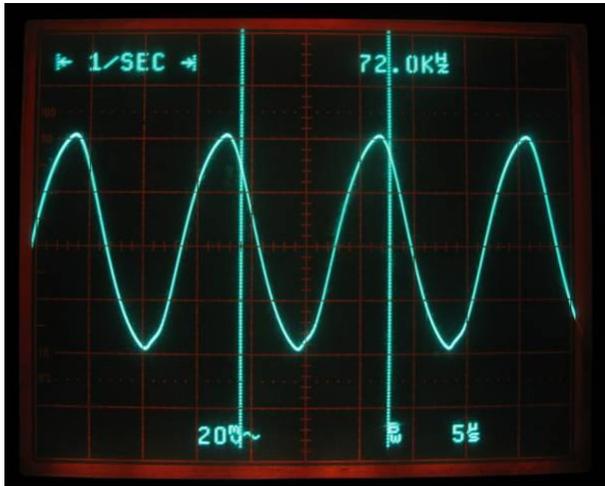


### 2.3.3 - *Mesure du champ émis par un circuit "propre", phase et neutre côte à côte.*



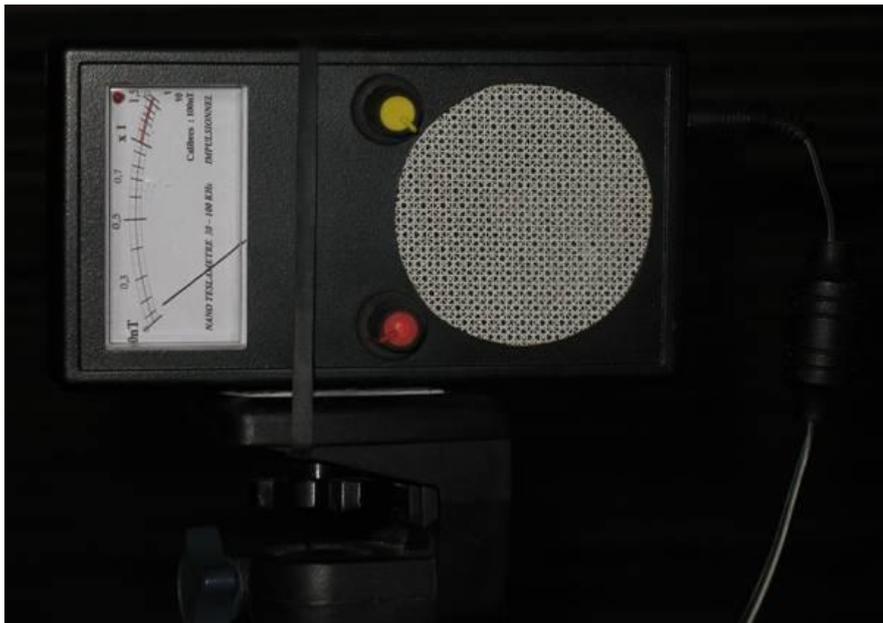
Ici, les fils de la boucle sont connectés afin que le courant injecté parcoure son aller et retour sur le même chemin physique, comme un CPL qui courrait dans les fils phase et neutre dans une même gaine électrique.

Comme le montre sur l'oscilloscope la sonde de courant, le courant CPL injecté dans la boucle est sinusoïdal, continu, de 80 milliampères crête à crête, à 72 kHz. (1 milliampère = 1 millivolt)

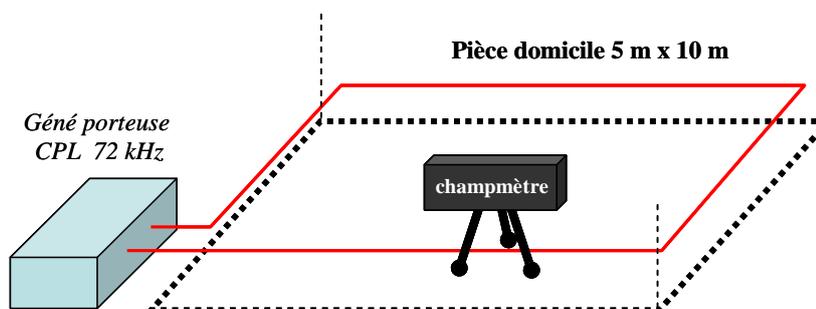


La mesure du champ magnétique au centre de la pièce ne montre aucun accroissement.

On remarque que le calibre du nanoteslamètre est le plus sensible = **1 nano tesla pleine échelle** (bouton rouge).



#### 2.3.4 - Mesure du champ émis par le circuit "économique" phase et neutre autour de la pièce



Dans cette configuration, le même courant CPL que précédemment fait le tour de la pièce, comme si la maison avait été câblée électriquement avec des fils au plus court, séparés pour alimenter un appareil au coin opposé.

Cette fois, la mesure du champ magnétique au centre de la pièce par le nanoteslamètre au 1<sup>er</sup> calibre est saturée.



Nous relevons un champ magnétique au centre de la pièce de **5 nano teslas** calibre *10 nano teslas* (bouton rouge)

Dans le cas des fils disjoints, le circuit "économique" 230 V simulé devient très polluant. L'effet multiplicateur des fils séparés est saisissant, car nous varions d'un champ indétectable à **5 nano teslas**. De plus, ce champ magnétique à **72 kHz** est constant sur une grande partie du centre de la pièce. À 1 mètre des murs, le champ augmente à **10 nano teslas**, et au contact du fil, il sature l'appareil. Le **ME3840B** mesure lui **150 nano teslas** au contact.

Cette configuration est le pire des cas. Une autre expérience nous a montré que dès que les câbles s'écartent un peu, le champ rayonné monte très vite à proximité. L'écartement des câbles dans le mur sur quelques mètres seulement crée une boucle qui permet au x radiofréquences du CPL d'émettre un champ magnétique, **impossible à écranter**, rappelons-le.

### 3 - CALCUL DU CHAMP MAGNÉTIQUE PRODUIT PAR LE COURANT CPL LINKY

Nous savons par mesure que le courant CPL Linky mesuré sur site à Toulouse dans les fils 230 V d'un appartement atteint aujourd'hui 600 milliampères crête à crête ( $\pm 300$  milliampères).

Dans ces conditions, nous extrapolons de nos mesures que le courant CPL du Linky, dans un câblage électrique défavorable dit "économique", rayonnerait au centre d'une pièce identique à celle du test, **600 mA/ 80 mA** fois celui mesuré, soit :

**37 nano teslas pulsés 35 % du temps, aux radiofréquence entre 60 à 70 KHz, 24 heures sur 24.**

#### 3.1 - Facteurs aggravants

- ① Comme très souvent les lieux de séjour prolongé dans les pièces à vivre sont plutôt le long des murs, canapés face à la télé, etc., la valeur reçue serait supérieure, car à **1 mètre du fil**, nous avons vu qu'elle **double**.
- ② Si la pièce à vivre est plus petite, elle augmente le confinement du champ magnétique créé par la boucle dans les murs, et de fait l'augmente. (non quantifié ici).
- ③ Enfin, parce que le courant CPL Linky circule en phase dans tous les câbles d'un immeuble, à des niveaux variables, les boucles créées par le maillage d'un câblage "économique" d'appartements adjacents répété à tous les étages additionnent leur rayonnement (avec un effet atténuateur à prendre en compte).
- ④ Pour terminer, calculons une extrapolation "pire cas" en accord avec les spécifications du circuit CPL **APE031** de Texas Instruments dans le cas d'un câblage "économique" avec phase et neutre disjoints. Le courant CPL maximal possible d'un compteur Linky qui utiliserait ce circuit serait de **3 ampères crête à crête ( $\pm 1,5$  ampères)**. Cela porterait le champ magnétique maximal du système Linky à :

- au centre d'une pièce à vivre : **187 nano teslas pulsés à la haute fréquence de 60 à 70 kHz, ceci 24 heures sur 24.**

- à un mètre du mur : **360 nano teslas ou 0,36 micro-teslas pulsés.**

### 4 - CONCLUSIONS

Ces nouvelles mesures montrent clairement que dans les configurations défavorables d'un câblage électrique "économique" dans une pièce à vivre, un **champ magnétique pulsé** estimé à **35 nano teslas** apparaît dès la circulation d'un courant CPL Linky de **600 milliampères crête à crête, 72 kilohertz, émis au rythme de 35% du temps 24 h sur 24 (relevé sur site)**.

La configuration locale des câbles électriques pourrait donc expliquer pourquoi certaines personnes se déclarent rapidement indisposées dès la mise en service de signaux CPL Linky dans les câbles de leur maison.

*Remarque de l'auteur : le fait de se trouver une heure environ pour les mesures au centre de la pièce durant le temps des essais a provoqué dans ma tête une sensation de pression assez rapidement, qui a persisté au moins une heure.*

L'étude menée par notre Laboratoire identifie clairement un point qui n'est **pas du tout pris en compte par Enedis lors de la pose de ses compteurs, à savoir la configuration imprévisible des câbles électriques dans les logements où circulera le CPL du compteur CPL Linky.**

À nouveau, il est précisé que ce document ne concerne que le champ magnétique. Pour quantifier l'impact total électromagnétique total du CPL dans le domicile, il faudrait aussi ajouter la contribution du champ électrique des radiofréquences émises par le CPL, qui peut atteindre quelques volts par mètre selon la distance. À la différence du champ magnétique, ce champ électrique peut être confiné par un câblage blindé. C'est pourquoi l'on s'est attaché ici à quantifier le champ magnétique rayonné par le CPL.

Une étude programmée dans nos laboratoires va étudier l'intensité des "dirty" courants électriques alternatifs induits dans un corps humain simulé, lorsqu'il reçoit ces niveaux de champ magnétique.

Nous espérons que cette nouvelle contribution technique incitera des chercheurs du milieu médical à confirmer si l'impact d'un champ magnétique pulsé à 70 kHz quantifié en amplitude jusqu'à **100 nano teslas** a un impact significatif sur les organes des êtres vivants ou non, indépendamment des normes officielles qui rappellent le, ne sont pas du tout représentatives des seuils d'altération et de souffrance du vivant.