

Communication haut débit sur le réseau électrique automobile: Amélioration de la forme d'onde OFDM

[Broadband communication on the automotive power network: Improving the OFDM waveform]

Mohammed Fattah¹, Said Mazer², Mohammed El Ghazi², Tarik Tahri³, Rabah Ouremchi², and Moulhime El Bekkali²

¹Equipe de Traitement et de Transmission de l'Information, Université My Ismail, FPE, Meknès, Maroc

²Laboratoire de Transmission et de Traitement d'Information, Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, Fès, Maroc

³Institut supérieur d'électronique et du numérique, Fès, Maroc

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In this paper, we propose a new communication strategy for transmitting high speed information over an electric propagation channel, type vehicle, based on the OFDM waveform (Orthogonal Frequency Division Multiplexing). The main objective is to highlight the effectiveness of the OFDM waveform for embedded PLC (Power Line Communication). Simulations are performed to validate the model transmission via the electric vehicle network. Two approaches face, one operator optimizing the channel coding and the other the number of used subcarriers. Results of the study of the bit error rates are presented, as well as the important parameters of the transmission chain to adjust depending on the channel and data to be transmitted. Suites to different simulation results, we can say that the OFDM waveform has certain robustness in the HomePlug standard for transmissions in the automotive network type direct channel. Thus, the optimization work on the duration of OFDM symbols and the size of the FFT is needed to counter the frame losses related to the use of an indirect channel and impulsive noise your abstract.

KEYWORDS: intra-vehicle communication; HomePlug standard; electric vehicle channel; Multi-carrier modulation; equalization.

RESUME: Dans ce papier, nous proposons une nouvelle stratégie de communication pour la transmission haut débit de l'information sur un canal de propagation électrique type véhicule, basée sur la forme d'onde OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

L'objectif principal est de mettre en évidence l'efficacité de la forme d'onde OFDM, pour une communication CPL (courant porteur en ligne) en embarquée. Des simulations sont réalisées pour valider le modèle de transmission via le réseau électrique d'un véhicule. Deux approches sont confrontées, l'une exploitant l'optimisation du codage de canal, et l'autre le nombre de sous-porteuses utilisées. Des résultats sur l'étude du taux d'erreur binaire sont présentés, ainsi que les paramètres importants de la chaîne de transmission à ajuster en fonction du canal et des données à transmettre. Suites aux différents résultats de simulations, nous pouvons affirmer que la forme d'onde OFDM présente une certaine robustesse dans le standard HomePlug, pour les transmissions sur le réseau automobile de type canal direct. Ainsi, des travaux d'optimisation concernant la durée des symboles OFDM et la taille de la FFT sont nécessaires pour contrer les pertes de trames liées à l'utilisation d'un canal indirect et aux bruits impulsifs.

MOTS-CLEFS: Communication intra-véhicule ; Standard HomePlug ; Canal électrique véhicule ; modulation Multi-porteuses ; Egalisation.

1 INTRODUCTION

Actuellement les voitures sont devenues de véritables champs d'investigation qui est bourré d'électronique. Ce sont de véritables ordinateurs sur roues, en raison de la montée en puissance des fonctions liées à la sécurité, la communication et les loisirs. La part de l'électronique dépasse les 35 % du prix du revient d'un véhicule de nos jours, et ce chiffre va passer à 45 % d'ici 2020 sur les modèles haut de gamme, dont 13 % pour les logiciels. À cette date, le contenu électronique se répartira essentiellement entre ce qu'on appelle l'infotainment (50 %), le contrôle moteur et les transmissions (30%), le contrôle châssis (10%) et le confort (10%) [1]. Cependant, il est impossible d'augmenter le nombre d'organes électroniques sans multiplier le nombre de connexions et de réseaux dédiés pour rendre possible les liaisons entre les capteurs, les actionneurs, les calculateurs et les diverses interfaces. On risque ainsi, d'une part d'aboutir à très court terme à une dégradation de la fiabilité des systèmes due, notamment, à la multiplicité des connectiques et, d'autre part, à un nombre de câbles prohibitif, compte tenu de leur poids et de leur coût. Le besoin se fait donc sentir de se tourner vers d'autres technologies pour transporter l'information et notamment celle utilisée par "courants porteurs en ligne" (CPL) qui utilisent, comme support physique, les fils d'alimentation en énergie du réseau 12V d'une batterie du véhicule. C'est cette approche qui fait l'objet de nos travaux de recherche.

Dans le domaine automobile, les débits envisagés pour les communications intra-véhicule basées sur cette approche sont, dans la plupart des cas, inférieurs à 2Mbits/s. Compte tenu des nouveaux équipements que les constructeurs implémentent, il s'avère que la limite de 2Mbits/s se trouve déjà dépasser. L'objectif de ce papier se situe dans ce cadre, on s'intéresse aux techniques de modulations de codages et d'estimations possibles pour créer une image complète de l'architecture de transmission via le réseau électrique embarqué des véhicules, basée sur la forme d'onde OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing).

2 DESCRIPTION DE LA CHAÎNE DE TRANSMISSION

2.1 CONFIGURATION DE LA CHAÎNE DE TRANSMISSION

Pour l'ensemble des simulations, la chaîne de transmission se compose d'un émetteur, d'un canal de transmission et d'un récepteur. Ils utilisent la forme d'onde OFDM de 128 sous-porteuses, modulée en QPSK ou DQPSK associé à un codage de canal.

Concernant les simulations, le standard HomePlug1.0 [2] a été la base de départ. La figure 1 représente la transmission dans l'environnement CPL qui utilise les lignes de distribution d'énergie du système embarqué type véhicule sur la bande 20 Mhz, comme dans la norme HomePlug1.0. La transmission du signal sur les lignes de distribution d'énergie du système embarqué représente la transmission entre l'émetteur (actionneur) et le récepteur (capteur). Les simulations sont réalisées par l'outil Simulink Matlab [3].

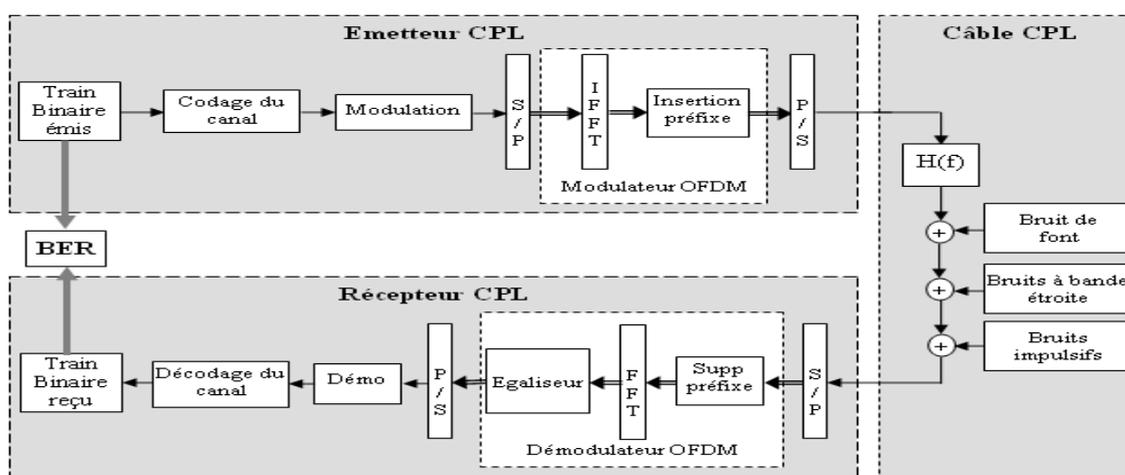


Fig. 1. Synoptique de la chaîne de transmission

Le choix de ces différents paramètres dépend de type de canal. Plusieurs choix ont été effectués pour la conception de la couche physique. Puisque le standard HomePlug1.0 est la base de départ. Le tableau 1 résume les différentes caractéristiques de la chaîne de transmission.

Tableau 1. Caractéristiques de la transmission

Paramètres de base	Dimensions
Bande de fréquence	20 MHz
Modulation	QPSK/ DQPSK
Codage	Convolutif / Reed Solomon
Entrelacement	Brasseur / Matriciel / Bloc
Egalisation	Zero Forcing
Taille de la FFT	128
Sous-porteuses utiles	84
Zero padding	44
Espacement inter-porteuses	150 Khz
Durée utile du symbole OFDM	14,13 μ s
Durée de Préfixe cyclique	1 μ s

2.2 CANAL DE PROPAGATION

A titre d'exemple, une architecture de câblage multi-trajets a été définie et choisie comme base pour notre étude (Figure 2). Comme montre la Figure 2, cette architecture été divisée en quatre parties : le compartiment moteur, le tableau de bord, l'habitacle et le coffre. La longueur totale de fils est de 60 m.

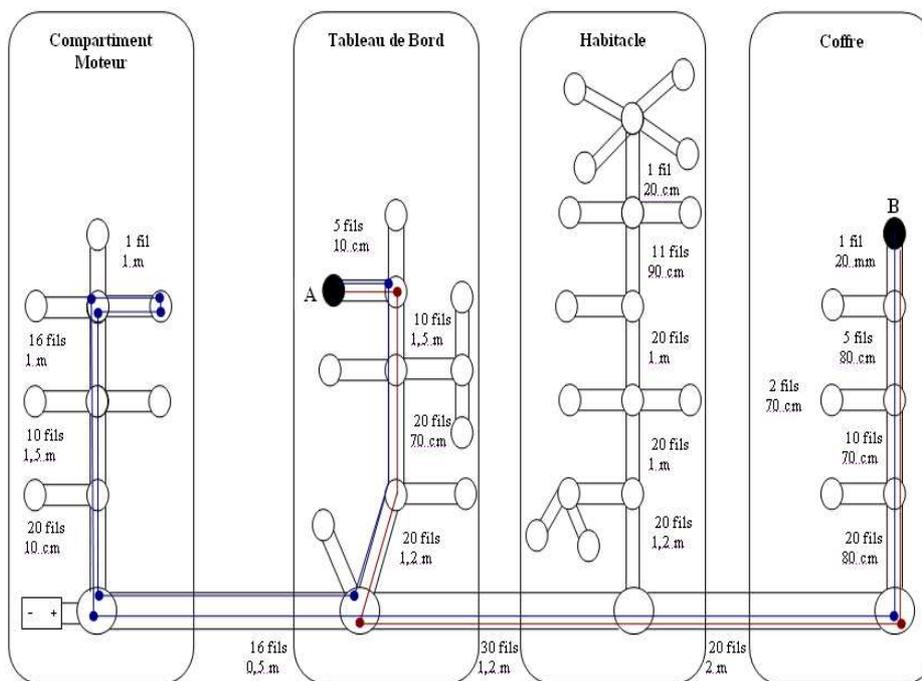


Fig. 2. Schéma arborescent correspondant au réseau électrique sur véhicule

Deux cas de figures ont été étudié (trajet direct et trajet indirect) de manière à mettre en évidence la présence de salves d'erreurs. Dans les 2 configurations, l'émetteur du signal est localisé au nœud A, le récepteur au nœud B.

Dans une liaison directe, le câble d'alimentation reliant les deux nœuds A et B ne passe pas par la batterie : le trajet n°1 à 9 m (couleur rouge). Dans une liaison indirecte, le câble d'alimentation reliant les deux nœuds A et B passe par la batterie : le trajet n°2 à 17,6 m (couleur bleu).

Durant cette étude, le canal implanté est une fonction de transfert caractérisée par un filtre numérique d'ordre 30, trajet direct et indirect représentées par la figure 2 [4].

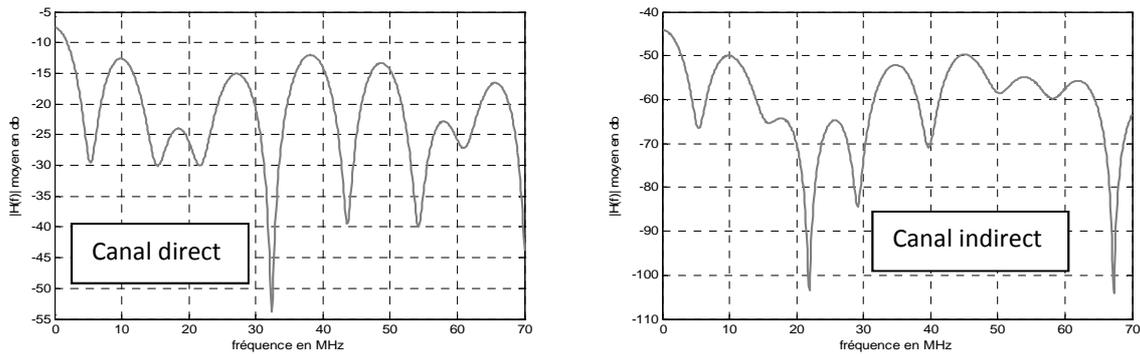


Fig. 3. Fonction de transfert canal direct (trajet n°1) et canal indirect (trajet n°2)

Pour voir l'effet simultané de bruits sur le canal, la figure 4 représente les fonctions de transferts caractérisées au-dessus par un filtre numérique d'ordre 30 auxquels nous additionnons un modèle de bruit [5] [6].

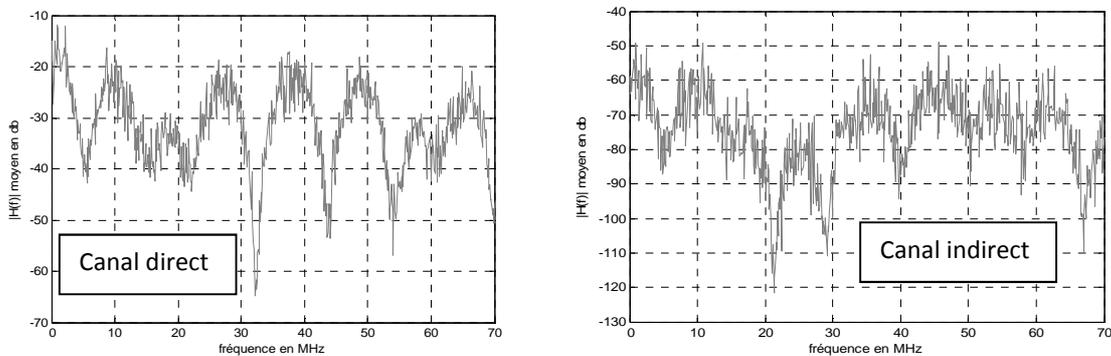


Fig. 4. Fonction de transfert (canal direct et indirect) + Bruits

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 PERFORMANCE DU STANDARD HOMEPLUG SUR UN CANAL AUTOMOBILE

Dans cette partie, nous allons nous intéresser principalement à l'adaptation du modem du standard HomePlug [2] [7] au CPL sur véhicule. Pour l'ensemble des simulations, le canal de transmission implanté correspond aux deux configurations de faisceaux présentées dans la section précédente : ligne directe et ligne indirecte.

3.1.1 SIMULATION SUR CANAL DIRECT

3.1.1.1 EFFET DE L'ENTRELACEMENT

Pour éviter les erreurs consécutives qui dépasseraient le pouvoir de correction du code correcteur d'erreurs, on modifie l'ordre de transmission des symboles de manière à éloigner au maximum les bits consécutifs faux. Il existe deux grandes classes d'entrelaceur, les entrelaceurs par blocs et les entrelaceurs convolutifs (encore appelé convolutionnels ou multiplexés).

Dans la suite de ce document, nous nous intéresserons aux deux entrelaceurs mentionnés dans la norme Homeplug1.0.

Le premier est un entrelaceur de type brasseur qui permute un bit sur 2.

Le deuxième est un entrelaceur qui intègre deux entrelaceurs, de type matriciel et bloc, l'un après l'autre. L'entrelaceur matriciel utilise une matrice de 14 lignes et 12 colonnes pour intégrer un train binaire de 168 bits. Il classe les 12 premiers

bits par ligne et remplit la matrice jusqu'au bit 168. Les bits sortent de l'entrelaceur par les colonnes. Le choix de cette taille est lié à la taille du symbole OFDM de 84 bits utiles et 84 bits de codage. L'entrelaceur bloc permute les bits de deux symboles successifs.

Dans cette partie, nous avons testé l'influence de l'entrelacement sur un canal de transmission direct. Le tableau 2 détaille les paramètres qui sont conservés pour les différentes simulations.

Tableau 2. Paramètres de base pour les simulations. Entrelacement

Paramètres de base	Dimensions
Bande de fréquence	20 MHz
Modulation	QPSK
Codage	Convolutif(1/2), décision dure
Egalisation	Zero Forcing
Taille de la FFT	128
Débit binaire	10.57 Mbits/s
Débit utile	4.86 Mbits/s
Canal	Direct

Le tableau 3 représente les différents paramètres des cas étudiés. Pour l'ensemble des simulations, le taux d'erreur binaire visé, doit être au minimum de 10^{-3} .

Tableau 3. Paramètres pour les simulations Entrelacement

Cas 1	Type
Entrelacement	Sans
Sous-porteuses utiles	84
Cas 2	Type
Entrelacement	Brasseur
Sous-porteuses utiles	84
Cas 3	Type
Entrelacement	Matriciel + Bloc
Sous-porteuses utiles	84

La figure 5 donne les résultats en termes de TEB obtenu en simulation sur un canal direct. Sur cette figure, trois cas sont présentés. L'utilisation de l'entrelacement de type Matriciel et Bloc au sien de la chaîne de transmission, présente une perte de plus de 4dB en termes de SNR pour un TEB de 10^{-3} , par rapport de la transmission sans entrelacement.

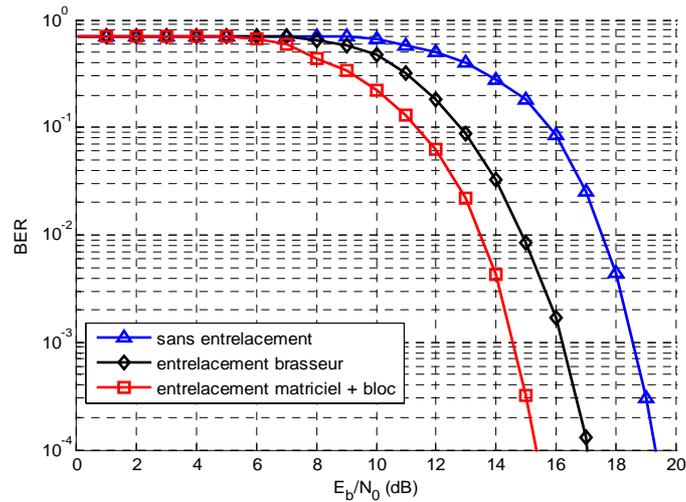


Fig. 5. Résultats de simulations de taux d'erreur. Entrelacement

Les résultats de simulations indiquent la nécessités d'optimiser les performances de la chaîne de transmission par l'ajout de l'entrelacement, mais surtout lors de la présence de bruits impulsifs et de variations de la fonction de transfert de canal.

3.1.1.2 APPORT DU CODAGE SUR LA PERFORMANCE DE TRANSMISSION

Dans cette partie, nous avons testé l'ajout du codage de type Reed-Solomon pour pouvoir contrer les erreurs de transmissions. Ce codeur est utilisé en tant que codeur externe. Il est concaténé au codeur convolutif faisant office de codage interne à la structure de transmission.

Dans cette section, nous avons testé l'ajout de codage RS dans le cas de la modulation QPSK (Avec Egalisation : Zero Forcing) et DQPSK (Sans Egalisation). Le tableau 4 détaille les différents paramètres des cas étudiés. Pour l'ensemble des simulations, le taux d'erreur binaire visé, doit être au minimum de 10^{-3} .

Tableau 4. Paramètres pour les simulations de codage Bloc

Cas 1	Type
Codage	Convolutif(1/2), décision dure
Sous-porteuses utiles	84
Zero padding	44
Débit utile	4.86 Mbits/s
Cas 2	Type
Codage	RS(15, 11) + Convolutif(1/2)
Sous-porteuses utiles	84
Zero padding	44
Débit utile	1.75 Mbits/s
Cas 3	Type
Codage	RS(15, 11) + Convolutif(1/2)
Sous-porteuses utiles	120
Zero padding	8
Débit utile	5.07 Mbits/s

Pour le troisième cas, nous avons augmenté le nombre de sous-porteuses utiles qui a été porté à 120 au lieu de 84 sous-porteuses, pour pouvoir gagner en débit, tous en gardant la même bande de fréquence.

La figure 6 fournit les résultats des simulations obtenus pour les trois cas, dans le cas de la modulation QPSK (Avec Egalisation : Zero Forcing). Les résultats montrent que lors d'une simulation avec le codage RS, une perte de 4dB en terme de SNR pour un TEB de 10^{-3} , apparaît par rapport à un simple codage convolutif.

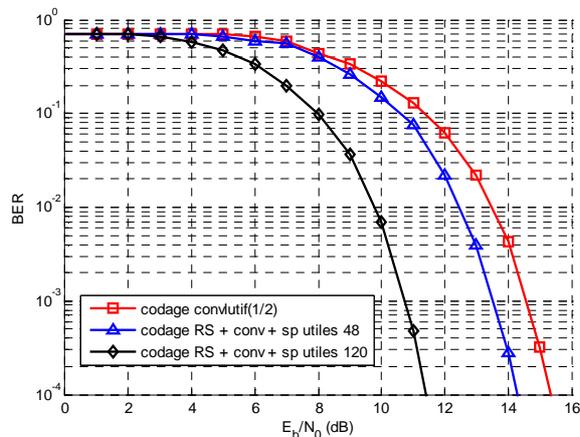


Fig. 6. Figure IV.5. Résultats de simulations de taux d'erreur. –QPSK-

Ensuite, nous avons allons utiliser la modulation DQPSK employée dans le standard HomePlug1.0 pour connaître ses performances sur un faisceau automobile.

La figure 7 fournit les résultats des simulations obtenus pour les trois cas, dans le cas de la modulation DQPSK (Sans Egalisation). Si nous plaçons dans le cas d'un TEB de 10^{-3} , la concaténation de deux codeurs permet d'obtenir un gain de l'ordre 7dB. Ceci indique la présence d'erreurs groupées qui sont corrigées par l'intermédiaire du codeur RS. Ainsi, nous constatons que l'utilisation d'une estimation et égalisation de canal permet d'obtenir un TEB plus faible pour un SNR équivalent (résultats présenté dans le cas QPSK).

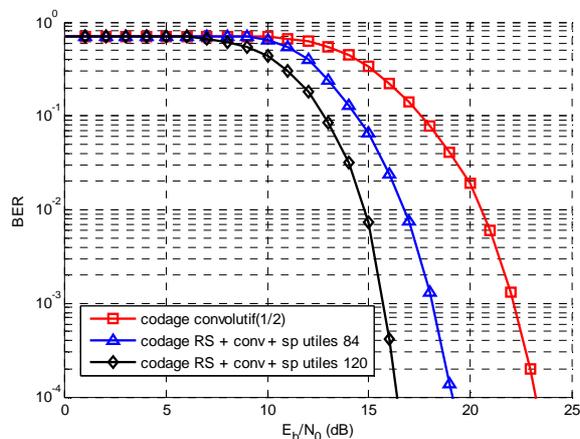


Fig. 7. Résultats de simulations de taux d'erreur. –DQPSK-

Suites aux différents résultats de simulations, nous pouvons affirmer que la modulation OFDM présente une certaine robustesse dans le standard HomePlug1.0, pour les transmissions sur le faisceau automobile de type canal direct.

Dans la partie suivante, nous avons testé la performance de la norme HomePlug1.0 sur un canal de type indirect.

3.1.2 SIMULATION SUR CANAL INDIRECT

Le tableau 5 présente les différents paramètres des cas étudiés sur un canal de type indirect.

Tableau 5. Paramètres pour les simulations sur un canal indirect

Cas 1	Type
Codage	RS(15, 11) + Convolutif(1/2)
FFT	128 – 84 utiles
Modulation	QPSK
Egalisation	Zero Forcing
Cas 2	Type
Codage	RS(15, 11) + Convolutif(1/2)
FFT	128 – 84 utiles
Modulation	DQPSK
Egalisation	Aucun

La figure 8 donne les résultats en termes de TEB obtenu en simulation sur un canal indirect.

Cette partie nous a permis d'étudier les limites d'un tel système. Nous pouvons affirmer que l'utilisation du standard HomePlug risque fortement de ne pas fonctionner correctement. Des travaux d'optimisation concernant la durée des symboles OFDM et la taille de la FFT seront nécessaires pour contrer les pertes de trames liées à l'utilisation d'un canal indirect (passage batterie et présence des bifurcations) et aux bruits impulsifs.

Cette étude est détaillée dans la partie qui suit.

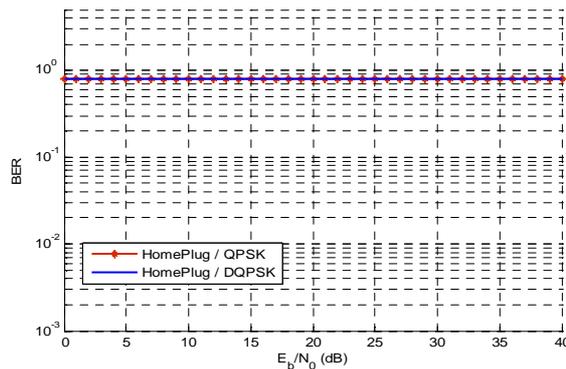


Fig. 8. Résultats de simulations de taux d'erreur du standard HomePlug1.0 sur un canal indirect

3.2 AMÉLIORATION DE LA FORME D'ONDE OFDM SUR UN CANAL INDIRECT

Dans cette partie, l'ensemble des simulations sera essentiellement effectué sur un canal indirect. De point de vue caractéristique du canal en configuration indirecte, il est nécessaire de modifier les paramètres utilisés dans les tests précédents. Ces optimisations concernant le nombre de sous-porteuses utilisées et la taille de la FFT.

Le tableau 6 représente les différents paramètres des cas étudiés. Pour l'ensemble des simulations, le taux d'erreur binaire visé, doit être au minimum de 10^{-3} .

Tableau 6. Paramètres pour les simulations sur un canal indirect

Cas 1	Type
FFT	256
Δf	76 KHz
T_s	24,3 μs
Préfixe cyclique	1 μs
Cas 2	Type
FFT	512
Δf	38 KHz
T_s	48,6 μs
Préfixe cyclique	1 μs
Cas 3	Type
FFT	1024
Δf	22 KHz
T_s	97,2 μs
Préfixe cyclique	1 μs
Cas 4	Type
FFT	2048
Δf	12 KHz
T_s	194,4 μs
Préfixe cyclique	1 μs
Cas 5	Type
FFT	4096
Δf	5 KHz
T_s	388,8 μs
Préfixe cyclique	1 μs

3.2.1 TEST AVEC LA MODULATION QPSK

Dans cette section, nous avons testé une modulation QPSK associée à une estimation et égalisation en fonction de différentes tailles de FFT et ainsi de déterminer la robustesse d'un tel système.

La figure 9 présente les résultats de TEB obtenus pour différentes tailles de FFT. D'après les résultats, pour pouvoir transmettre des informations à un TEB de 10^{-3} , il faut au moins employer une FFT de 1024. Si nous nous plaçons dans le cas d'une FFT de 2048 sous-porteuses, il faut que le SNR soit de l'ordre de 23dB pour transmettre avec un TEB à 10^{-3} . Le choix de la taille de FFT de 256, le double du standard HomePlug, il est impossible de transmettre des données.

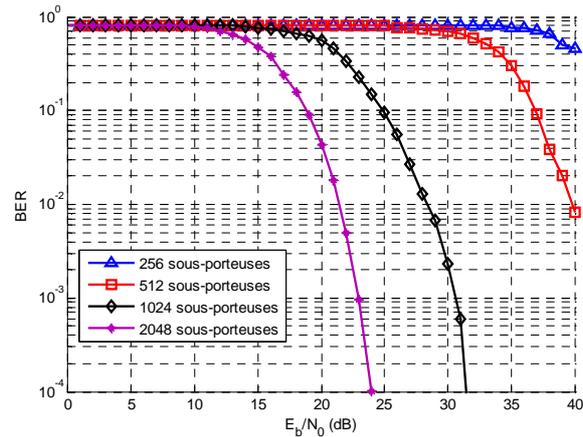


Fig. 9. Résultats de simulations de taux d'erreur sur un canal indirect en utilisant la QPSK

3.2.2 TEST AVEC LA MODULATION DQPSK

3.2.2.1 LA TAILLE DE LA FFT

Dans cette partie, nous avons testé la modulation DQPSK sans aucune estimation et égalisation de canal. Nous avons testé plusieurs tailles de FFT comme c'est indiqué dans le tableau 6.

La figure 10 donne les résultats en termes de TEB obtenu en simulation pour plusieurs tailles de FFT.

Pour pouvoir transmettre à un TEB de 10^{-3} , il faut au moins utiliser une FFT de 2048. Nous remarquons que même si nous continuons à augmenter le SNR, la valeur de TEB ne diminuerait pas autant, nous arrivons aux limites du système.

Enfin, l'utilisation seule de la modulation DQPSK est insuffisante en présence d'un canal indirect.

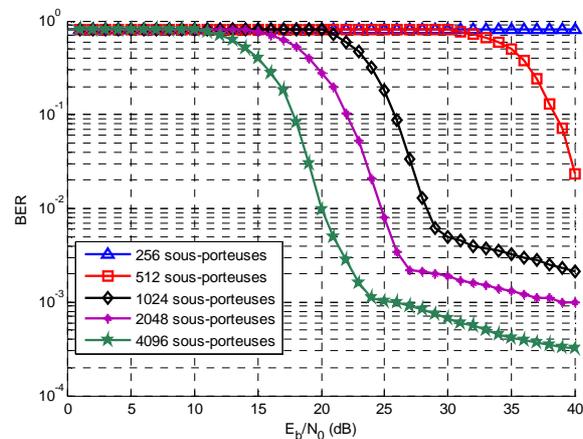


Fig. 10. Résultats de simulations de taux d'erreur en utilisant la DQPSK sans égalisation

3.2.2.2 EFFETS DE L'ÉGALISATION ZF

Dans cette partie, nous avons essayé d'intégrer l'estimation et égalisation de canal.

La figure 11 présente les résultats de taux d'erreur binaire sur un canal indirect en utilisant la DQPSK avec égalisation (ZF) suivant plusieurs tailles de FFT.

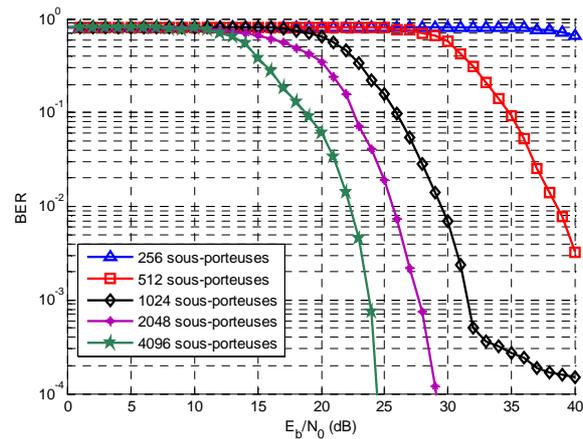


Fig. 11. Résultats de simulations de taux d'erreur en utilisant la DQPSK avec égalisation

D'après les résultats, nous remarquons que l'emploi de l'égalisation apporte une nette amélioration sur le TEB, à partir d'un FFT de 1024 au minimum. Pour pouvoir transmettre à un TEB de 10^{-3} , il faut donc utiliser au moins une FFT de 1024, ce TEB ne pouvait pas être atteint dans le test sans égalisation.

Ces différents résultats montrent l'intérêt d'employer des FFT de grande taille associée à une égalisation, pour pouvoir transmettre dans une configuration présentant des bifurcations.

4 CONCLUSION

Dans ce papier, nous avons mise en évidence l'efficacité de la modulation OFDM, pour une communication CPL en embarquée. Suite aux différentes simulations, deux résultats apparaissent :

- En présence d'un canal de transmission en mode direct, l'utilisation du standard HomePlug est suffisant.
- En présence d'un canal de transmission en mode indirect, nous pouvons affirmer que l'utilisation du standard HomePlug risque fortement de ne pas fonctionner correctement. Dans ce mode de transmission indirect, les simulations mettent en évidence la nécessité d'employer au moins 1024 sous-porteuses associées à une égalisation pour pouvoir transmettre des données sans avoir un SNR trop important. Par ailleurs, en augmentant le nombre de sous porteuses, le temps symbole OFDM accroît également. Cet inconvénient rend sensible la transmission en présence d'un canal variant dans le temps. C'est pourquoi, il sera nécessaire d'apporter des modifications au faisceau électrique.

Actuellement, nous nous intéressons à d'autres techniques de modulation, mais également il serait aussi intéressant de modifier les architectures du faisceau électrique du véhicule.

RÉFÉRENCES

- [1] O. Jaime, "Dimensionnement temps réel d'un véhicule: étude de cas et perspectives", *Valeo Electronique & Système de Liaison*, ETR – 2015.
- [2] *Homeplug 1.0 white paper*, 2001. [Online] Available: <http://www.homeplug.org/>.
- [3] <http://www.mathworks.com>
- [4] M. Fattah, R. Ouremchi, M. El Bekkali, and S. Mazer, "Modelling the Channel Transfer Function of the Vehicle Power Line Channel", *International Review on Modelling and Simulations (IREMOS)*, Vol.3. (Issue 6), December 2010, pp. 1273-128
- [5] M. Fattah, R. Ouremchi, M. El Bekkali "Communications numériques CPL intra véhicule: caractérisation des bruits", *Workshop Sciences des Technologies d'Information et de Communications (Wotic'09)*, Décembre 2009, Agadir, Maroc.
- [6] V. Dégardin, M. Liénard, and P. Degauque. "Impulsive noise on in-vehicle power lines: Characterization and impact on communication performance". *Power Line Communications and Its Applications, IEEE International Symposium, 2006*.
- [7] *IEEE Standard for Broadband over Power Line Networks: Medium Access Control and Physical Layer Specifications*. Sponsor Standards Committee of the IEEE Communications Society, 30 September 2010. [Online] Available: <http://ieeexplore.ieee.org/>.