

# Caractérisation et modélisation de l'effet des disjoncteurs sur la transmission CPL

Richard NIZIGIYIMANA<sup>1</sup>, Jean-Charles LE BUNETEL<sup>1</sup>, Philippe RAVIER<sup>2</sup>, Yves RAINGEAUD<sup>1</sup>, Guy LAMARQUE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>GREMAN, Université François Rabelais de Tours

<sup>2</sup>PRISME, Université d'Orléans

**RESUME** – Plusieurs études ont été menées sur les facteurs qui impactent les communications par courant porteur en ligne (CPL) tels que les bruits générés par les différents appareils domestiques, les câbles électriques, la topologie du réseau. Cependant, aucune étude ne porte sur les éléments de protection tels que les disjoncteurs, les interrupteurs différentiels et les fusibles. L'impact de ces éléments sur le canal a été mis en évidence dans ce travail. Une dizaine de disjoncteurs ont été caractérisés en mesurant leurs pertes d'insertion dans la bande [1-50] MHz. L'atténuation dépend du type de disjoncteur (branchement, divisionnaire) et surtout de son calibre pour les disjoncteurs divisionnaires. Les disjoncteurs de faible calibre présentent des pics d'atténuation allant jusqu'à -30 dB. L'influence du fabricant s'est avérée minime. Un modèle électrique de ces éléments de protection issu des mesures a été proposé et validé et pourrait être incorporé dans un outil de qualification des installations domestiques vis-à-vis du CPL.

**MOTS-CLES** – CPL, pertes d'insertion, disjoncteurs, modélisation.

## 1. Introduction

Les communications par courant porteur en ligne (CPL) basse tension utilisent les câbles électriques domestiques comme medium de communication. Le CPL haut débit est l'une des technologies de convergence voix-images-données dans une habitation. Elle permet de distribuer l'internet, la télévision, la téléphonie dans toutes les pièces d'un appartement sans la pose de câbles supplémentaires. Néanmoins, les performances atteintes diffèrent largement d'une habitation à une autre à cause des disparités des installations électriques. L'objectif du projet dont fait partie ce travail est de développer un outil capable de qualifier n'importe quelle installation électrique domestique vis-à-vis de la technologie CPL. Ceci passe par une modélisation de tous les paramètres affectant le canal CPL. Les communications sont affectées par le bruit présent sur le réseau qui est en grande partie généré par les appareils branchés. Le bruit est actuellement bien connu. Il est divisé en 5 classes [1] et ce sont surtout les bruits impulsifs qui sont les plus dommageables. Ainsi, dans un travail antérieur [2], le bruit de 100 appareils domestiques les plus fréquents a été mesuré et modélisé. Les autres facteurs impactant le canal sont les câbles électriques eux-mêmes et la topologie de câblage. Dans un autre travail antérieur [3], un modèle de câbles a été développé. Concernant la modélisation d'une topologie, plusieurs méthodes existent et les plus récurrentes sont basées sur les matrices chaines [4], les circuits électriques [1], les multi trajets [5] et les filtres [6]. Afin de faire un choix judicieux d'une méthode qui sera la base du simulateur, ces méthodes ont été évaluées et comparées. La méthode multi trajets a été retenue suite à cette analyse.

L'étude qui manque dans la littérature est l'influence des éléments de protection tels que les disjoncteurs sur le canal CPL et c'est l'objectif de ce travail. Dans la section 2, l'influence des disjoncteurs est mise en évidence en comparant les pertes d'insertion (paramètres  $S_{21}$ ) d'un simple réseau avec et sans disjoncteurs. La section 3 présente les mesures de ces pertes effectuées avec un analyseur de réseau sur une dizaine d'éléments de protection (disjoncteurs, interrupteurs différentiels, fusibles) dans les deux états de fonctionnement (passant et bloqué). La section 4 propose et valide un modèle électrique de ces éléments et pourra être intégré dans l'outil de simulation.



Figure 1 : Deux prises de courant connectées par intermédiaires de deux disjoncteurs

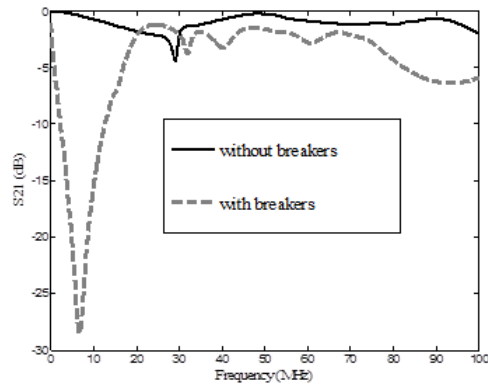


Figure 2 : Influence des disjoncteurs sur le canal entre deux prises

## 2. Effet des disjoncteurs

Le nombre et le type de disjoncteurs (branchement, divisionnaire, différentiel, calibre) traversés par le signal CPL dépendra de la position relative des deux prises de courant servant comme émetteur et récepteur. Ce nombre de disjoncteurs est fonction de la superficie de l'habitation (réseau électrique domestique selon la norme NFC 15-100 à développer dans la version finale).

Dans un premier temps, les pertes d'insertion entre deux prises de courant reliées par un câble électrique de 2 mètres ont été mesurées avec un analyseur de réseau Agilent E5071C. Dans un second temps, deux disjoncteurs divisionnaires de 16 A et 2A ont été par suite insérés au milieu du réseau (fig.1). La figure 2 présente les résultats de mesure de ces deux scénarios. On constate que certains disjoncteurs provoquent des évanouissements de la fonction de transfert pour certaines fréquences.

## 3. Caractérisation des éléments

Les pertes d'insertion de 10 éléments de protection de différents fabricants et calibres ont été mesurées dans l'état ON et OFF dans la bande [1-50] MHz. Un disjoncteur est caractérisé par son calibre exprimé en Ampère (A). Les éléments mesurés sont un disjoncteur de branchement Legrand BACO 21002, 40 A, 5 disjoncteurs divisionnaires Legrand de calibres 20, 16, 10, 2A, un interrupteur différentiel Legrand, 25 A, un fusible Legrand 20 A, un disjoncteur divisionnaire Schneider 10 A, un disjoncteur divisionnaire Hager 32 A.

### 3.1 Etat passant

Nous nous sommes intéressés en premier lieu aux disjoncteurs divisionnaires de même fabricant (Legrand) (fig.3a). Les disjoncteurs de grand calibre présentent une atténuation faible. Par contre, celui de deux ampères présente un pic d'atténuation d'environ -30 dB. Ceci est dû au nombre important de spires qu'il soit sensible aux faibles intensités de courant.

La figure 3(b) la comparaison de la fonction de transfert pour différents types de disjoncteurs. L'atténuation du disjoncteur de branchement est conséquente par rapport aux disjoncteurs divisionnaires et à l'interrupteur différentiel. L'influence du fabricant (fig.3c) est mineure car deux disjoncteurs de fabricants différents possèdent le même profil d'atténuation.

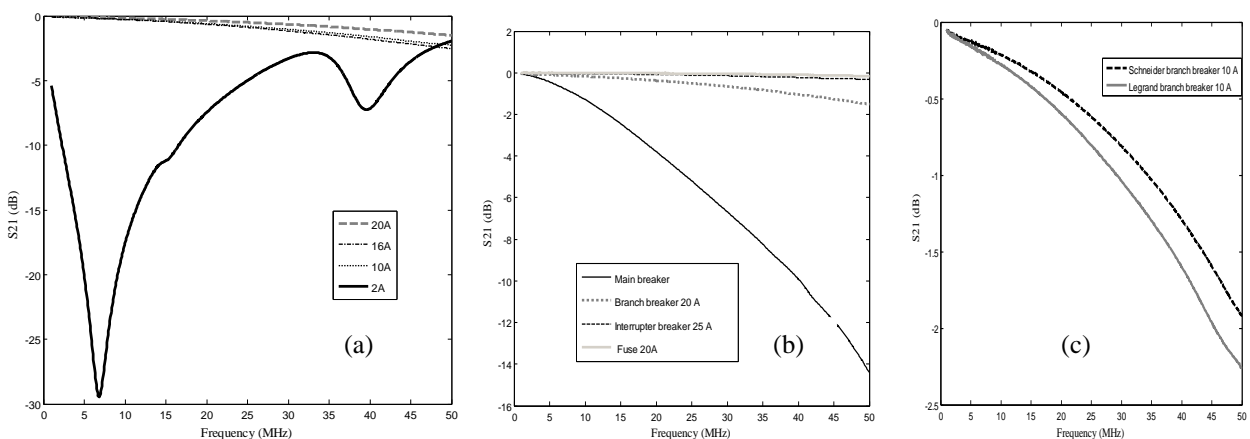


Figure 3: Pertes d'insertion des éléments dans l'état passant

### 3.2 Etat ouvert

Cette fois-ci, quel que soit le type de disjoncteur (branchement, divisionnaire, différentiel), les pertes d'insertion sont similaires. Le calibre du disjoncteur n'a plus d'influence à l'opposé de l'état passant (Les résultats seront présentés dans la version finale).

## 4. Modélisation des éléments

Nous sommes intéressés à trouver un circuit électrique reproduisant le comportement de ces éléments de protection. Les circuits électriques de la figure 4 sont proposés pour modéliser les éléments de protection dans l'état passant et ouvert. Ces modèles sont inspirés des lignes de transmissions.



**Figure 4: Modèle électrique des éléments de protection : (a) état passant, (b) état bloqué**

Si l'on calcule la matrice impédance du circuit de la figure 4(a), nous avons :

$$[Z] = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_1 + jL_1\omega + \frac{1}{G + jC\omega} & \frac{1}{G + jC\omega} \\ \frac{1}{G + jC\omega} & R_2 + jL_2\omega + \frac{1}{G + jC\omega} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Il est ainsi possible de déterminer les paramètres du circuit à partir de la matrice impédance.

$$R_1(\omega) = R_2(\omega) = \frac{1}{2} \text{real}\{Z_{11} - Z_{12}\} \quad (2)$$

$$L_1(\omega) = L_2(\omega) = \frac{1}{2} \text{imag}\{Z_{11} - Z_{12}\} \quad (3)$$

$$G(\omega) = \text{real}\left(\frac{1}{Z_{12}}\right) \quad (4)$$

$$C(\omega) = \frac{1}{\omega} \text{imag}\left(\frac{1}{Z_{12}}\right) \quad (5)$$

Il suffit ainsi de connaître la matrice impédance de l'élément qui peut être mesurée avec un analyseur d'impédance pour en déduire son circuit équivalent. Les disjoncteurs seront remplacés par leurs circuits équivalents dans le simulateur.

Dans l'état fermé, la même démarche est appliquée à l'aide de la figure 4(b).

## 5. Validation du modèle

La matrice impédance des éléments de protection est mesurée avec un analyseur d'impédance et les paramètres RLCC des circuits déduits d'après les équations (2)-(5). Il est rappelé que ces paramètres varient d'une fréquence à une autre. Cette variation fréquentielle est modélisée par un polynôme [3]. Un modèle d'un disjoncteur est par la suite créé dans le logiciel LTspice et sa matrice S en est déduite. Cette démarche sera développée dans la version finale. Cette matrice est comparée aux mesures présentées dans la section 3. La figure 5 représente le résultat pour le disjoncteur divisionnaire de 10A. Le faible écart entre la mesure et la simulation permet de valider le modèle proposé.

Il est maintenant possible de modéliser les pertes d'insertion du réseau de la figure 1 en tenant compte des deux disjoncteurs insérés. La figure 6 compare la simulation aux mesures et montre la précision du modèle.

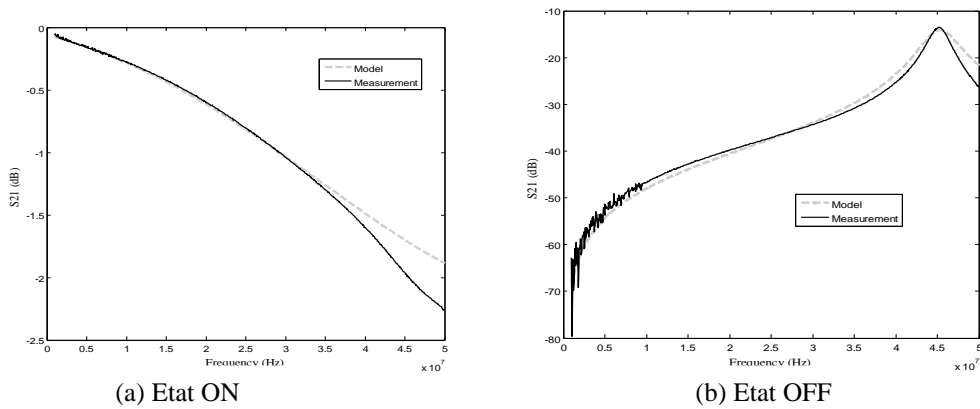


Figure 5: Comparaison des pertes d'insertion simulées et mesurées du disjoncteur de 10 A.

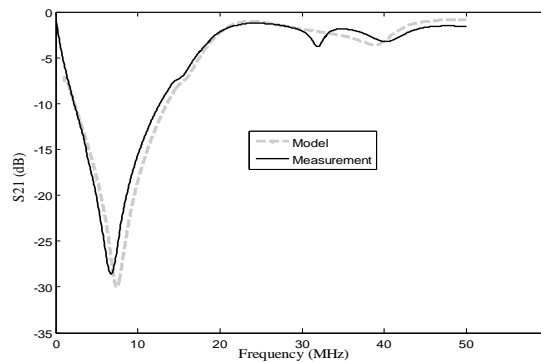


Figure 6: Comparaison des pertes simulées et mesurées du réseau

## 6. Conclusion

Le disjoncteur de branchement introduit une atténuation augmentant avec la fréquence et atteint une quinzaine de décibels à 50 MHz. Les disjoncteurs de faible calibre provoquent quant à eux des évanouissements de la fonction de transfert. Il est alors nécessaire de les prendre en considération dans l'étude des performances d'un réseau CPL. Un modèle électrique reproduisant les pertes d'insertion des éléments de protection a été validé et pourra s'intégrer dans un outil d'étude de faisabilité des communications CPL sur un réseau électrique domestique donné. Le fabricant n'influençant pas le comportement des disjoncteurs, nous pourrions constituer une base de données complète en faisant des mesures sur des disjoncteurs de tous les calibres prévus par la norme NFC 15-100.

## 7. Références

- [1] Zimmermann M., Dostert K., « An Analysis of the Broadband Noise Scenario in Powerline Networks », Proceedings of the 4th International Symposium on Power-line Communications and its Applications. Limerick (Ireland), vol. 138, 2000
- [2] D. Chariag, D. Guezgouz, Y. Raingeaud, J-C. Le Bunetel, « Channel Modeling and Periodic Impulsive Noise Analysis in Indoor Power Line », IEEE ISPL 2011, International Symposium on Power Line Communications, Udine Italy, April 3-6 2011.
- [3] D. Guezgouz, Y. Raingeaud, J-C. Le Bunetel, « SPICE Model for the PLC Propagation Channel in the High frequency range », presented at the ISPLC, Rio de Janeiro, March. 2010.
- [4] A.Rennane et al. « Modeling and Characterization of Transfer Function for the Broadband Power line Communication Channel », European journal for electric systems
- [5] M. Zimmermann and K. Dostert, « A Multi-Path Signal Propagation Model for the Power Line Channel in the High Frequency Range », in International Symposium on Power line Communications and its Applications, Lancaster, UK, April 1999, pp. 45–51.
- [6] L.T.Berger, Gabriel Moreno-Rodriguez, « Power line Communication channel Modeling through Concatenated IIR-Filters Elements », Journal of Communication, Vol.4, N°1, February 2009.