



**HAL**  
open science

## AMELIORATION DE DEBIT CPL AVEC FILTRAGE ET ETUDE D'IMPEDANCE

Ismail Aouichak, Imène Elfeki, Yves Raingeaud, Jean-Charles Le Bunetel

► **To cite this version:**

Ismail Aouichak, Imène Elfeki, Yves Raingeaud, Jean-Charles Le Bunetel. AMELIORATION DE DEBIT CPL AVEC FILTRAGE ET ETUDE D'IMPEDANCE. 19ème Colloque International et Exposition sur la Compatibilité ÉlectroMagnétique (CEM 2018), Jul 2018, PARIS, France. hal-02011651

**HAL Id: hal-02011651**

**<https://hal-univ-tours.archives-ouvertes.fr/hal-02011651>**

Submitted on 8 Feb 2019

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## AMELIORATION DE DEBIT CPL AVEC FILTRAGE ET ETUDE D'IMPEDANCE

I. Aouichak, I. Elfeki Y. Raingeaud, J.C. Le Bunetel

Université de Tours - GREMAN CNRS UMR 7347

37200 Tours

aouichak@univ-tours.fr, ielfeki@lanpark.eu,

yves.raingeaud@univ-tours.fr, leibunetel@univ-tours.fr.

**Résumé.** Le réseau électrique domestique est un réseau complexe et imprévisible dont les particularités varient fortement d'une installation à une autre selon l'architecture et les appareils connectés. La technologie CPL haut débit utilise ce type de réseau comme support de transmission, sauf qu'il n'est pas conçu pour transmettre des signaux à des fréquences élevées. Ce papier traite la variation des impédances et propose un filtre capable de stabiliser l'impédance des charges à fin d'améliorer le débit de transmission CPL. La validation est réalisée en laboratoire et sur des architectures réelles.

### I. INTRODUCTION

La technologie Courant Porteur en Ligne (CPL) est une technologie de transmission de donnée haut débit et bas débit. L'utilisation du réseau électrique domestique est un moyen de réduire le coût d'installation. L'évolution des normes CPL a permis d'élargir la bande passante de transmission et ainsi d'augmenter son débit. Ce débit peut être dégradé par la présence d'appareil électrique générant des perturbations sur le réseau électrique ainsi que la variation d'impédances. La complexité de l'architecture d'un réseau ajoute des atténuations importantes. Il est actuellement difficile de prévoir la qualité de transmission par CPL dans un environnement domestique [1,2].

Les appareils domestiques se divisent en plusieurs classes [3]. La classe 2 regroupe les lampes et quelques chargeurs de téléphone et certaines alimentations des appareils électriques. C'est la classe qui perturbe le plus dû à l'absence de filtre CEM en amont du pont redresseur. Ce papier propose un moyen de filtrage de mode différentiel capable de compenser la variation temporelle de l'impédance des appareils et donc améliorer le débit de transmission de l'installation CPL.

### II. ETUDE DU FILTRE

Le filtre développé a été dimensionné pour compenser toute variation d'impédance sur la bande de transmission haut-débit entre 1 MHz et 60 MHz. Fig.1 présente le circuit de ce filtre. Il comprend une inductance et une capacité. Ces deux éléments sont dimensionnés pour cette bande de fréquence. Effectivement, l'impédance de la capacité doit être considérablement faible sur la bande de fréquence due à son positionnement en parallèle avec le circuit de l'appareil. L'impédance totale du quadripôle vue par le réseau sera donc très proche de celle de l'inductance. Dans le cas idéal, l'impédance de l'inductance doit rester en

haute fréquence proche de l'impédance caractéristique du réseau pour améliorer l'adaptation d'impédance lors de la transmission de signaux CPL.

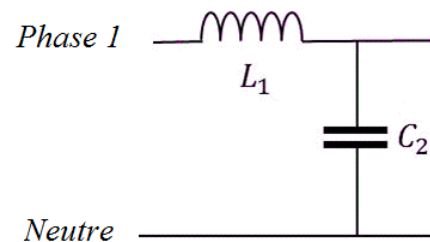


Fig. 1. Structure du filtre.

L'impédance de l'inductance réalisée n'est pas optimisée par rapport à l'impédance caractéristique du réseau proche de 100  $\Omega$ . L'inductance obtenue a une impédance maximale d'environ 1 k $\Omega$  (Fig.2). Pour obtenir une inductance non-saturable, on a opté pour un noyau ouvert avec des spires suffisamment écartées pour réduire les capacités parasites.

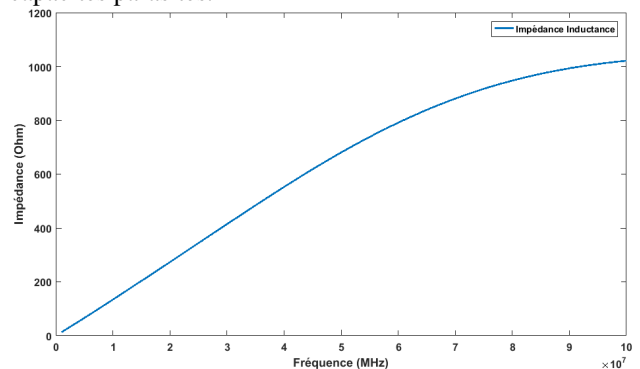


Fig. 2. Impédance de l'inductance ( $L1=2,2\mu H$ )

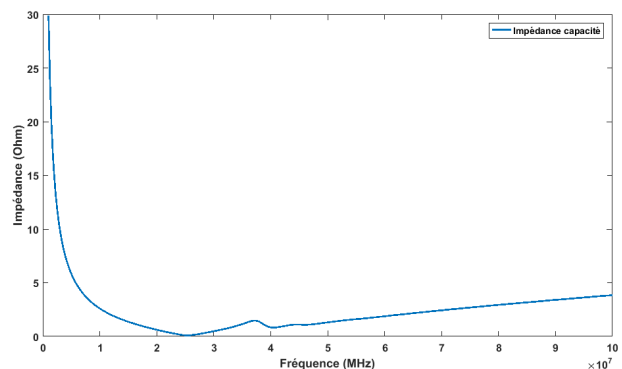


Fig. 3. Impédance de la capacité ( $C2=6nH$ )

La technologie céramique du condensateur est choisie pour son comportement stable en haute fréquence (Fig.3). Son impédance est inférieure à 5 Ω en haute fréquence. La mesure du paramètre S21 du filtre LC permet de connaître l'atténuation obtenue en vue de filtrer les perturbations HF des appareils de classe 2. La Fig.4 montre le comportement passe-bas du filtre avec une fréquence de coupure d'environ 3 MHz et une atténuation supérieure à 30dB en haute fréquence.

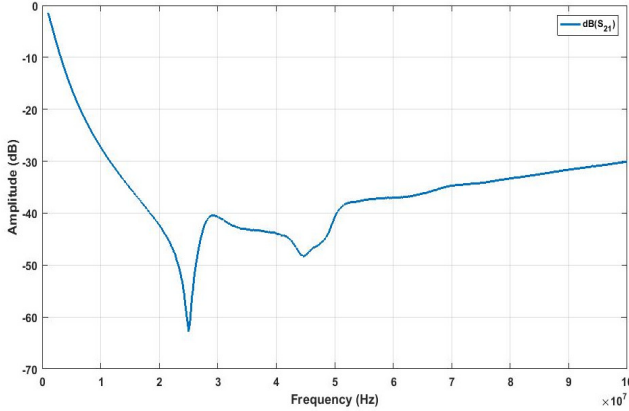


Fig. 4. S21 sur 50Ω.

La deuxième étape est d'évaluer l'impédance du filtre avec le passage d'un courant. La Fig.5 montre le setup de mesure. Le transformateur d'isolement et le RSIL sont utilisés pour assurer la reproductibilité des mesures, un coupleur capacitif est utilisé pour connecter l'analyseur de réseau et le circuit de puissance. Un chauffage électrique est choisi pour solliciter le circuit magnétique avec un courant important de l'ordre de 16 A.

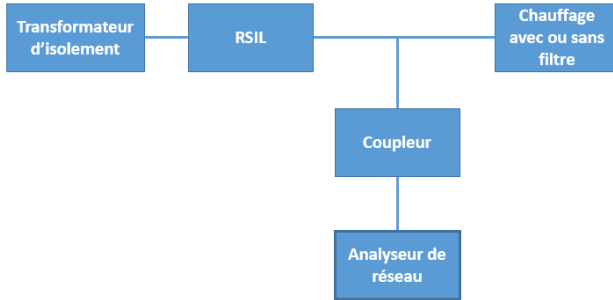


Fig. 5. Setup de mesure d'impédance.

La Fig.6 présente l'impédance totale du filtre chargé par le chauffage, mesurée sur la bande 1-100 MHz ainsi que les impédances du filtre à vide et la charge seule. L'équation (1) permet de calculer l'impédance à partir de la mesure du paramètre de réflexion S11. Une mesure sans charge connectée au RSIL permet d'obtenir l'impédance de référence  $Z_{ref}$ . Le setup de mesure consiste à mesurer le paramètre S11 du chauffage avec ou sans filtre connecté au RSIL et d'en déduire à l'aide de l'équation 2 l'impédance du chauffage avec ou sans filtre. Nous pouvons noter que l'impédance du filtre vue du réseau dépendra de l'impédance des charges connectées.

$$Z_{ref} = 50 \cdot \frac{1 + S11_{ref}}{1 - S11_{ref}} \quad (1)$$

$$Z_{filtre+charge} = \frac{Z_{ref} \cdot Z_{mesure}}{Z_{ref} - Z_{mesure}} \quad (2)$$

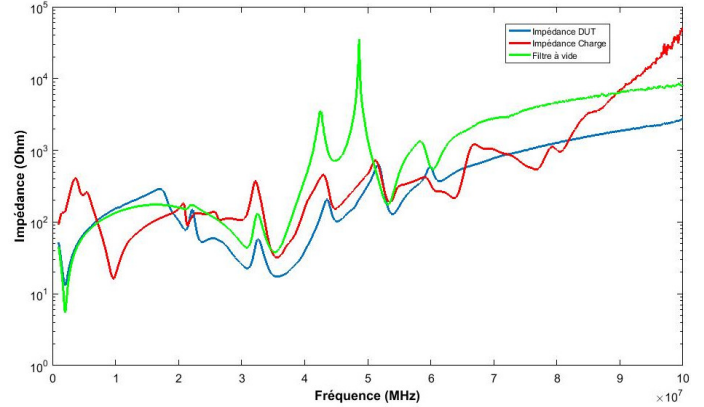


Fig. 6. Impédance du filtre à vide, du filtre chargé (DUT) et de la charge.

### III. VALIDATION EXPERIMENTALE

#### III.1. Filtrage de bruits impulsionnelle

Le setup présenté dans Fig. 7 est utilisé pour voir l'influence du filtre sur le bruit impulsionnelle généré par un appareil de classe 2 (lampe fluorescente). La mesure est effectuée à l'aide d'un oscilloscope Agilent Infiniium 6GHz 20G Sa/s, avec une période capture de 20ms synchronisé avec le secteur.

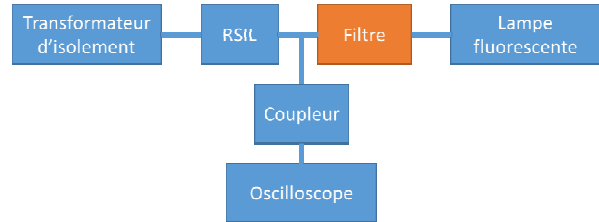


Fig. 7. Setup mesure bruits impulsionnelles

Pour plusieurs appareils de classe 2 testés, un bruit sous forme de sinus amortis apparaît sur la ligne. La lampe fluorescente génère un bruit de commutation qui se traduit en un train d'impulsions périodiques (Fig.8 tracé bleu).

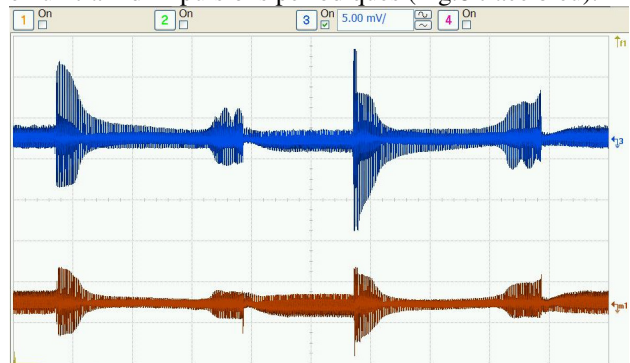


Fig. 8. Mesure bruits impulsionnelles d'une lampe fluorescente sans filtre (bleu) avec filtre (Orange)

Une fois le filtre introduit en amont de la lampe, l'amplitude de ces impulsions est amoindrie.

### III.2. Mesure de débit sur réseau en laboratoire

La première validation est effectuée afin d'analyser les pertes de paquets et le débit sur un réseau isolé à l'aide d'un transformateur et d'un RSIL (Tableau. 1). Sur le réseau isolé, on n'a pas de perte de paquet de données entre l'émetteur et le récepteur. Une fois les appareils introduits sur le réseau, le taux de pertes s'élève à 7 % au premier modem CPL et à 14 % au deuxième. Une fois le filtre introduit en amont des charges, les pertes sont faibles au niveau des 2 modems CPL. Les mesures effectuées ont été réalisées en utilisant des boîtiers CPL DEVOLO (500Mbps) et l'outil DEVOLO Cockpit [4].

Table 1. Mesure des pertes de paquet et débit

Type d'essais	Pertes de paquet modem 1	Perte de paquet modem 2	Débit
Sans appareil	Emission : 0% Réception : 0%	Emission : 0% Réception 0%	500Mo/s
Avec appareils sans filtre	Emission : 7.4% Réception : 7.2%	Emission : 14.3% Réception : 14.4%	450Mo/s
Avec appareils avec filtre	Emission : 1.9% Réception : 0%	Emission : 0% Réception : 4.3%	496Mo/s

### III.3. Mesure de débit sur réseau domestique

Dans le but de tester les performances des systèmes CPL en présence des appareils et en utilisant le filtre développé, des mesures de débit ont été effectués sur une architecture d'installation électrique domestique (Fig 9). Cette architecture est composée de plusieurs branches protégées par des disjoncteurs.

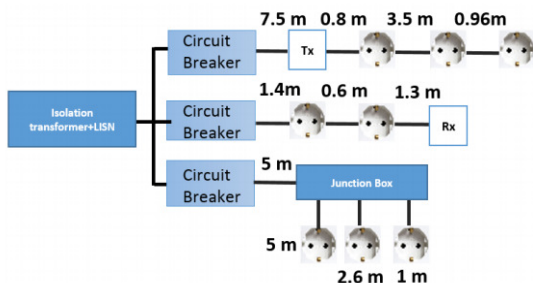


Fig. 9. Architecture du réseau domestique

La configuration de test consiste à connecter une multiprise au niveau de la prise Tx chargée d'un chauffage électrique et de 2 lampes (Fig.10). Les résultats présentés

dans le tableau 2 montrent le débit montant et descendant entre deux modems CPL. On remarque que l'ajout d'appareils provoque une chute du débit dans les deux sens. En intercalant le filtre entre le réseau et les charges, le débit revient à son débit initial.

Table 2. Mesure de débit

Type d'essais	Débit montant (1->2)	Débit descendant (2->1)
Sans appareil	97 Mo/s	140 Mo/s
Avec appareil sans filtre	43 Mo/s	63 Mo/s
Avec appareil avec filtre	97 Mo/s	126 Mo/s

Ces résultats montrent que les appareils domestiques perturbent les transmissions CPL à cause de la variation d'impédances et du bruit généré. En effet, le débit est réduit à 45% par rapport au débit initial seulement en ajoutant 3 appareils (2 lampes et une charge résistive). L'insertion du filtre en entrée des charges, permet de rétablir le débit initial et d'éliminer cette diminution. Cela permet de mettre en avant l'efficacité de la solution proposée pour remédier au problème de variation temporelle des impédances et par conséquent améliorer la transmission CPL.

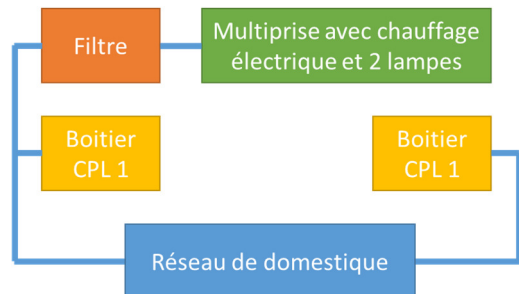


Fig. 10. Configuration de test

## IV. AMELIORATION DU FILTRE

### IV.1. Conception du filtre

Le filtre a pour rôle d'éliminer les perturbations des appareils et de stabiliser l'impédance du canal CPL. L'impédance du filtre relevé précédemment (Part II) est très supérieure à l'impédance caractéristique du réseau généralement estimé à environ 100 Ω ce qui entraîne une réflexion plus ou moins importante des signaux CPL. Pour connaître le comportement du filtre sur les signaux à haute fréquence, il est nécessaire d'étudier le coefficient de réflexion de ce dernier. La figure 11 montre le coefficient de réflexion du filtre réalisé (sur 50 Ω) sur un abaque de Smith. Le coefficient de réflexion peut se déduire de l'abaque de Smith en mesurant la distance entre la courbe et le point central (1,1) de l'abaque.

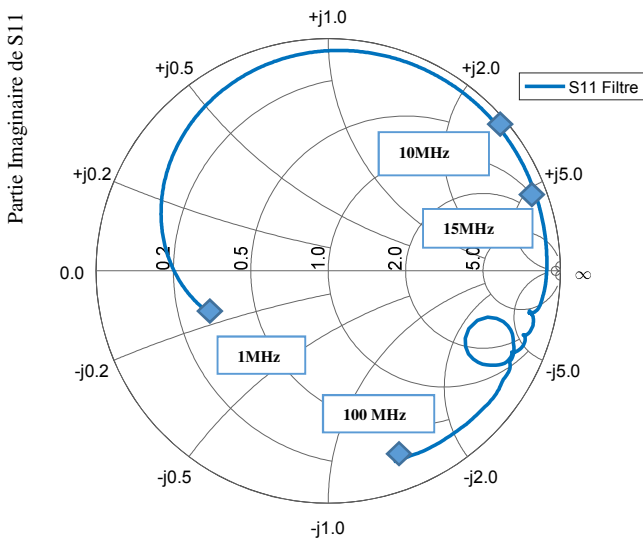


Fig. 11. Coefficient de réflexion du filtre à 50  $\Omega$  (S11)

On peut remarquer que cette distance est grande dans le cas du filtre réalisé, cela signifie que le signal CPL est fortement réfléchi. Cette réflexion va varier lorsqu'on le connecte au réseau électrique.

Le logiciel LTSpice est utilisé pour connaître l'impact du filtre lorsqu'il est inséré dans un réseau électrique. Le filtre est introduit sous forme d'impédance  $Z_L$  et  $Z_C$  issue de la mesure (Fig. 12). V5 représente émetteur connecté à une ligne électrique de 20 m au niveau d'un téléviseur ( $Z_{TV}$ ). La résistance R7 représente le récepteur. Le câble de 5 mètres est modélisé par un modèle RLCC nommé LTRA2. Les calculs des paramètres S sont calculés entre la source V5 et la résistance R7.

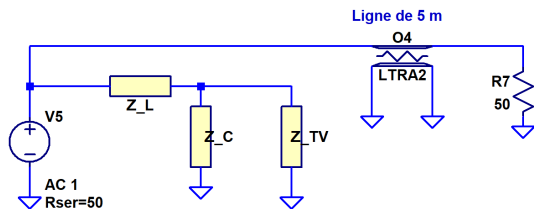


Fig. 12. Simulation de la transmission sur LTSpice

Le paramètre S11 au niveau de l'émetteur V5 est relevé dans un plan Nyquist sur la Fig. 13. Cette représentation est similaire à la représentation de Smith, le (1,1) de l'abaque de Smith correspond au point (0,0) du tracé de Nyquist. Donc la distance entre le centre de Nyquist (0,0) et la courbe correspond au coefficient de réflexion. La courbe verte correspond au coefficient de réflexion lorsque le téléviseur et le filtre ne sont pas connectés. On note une réflexion relativement faible comprise entre 0 et 0,38. Lorsque le filtre et le téléviseur est connecté (courbe bleue), la réflexion augmente pour les fréquences inférieures à 10 MHz. A partir de 10 MHz, la réflexion est comprise entre 0 et 0,44.

La transmission peut être améliorée en augmentant l'inductance et en réduisant le condensateur d'un même facteur 10 sans changer la fréquence de coupure.

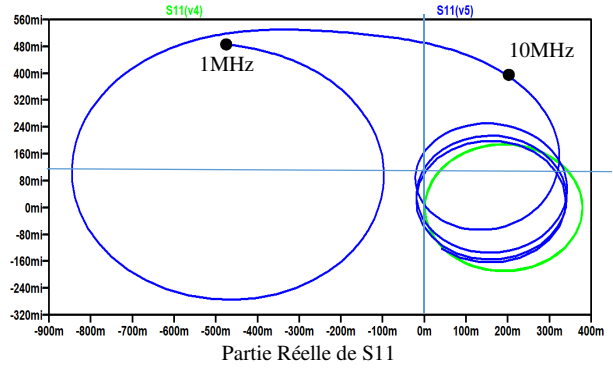


Fig. 13. Influence du filtre sur le coefficient de réflexion au niveau de l'émetteur

La courbe rouge de la Fig. 14 montre que la réflexion obtenue en simulation avec le filtre modifié est proche de celui sans le filtre et le téléviseur de la figure 13 (vert).

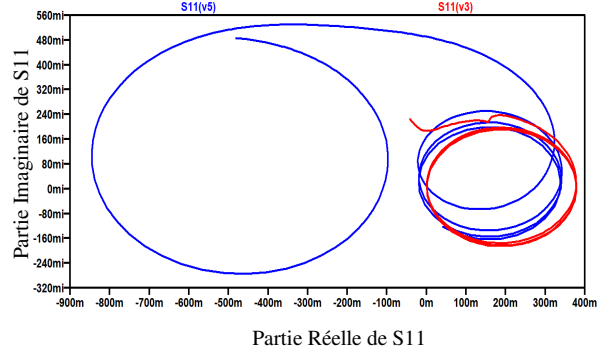


Fig. 14. Comparaison du coefficient de réflexion au niveau de l'émetteur avec le filtre modifié (rouge) et avec le premier filtre réalisé (bleu)

## IV.2. Réalisation du filtre

Le filtre simulé est réalisé à l'aide d'une inductance de 20  $\mu\text{H}$  (2,2  $\mu\text{H}$  pour le filtre précédent) et un condensateur de 414 pF (6nF pour le filtre précédent. L'inductance est composée d'un noyau en ferrite 3C90 de type RM14 avec un entrefer de 0.5 mm. Le condensateur est la mise en série de deux capacités en céramique de 6nF.

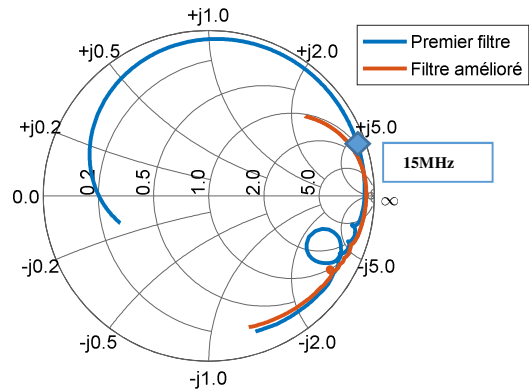


Fig. 15. Comparaison du coefficient de réflexion des 2 filtres réalisés sur 50  $\Omega$  (rouge : filtre amélioré, et bleu : premier filtre réalisé)

La figure 15 montre le coefficient de réflexion du nouveau filtre. En comparaison avec la figure 11, on peut remarquer que le coefficient de réflexion a diminué sur la bande de fréquence 1MHz-15MHz, ce qui correspond à une première amélioration.

Le filtre a été testé expérimentalement sur le schéma électrique de la figure 12 afin de comparer les améliorations dans les mêmes conditions que la simulation Spice. La figure 16 montre le S11 des 2 filtres sous forme d'abaque de Smith au niveau de l'émetteur placé en amont du filtre. La courbe bleue correspond au premier filtre réalisé et montre une réflexion importante entre 1MHz et 15MHz comme l'avait prédit la simulation. La courbe rouge représente le coefficient de réflexion du filtre amélioré. Sa valeur est fortement réduite et est comprise entre 0 et 0,65. Ces résultats valident les choix réalisés.

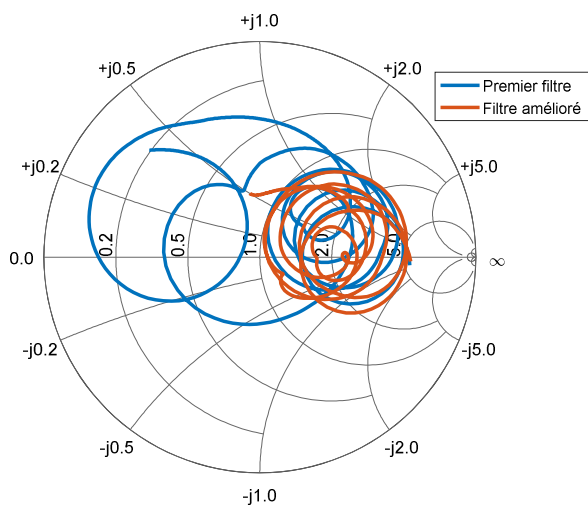


Fig. 16. S11 au niveau de l'émetteur en amont du filtre

La conséquence de l'amélioration sur coefficient de réflexion est d'obtenir une meilleure adaptation d'impédance. L'impédance d'accès au niveau de l'émetteur est calculée à partir de la mesure du paramètre S11.

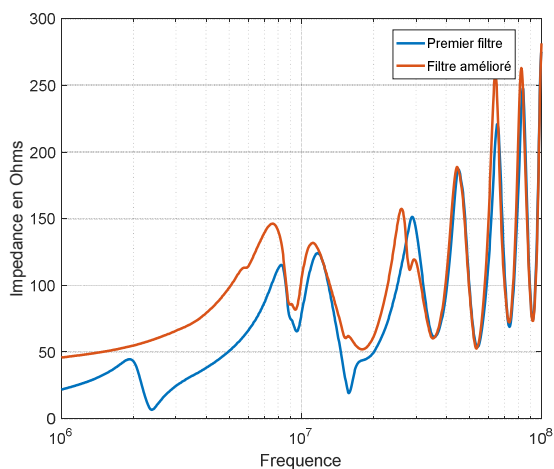


Fig. 17. Impédance au niveau de l'émetteur en amont du filtre

La figure 17 montre une impédance proche de 50  $\Omega$  en basse fréquence pour le filtre amélioré puis supérieure à 50. Le premier filtre engendre des impédances très faibles en basse fréquence susceptibles d'atténuer les signaux à transmettre.

### IV.3. Résultats de transmission sur un réseau domestique

Un simulateur de fonctions de transfert entre 2 prises d'un réseau domestique a été développé sous JAVA [5] par le laboratoire. Les impédances du premier filtre ainsi que celles du filtre amélioré, ont été introduit dans ce simulateur de réseau CPL pour simuler l'architecture de test présentée dans la partie III.3. Comme on peut voir sur la figure 18, la fonction de transfert du filtre amélioré présente une atténuation amoindrie à celle du premier filtre en dissimulant la variation d'impédance de la télévision branchée en amont.

Le nouveau filtre rectifie la transmission en masquant l'impédance des appareils branchés sur le réseau de transmission CPL et aussi en contenant le bruit présent sur le canal. Le filtre doit être expérimenté par la suite sur différentes classes d'appareils et dans des scénarios de transmission réelle pour voir son comportement sur le débit de données transmis sur le réseau.

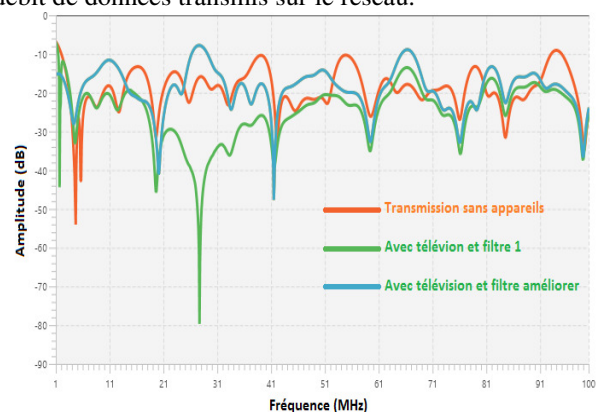


Fig. 18. Exemple de transmission

## V. CONCLUSION

Le signal CPL est fortement susceptible aux bruits présents sur les lignes de transmission. Les appareils de classe 2 sont les plus perturbateurs pour la communication CPL, en effet les variations temporelles des impédances de ces appareils provoquent un changement temporel des fonctions de transferts entre l'émetteur et le récepteur branchés sur le réseau induisant ainsi une chute du débit. Dans le but de préserver ce signal, un filtre est développé, qui a pour but de stabiliser les impédances des appareils et surtout ceux de la classe 2. Le circuit est placé en amont des charges perturbatrices et peut être intégré directement sur une multiprise. Le filtre n'a pas d'influence sur l'architecture du réseau ni sur la charge. La validation a été effectuée sur plusieurs appareils et type d'installation domestique pour assurer le bon fonctionnement du filtre. L'étude du filtre montre qu'une amélioration est possible. Le but final sera de proposer un filtre qui élimine les

perturbations sur la ligne et aussi propose une meilleure adaptation d'impédance du canal pour favoriser la transmission du signal CPL.

## REFERENCES

- [1] Anatory, J.; Theethayi, N.; Kissaka, M.M.; Mvungi, N.H.; Thottappillil, R., "The Effects of Load Impedance, Line Length, and Branches in the BPLC—Transmission-Lines Analysis for Medium-Voltage Channel", *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol.22, no.4, pp.2156,2162, Oct. 2007
- [2] Chandna, V.K.; Zahida, M., "Effect of Varying Topologies on the Performance of Broadband Over Power Line", *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol.25, no.4, pp.2371, 2375, Oct. 2010
- [3] Chariag, D., Raingeaud, Y., & Le Bunetel, J. C. (2012). A Method to Construct Equivalent Circuit from Input Impedance of Household Appliances. *International Journal on Communications Antenna and Propagation*, 2(4), 226-235.
- [4] N. Weling and N. Nazari, "Statistical evaluation of 55 million PLC channel and topology measurements by more than 75.000 end-users," *2011 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications*, Udine, 2011, pp. 237-242.
- [5] I. Aouichak, Y. Kergosien, I. Elfeki, J. C. Le Bunetel, Y. Raingeaud and J. C. Billaut, "Multipath model simulator for PLC home networks," *2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility - EMC EUROPE*, Angers, 2017, pp. 1