

Université Européenne Télécom Bretagne :

Étude des émissions électromagnétiques du CPL



[PDF 133 pages](#)

[Original](#)

[Thèse de Doctorat](#)

Amilcar Mescoco

Département : Micro-ondes

[Université Européenne Télécom Bretagne](#)

- **Brefs extraits pour une synthèse succincte de la thèse sur l'étude des émissions électromagnétiques du CPL :**

- Pages 9 et 10 :

"En France, des projets comme le compteur électrique communicant « Linky » de la société ERDF ou le projet SoGrid utilisent la technologie CPL pour la commande et l'observation du réseau de distribution. La commande du réseau à distance permet de mieux gérer la consommation et la production d'électricité et l'observation régulière du réseau permet de détecter les éventuels défauts dans le réseau électrique et donc d'offrir un meilleur service.

Les fils électriques des réseaux basse et moyenne tension n'ont pas été initialement conçus pour propager des signaux de communication à des fréquences supérieures à 1 kHz.

En conséquence, le canal de communication entre l'émetteur et le récepteur est un canal difficile, générant une forte atténuation (*Ndlr : déperdition énergétique due aux radiations*) ainsi que de multiples trajets de propagation.

... Cette thèse met l'accent sur l'une des principales limitations liées à la technologie CPL, à savoir le rayonnement non intentionnel de signaux électromagnétiques.

Ce phénomène est principalement dû à la nature asymétrique du réseau électrique. La variation d'impédance des charges connectées au réseau, ainsi que la longueur inégale des fils de phase et de neutre (par exemple dans le cas d'interrupteurs du réseau d'éclairage) contribuent à la conversion du signal différentiel CPL en courant de mode commun traversant le réseau. **Dès lors, les fils de cuivre utilisés pour la transmission du signal utile réagissent comme une antenne, et une partie de la puissance transmise est rayonnée.**

Cela entraîne non seulement une forte atténuation du signal au niveau du récepteur, mais génère également des problèmes de compatibilité électromagnétique (CEM). En effet, le signal rayonné peut interférer avec d'autres services existants, tels que les communications radio amateur ou la radiodiffusion à ondes courtes. L'impact de la transmission CPL sur la CEM a été étudié, par exemple, dans le projet FP7 ICT OMEGA [57] et par le groupe d'experts de l'ETSI.

Dans cette thèse, nous nous sommes intéressés à l'utilisation de la technologie CPL dans l'habitat pour les applications haut débit. En particulier, nous avons cherché à étudier l'impact de cette technologie dans ses aspects CEM. D'une part, nous nous sommes attachés à caractériser le niveau de rayonnement d'un système CPL typique, afin de vérifier s'il permet la cohabitation avec d'autres systèmes dans un même environnement. **D'autre part, nous avons étudié et proposé des méthodes de réduction du niveau de rayonnement indésirable.**

Le premier chapitre de ce manuscrit est consacré aux origines des émissions rayonnées par les systèmes CPL.

Nous faisons une synthèse de la littérature sur le rayonnement induit par les modems CPL, ainsi que sur la réglementation CEM en vigueur, et nous définissons les objectifs du présent travail.

... Le troisième chapitre est consacré à la caractérisation du rayonnement d'un réseau électrique dû aux systèmes CPL. Premièrement, nous validons les paramètres utilisés pour la simulation en confrontant les résultats de simulations à des mesures expérimentales pour des cas simples. Nous détaillons également la modélisation du coupleur d'injection du signal à haute fréquence. Ces éléments étant fixés, nous présentons une étude paramétrique complète, caractérisant le niveau de rayonnement des systèmes CPL dans des cas d'usage typiques.

Enfin, une étude est développée sur la simplification du réseau électrique pour la simulation d'un réseau électrique à haute fréquence.

Le chapitre quatre est dédié à la problématique de la mitigation du rayonnement électromagnétique indésirable. Il présente une étude bibliographique sur les méthodes existantes pour minimiser les émissions rayonnées par les systèmes CPL.

Emissions électromagnétiques dans l'habitat dues à la technologie Courant Porteur en Ligne

- Page 11 :

La présente étude est consacrée à la technologie CPL, afin d'apporter un éclairage sur la problématique de rayonnement de ce système. Ainsi, il est important de comprendre les origines du rayonnement CPL pour permettre de minimiser ses effets secondaires.

Le but du présent chapitre est d'expliquer le phénomène de rayonnement de la technologie CPL.

Pour cela, la première partie présente une recherche bibliographique sur les causes du rayonnement.

Cette recherche nous permettra de comprendre les éléments physiques qui génèrent ce rayonnement.

Dans la deuxième partie de ce chapitre nous rappelons la réglementation en vigueur par rapport aux niveaux de rayonnement. Cette réglementation doit être respectée pour la cohabitation de plusieurs technologies dans un même environnement.

- Page 12 :

Les émissions rayonnées dans les systèmes CPL sont directement liées au déséquilibre de réseau.

Ce rayonnement varie en fonction des composants du réseau électrique. L'étude montre par exemple que le degré de déséquilibre électrique et les émissions rayonnées sont élevés dans les cas de la présence d'un interrupteur unipolaire ou d'un tube fluorescent, même éteint.

- Page 19 :

Le canal de transmission CPL est constitué par le réseau électrique. Nous avons vu que l'état du réseau électrique est dépendant des appareils branchés sur le réseau ou des caractéristiques des fils constituant le câble électrique.

Le déséquilibre du réseau électrique provoque la conversion de signal de mode différentiel en mode commun.

Le mode commun à son tour est générateur d'émissions rayonnées.

Ceci est important lors de la transmission de signaux à haute fréquence sur le réseau électrique.

- Page 62/63/64

Analyses du rayonnement du réseau des prises électriques du réseau électrique domestique

Caractérisation et modélisation du rayonnement CPL dans un environnement domestique

(Ndlr exemple : une chambre à coucher)

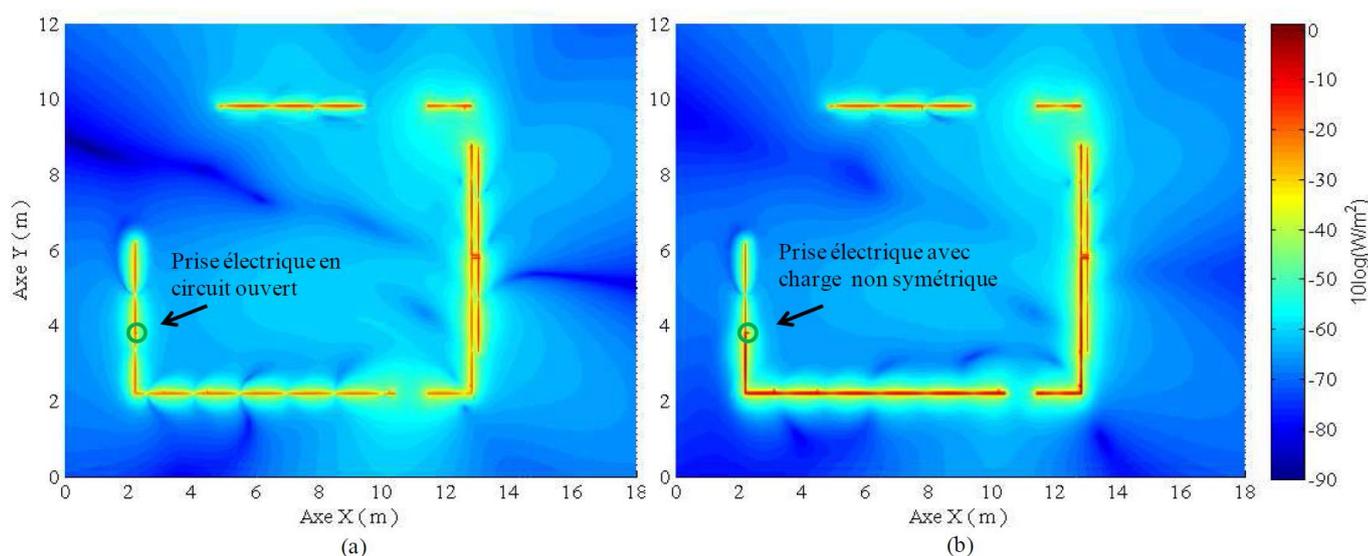


Figure 3.32 Rayonnement sans (a) et avec (b) une charge non symétrique connectée à une prise électrique

(Ndlr : La modélisation du radiatif en KHz du CPL dans une pièce d'une maison - ex. chambre par les câbles électriques. A gauche sans aucun appareil branché sur les prises, à droite avec un appareil branché donc une prise avec charge)

La Figure 3.32 (b) illustre l'influence d'une charge non symétrique sur le niveau de densité de puissance, La Figure 3.32 (a) illustre la densité de rayonnement des prises électriques en circuit ouvert.

CPL : Analyses du rayonnement du réseau électrique dans une architecture de maison type

Le réseau électrique illustré dans la Figure 3.33 représente le circuit de prises électriques et le réseau de lumières dans l'architecture de maison type. Les matériaux utilisés dans l'architecture de maison sont : béton (pour les murs porteurs), verre (pour les fenêtres et porte postérieur), plâtre (pour les cloisons), et du bois (pour les portes).

(Ndlr : Dans de la majorité des cas cette Figure 3.33 n'est pas conforme car des câbles bifilaires sont aussi présents dans les plafonds et les dalles du sol, de plus cette architecture type ne peut être transposée pour un habitat collectif pour lesquels les appartements mitoyens du dessus, dessous, droites, gauches, frontaux ou arrières interagissent)

Les câbles bifilaires du réseau électrique sont placés à l'intérieur des murs. La disposition de ces câbles et matériaux dans la maison type est indiquée dans la Figure 3.33.

La source (CPL) est un signal de 0 dBm dans la bande de fréquence de 2 KHz à 100 KHz.

(Ndlr : Pour le Linky à l'origine la fréquence CPL était sous protocole G1 soit inférieure à 100 KHz comme ici à Lyon, mais en 2015 le Linky est passé sous protocole CPL nouvelle génération G3 soit en fréquence radiative de 490 KHz avec une modulation multi-porteuse d'encodage type OFDM - Orthogonal Frequency-Division Multiplexing.)

Caractérisation et modélisation du rayonnement CPL dans un environnement domestique

(Ndlr exemple : une maison ou appartement type)

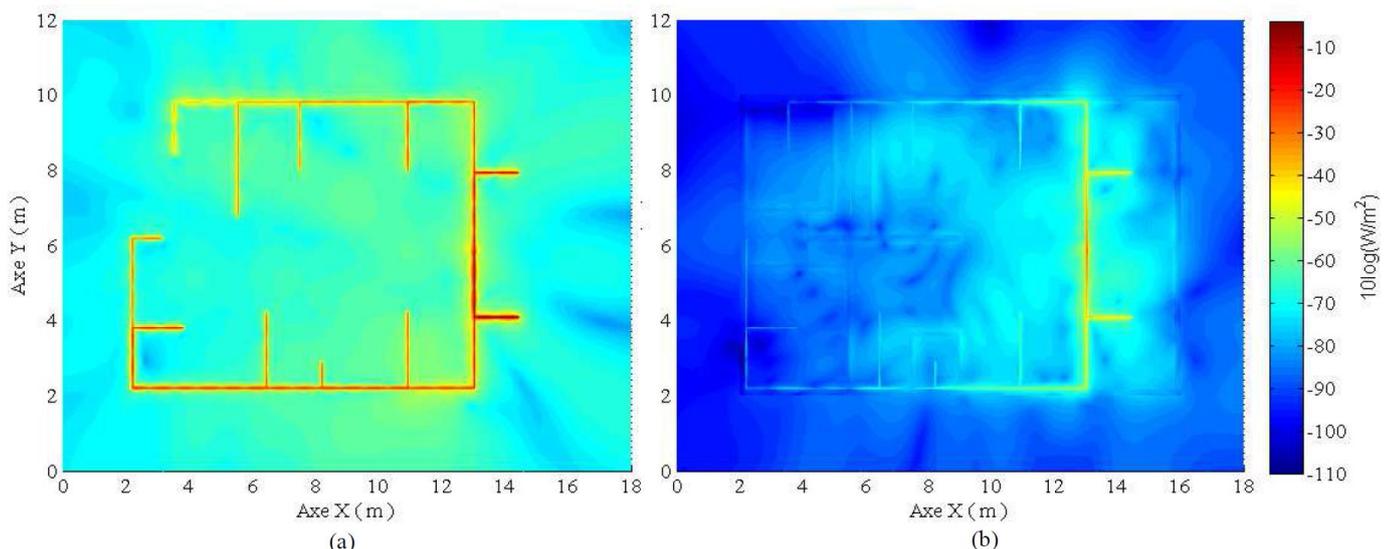


Figure 3.34 Densité de puissance du rayonnement (du CPL) dans une structure de maison type

La Figure 3.34 illustre la densité de puissance (Ndlr : de l'irradiation) sur la surface d'observation dans des deux cas, la Figure 3.34 (a) est la densité de puissance en l'absence de l'architecture de la maison.

Autrement dit, seuls les câbles électriques ont été placés dans l'environnement de simulation. Ici, la distribution de puissance est semblable aux cas précédents des sections 3.4.2, 3.4.3 et 3.4.4.

Le deuxième cas de la Figure 3.34 (b) illustre la densité de puissance avec la structure de la maison type, incluant les cloisons dans différents matériaux.

Nous observons une atténuation du rayonnement qui est conséquence des caractéristiques électromagnétiques des matériaux que le câble bifilaire traverse. Par ailleurs, on peut observer à droite du diagramme (X = 16m) l'influence du mur extérieur de la maison sur la carte de champ, alors que ce mur ne contient pas de câble électrique.

De fait, une partie du champ rayonné est réfléchi par le mur à l'intérieur de la maison, et la partie transmise à travers le mur subit une atténuation non négligeable.

Ces observations montrent la nécessité d'utiliser un logiciel de type FDTD pour notre application. En effet, en l'absence de l'habitat dans l'environnement, une méthode basée sur la théorie des lignes de transmission aurait été suffisante pour calculer la distribution de courant le long des câbles électriques.

Partant de cette distribution, le champ électrique rayonné en champ lointain peut alors être calculé de manière analytique, par l'intégration de toutes les contributions de chaque élément du câble.

Le résultat serait alors semblable à celui de la Figure 3.34 (a). Par contre, dès lors qu'un environnement vient perturber le champ électrique rayonné, il est nécessaire de calculer ces interactions localement, et une méthode basée sur un maillage de l'environnement devient nécessaire.

Dirty Electricity du CPL du Linky d'EDF/ERDF

L'Alerte Sanitaire

- Page 85/86 :

3.6 Conclusion

Caractérisation et modélisation du rayonnement CPL dans un environnement domestique

L'étude paramétrique du réseau électrique dans une maison type nous a montré que les niveaux de champ rayonné (Ndlr : radiatif) sont en relation avec le rapport entre **les fréquences du signal CPL injecté et la longueur de câble.**

Il faut considérer la longueur du point d'injection du signal à la terminaison du câble (Ndlr : [la prise électrique](#)).

Par ailleurs, nous avons montré l'impact de la modélisation des prises électriques et leur degré de symétrie sur le niveau de rayonnement (Ndlr : d'irradiation).

Enfin, l'étude de la cartographie de champ pour une maison type a montré l'influence importante de l'environnement, composé de divers matériaux de construction. Une analyse plus fine du rayonnement réel pourrait être obtenue en incluant également d'autres éléments de l'environnement, comme le mobilier et les équipements de la maison (Ndlr : exemple, les réflexions sur les parties métalliques comme les structures des réfrigérateurs et autres).

Prise en compte des caractéristiques de rayonnement du réseau électrique et identification des fréquences génératrices de niveau élevé de rayonnement (Ndlr : de l'irradiation).

... L'équilibre du réseau électrique s'entend en termes d'impédances (Ndlr : types d'appareils) qui y sont raccordées, en prenant en compte aussi les capacités et inductances parasites dans les cas de prises électriques non utilisées.

- Conclusion de Next-up organisation :

- Conformément au droit opposable en vigueur en France du Code la Santé Publique, notamment :
 - Sécurité, veille et alerte sanitaires,
 - ["D'analyser les événements susceptibles d'affecter la santé de la population"](#)
- et suivants Articles [L 1413-4](#), [L 1311-6](#), [L1311-1](#), [L1333-21](#),
- Aux études scientifiques validées sur [les effets sanitaires du CPL - NCBI](#) (Original [PDF](#)) ou [France PDF](#)

Une étude épidémiologique et scientifique d'impact sur la population de l'irradiation en champs proches par les champs électromagnétiques artificiels du CPL du Linky avant son déploiement est une absolue nécessité de salubrité publique.

Si cette étude épidémiologique et scientifique n'est pas réalisée, tous les responsables politiques concernés et autorités de santé devront assumer devant le Peuple leurs responsabilités d'avoir introduit une nouvelle pollution environnementale radiative majeure en KHz qui impacte tout le vivant, faune, flore et ainsi que la météorologie* sur tout le territoire français via le maillage des câbles électriques du réseau BT d'EDF/ERDF.

** impact sur les molécules d'eau des basses couches de l'atmosphère.*

En conséquence un moratoire s'impose sur le déploiement du Linky.

[- Santé : Connaissez-vous bien EDF ? \(Rapport classé confidentiel\)](#)