

# Etude de la transmission de données par modulation DMT sur le réseau électrique

David BUECHE, Patrick CORLAY, Marie COLIN, Marc GAZALET,  
François-Xavier COUDOUX, et Francis HAINE

Institut d'Electronique et de Micro-électronique du Nord (IEMN)

Université de Valenciennes, IEMN DOAE UMR CNRS 8520  
Le Mont Houy, BP311  
F-59304 Valenciennes Cedex, France

email@[David.Bueche@univ-valenciennes.fr](mailto:David.Bueche@univ-valenciennes.fr)

[Patrick.Corlay@univ-valenciennes.fr](mailto:Patrick.Corlay@univ-valenciennes.fr)

**Résumé** – Nous proposons dans cet article d'étudier les performances d'une transmission Multi-porteuses (DMT) de données en INDOOR, sur les lignes électriques (connu sous le nom générique de PLC : Power Line Communication). La bande de fréquence utile est de quelques dizaines de Mhz Les résultats seront donnés en terme de débits (Mbit/s) en fonction de la puissance transmise (quelques microwatts). Le schéma de transmission utilisé est proche de celui de l'ADSL.

**Abstract** – *In this article, we propose to study the performances of a discrete multy tones transmission (DMT) in INDOOR, on the Power Lines (known as PLC: Power Line Communications.). The frequency bandwidth used is about twenty Mhz. The results are given in terms of rate (Mbit/s) as function of the emitted power (few microwatt). The used transmission scheme is similar to ADSL one.*

## 1. Introduction

Les câbles de l'alimentation électrique ont été souvent utilisés comme support de communication bas-débit (courants porteurs, domotiques, instructions de commande de machines électriques,...). Depuis peu, on s'intéresse à ce type de support pour des applications (internet, réseau local,...) hauts débits (plusieurs Mbits/s). Le terme « Power Line Communication » (PLC) désigne la transmission de données via le segment basse tension du réseau électrique, qui va du poste moyenne tension - basse tension (MT/BT) aux prises électriques du domicile. Nous étudions dans cette article, la transmission à l'intérieur du domicile (INDOOR). Le fait de ne pas redéployer de nouveaux câbles constitue l'intérêt des PLC. Cependant les câbles électriques n'ont pas été conçus pour la communication. Il en résulte une haute sensibilité aux interférences, ainsi qu'un rayonnement non négligeables. De plus ce canal de transmission est sélectif en fréquence, variant en temps, et perturbé par des bruits de niveau élevé.

L'étalement de spectre a été souvent utilisé comme méthode de modulation pour des systèmes sélectifs en fréquence et perturbé par des bruits à bande étroite tels que les PLC [1]. D'autres approches utilisent une modulation du type multiporteuses (DMT), dont l'intérêt essentiel réside dans l'utilisation optimale de la bande passante du canal (Water-pouring). De plus les systèmes DMT sont largement utilisés pour la communication à hauts débits sur les lignes téléphoniques (ADSL, VDSL,...). Nous utiliserons une modulation Multi-porteuses (DMT). Nous

allons tout d'abord donner les caractéristiques des lignes électriques comme support de transmission. Ensuite nous présenterons le schéma de transmission retenu. Enfin nous donnerons les résultats issus de la simulation avant de conclure.

## 2. Les caractéristiques du canal

Les caractéristiques du canal qui nous intéressent sont la réponse en fréquence et le bruit. La réponse en fréquence dépend essentiellement de la topologie du réseau électrique et des câbles utilisés. En INDOOR, ce sont des informations indisponibles. On peut seulement avoir des caractéristiques générales. La prise de mesure peut être effectuée par des techniques variées [2][3]. Nous avons étudié et mesuré la réponse du canal en INDOOR [4]. La Figure 1 donne un exemple de mesure obtenue. Le canal peut être vu comme un canal Multi-trajet [2][4]. D'autres modèles se sont basés sur des méthodes utilisées pour caractériser les lignes téléphoniques [5]. A partir d'un certain nombre de mesures, on peut estimer une atténuation globale fonction de la fréquence et de la distance [6]. Dans ce même article, une étude de la variance en temps du canal a été réalisée. Le canal peut être considéré comme peu variant en temps tant que les appareils électriques ne changent pas d'état de fonctionnement.

Il y a trois types de bruits additifs sur le canal : le bruit de fond, le bruit impulsif, et les bruits à bande étroite. Le bruit

de fond est modélisé simplement par une fonction décroissante en fonction de la fréquence. Dans [5], une telle approximation mathématique est utilisée avec peu de paramètres. Il est intéressant d'y trouver la valeur des paramètres du modèle pour différents niveaux de bruit. Les bruits à bande étroite sont généralement dus aux transmissions radio, et peuvent être facilement localisés par leurs tables d'allocation fréquentielle. Les bruits impulsifs sont étudiés par exemple dans [7].

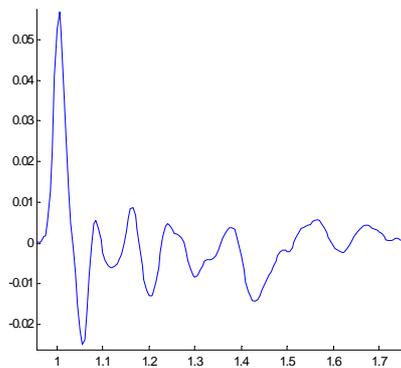


Figure 1 : exemple de réponse impulsionnelle obtenue en fonction du temps ( $\mu$ s).

On peut trouver dans [1], un résumé de toutes les contributions au sujet des PLC.

Ce qui différencie les PLC, de l'ADSL, ce sont des modèles de référence pour le canal et le bruit. De plus, de manière générale, si on doit estimer le canal pour pouvoir le compenser, il serait intéressant de connaître le temps entre chaque estimation de canal. C'est pour cette raison qu'ici, nous supposons que le canal est stationnaire et correctement estimé.

### 3. Transmission par modulation DMT

#### 3.1 Canal retenu.

Nous utilisons comme canal de transmission pour notre simulation, une fraction de réseau INDOOR proposé dans [5]. L'atténuation du canal, dont le module de la réponse en fréquence  $|H(f)|$  est représenté à la figure 2, est comprise entre 10 et 35 dB pour la bande de fréquence 0-14 MHz. Comme le montre la figure 3, la densité spectrale de puissance de bruit  $N(f)$  varie entre  $-80$  et  $-130$  dBm/Hz.

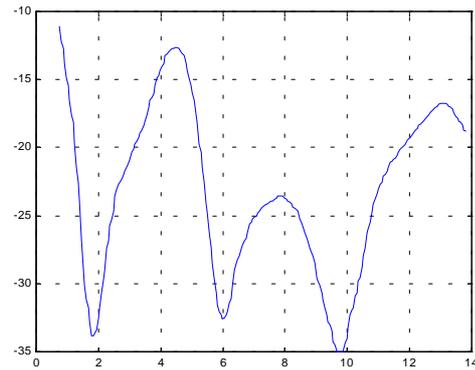


Figure 2 : réponse en fréquence du canal (module de  $H(f)$  en dB en fonction de la fréquence en MHz)

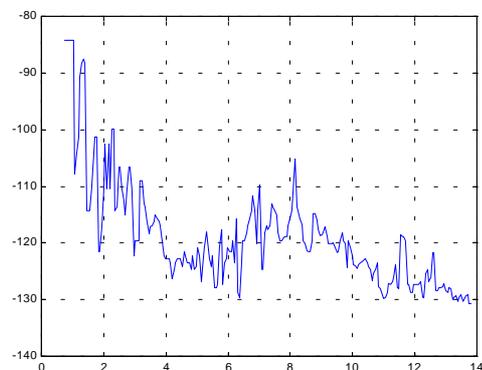


Figure 3 : densité spectrale de puissance du bruit en dBm/Hz en fonction de la fréquence (MHz)

#### 3.2 Paramètres de la transmission DMT

Le synoptique de la transmission est représenté à la figure 4. La durée  $T$  d'un symbole DMT est fixée à  $20 \mu$ s, l'ajout d'un préfixe cyclique constitué de 40 échantillons et l'utilisation d'une FFT à 512 points nous fournit 256 porteuses, composante continue incluse mais non utilisée, espacées de  $\Delta w = 53,95$  KHz, soit une plage de fréquence totale proche de 14 MHz. On note  $|H|_k$  et  $N_k$  les valeurs de  $|H(f)|$  et  $N(f)$  supposées constantes dans la plage de fréquence  $\Delta w$  autour de la fréquence porteuse  $k \cdot \Delta w$ .

L'algorithme d'allocation utilisé [8] permet la répartition des bits ( $b_k$ ) sur les différents sous canaux par application du Water - pouring ainsi que celle de la puissance ( $p_k$ ) par optimisation du  $TEB$ . Le débit total  $RT$  (bit/symbole DMT) ainsi que la puissance totale  $PA$  sont imposés. Comme pour l'ADSL, on se fixe une valeur minimale de 2 bits pour les sous-canaux sélectionnés.[9] Les informations relatives au canal, nécessaires pour la mise en œuvre de l'algorithme, sont l'inverse du bruit équivalent ramené à l'entrée pour les

$$\text{différents sous - canaux : } g_k = \frac{|H|_k^2}{N_k \cdot \Delta w}$$

### 3.3 Détermination du taux d'erreur

Dans l'hypothèse d'un bruit Gaussien on calcule aisément le taux d'erreur symbole pour chaque sous-canal ( $TES_k$ ). Il se résume en la détermination du taux d'erreur d'une modulation MAQ de taille connue ( $b_k$ ) pour une puissance de signal ( $p_k$ ) et de bruit ( $1/g_k$ ) données [10]. Le taux d'erreur par bit ( $TEB_k$ ) est approximé par la relation

$$TEB_k = TES_k \cdot \frac{b_m}{b_k}$$

dans un symbole MAQ en erreur. Cette approximation est d'autant meilleure que le taux d'erreur est inférieur à  $10^{-1}$  [11]. Pour un codage de type gray  $b_m=1$ . Quant au  $TEB$  de la modulation DMT, il correspond à la moyenne statistique des  $TEB_k$ .

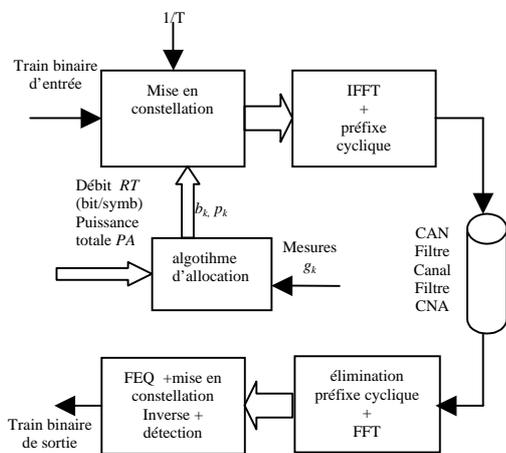


Figure 4 : synoptique de la transmission DMT

### 3.4 Résultats de la simulation

Un  $TEB$  de  $10^{-7}$  est obtenu pour une puissance émise  $PA = 1 \mu W$  et un débit de 6.1 Mbit/seconde soit un total de 122 bits par symbole DMT. Les répartitions des bits et de la puissance sur les différents sous canaux sont données à la figure 5a et 5b. Le nombre de sous-canaux utilisés est de 60, se répartissant en 58 sous-canaux véhiculant 2bits et 2 comportant 3 bits.

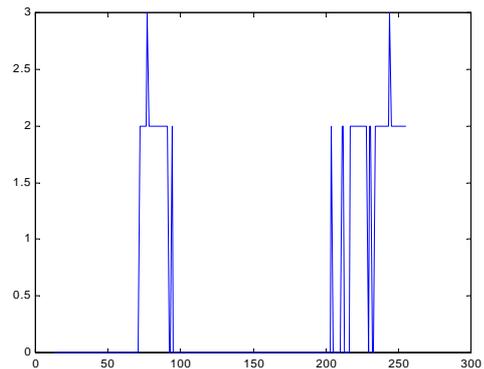


Figure 5a : répartition des bits en fonction des sous-canaux

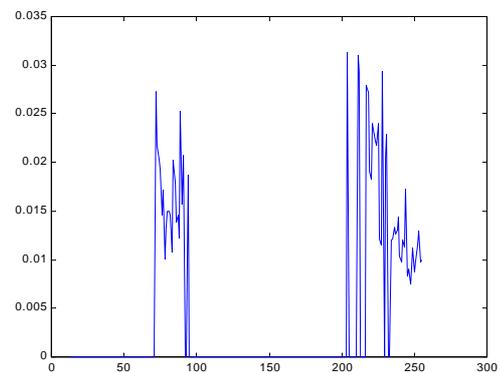


Figure 5b : répartition de la puissance (microW) en fonction des sous-canaux

L'évolution du débit obtenu en fonction de la puissance pour un  $TEB$  constant de  $10^{-7}$ , avec et sans marge de bruit, est tracée à la figure 6 (trait plein). Les résultats issus de [5], ont été reportés sur la même figure (trait pointillé)

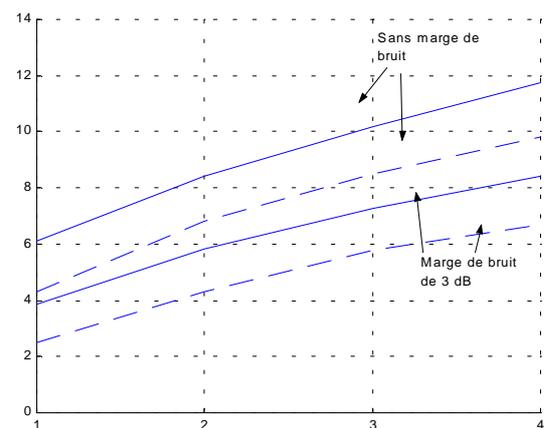


Figure 6 : Evolution du débit en Mbits/s en fonction de la puissance totale (PA) en microW.

### 3.5 Analyse des Résultats

Il faut préciser que les résultats sont obtenus sous les conditions d'une connaissance parfaite de la fonction de transfert au niveau du récepteur et de la stationnarité du canal et du bruit.

La différence entre nos résultats et ceux de [5] est due :

- au fait que nous nous sommes fixés un minimum de deux bits par sous-canaux utilisés.
- à la différence des algorithmes d'allocation implémentés.

## 4. Conclusion

Nous avons obtenu de bons résultats en terme de débits et de puissance. Ils sous-entendent des conditions idéales et devront être validés, pour les ordres de grandeur, par une transmission réelle sur notre réseau électrique.

Nos prochaines études consisteront à :

- prendre en compte les bruits impulsifs,
- caractériser la stationnarité de la fonction de transfert du canal
- adapter le synoptique de transmission en fonction des deux études précédentes.

## Références

- [1] Proceeding of the 5th international symposium on Power-Line Communications and its applications, (ISPLC01), 4-6 Avril 2001, Malmö, Suède.
- [2] Holger Philipps: "Modelling of powerline communication channels", ISPLC99, p 14-21.
- [3] S.Ramseier, B.Sabbatini, Ch.Imboden, "A novel method for measuring this characteristics of the power channel for high speed communications", ISPLC98, p 238-246.
- [4] P.Corlay, F.Ruolt, M.Gazalet, FX.Coudoux, F.Haine "An efficient modelling of the impulse response of the indoor power line communication channels in high frequencies range", ISPLC2001, p 149-154.
- [5] T.Esmalian, P.G.Gulak, F.R.Kschischang "A discrete multitone power line communications system" Proceeding of International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, p. 2953-2956, ICASSP 2000, Istanbul, Turkey.
- [6] C.Hensen, W. Schulz « Time dependence of the channel characteristics of low voltage power-lines and its effects on hardware implementation" AEU international journal of electronics and communications, 2000, vol.54, No.1 ,p. 23-31.
- [7] T.Esmalian, "Noise measurement in Power Lines", PhD thesis progress report, University of Toronto, June 1999.
- [8] M. Colin. *Etude de l'optimisation d'un système DMT-ADSL. Application à la transmission vidéo MPEG-2 en*

*mode hiérarchique.* Thèse, Université de Valenciennes, janvier 99.

- [9] ANSI T1E1.4. *Standard, Asymmetric Digital Line*, 1997
- [10] Star, J.T., Cioffi J.M., Silverman P.j. *Understanding Digital Subscriber Line Technology.* Prentice Hall, 99.
- [11] L. Liang, L. Hanzo. *A recursive algorithm for error probability evaluation of M-QAM.* IEEE communications letters, vol.4, n°10, october 2000.