

**UNIVERSITE SIDI MOHAMED BEN ABDELALLAH**

**FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUE FES**

**UFR : Télécommunication et compatibilité électromagnétique**

# **THESE**

Présentée par :

**Mohammed FATTAH**

TP  
393

Pour obtenir le titre de :

## **Docteur**

**Spécialité : Télécommunication et Compatibilité Electromagnétique**

**Sujet :**

---

**ETUDE ET CARACTERISATION D'UN CANAL DE COMMUNICATION  
EMBARQUE TYPE VEHICULE EN TECHNOLOGIE CPL**

---

**Soutenue le 25 juillet 2011 devant le jury composé de :**

**Président :**

M. EL BEKKALI Vice président de l'Université Sidi Mohamed Ben Abdellah

**Directeur de thèse :**

R. OUREMCHI Professeur à l'Ecole Supérieur de Technologie de Fès.

**Rapporteurs :**

F. ABDI Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Fès.

H. QJIDAA Professeur à la Faculté des Sciences Dhar El Mahraz, Fès.

M. RIFI Professeur à l'Ecole Supérieur de Technologie de Casa.

**Examineurs :**

A. BADRI Professeur à la Faculté des Sciences et Techniques de Mohammedia.

# Résumé

Actuellement les voitures sont devenues de véritables champs d'investigation bourrées d'électroniques. Ce sont de véritables ordinateurs ambulants, en raison de la montée en puissance des fonctions liées à la sécurité, la communication et les loisirs. Le monde de l'électronique et de l'informatique embarquées doit simplement composer avec un univers automobile encore réticent au changement et où l'ingénierie mécanique reste dominante. L'augmentation croissante des fonctions dans l'automobile a accru considérablement le nombre de fils de connections et par conséquent une augmentation notable du poids des véhicules ainsi que leur coût. Une mutation de ces liaisons vers des réseaux multiplexés permet de limiter ces contraintes tout en introduisant d'autres difficultés. 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.

Ce travail de thèse s'articule autour de deux approches qui sont intimement liées. La première approche concerne l'étude et l'évaluation du potentiel technique offert par la modulation, c'est-à-dire l'aspect communication, dans le but de mettre en œuvre un système de transmission numérique à haut-débit sur le faisceau électrique automobile. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés aux deux types de modulation: la modulation par étalement spectrale DS-CDMA et la modulation multi-porteuses OFDM suivant la norme HomePlug.

La deuxième approche concernant l'architecture du faisceau électrique du véhicule, une nouvelle topologie de câblage s'impose dans le but d'améliorer la qualité de transmission du signal en utilisant des techniques de modulation peu onéreuses.

**Mots clés :** Courants Porteurs en Ligne (CPL), Réseau électrique automobile, Canal de transmission, Transmission haut débit, Modulation DS-CDMA, Modulation OFDM.

# Table des matières

<b>Acronymes &amp; Abréviations .....</b>	<b>vi</b>
<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>viii</b>
<b>Liste des figures .....</b>	<b>x</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I Transmission numérique dans les systèmes types véhicules, état de l'art.....</b>	<b>5</b>
I.1 Introduction .....	6
I.2 Les systèmes de communication dans le véhicule .....	7
I.2.1 Les systèmes embarqués .....	7
I.2.2 L'architecture électrique dans les véhicules .....	7
I.2.3 Le multiplexage embarqué .....	10
I.2.3.1 La première étape de multiplexage .....	10
I.2.3.2 L'automobile d'aujourd'hui .....	12
I.2.4 Besoins actuels et contraintes industrielles .....	17
I.3 La transmission des données par courant porteur en ligne en domotique .....	19
I.3.1 Généralités .....	19
I.3.1.1 La technologie CPL .....	19
I.3.1.2 Aperçu historique .....	20
I.3.2 Les systèmes CPL aujourd'hui.....	21
I.3.2.1 Les systèmes à bas débit .....	22
I.3.2.2 Les systèmes à haut débit .....	22
I.4 Les systèmes basées sur le CPL dans les véhicules .....	26
I.4.1 Les solutions CPL à bas débit .....	26
I.4.2 Les solutions CPL à haut débit .....	27
I.4.3 Les difficultés de mise en œuvre .....	28

1.4.4 Exemples d'applications .....	29
1.5 Conclusion .....	30
<b>Chapitre II Caractéristique du réseau électrique automobile et techniques de modulation .....</b>	<b>33</b>
II.1 Introduction .....	34
II.2 Caractéristiques du canal de propagation .....	34
II.2.1 Réponse du canal .....	35
II.2.1.1 Paramètres caractéristiques du canal de propagation .....	35
II.2.1.2 Modélisation du canal de propagation .....	36
II.2.1.2.1 Réponse d'une ligne de transmission monofilaire .....	36
II.2.1.2.1.1 Cas d'un câble simple .....	36
II.2.1.2.1.1 Cas d'un câble multitrajets .....	37
II.2.1.2.2 Modélisation multifilaires .....	40
II.2.1.3 Variations de la fonction de transfert du canal .....	41
II.2.1.3.1 Conditions expérimentales .....	42
II.2.1.3.2 Caractéristiques de la transmission et de ces variations ..	43
II.2.1.3.2.1 Liaison directe .....	44
II.2.1.3.2.2 Liaison indirecte .....	44
II.2.2 Différents types de bruit .....	46
II.2.2.1 Bruit stationnaire .....	46
II.2.2.1.1 Bruit de fond coloré .....	47
II.2.2.1.2 Bruit à bande étroite .....	47
II.2.2.2 Bruits impulsifs .....	47
II.2.3 Modèles de simulation .....	49
II.2.3.1 Modèle de la fonction de transfert .....	49
II.2.3.2 Modèle de bruit impulsif .....	50
II.2.3.3 Canal de transmission .....	52
II.3 Présentation de la modulation .....	54
II.3.1 Modulation mono-porteuse .....	54
II.3.2 Étalement de spectre .....	55
II.3.2.1 Principe de l'étalement de spectre .....	55
II.3.2.2 L'accès multiple par répartition de code .....	58
II.3.2.3 Applications et réalisations .....	60
II.3.3 Modulation multi-porteuses .....	61
II.3.3.1 Principe de l'OFDM .....	61
II.3.3.2 Le signal OFDM .....	64
II.3.3.3 L'insertion de l'intervalle de garde .....	65
II.3.3.4 L'insertion de sous-porteuses de garde, ou « zero padding » .....	66

II.3.3.5 Applications et réalisations .....	66
II.3.4 Comparaison entre DS-CDMA/OFDM .....	67
II.4 Conclusion .....	68
<b>Chapitre III Spécification des systèmes en DS-CDMA.....</b>	<b>70</b>
III.1 Introduction .....	71
III.2 Description de la chaîne de simulation .....	71
III.2.1 Configuration de la chaîne de transmission .....	71
III.2.2 Le signal étalement de spectre par séquence directe .....	73
III.2.3 Codes d'étalement considérés .....	73
III.2.3.1 Codes orthogonaux .....	74
III.2.3.1.1 Code Walsh-Hadamard .....	74
III.2.3.1.2 Code Golay .....	75
III.2.3.1.3 Code Gold orthogonaux .....	76
III.2.3.2 Codes non orthogonaux .....	76
III.2.3.2.1 Code Gold .....	76
III.2.3.2.2 Code Kasami .....	77
III.2.3.2.3 Code Zadoff-chu .....	78
III.2.4 Codage de canal .....	78
III.2.4.1 Codes blocs .....	79
III.2.4.2 Codes convolutifs .....	81
III.3 Résultats sur canal automobile .....	83
III.3.1 En voie montante .....	85
III.3.1.1 Contexte synchrone: utilisation des codes orthogonaux .....	85
III.3.1.2 Contexte asynchrone: utilisation des codes non orthogonaux .....	87
III.3.2 En voie descendante .....	88
III.4 Optimisation du débit et TEB par amélioration du codage .....	90
III.4.1 Codes correcteurs d'erreur en bloc .....	91
III.4.2 Codes correcteurs d'erreur convolutifs .....	93
III.4.3 Amélioration de codage .....	95
III.4.3.1 Implémentation et description du codage .....	95
III.4.3.2 Résultats de simulation .....	96
III.5 Effets de la constellation .....	98
III.5.1 Présentation de la modulation M-PSK et M-QAM .....	98
III.5.1.1 Modulation de phase M-PSK .....	99
III.5.1.2 Modulation d'amplitude et de phase M-QAM .....	100
III.5.2 Résultats de simulation .....	101
III.6 Conclusion .....	106

<b>Chapitre IV Le standard HomePlug en CPL embarqué .....</b>	<b>108</b>
IV.1 Introduction .....	109
IV.2 Standard HomePlug .....	109
IV.2.1. Spécifications de la chaîne de communication de HomePlug 1.0 .....	110
IV.2.2. Spécifications de la chaîne de communication de HomePlug AV .....	112
IV.3 Description de la chaîne de simulation .....	114
IV.4 Performance du standard HomePlug sur un canal automobile .....	116
IV.4.1 Effet de l'entrelacement –canal direct– .....	116
IV.4.1.1 Représentation de l'entrelacement .....	116
IV.4.1.2 Résultats de simulation .....	117
IV.4.2 Apport du codage sur la performance de transmission –canal direct– .....	118
IV.4.2.1 test avec la modulation QPSK .....	119
IV.4.2.2 Test avec la modulation DQPSK .....	121
IV.4.2.2.1 Représentation de la modulation DQPSK .....	121
IV.4.2.2.2 Résultats de simulation .....	121
IV.4.3 Simulation sur canal indirect .....	124
IV.5 Amélioration de la modulation OFDM sur un canal indirect .....	125
IV.5.1 Test avec la modulation QPSK : canal indirect .....	125
IV.5.2 Test avec la modulation DQPSK : canal indirect .....	127
IV.5.2.1 La taille de la FFT : -DQPSK- .....	127
IV.5.2.2 Effets de l'égalisation ZF: -DQPSK- .....	130
IV.6 Conclusion .....	131
 <b>Chapitre V Amélioration de la fonction de transfert .....</b>	 <b>134</b>
V.1 Introduction .....	134
V.2 Caractéristique de l'architecture de câblage .....	135
V.3 Modélisation de la fonction de transfert du canal CPL automobile .....	139
V.3.1 Paramètres primaires et secondaires du canal CPL .....	139
V.3.2 Modélisation .....	141
V.3.2.1 Approche MTL (Multiconductor Transmission Line) .....	142
V.3.2.2 Application .....	144
V.4 Validation expérimentale de l'approche MLT .....	145
V.4.1 Dispositif expérimental .....	145
V.4.2 Comparaison entre MTL et mesure dans le cas d'un réseau simple .....	147
V.5 Etude paramétrique multibranches.....	149
V.5.1 L'influence du nombre des branches.....	149
V.5.2 L'influence de l'emplacement des branches .....	151
V.5.3 L'influence de la longueur des branches .....	152
V.5.4 L'effet des impédances des branches .....	153

---

V.5.4.1 Cas des prises utilisées .....	153
V.5.4.2 Cas des prises non utilisées .....	155
V.6 Apport de la fonction de transfert sur la qualité de transmission .....	157
V.7 Conclusion .....	160
<b>Conclusion générale .....</b>	<b>161</b>
<b>Annexe A .....</b>	<b>164</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>165</b>
<b>Publications et communications .....</b>	<b>171</b>
<b>Résumé .....</b>	<b>173</b>