

Université d'ANTANANARIVO
Ecole Supérieure Polytechnique
Département de Génie Electrique - Département de Génie Mécanique et Productique
FILIERE GENIE INDUSTRIEL



Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme d'ingénieur en Génie Industriel

N d'ordre : 03/2006

TRANSMISSION DE DONNEES GRACE AU SECTEUR 220V

présenté par : **ANDRIAMIHAJA Mampianina Fanomezana**

le 21 février 2007

Membres du jury :

<i>Président :</i>	Monsieur SOLOFOMBOAHANGY Andriamitanjo
<i>Rapporteur :</i>	Monsieur RAVALOMANANA Olivier
<i>Examineurs :</i>	Monsieur RAKOTONIAINA Solofo Hery
	Monsieur RAMELINA Lala Arimonjy
	Monsieur RAJAONARIVELO Jean André

Année : 2005-2006

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer tous nos sincères remerciements à :

- *Monsieur **RAMANATSIZEHENA Pascal**, Directeur de L'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo qui nous a autorisé à soutenir ce mémoire*
- *Monsieur **ANDRIANAHARISON Yvon**, Chef de département Génie Electrique et enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo pour vos savoir-faire dans la direction de la filière Génie Industriel*
- *Monsieur **JOELIHARITAHAKA Rabeatoandro**, Chef de département Génie Mécanique et Productique, enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo, pour vos savoir-faire dans la direction de la filière Génie Industriel*
- *Monsieur **SOLOFOMBOAHANGY Andriamitanjo**, enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo d'avoir fait l'honneur d'être parmi les membres du jury*
- *Monsieur **RAVALOMANANA Olivier**, enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo qui nous a dirigé, soutenu et encadré tout au long de la réalisation de ce mémoire*
- *Monsieur **RAKOTONIAINA Solofo Hery**, enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo et examinateur, pour vos bienveillantes contributions en examinant ce mémoire*
- *Monsieur **RAMELINA Lala Arimonjy**, enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo et examinateur, pour vos bienveillantes contributions en examinant ce mémoire*
- *Monsieur **RAJAONARIVELO Jean André**, enseignant à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo et examinateur, pour vos bienveillantes contributions en examinant ce mémoire*
- *Tout le corps enseignant qui a patiemment contribué à notre formation à l'Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo*
- *Notre famille pour leur soutien moral et financier*
- *Nos amis et collègues de la promotion pour leurs appuis et collaborations durant les études*
- *Tous ceux qui ont de près ou de loin contribué à l'élaboration de ce mémoire*

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS.....	i
TABLE DES MATIERES.....	ii
LISTE DES ABBREVIATIONS.....	v
NOMENCLATURE.....	vi
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CHAPITRE 1 : PRINCIPE DE TRANSMISSION.....	2
1.1. Généralités.....	2
1.2. CPL à bas débit.....	2
<i>1.2.1. Modèle d'utilisation au sein de la JIRAMA.....</i>	<i>2</i>
<i>1.2.2. Technique de modélisation.....</i>	<i>4</i>
<i>1.2.3. Modulation à BLU.....</i>	<i>5</i>
1.2.3.1. Définition.....	5
1.2.3.2. Allure de signaux.....	6
<i>1.2.4. Spectre du signal BLU.....</i>	<i>9</i>
<i>1.2.5. Production du signal BLU par filtrage.....</i>	<i>11</i>
<i>1.2.6. Technique de démodulation.....</i>	<i>13</i>
1.3. CPL à haut débit.....	16
<i>1.3.1. Canal de transmission.....</i>	<i>16</i>
<i>1.3.2. Technique de modulation.....</i>	<i>17</i>
1.3.2.1. Modulation à étalement de spectre.....	17
1.3.2.2. Modulation OFDM.....	22
CHAPITRE 2 : ANALYSE GRAPHIQUE DE LA MODULATION OFDM.....	39
2.1. Utilisation du logiciel MATLAB.....	39
2.2. Présentation des porteuses OFDM.....	40
2.3. Principe général du CPL.....	41
2.4. Présentation du signal OFDM.....	42
2.5. Spectre du signal OFDM pour N sous porteuses.....	43
2.6. Occupation spectrale pour N sous porteuses.....	44

2.7. Conclusion.....	44
CHAPITRE 3 : TECHNOLOGIE CPL.....	45
3.1. Généralités.....	45
3.2. Principales applications des CPL.....	46

3.2.1. Mode « outdoor ».....	47
3.2.2. Mode « indoor ».....	48
3.3. Comparaison des technologies de réseaux locaux.....	49
3.4. Comparaison pour les accès à haut débit.....	50
3.5. Principe de l'émetteur pour une télécommande.....	51
3.5.1. Alimentation.....	51
3.5.2. Base de temps de la modulation.....	52
3.5.3. Base de temps de la porteuse.....	52
3.5.4. Amplification et émission.....	52
3.6. Principe du récepteur pour une télécommande.....	53
3.6.1. Alimentation.....	53
3.6.2. Détection du signal de télécommande.....	54
3.6.3. Traitement du signal de télécommande.....	54
3.7. Simulation sous CircuitMaker 2000.....	55
3.8. Chronogramme des signaux.....	57
3.9. Fonctionnement du relais d'utilisation.....	57
CHAPITRE 4 : ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX.....	58
4.1. L'environnement en général.....	58
4.1.1. Définition.....	58
4.1.2. Charte de l'environnement à Madagascar.....	58
4.2. Transmission de données grâce au secteur 220V.....	58
4.2.1. Les prises de courant.....	59
4.2.2. Les appareils.....	59
4.3. Les éventuels effets du projet sur l'environnement.....	60
4.3.1. Impacts positifs.....	60
4.3.2. Impacts négatifs.....	60
4.3.2.1. Effets physiologiques du courant.....	60
4.3.2.2. Effets de superposition de deux fréquences.....	61

4.4. Proposition des mesures d'atténuation.....	61
<i>4.4.1. Les protections des personnes.....</i>	<i>61</i>
<i>4.4.2. Les protections des installations.....</i>	<i>62</i>
<i>4.4.3. Limitation des interférences.....</i>	<i>62</i>
<i>4.4.4. Conclusion.....</i>	<i>62</i>
CONCLUSION GENERALE.....	63

ANNEXES.....	64
BIBLIOGRAPHIE.....	69

LISTE DES ABBREVIATIONS

ADS :	Autocommutateur De Sécurité
ADSL :	Asymmetric Digital Subscriber Line
AM :	Ampitude Modulation
BF :	Basse fréquence
BLU :	Bande Latérale Unique
BP :	Bouton Poussoir
BPSK :	Binary Phase Shift Keying
CAG :	Correcteur Automatique de Gain
CPL :	Courant Porteur en ligne
DSSS :	Direct Sequence Spread Spectrum
FFT :	Fast Fourier Transform
FM :	Fréquence Modulation
HF :	Haute Fréquence
IEP :	Interférence Entre Porteuses
IES :	Interférence Entre Symboles
IFFT :	Inverse Fast Fourier Transform
JIRAMA :	Jlro sy RAno MAlagasy
LAN :	Local Area Work
MAQ :	Modulation d'Amplitude en Quadrature
MF :	Moyenne Fréquence
OFDM :	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PIA :	Poste d'interconnexion d'Ambohimanambola
QPSK :	Quadrature Phase Shift Keying
SS :	Spread Spectrum
Wi-Fi :	Wireless Fidelity

NOMENCLATURE

\hat{V} : Amplitude de la première porteuse

\hat{V}_1 : Amplitude de la deuxième porteuse

T_e : Période d'échantillonnage

f_e : Fréquence d'échantillonnage

R_c : Débit du code pseudo aléatoire

R_s : Débit des symboles de données

N_c : Facteur de proportionnalité

$s(t)$: Signal OFDM complexe

T_s : Durée d'un symbole

f_k : Fréquence

c_k : Données

B : Bande de fréquence

q : nombres de bits

N : Nombre de sous porteuses

Δ : Durée d'intervalle de garde

$r'(t)$: Signal reçu

$z_{t,k}$: Symbole OFDM dans le domaine discret

H_k : Réponse fréquentielle du canal

\hat{H}_k : Valeur estimée

INTRODUCTION GENERALE

Depuis les années cinquante, on cherche à se servir des câbles électriques pour véhiculer des données grâce à une technologie baptisée « CPL » pour Courant Porteur en Ligne (Outre-atlantique, on l'appelle « PLC » pour Power Line Communication). Le courant porteur en ligne ou CPL est une technologie qui utilise, comme média de communication, le réseau électrique. Cette technologie consiste à coupler avec un signal électrique existant un signal numérique contenant des données, le tout en assurant un certain niveau de sécurité au sein de ce réseau.

Cette technologie fait circuler des ondes courtes sur des lignes électriques basse et moyenne tensions (220 ou 380 Volts). C'est à partir de 1980 qu'il est vraiment utilisé pour le transport de données chez les particuliers, notamment pour des usages domotiques (ouverture des stores et volets, allumage de radiateurs).

Au cours de l'année 2000, des constructeurs se sont réunis au sein d'un consortium appelé « HomePlug », d'où la naissance, en juin 2001, du standard HomePlug 1.0.1 qui est pourtant le seul standard au monde pour la technologie CPL. Cependant ce standard ne s'applique qu'à l'indoor, et n'est pas inter opérable avec les solutions outdoor.

Ce travail intitulé : « **TRANSMISSION DE DONNEES GRACE AU SECTEUR 220V** » vise à détailler les principes de la technologie CPL. Pour bien analyser, quatre chapitres ont été conçus et présentés comme suit :

Le premier consiste à présenter les différents modes de transmission pour le CPL à bas débit et à haut débit.

Le second est consacré à l'analyse graphique de la modulation OFDM sous Matlab de *Mathworks Inc.*

Le troisième porte sur la présentation de la technologie CPL, par ses différentes applications et les résultats de simulation sous CIRCUITMAKER.

Enfin, en dernière partie sur l'étude d'impacts environnementaux.

CHAPITRE 1 : PRINCIPE DE TRANSMISSION

1.1 Généralités :

Pour les équipements CPL, les normes à ce jour éditées sont la norme **EN50065** pour les bas débits et la norme **SC205A** pour les hauts débits, la répartition des bandes de fréquences selon les types de CPL est donnée par le tableau suivant :

Bandes de fréquences	Types de CPL	Débits
9 à 148,5 kHz	BF	Faible
1,6 à 30 MHz	HF	Elevé

Tableau 1.1 : Répartition des fréquences

1.2 CPL à bas débit :

1.2.1 Modèle d'utilisation au sein de la JIRAMA :

A Madagascar, la JIRAMA S.A (JIRO SY RANO MALAGASY) est une société qui loue ses services en distribuant l'eau et l'électricité. Elle utilise la technologie CPL pour assurer la transmission des données entre ses diverses sites (stations hydroélectriques de

Mandraka et Andekaleka et ses sous-stations de Tana Nord, Tana sud, Ambodivona et d'Antsirabe).

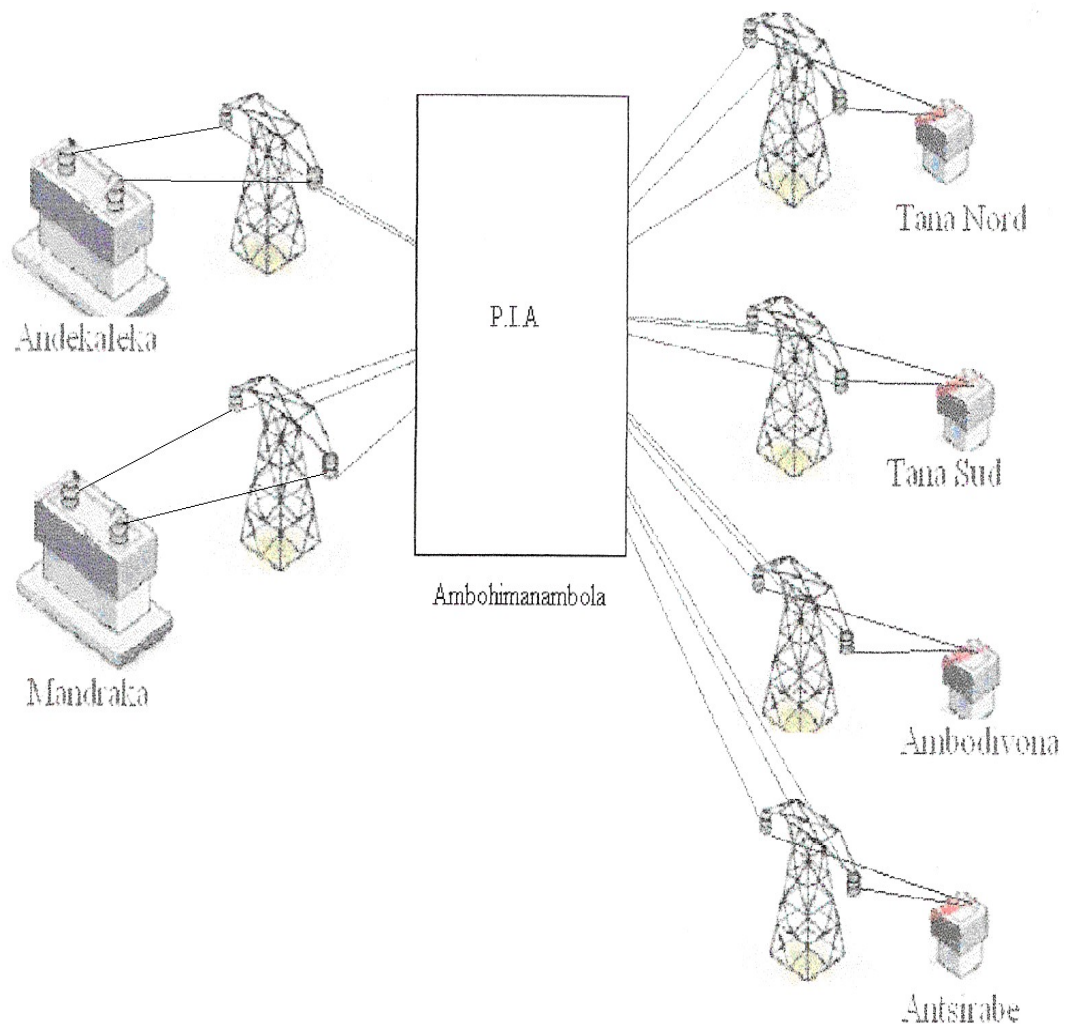


Figure 1.1 : Sites de la JIRAMA SA liés par CPL

Le support de transmission est une ligne électrique triphasée, nous allons voir la répartition des tensions dans les diverses postes dans le tableau suivant :

Postes	Mandraka	Andekaleka	Tana Nord	Tana sud	Antsirabe	Ambodivona
Tension [kV]	138	138	63	63	63	63

Tableau 1.2 : Répartition des tensions

La Poste d'Interconnexion d'Ambohimanambola (P.I.A) assure la liaison téléphonique entre deux sites à l'aide d'un autocommutateur de sécurité (ADS) qui achemine un appel vers la destination souhaitée.

1.2.2 Technique de modulation :

La modulation de l'onde porteuse s'effectue soit à bas soit à haut niveau pour qu'on puisse transporter un signal. L'onde porteuse peut être modulée en fréquence (FM) ou en amplitude (AM) par le signal. La forme la plus simple de modulation est l'utilisation d'un commutateur, qui interrompt le signal modulant l'onde porteuse à intervalles donnés pour former les points et les traits dans le cas de la radiotélégraphie à onde entretenue.

L'onde porteuse peut encore être modulée en amplitude (et donc en intensité, proportionnelle au carré de l'amplitude) par les variations de fréquence et d'intensité d'un signal sonore, telle une note de musique. Cette forme de modulation d'amplitude (AM) est utilisée pour de nombreux services de radiotéléphonie, dont la radiodiffusion usuelle. La modulation d'amplitude sert également en téléphonie par courants porteurs, où l'onde porteuse modulée est transmise par câble, et pour la transmission d'images fixes, par câble ou transmission radio.

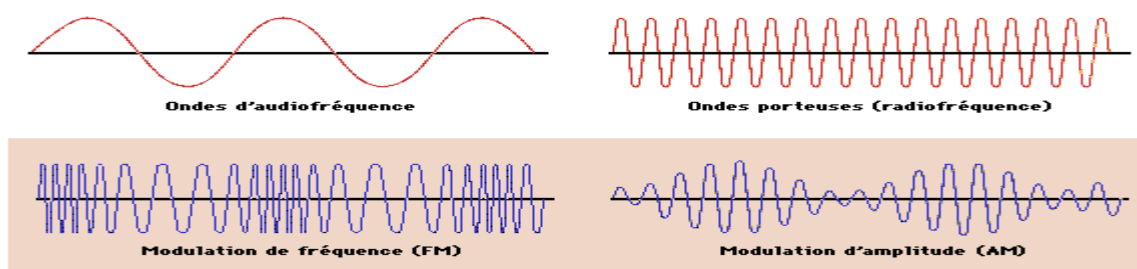


Figure 1.2 : Modulation de fréquence et d'amplitude

1.2.3 Modulation à BLU :

1.2.3.1 Définition :

La modulation d'amplitude consiste à moduler l'amplitude d'un signal de fréquence élevée, par un signal de basse fréquence. Ce dernier est celui qui contient l'information à transmettre (voix, par exemple, recueillie par un microphone), le premier étant le signal porteur (qu'on appelle porteuse).

Le principe repose sur la multiplication du signal porteur par le signal de basse fréquence (signal modulant) assujetti à un décalage judicieusement choisi.

Le système de modulation à BLU transpose une bande de fréquence BF de largeur théorique F [kHz] en une bande de fréquence HF de même largeur. Supposons que le signal modulant soit périodique, de pulsation $\Omega = 2\pi F$ et la porteuse est un signal de fréquence

$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ bien plus élevée. Techniquement, la modulation s'effectue grâce à des circuits électroniques spécifiques : un multiplicateur (de constante multiplicative k) et un additionneur.

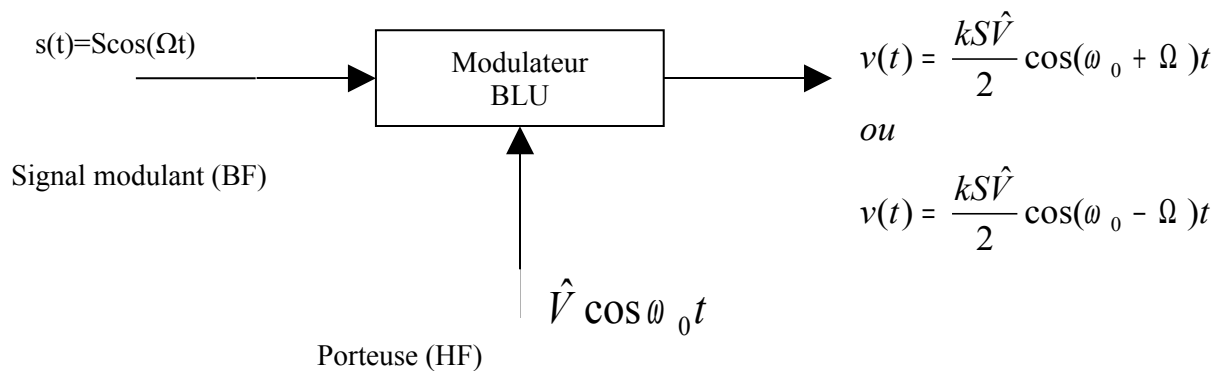


Figure 1.3 : Circuit du modulateur à BLU

La condition suivante doit être respectée :

$$f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi} ? F = \frac{\Omega}{2\pi} \quad [1-1]$$

Posons $m=kS$, qui est appelé indice de modulation et devant rester inférieur (ou égal) à 1 pour ne pas avoir une sur modulation.

La forme de l'équation du signal modulé en amplitude s'écrit :

$$\begin{aligned} v(t) &= kS\hat{V} \cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t) \\ v(t) &= \frac{kS\hat{V}}{2} (\cos(\omega_0 t + \Omega t) + \cos(\omega_0 t - \Omega t)) \\ v(t) &= \frac{kS\hat{V}}{2} (\cos 2\pi (f_0 + F)t + \cos 2\pi (f_0 - F)t) \end{aligned} \quad [1-2]$$

C'est une somme de deux sinusoïdes de fréquences $(f_0 + F)$ et $(f_0 - F)$ et de même

amplitude $\frac{kS\hat{V}}{2}$

Le signal BLU supérieure est :

$$v(t) = \frac{kS\hat{V}}{2} \cos(\omega_0 t + \Omega t) = \frac{m\hat{V}}{2} \cos(\omega_0 t + \Omega t) \quad [1-3]$$

Le signal BLU inférieure est :

$$v(t) = \frac{kS\hat{V}}{2} \cos(\omega_0 t - \Omega t) = \frac{m\hat{V}}{2} \cos(\omega_0 t - \Omega t) \quad [1-4]$$

1.2.3.2 Allure des signaux:

a- Première modulation :

Dans notre cas, le signal modulant $s(t) = S \cos(\Omega t)$ a comme fréquence $F=4$ [kHz], et d'amplitude $S=5$ [V]; On réalise la première modulation avec une porteuse MF à $f_0 = 20$ [kHz] d'amplitude $\hat{V} = 4$ [V], d'après le théorème de Shannon dans le domaine fréquentiel, la fréquence d'échantillonnage est donnée par la relation $f_e \geq 2F_{\max}$ ou $T_e \leq \frac{T}{2}$.

$$v(t) = \frac{kS\hat{V}}{2} (\cos(\omega_0 t + \Omega t) + \cos(\omega_0 t - \Omega t))$$

$$v(t) = \frac{kS\hat{V}}{2} (\cos 2\pi (f_0 + F)t + \cos 2\pi (f_0 - F)t)$$

[1-5]

Affichons Les signaux de modulation, de la porteuse, et de la BLU supérieure qu'on a gardé à la sortie du modulateur MF (ou signal de sortie dans le cas où $m < 1$) sur $N=1000$ points, avec une période d'échantillonnage de $T_e=0.0001$ [ms] (soit une fréquence f_e d'échantillonnage de 10000 [kHz]) avec la valeur idéale $m=0.7$

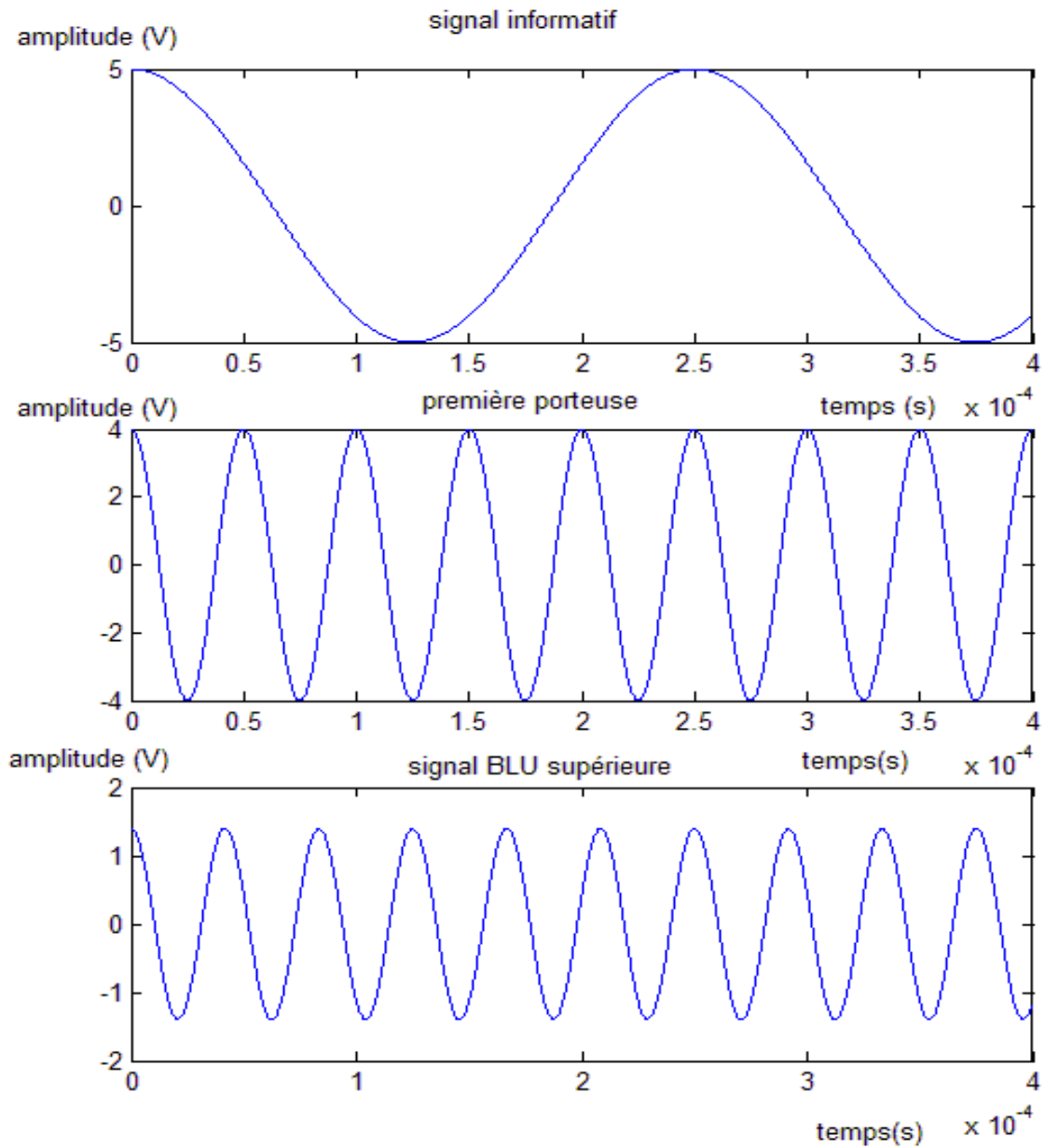


Figure 1.4 : Signal de la première modulation

b- Deuxième modulation :

On va moduler le signal BLU supérieure avec une porteuse HF à $f_1 = 250$ [kHz], d'amplitude $\hat{V}_1 = 4$ [V] avec $\omega_1 = 2\pi f_1$.

$$v(t) = \frac{k_1 m \hat{V} \hat{V}_1}{4} (\cos(\omega_1 t + (\omega_0 + \Omega)t) + \cos(\omega_1 t - (\omega_0 + \Omega)t))$$

$$v(t) = \frac{m_1 \hat{V}_1}{2} (\cos 2\pi (f_1 + (f_0 + F))t + \cos 2\pi (f_1 - (f_0 + F))t)$$

[1-6]

On gardera à la fin le signal BLU inférieure.

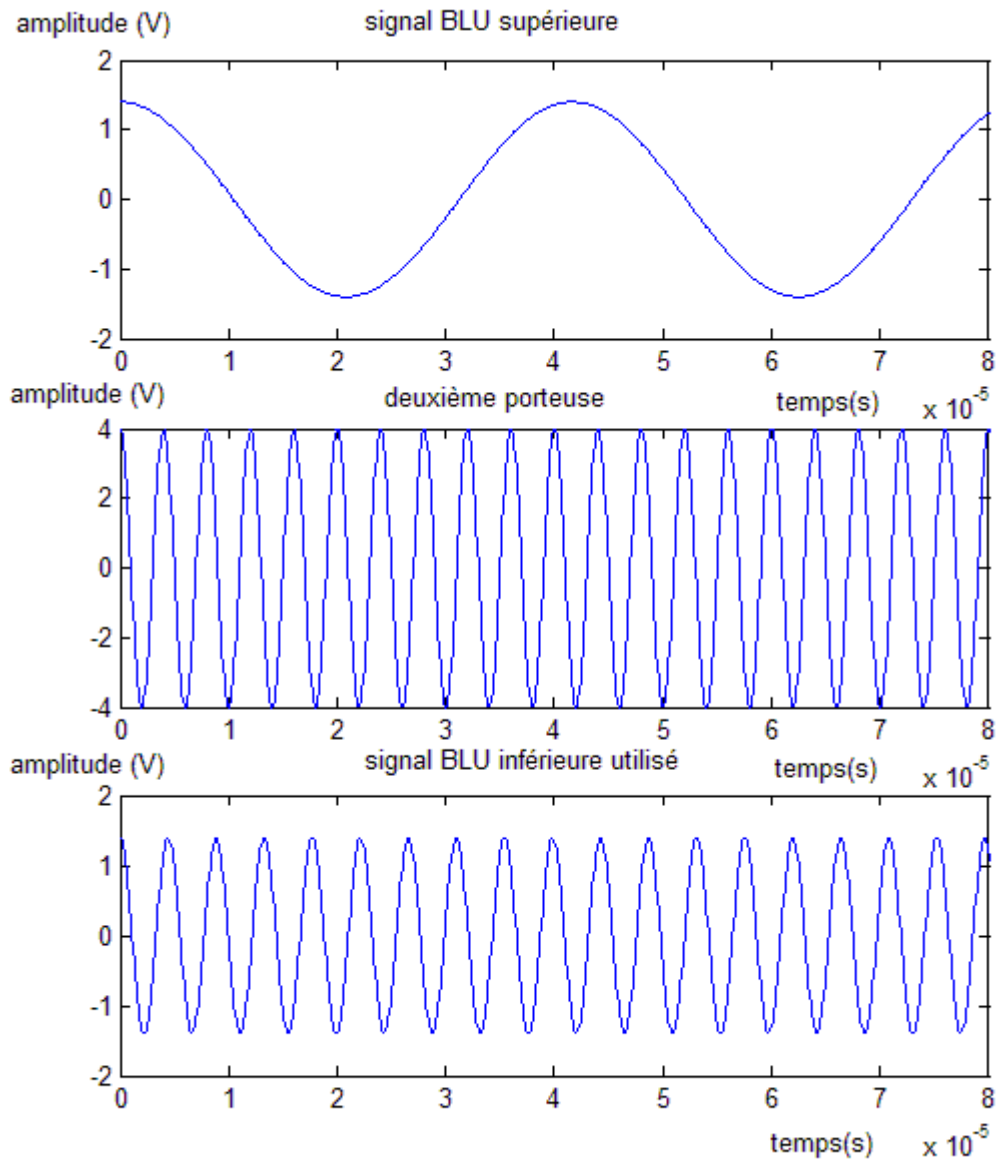


Figure 1.5 : Signal de la deuxième modulation

1.2.4 Spectre du signal BLU :

Le spectre de fréquence du signal modulé est un graphe nous présentant l'amplitude de chaque composante du signal. En effet, tout signal périodique pouvant être décomposé en

somme de fonctions sinusoïdales, le signal modulé est lui même une somme de signaux sinusoïdaux, Reprenons son équation :

$$v(t) = kS\hat{V} \cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t)$$

En linéarisant, on obtient :

$$v(t) = \frac{kS\hat{V}}{2} (\cos(\omega_0 t + \Omega t) + \cos(\omega_0 t - \Omega t))$$

$$v(t) = \frac{kS\hat{V}}{2} (\cos 2\pi (f_0 + F)t + \cos 2\pi (f_0 - F)t)$$
[1-7]

Pour la première modulation, on utilise le signal BLU supérieure d'équation :

$$v(t) = \frac{kS\hat{V}}{2} \cos(\omega_0 t + \Omega t) = \frac{m\hat{V}}{2} \cos 2\pi (f_0 + F)t$$
[1-8]

Avec $F = 4$ [kHz] et $f_0 = 20$ [kHz], on a :

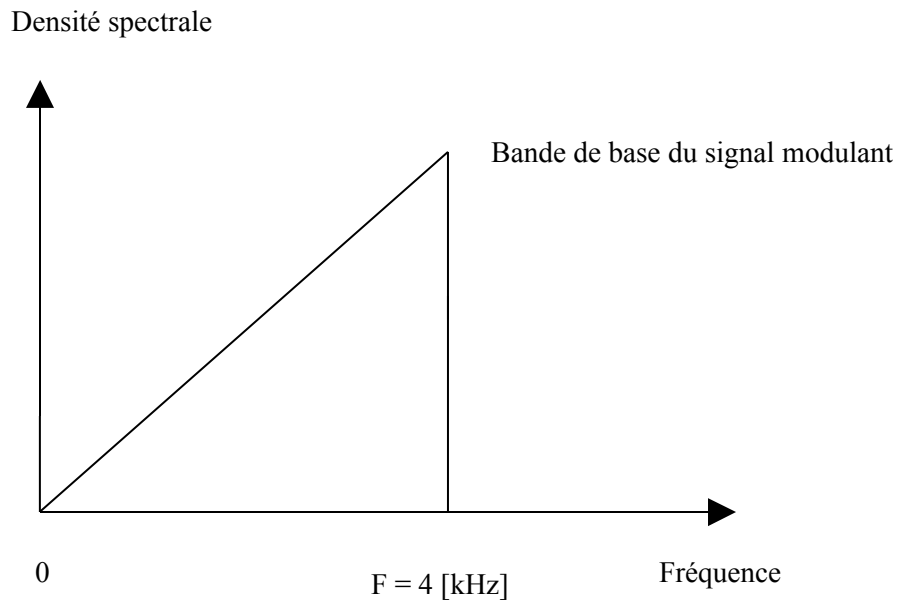


Figure 1.6 : Première bande de base

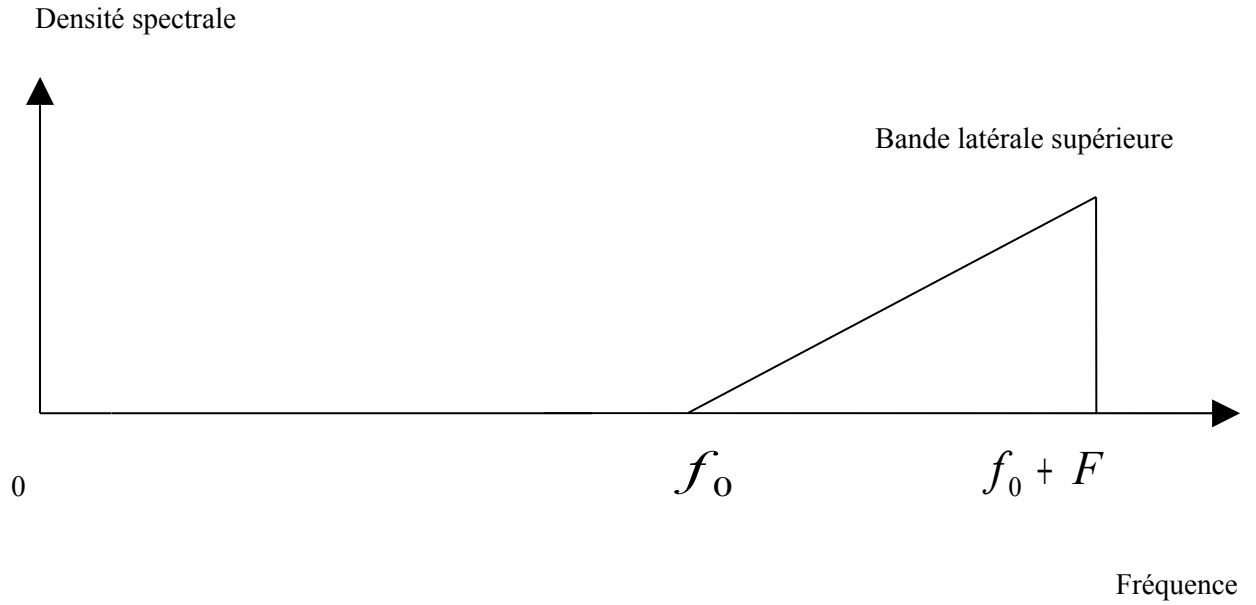


Figure 1.7 : Spectre après traitement BF

Pour la deuxième modulation, on utilise le signal BLU inférieure d'équation :

Pour $f_1 = 250$ [kHz], on a :

$$v(t) = \frac{k_1 m \hat{V}_1}{4} \cos(\omega_1 t - (\omega_0 + \Omega)t) = \frac{m_1 \hat{V}_1}{2} \cos 2\pi (f_1 - (f_0 + F))t \quad [1-9]$$

Ou $m_1 = \frac{k_1 m \hat{v}}{2}$ et on la gardera à 0.7

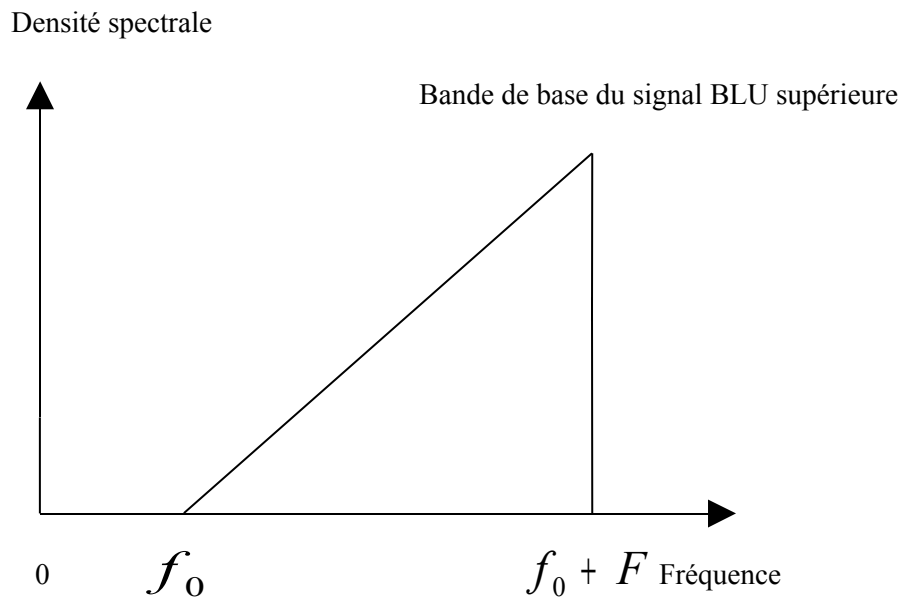


Figure 1.8 : Deuxième bande de base

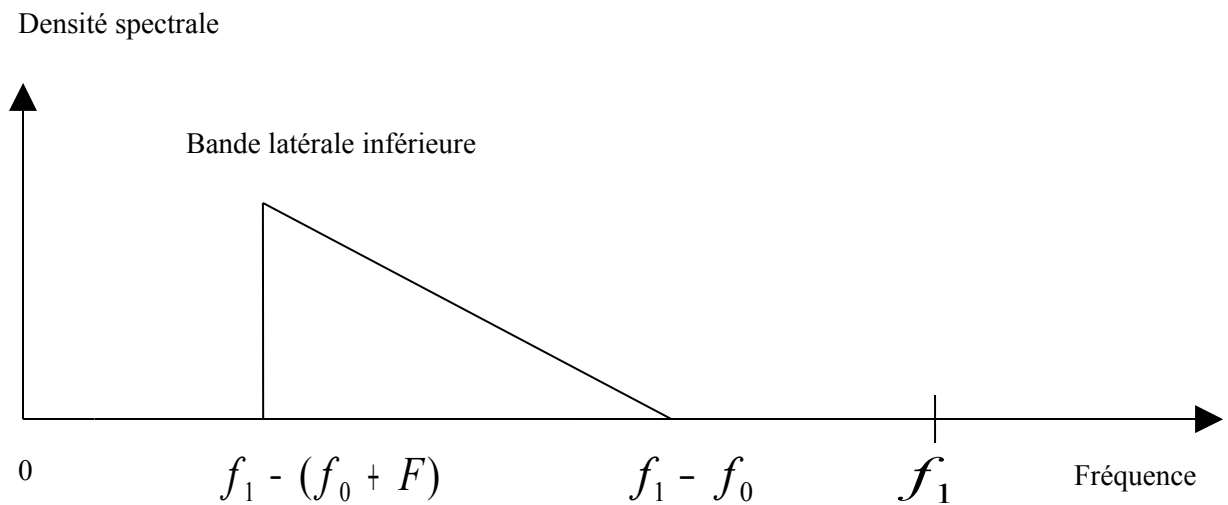


Figure 1.9 : Spectre HF émis en ligne

La répartition des fréquences en fonction des types d'informations à transmettre est par le tableau suivant :

Types d'informations	Plage de fréquences [kHz]
Phonie	0 - 2,85
Appel	2,85 - 2,87
Données	2,87 - 4

Tableau 1.3 : Plage des fréquences

1.2.5 Production du signal BLU par filtrage :

Le spectre HF émis en ligne est obtenu après deux transpositions successives à l'aide de modulateurs équilibrés.

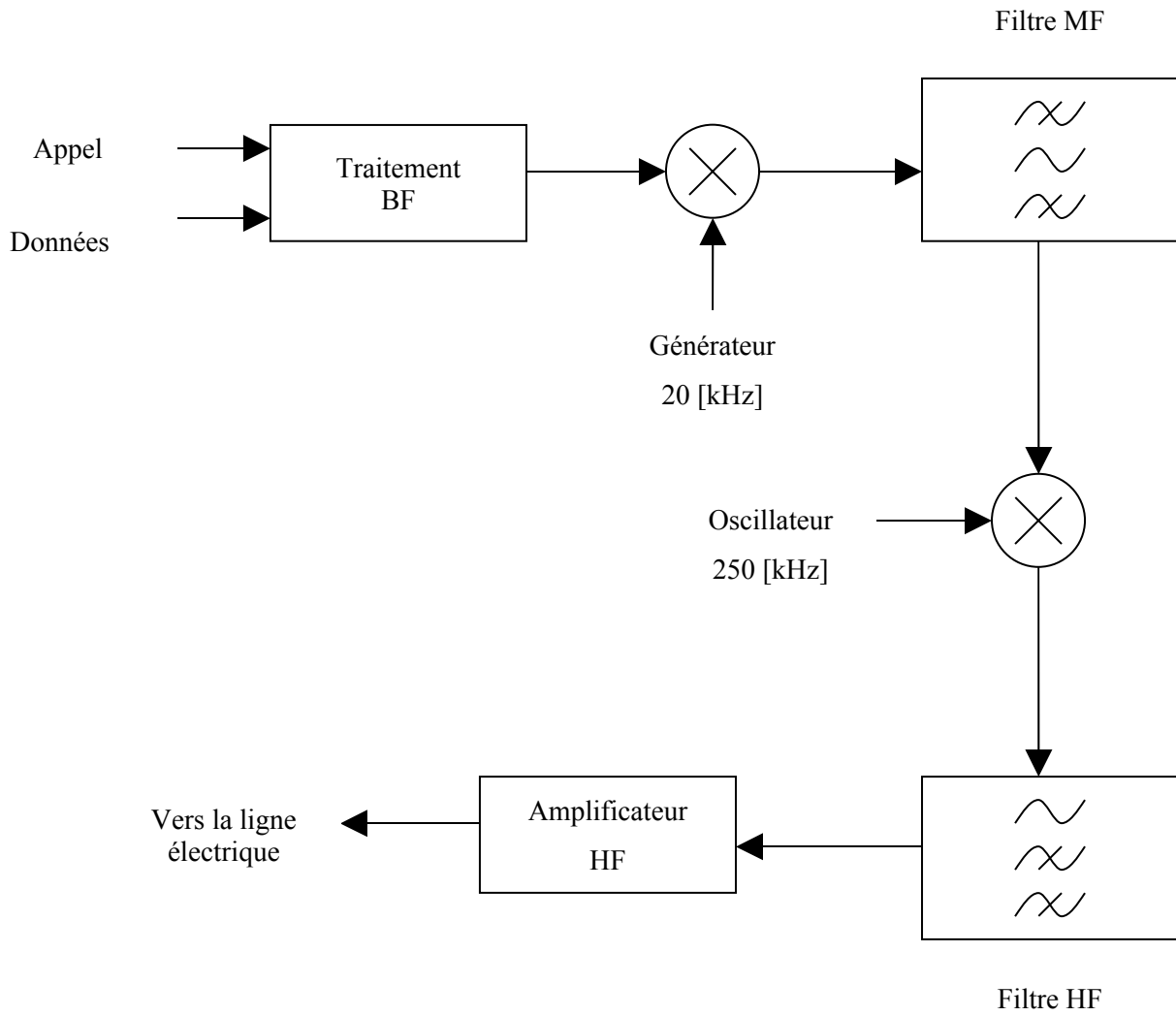


Figure 1.10 : Synoptique du modulateur à BLU

A la sortie du premier multiplieur, de constante k, on obtient :

$$v(t) = \frac{kS\hat{V}}{2} (\cos(\omega_0 t + \Omega t) + \cos(\omega_0 t - \Omega t)) \quad [1-10]$$

Le filtre passe-bande MF centré sur $(\omega_0 + \Omega)$ élimine le signal BLU inférieure et on obtient :

$$v(t) = \frac{kS\hat{V}}{2} \cos(\omega_0 t + \Omega t) \quad [1-11]$$

L'équation du signal sortant du deuxième multiplieur, de constante k_1 , s'écrit :

$$v(t) = \frac{k_1 m \hat{V}_1 \hat{V}_1}{4} (\cos(\omega_1 t + (\omega_0 + \Omega)t) + \cos(\omega_1 t - (\omega_0 + \Omega)t)) \quad [1-12]$$

$$v(t) = \frac{m_1 \hat{V}_1}{2} (\cos 2\pi (f_1 + (f_0 + F))t + \cos 2\pi (f_1 - (f_0 + F))t)$$

L'emploi du filtre passe-bande HF centré sur $(\omega_1 - (\omega_0 + \Omega))$ permet de ne conserver que le signal BLU inférieure de la forme suivante :

$$v(t) = \frac{m_1 \hat{V}_1}{2} \cos 2\pi (f_1 - (f_0 + F))t \quad [1-13]$$

1.2.6 Technique de démodulation :

Une fois le signal reçu, il va falloir le démoduler pour pouvoir l'utiliser. Considérons le circuit suivant :

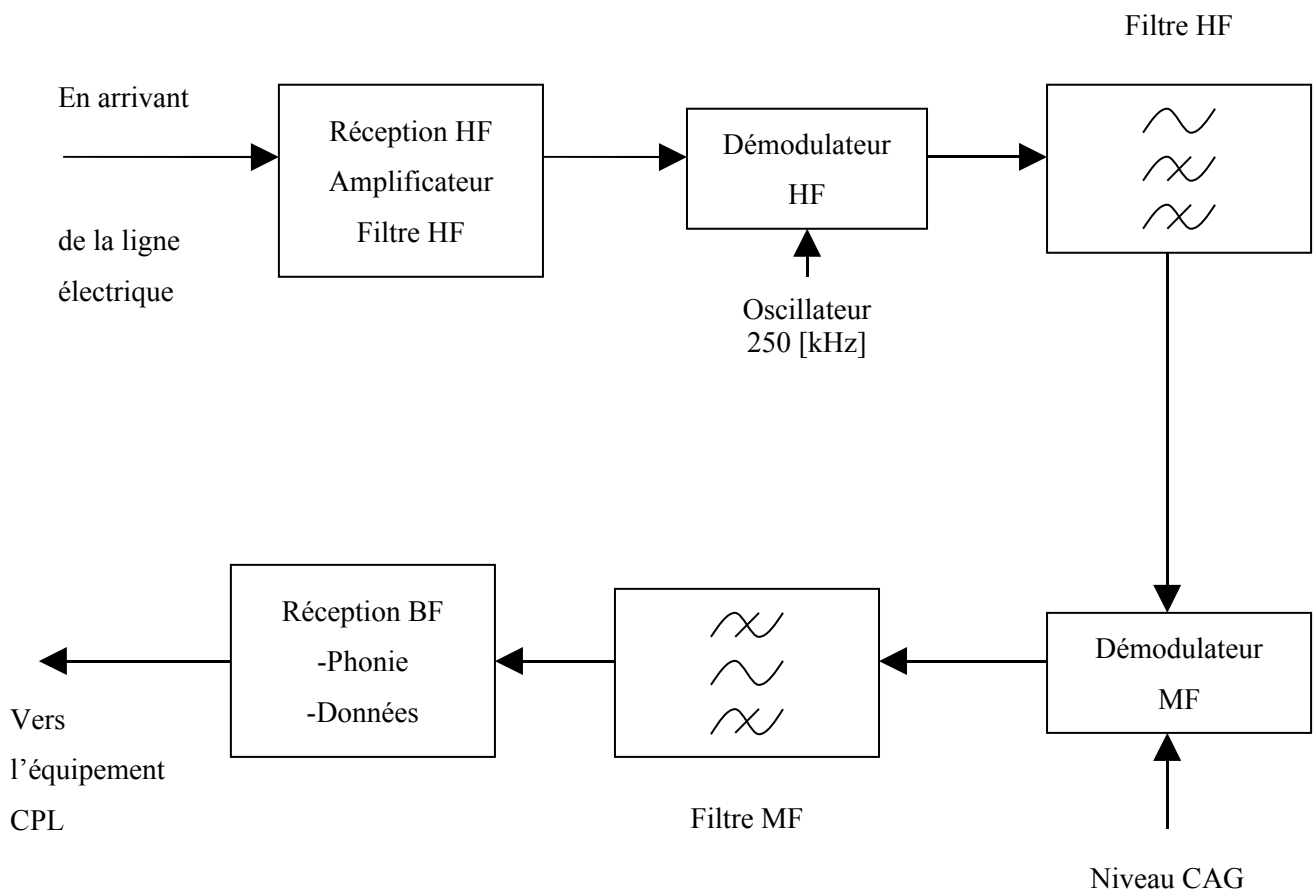


Figure 1.11 : Synoptique du démodulateur à BLU

Le CAG (Correcteur Automatique de Gain) est calé à la fréquence 20 [kHz] du premier modulateur.

Considérons le circuit permettant d'avoir une démodulation convenable suivant :

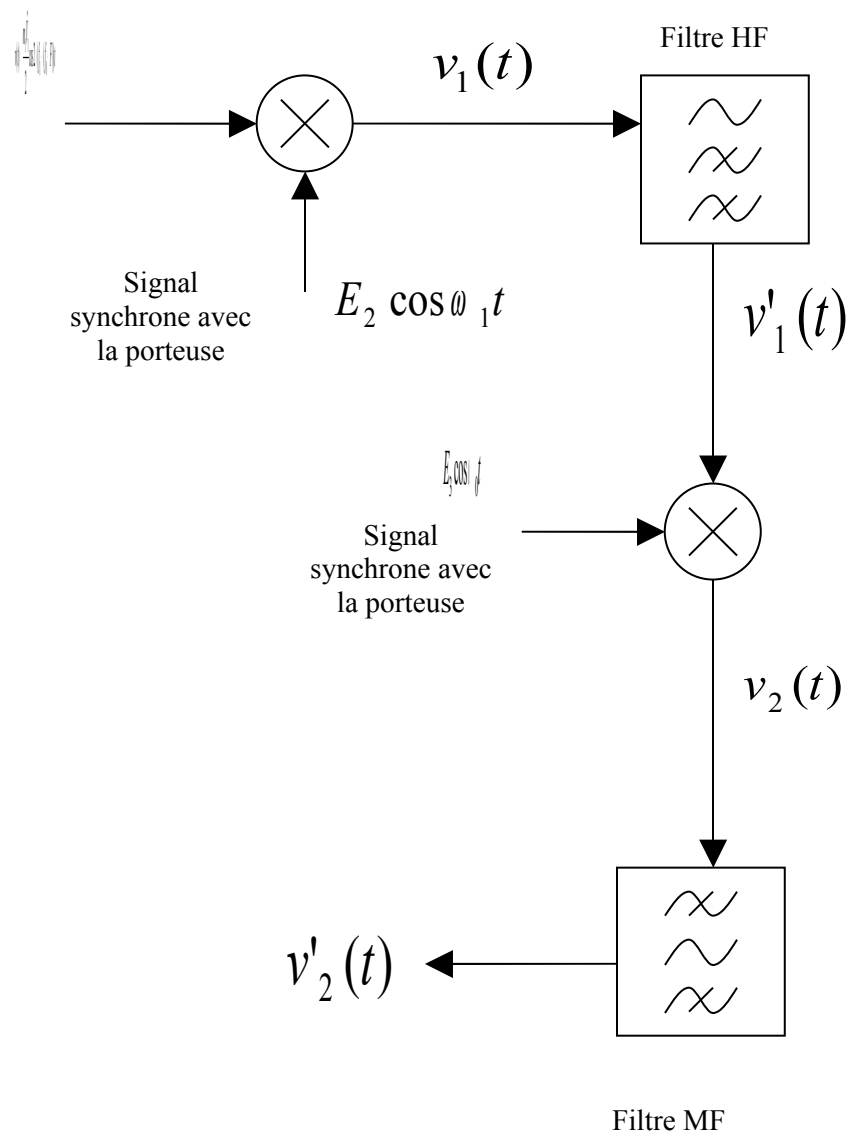


Figure 1.12 : Circuit du démodulateur à BLU

A la sortie du premier multiplicateur, de constante k_{11} , on obtient :

$$\begin{aligned} v_1(t) &= k_{11} \frac{m_1 \hat{V}_1}{2} E_2 \cos \omega_1 t \cos 2\pi (f_1 - (f_0 + F))t \\ v_1(t) &= k_{11} \frac{m_1 \hat{V}_1}{4} E_2 (\cos(\omega_0 + \Omega)t + \cos(2\omega_1 - (\omega_0 + \Omega))t) \end{aligned} \quad [1-14]$$

Le filtre passe-bas HF élimine directement la composante $k_{11} \frac{m_1 \hat{V}_1}{4} E_2 \cos(2\omega_1 - (\omega_0 + \Omega))t$

A la sortie du filtre HF, on a :

$$v'_1(t) = k_{11} \frac{m_1 \hat{V}_1}{4} E_2 \cos(\omega_0 + \Omega)t \quad [1-15]$$

A la sortie du deuxième multiplicateur, de constante k_{12} , on obtient :

$$\begin{aligned} v_2(t) &= k_{11} k_{12} \frac{m_1 \hat{V}_1}{4} E_2 E_3 \cos(\omega_0 + \Omega)t \cos \omega_0 t \\ v_2(t) &= k_{11} k_{12} \frac{m_1 \hat{V}_1}{8} E_2 E_3 (\cos(2\omega_0 + \Omega)t + \cos \Omega t) \end{aligned} \quad [1-16]$$

Le filtre passe-bas MF permet d'éliminer la composante MF $k_{11} k_{12} \frac{m_1 \hat{V}_1}{8} E_2 E_3 \cos(2\omega_0 + \Omega)t$

Et on a :

$$v'_2(t) = k_{11} k_{12} \frac{m_1 \hat{V}_1}{8} E_2 E_3 \cos \Omega t \quad [1-17]$$

On trouve que $v'_2(t)$ est l'image du signal BF qu'on a transmis, les signaux synchrones avec les porteuses sont obtenus en associant avec la BLU l'émission des fréquences pilotes égales ou multiples de ceux des porteuses.

1.3 CPL à haut débit :

1.3.1 Canal de transmission :

On appelle canal de transmission tout média (fil, câble, liaison hertzienne...) capable d'assurer un transfert d'informations entre deux équipements. Il a un effet perturbateur sur le signal modulé transmis car il est une source de bruit et d'interférence et de même d'affaiblissement du signal.

Le transmetteur transforme le message de manière à faciliter sa transmission dans le canal. Il effectue entre autre, la modulation du message pour produire le signal modulé transmis. Le récepteur effectue généralement plusieurs opérations dont celle de démodulation du signal reçu. Sa tâche principale est de fournir un signal estimé du message transmis.

Notre support de transmission est le réseau secteur 220V/50Hz ; Cette technologie utilise les fils électriques pour transmettre les signaux numériques sur des fréquences allant de 1.6 à 30Mhz répartis en plusieurs sous porteuses indépendantes. Leur installation ne crée aucune interférence sur le réseau électrique existant et seuls quelques équipements de forte puissance ou perturbateurs (*moteurs, fours micro-onde*) peuvent légèrement altérer le signal CPL. La longueur des câbles est également facteur de baisse de vitesse. Par exemple **HomePlug 1.0** indique une longueur maximale de 300m, des répéteurs existent pour accroître de manière significative cette longueur, surtout en les chaînant.

Le CPL est basé sur une phase et un neutre, dans le cas de deux réseaux sur deux phases différentes (cas d'installations triphasés : immeubles, entrepôts, usines, etc.), la solution réside tout simplement dans un coupleur de phases qui se chargera de retransmettre les signaux sur les bonnes phases aux moments opportuns.

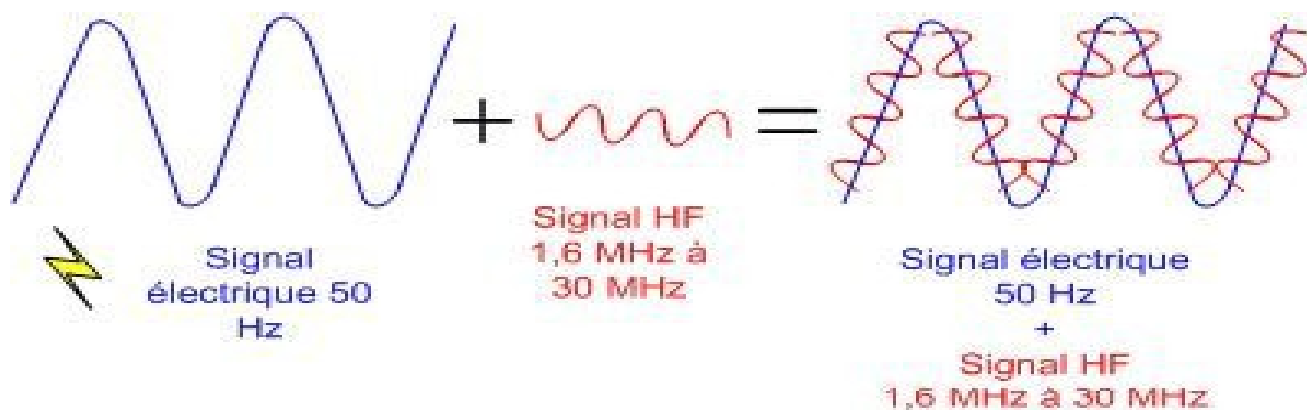


Figure 1.13 : Principe de transmission

Pour que le signal soit bien adapté au support de transmission, il doit être mis en forme par une bonne modulation (modulation OFDM par exemple), et ensuite il doit être filtré afin de limiter les effets du bruit et la distorsion sur la ligne.

1.3.2 Technique de modulation :

1.3.2.1 Modulation à étalement de spectre ou SS (Spread Spectrum) :

La modulation avec étalement de spectre est optimisée pour lutter contre le bruit, dont elle limite mieux les effets. Elle consiste à « étaler » l'information sur une bande de fréquences beaucoup plus large que la bande nécessaire, dans le but de combattre les signaux interférents et les distorsions liées à la propagation : le signal se confond avec le bruit. Le signal étant émis à un niveau plus faible que celui du bruit donc de débit reste faible.

Le signal est codé au départ, un code est assigné à chacun des usagers afin de permettre le décodage à l'arrivée. L'étalement est assuré par un signal pseudo aléatoire appelé code d'étalement.

A la réception, le signal est perçu comme du bruit si le récepteur n'a pas le code.

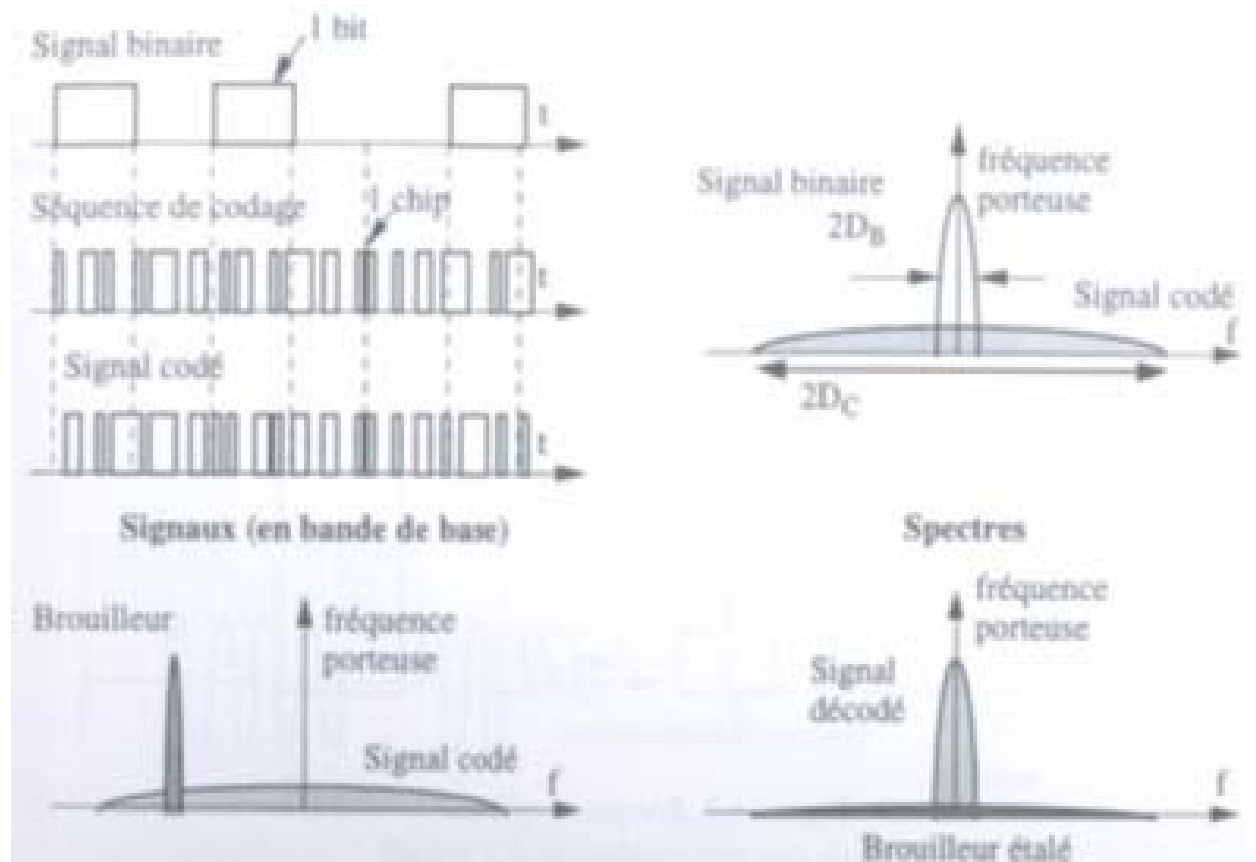


Figure 1.14 : Modulation à étalement de spectre

Le "spectre étalé" est une technique de transmission consistant à étaler l'énergie d'un signal de télécommunications sur une largeur de bande qui est beaucoup plus importante que le débit d'information. La plupart du temps, cet étalement se fait à l'aide d'un code pseudo aléatoire (pseudo noise code) indépendant des données.

a- Principes de bases :

A l'émetteur, les données présentes sur les branches I et Q (branches en phase et en Quadrature, ou encore les parties réelles et imaginaires) sont multipliées par un code pseudo aléatoire (qui peut être ou ne pas être différent sur les deux branches).

Le débit R_c du code pseudo aléatoire (appelé chip rate) est nettement plus élevé que le débit R_s des symboles de données et $R_c = NR_s$. La bande passante du signal résultant (à spectre étalé) est à peu près égale à R_c .

Lorsque le code pseudo aléatoire est de longueur égale à la durée d'un symbole de donnée, on parle de code court, lorsque le code est plus long que la durée d'un symbole, on parle de code long. En général, le code pseudo aléatoire a une durée qui est un multiple entier de la durée d'un symbole.

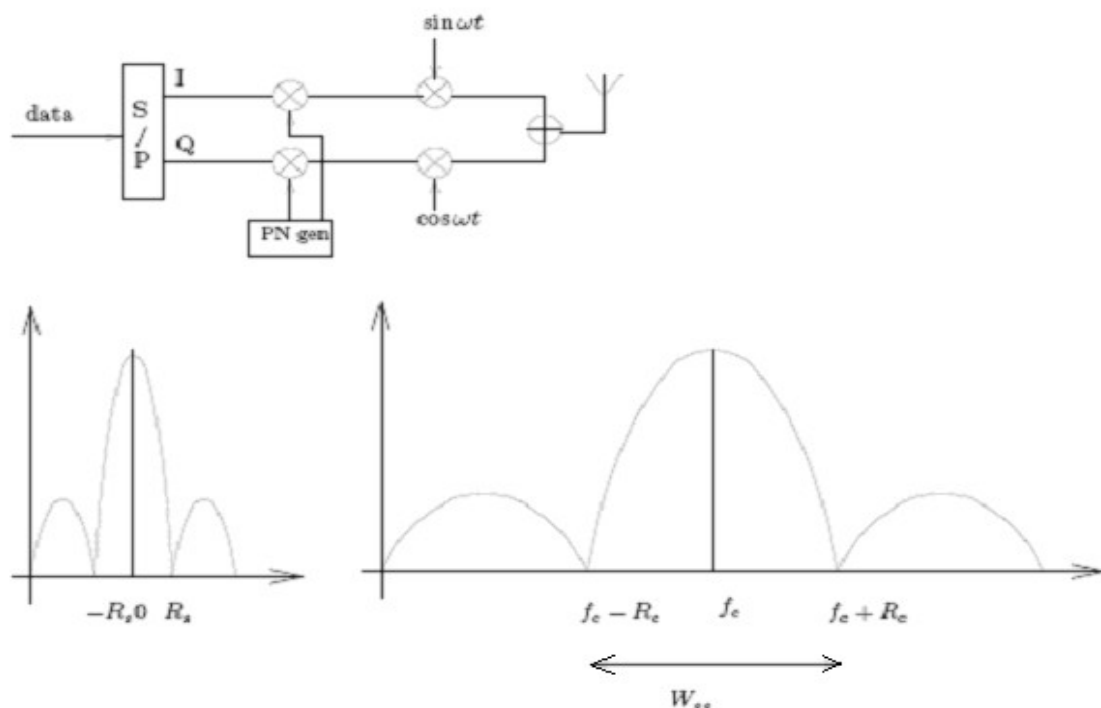


Figure 1.15 : Principe du spectre étalé à séquence directe

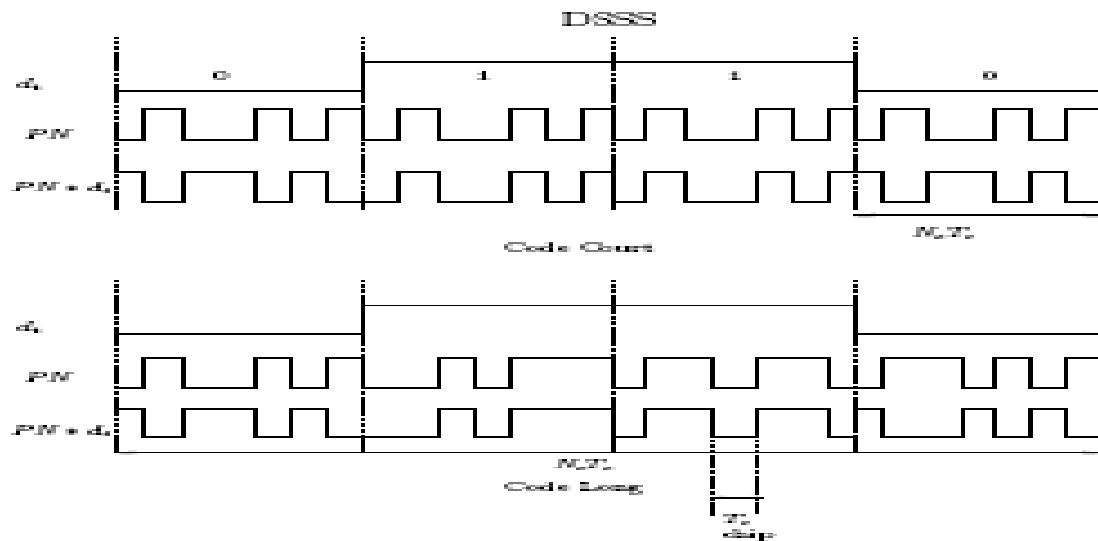


Figure 1.16 : Principaux types de DSSS

b- Principes du spectre étalé à séquence directe (DSSS) :

DSSS : Direct Sequence Spread Spectrum (spectre étalé à séquence directe)

Le cas le plus simple d'une chaîne de transmission à spectre étalé est celui de la modulation BPSK, donnée sur la figure 1.17.

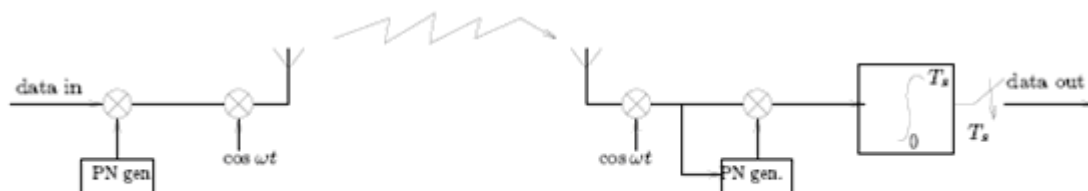


Figure 1.17 : Chaîne de transmission DSSS-BPSK

Entrées :

Les entrées du système peuvent être vues comme :

- Les données dt , cadencées à un rythme $R_s = 1 / T_s$
- Le code pseudo aléatoire pnt , cadencé à un rythme $R_c = 1 / T_c = N_c R_s$

Étalement :

L'étalement consiste en la multiplication pure et simple du signal de données BPSK par le code pseudo aléatoire (voir figure 1.16). L'effet de la multiplication du signal dt par le

code pnt est d'étaler, en bande de base, le signal de largeur de bande R_s sur une bande R_c par un facteur N_c , ou N_c est le nombre de chips par symbole (pour des codes courts, c'est la longueur de symbole). On dit également que N_c est le "processing gain", c'est-à-dire le facteur de proportionnalité entre la largeur de bande du signal de données et celle du signal étalé.

Il est également très important de signaler que, parallèlement à l'élargissement du spectre, la densité spectrale est diminuée par le facteur N_c , en effet, la puissance totale est conservée, et comme celle-ci est égale à l'intégrale de la densité spectrale de puissance, cette densité spectrale de puissance doit diminuer.

Désétalement :

Au récepteur, le signal étalé doit être multiplié par la même séquence PN qu'à l'émetteur pour être détecté :

-Si $pnr = pnt$ (et les deux séquences sont synchronisées), alors le signal binaire peut être récupéré. L'effet de cette multiplication est de désétalement le signal, c'est-à-dire de ramener la largeur de bande du signal à R_s .

-Si $pnr \neq pnt$ ou si $pnr = pnt$ et les deux séquences ne sont pas synchronisées, le signal reçu n'est pas désétalement, et le récepteur ne peut pas récupérer le signal émis.

c- Modulation :

La figure 1.18 explicite le principe de la modulation à spectre étalé. On voit clairement que le signal d'information de largeur de bande $BW_{info} = 2 R_s$ est étalé sur une bande beaucoup plus large $BW_{ss} = 2 R_c$ (ici $R_c = N_c R_s = 8 R_s$). Le signal à spectre étalé ressemble à un bruit blanc (ou légèrement coloré). L'amplitude, et donc la puissance, du signal SS est la même que l'amplitude du signal d'information dt .

La largeur de bande SS étant plus importante, la densité spectrale de puissance du signal SS est plus faible. Le facteur d'étalement (ou encore processing gain dans ce cas ci) peut s'écrire sous différentes formes :

$$SF = G_p = \frac{BW_{ss}}{BW_{info}} = \frac{R_c}{R_s} = \frac{T_b}{T_c} = N_c \quad [1-18]$$

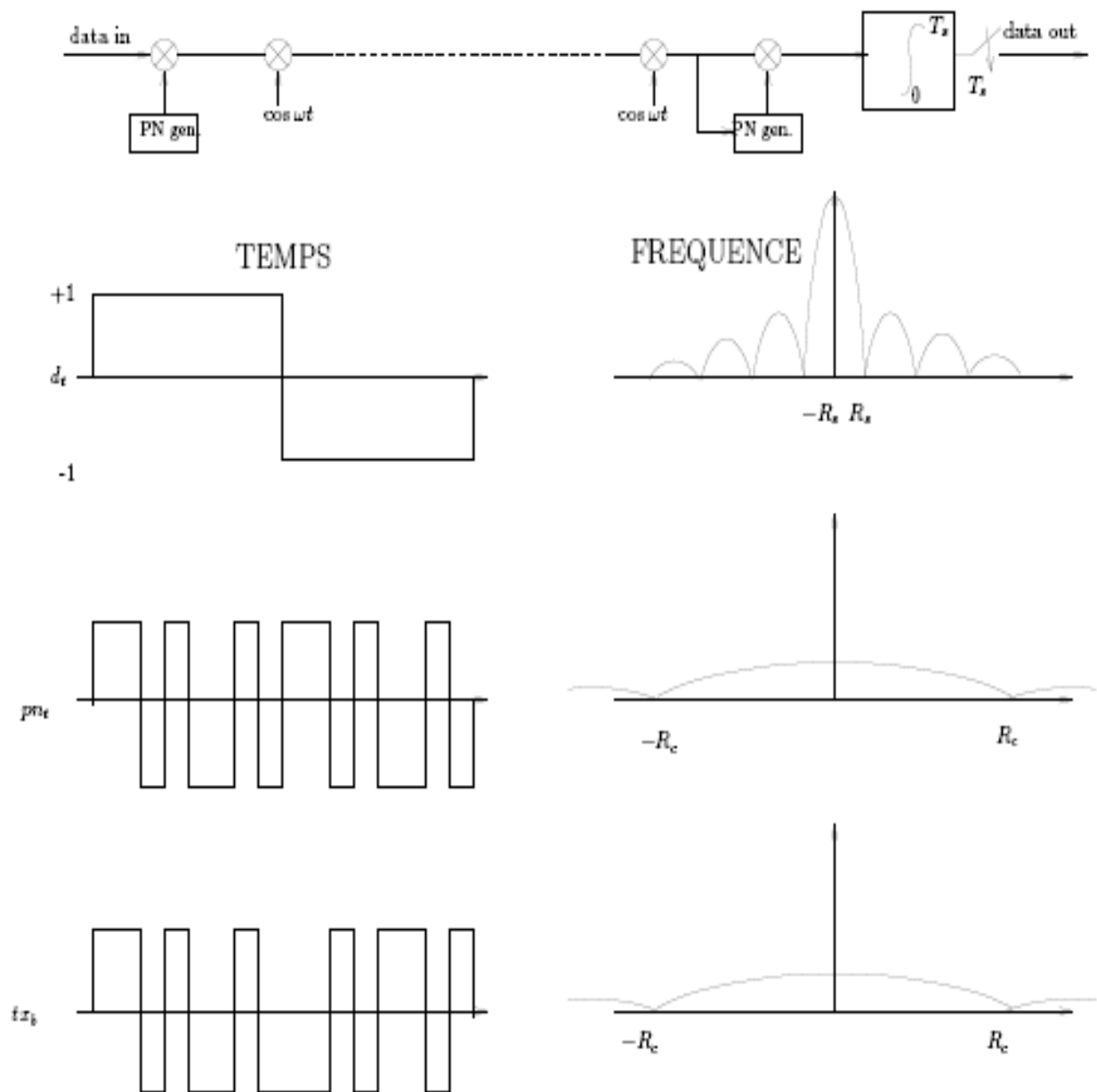


Figure 1.18 : Principe de la modulation DS-BPSK-SS

d- Démodulation :

Pour démoduler, le signal reçu est multiplié par une séquence pseudo aléatoire pnr . Si cette séquence est identique au code utilisé à l'émission et si les codes sont synchronisés, la figure 1.19 montre clairement que le signal reçu sera identique (pour un canal idéal et sans bruit) au signal émis. On notera que le démodulateur optimal pour un canal à bruit blanc additif Gaussien comporte un intégrateur bloqueur après l'opération de désétalement. Intuitivement, cet intégrateur permet de "moyenner" le bruit et de s'affranchir au maximum de l'effet d'un léger asynchronisme entre les codes.

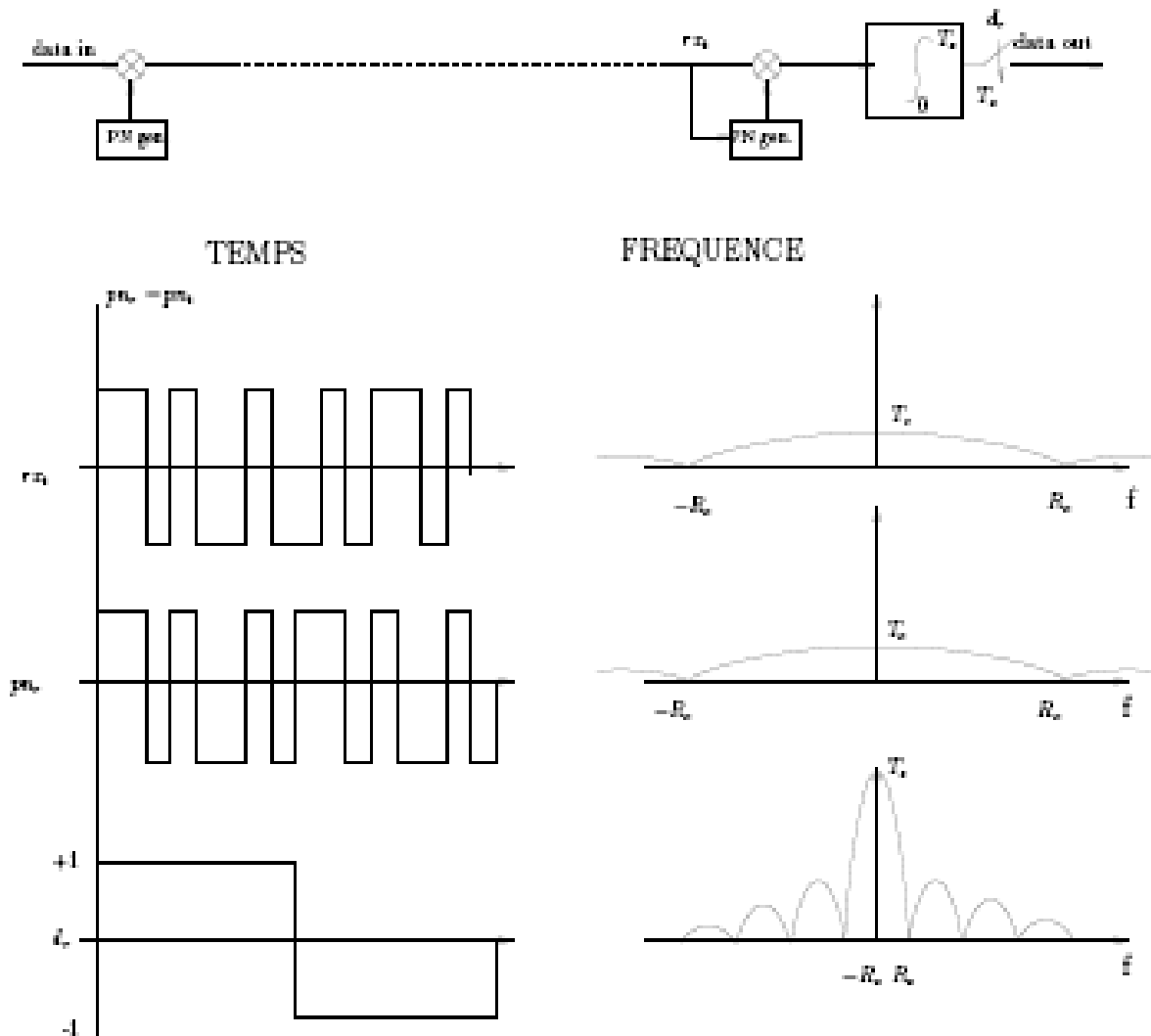


Figure 1.19 : Principe de la démodulation DS-BPSK-SS

1.3.2.2 Modulation OFDM :

a- Introduction :

La plupart des travaux sur les courants porteurs en lignes ont opté pour la modulation multi porteuse OFDM comme technique de transmission. Bien que plusieurs résultats soient assez satisfaisants, l'influence des caractéristiques du réseau électrique sur le débit binaire et sur le taux d'erreurs binaire reste à explorer. Notre contribution a pour objectif l'optimisation

d'une chaîne de transmission numérique haut débit sur les canaux CPL. Il consiste à adopter un nombre de sous porteuses suffisamment élevé afin de diminuer les pertes d'informations qui seront récupérées par un codage canal adéquat.

b- Définition :

Pour mieux comprendre, il est bon de rappeler ce que signifient ces 4 initiales : Orthogonal Frequency Division Multiplexing.

Chaque terme est important et permet de comprendre son attrait : Commençons par les derniers termes : DIVISION MULTIPLEXING

L'idée de base de l'OFDM réside dans le fait de répartir un train binaire haut débit en une multitude de trains (ou canaux), lesquels étant modulés à bas débits.

Pour les premiers termes : ORTHOGONAL FREQUENCY
Chacun de ces sous canaux est modulé par une fréquence différente, l'espacement entre chaque fréquence restant constant. Ces fréquences constituent une base orthogonale : le spectre du signal OFDM présente une occupation optimale de la bande allouée mais nous verrons cela en détail plus tard.

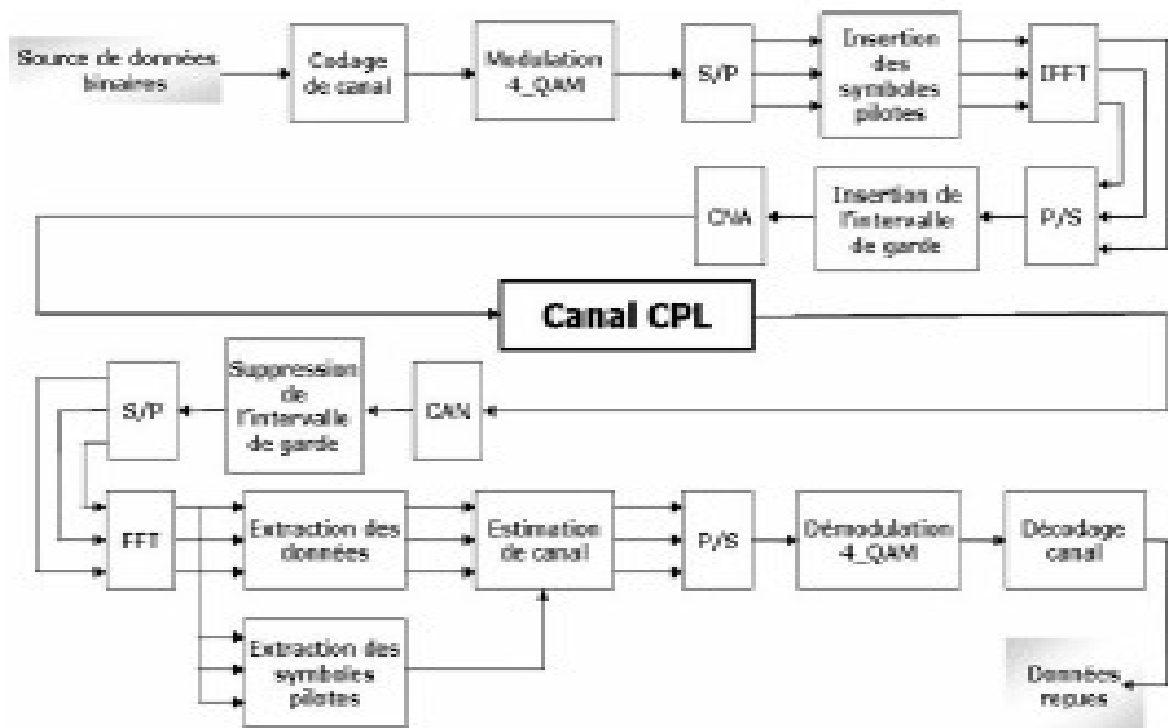


Figure 1.20 : Modèle de la chaîne de transmission sur un système CPL

c- Technique de modulation OFDM :

Les techniques qu'on appelle multi porteuse consistent à transmettre des données numériques en les modulant sur un grand nombre de porteuses en même temps. Ce sont des techniques de multiplexage en fréquence qui existent depuis longtemps. Le regain d'intérêt actuel réside dans l'amélioration apportée pour augmenter l'efficacité spectrale en orthogonalisant les porteuses ce qui permet d'implémenter la modulation et la démodulation à l'aide de circuits performants de transformée de Fourier rapide.

Le principe est donc de transmettre des données numériques en parallèle modulées sur un grand nombre de porteuses à bas débit.

Le principe du multiplexage en fréquence est de grouper des données numériques par paquets de N , qu'on appellera symbole OFDM et de moduler par chaque donnée une porteuse différente en même temps.

Considérons une séquence de N données c_0, c_1, \dots, c_{N-1}

Appelons T_s la durée symbole c'est-à-dire le temps qui sépare 2 séquences de N données.

Chaque donnée c_k module un signal à la fréquence f_k .

Le signal individuel s'écrit sous forme complexe : $c_k e^{2j\pi f_k t}$

Le signal $s(t)$ total correspondant à toutes les données d'un symbole OFDM est la somme des

signaux individuels
$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{2j\pi f_k t}$$

Le multiplexage est orthogonal si l'espace entre les fréquences est $1/T_s$.

Alors $f_k = f_0 + \frac{k}{T_s}$ et
$$s(t) = e^{2j\pi f_0 t} \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{2j\pi \frac{kt}{T_s}} \quad [1-19]$$

Voici le schéma de principe de la modulation.

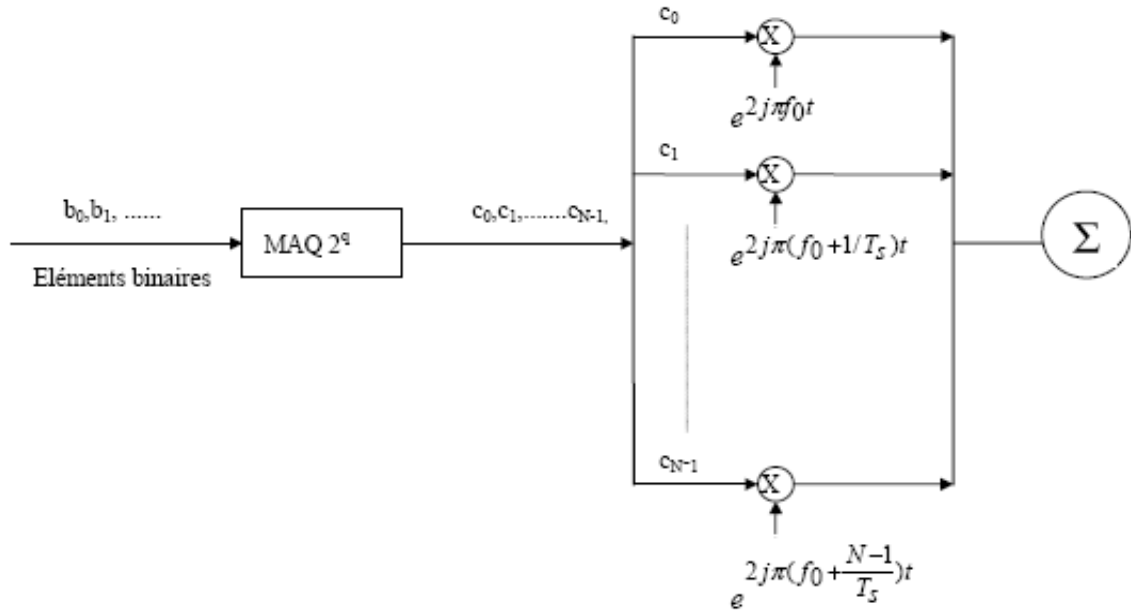


Figure 1.21 : Schéma de principe d'un modulateur

Plus précisément les données numériques c_k sont des nombres complexes définis à partir d'éléments binaires par une constellation (mapping) de modulation d'amplitude en quadrature MAQ à plusieurs états (4, 16, 64, de façon générale à 2^q états). Ces données sont des symboles q-aires formés par groupement de q bits. On les appelle symboles numériques. Il ne faut pas les confondre avec le symbole OFDM qui est un regroupement de N symboles numériques sur N porteuses.

De l'équation [1-19] on peut déduire l'expression réelle du signal :

Si $c_k = a_k + jb_k$

$$S(t) = \text{Re}(s(t)) = \text{Re} \left[\sum_{k=0}^{N-1} (a_k + jb_k) e^{2j\pi(f_0 + \frac{k}{T_s})t} \right] = \sum_{k=0}^{N-1} a_k \cos(2\pi(f_0 + \frac{k}{T_s})t) - b_k \sin(2\pi(f_0 + \frac{k}{T_s})t) \quad [1-20]$$

D'après l'expression du signal et la figure 1.21, le modulateur ainsi que le démodulateur devrait comporter N modulateurs individuels.

Nous allons déterminer le spectre du signal OFDM.

Chaque porteuse modulant une donnée pendant une fenêtre de durée T_s , son spectre est la transformée de Fourier de la fenêtre qui est un sinus cardinal qui s'annule aux deux premières fréquences et qui possède une largeur de bande df :

$$f_{-z} = f_k - \frac{1}{T_s} \text{ et } f_{+z} = f_k + \frac{1}{T_s} \quad [1-21]$$

Ces deux fréquences sont respectivement égales à f_{k-1} et f_{k+1}

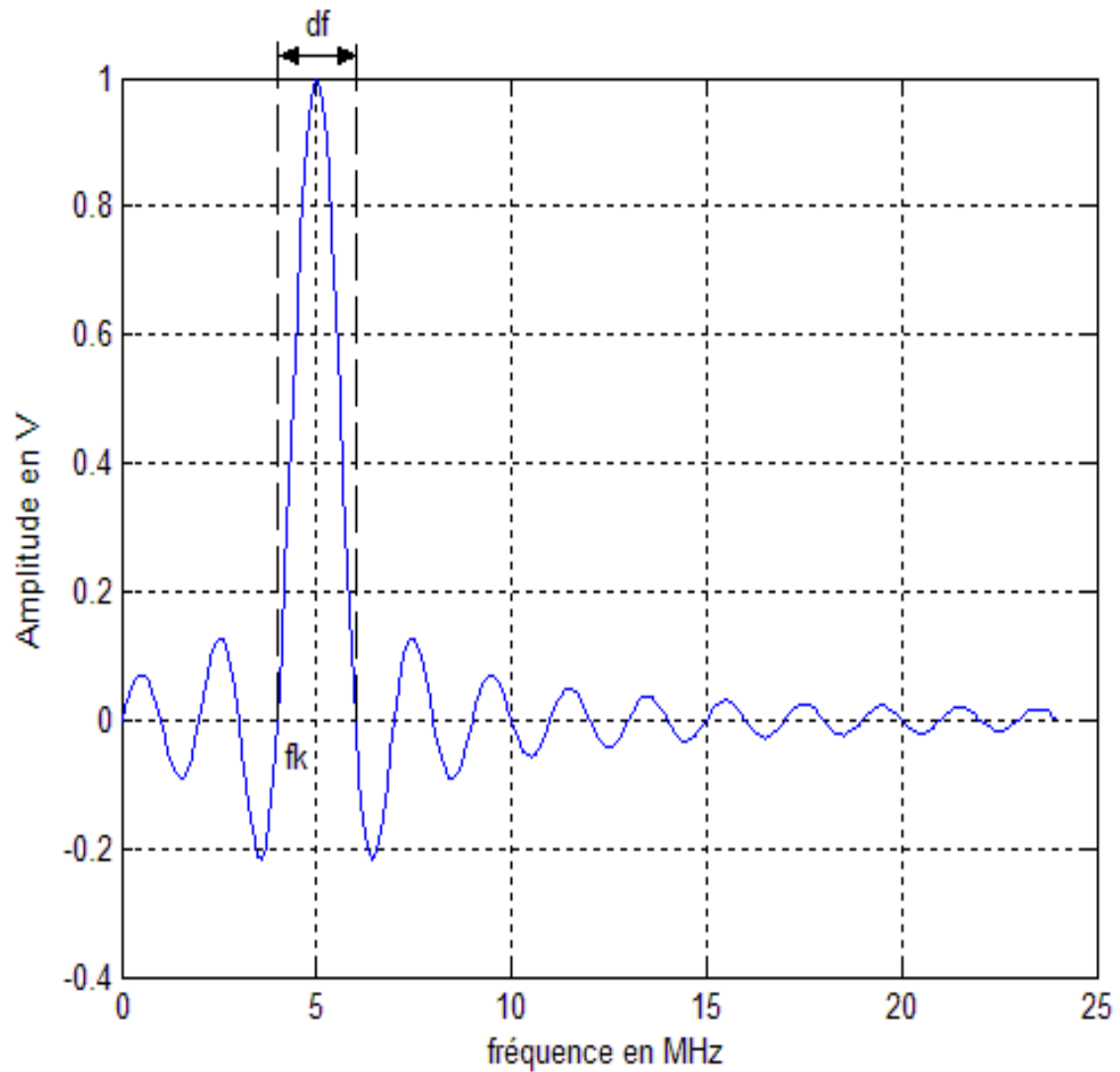


Figure 1.22 : Spectre d'une seule sous porteuse

La figure ci dessous montre, avec un signal à huit sous porteuses qui s'étale sur une bande B égale à huit fois df , que l'espace entre chaque sous porteuse $1/T_s$ permet, lorsque le

spectre d'une sous porteuse est maximal, d'annuler le spectre de toutes les autres sous porteuses : c'est la condition d'orthogonalité. (Orthogonal de OFDM).

Cette condition d'orthogonalité permet d'avoir un recouvrement entre les spectres des différentes sous porteuses, et malgré ceci d'éviter les interférences entre sous porteuses si l'échantillonnage est fait précisément à la fréquence d'une sous porteuse.

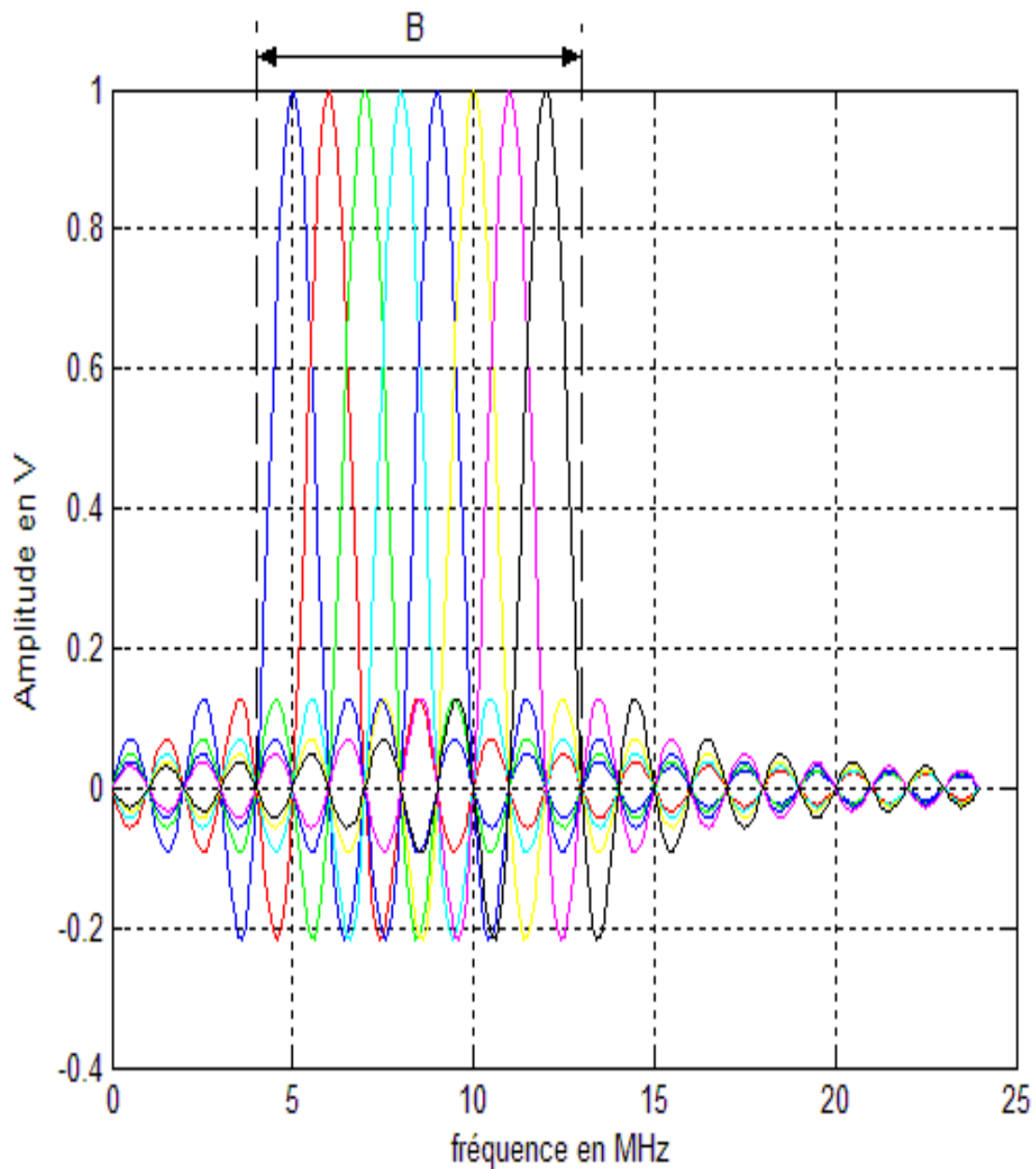


Figure 1.23 : Spectre des huit sous porteuses

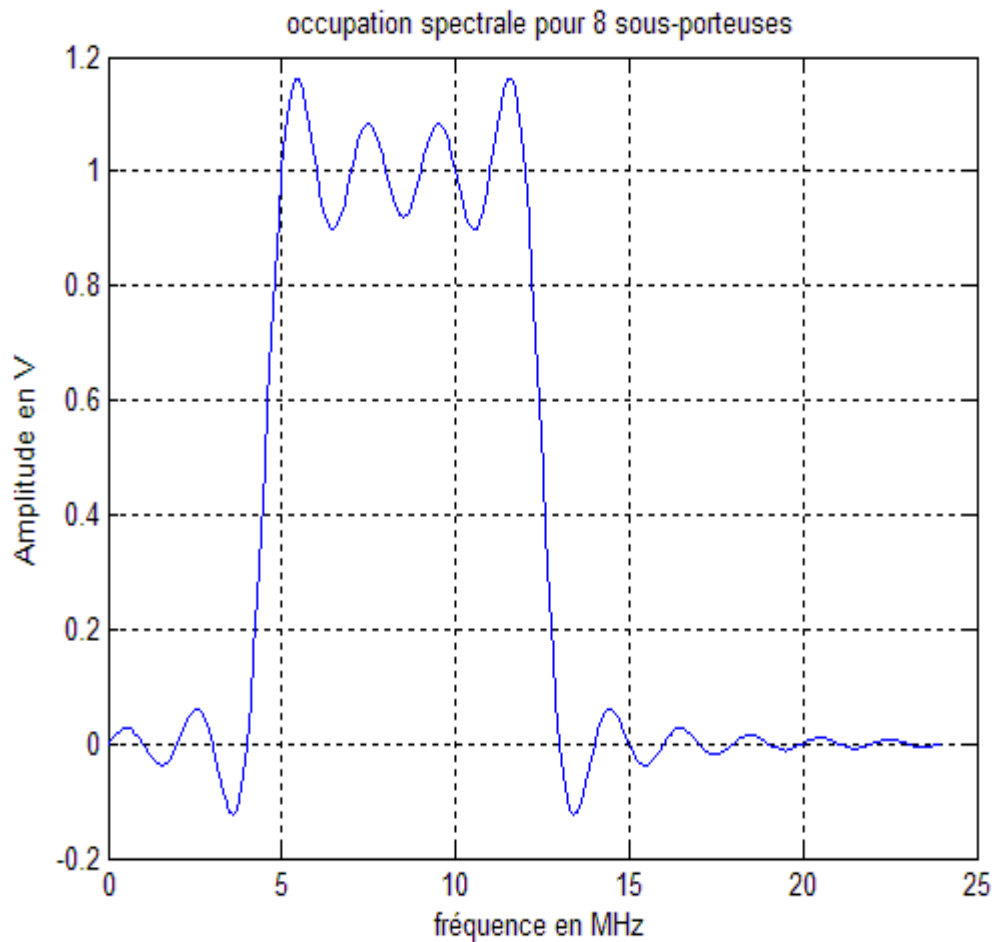


Figure 1.24 : Occupation spectrale pour huit sous porteuses

La figure 1.25 montre qu'alors, la bande en fréquence est occupée de façon optimum, puisque le spectre est presque plat dans cette bande. La bande occupée est à peu près $B = N / T_s$ (en excluant les lobes secondaires de part et d'autre de la bande), chaque sous porteuse occupant à peu près $1 / T_s$.

Si le symbole c_k transporte q bits, le débit total est (nombre de bits par seconde) $qN / T_s = qB$. Pour une largeur de bande utilisée, le débit ne dépend pas de la durée des symboles ni du nombre de porteuses. Si on augmente la durée des symboles T_s , le spectre de chaque porteuse $1 / T_s$ devient plus étroit et on peut augmenter le nombre de porteuses.

En principe, la réalisation nécessiterait N modulateurs. Mais l'expression mathématique du signal OFDM montre qu'on peut le considérer comme la transformée de Fourier inverse des symboles numériques c_k .

c-1 Principes du modulateur utilisant les transformées de Fourier discrètes :

Pour discrétiser, il faut choisir une fréquence d'échantillonnage.

Le signal occupe la bande passante B autour de la fréquence d'échantillonnage f_0 comme le montre le schéma suivant :

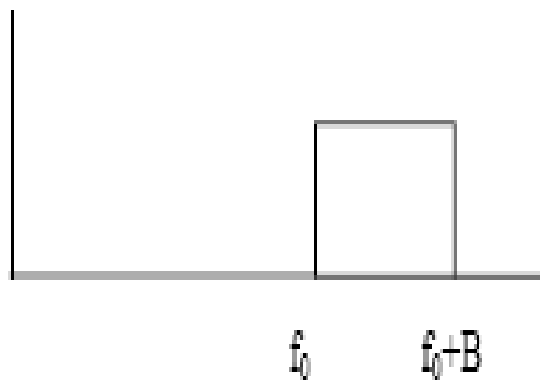


Figure 1.25 : Spectre du signal

On va d'abord transposer le signal en bande de base, donc effectuer une translation de $f_0 + B/2$, fréquence médiane de la bande.

Le spectre occupera la bande $[-B/2, B/2]$, comme on le voit sur le schéma suivant :

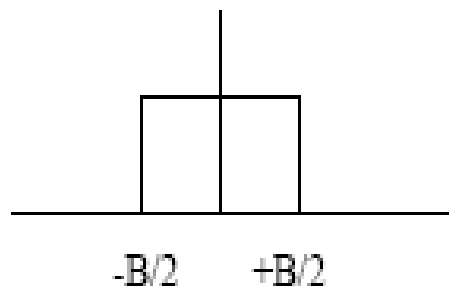


Figure 1.26 : Spectre en bande de base

La bande passante du signal étant $B/2 = N/2T_s$, la fréquence d'échantillonnage doit être supérieure ou égale à $2B/2$ soit N/T_s . L'échantillonnage se fera aux temps $t_n = nT_s / N$

La chaîne de transmission est schématiquement la suivante :

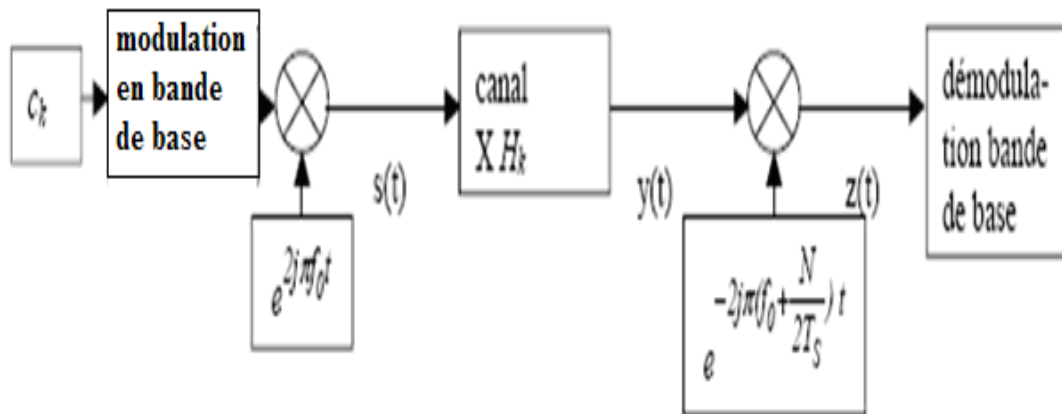


Figure 1.27 : Chaîne de transmission

Si on pose que le signal modulé en bande de base $s(t)$ est discrétisé, les échantillons s_n s'écrivent :

$$s_n = \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{2j\pi \frac{kn}{N}} \quad [1-22]$$

L'intérêt de cette discrétisation est qu'on peut réaliser ces transformées de Fourier à l'aide d'algorithmes de FFT (direct) et IFFT (inverse).

Le schéma de principe du modulateur est le suivant :

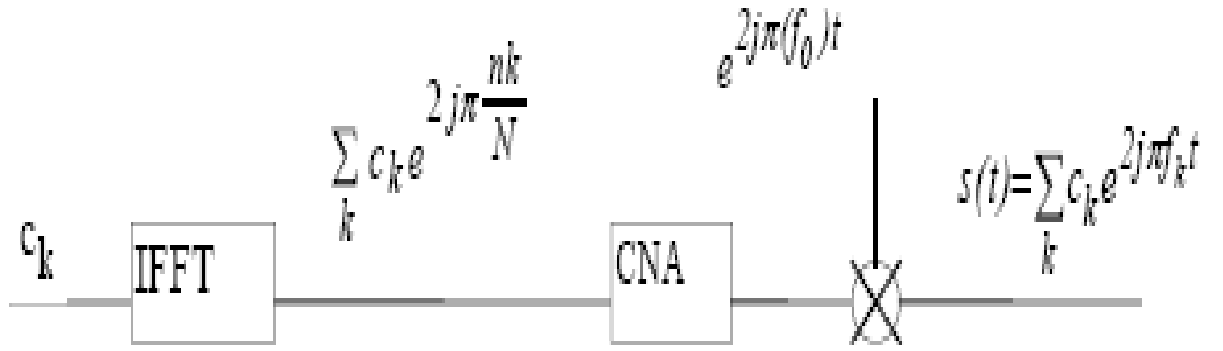


Figure 1.28 : Modulateur utilisant la IFFT

Physiquement, les symboles numériques c_k sont les données dans l'espace fréquentiel, les échantillons du signal s_n sont les données dans l'espace temporel puisqu'on passe des premières aux secondes par une transformée de Fourier inverse.

c-2 Principes du démodulateur utilisant les transformées de Fourier discrètes :

Le signal reçu en bande de base après le décalage en fréquence de $f_0 + B/2$ s'écrit alors :

$$z(t) = y(t)e^{-2j\pi(f_0 + \frac{B}{2T_s})t} = \sum_{k=0}^{N-1} c_k H_k e^{2j\pi(\frac{k-N}{T_s})t} \quad [1-23]$$

Puis après échantillonnage,

$$z(t_n) = z(nT_s / N) = z_n = (-1)^n \sum_{k=0}^{N-1} c_k H_k e^{2j\pi \frac{kn}{N}} \quad [1-24]$$

On voit que z_n est la Transformée de Fourier discrète inverse de $c_k H_k$ la démodulation consiste donc à effectuer une Transformée de Fourier directe discrète.

Le schéma de principes du démodulateur se simplifie :

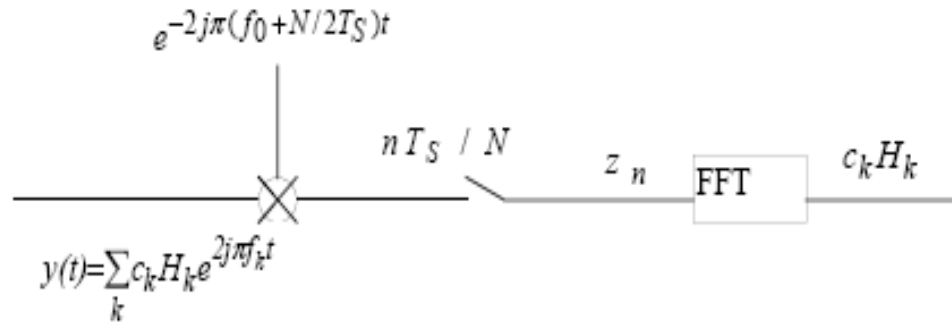


Figure 1.29 : Démodulateur utilisant la FFT

Le spectre du signal OFDM est formé des c_k placés aux fréquences f_k , autour de ces données le spectre s'élargit suivant un sinus cardinal à cause du spectre de la fenêtre temporelle T_s .

d- Réalisation du signal OFDM en bande de base :

Le principe de l'OFDM repose sur la transmission en parallèle de N sous porteuses modulées en M-QAM (Quadrature Amplitude Modulation) qui est basée sur une modulation en amplitude d'une porteuse en phase (I) et en quadrature (Q). La taille de la constellation correspondant au nombre de symboles possibles, est de M.

d-1 Modulation QAM pour chaque sous porteuse :

La modulation QAM utilise deux porteuses en quadrature qu'elle combine par addition pondérée en fonction du signal binaire à transmettre. Plus simplement, elle permet de coder des symboles binaires dans le module et la phase d'un signal porteur.

En pratique, les bits sont transmis sous forme de symboles (ou constellations) et non tel quel: le nombre de bits inclus dans chaque symbole désigne la taille de la constellation. Plus cette taille sera grande et plus le débit sera élevé.

Constellation	Nombre de bits
BPSK	1
QPSK	2
16-QAM	4
64-QAM	16

Figure 1.30 : Diagramme de modulation
16QAM, QPSK et BPSK

Par exemple pour coder des symboles binaires de 4 bits à l'aide d'une modulation QAM, il y a donc $2^4 = 16$ symboles possibles.

L'ensemble des nombres complexes codant tous les symboles est appelé encodeur en constellation de la QAM, ceci est représenté par le tableau 5 suivant.

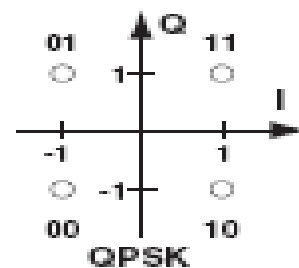
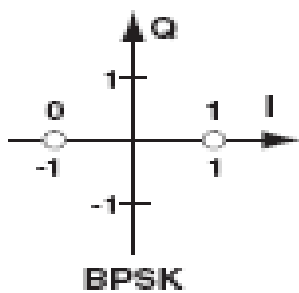
Tableau de codage

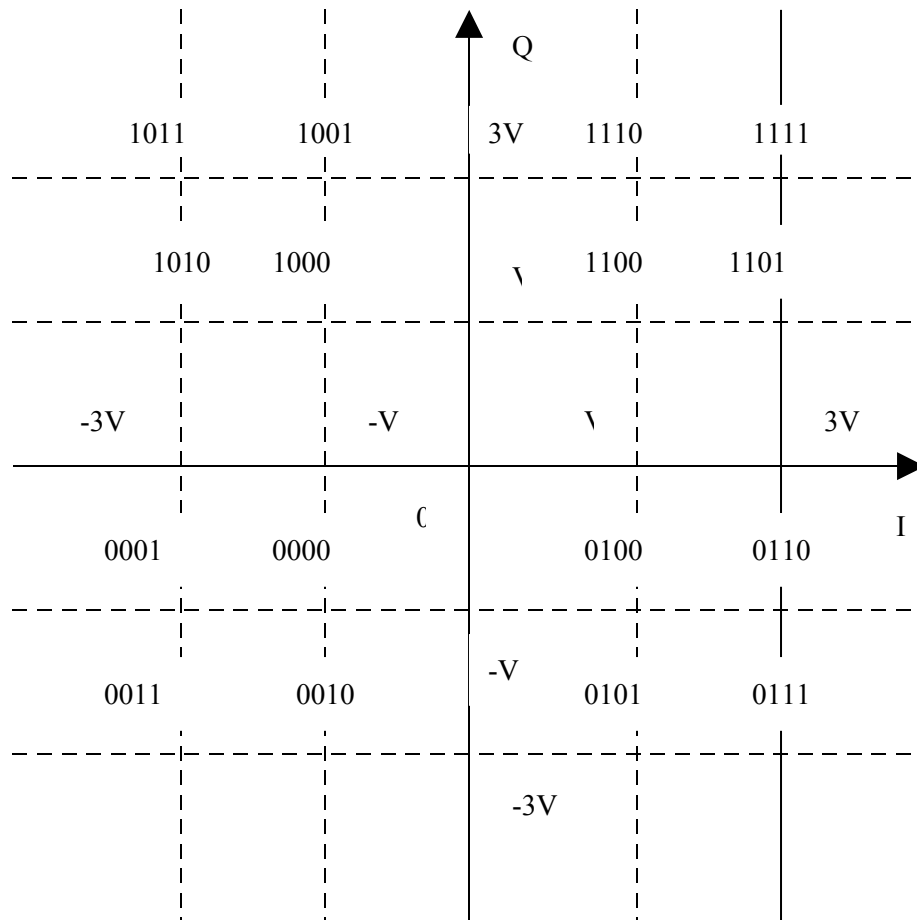
symbole	code
0000	-0.5-0.5j
0001	-1.5-0.5j
0010	-0.5-1.5j
0011	-1.5-1.5j
0100	0.5-0.5j
0101	0.5-1.5j
0110	1.5-0.5j
0111	1.5-1.5j
1000	-0.5+0.5j

1001	$-0.5+1.5j$
1010	$-1.5+0.5j$
1011	$-1.5+1.5j$
1100	$0.5+0.5j$
1101	$1.5+0.5j$
1110	$0.5+1.5j$
1111	$1.5+1.5j$

Tableau 1.4 : Exemple de codage

Dans le cas d'une BPSK (Binary Phase Shift Keying), les nombres réels (constellations) suivant utilisés $(-1,1)$ correspondant respectivement aux bits suivants $(0,1)$ alors que pour une QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) équivalente à 4-QAM, les constellations complexes suivantes sont utilisées $(1, i, -1, i)$ correspondant aux paires de bits suivants $(00,01,10,11)$





MODULATION 16-QAM

Figure 1.31 : Codage des constellations BPSK, 4-QAM et 16-QAM

Chaque constellation est bâtie sur le même modèle, à savoir que les parties réelles et imaginaires des symboles prennent leurs valeurs dans $\{\pm v, \pm 3v, \pm 5v, \dots\}$. La valeur de v est ensuite normalisée pour que la puissance moyenne des symboles c_k , appartenant à une constellation, soit égale à 1 Watt. A la réception, la FFT restituera les symboles M-QAM, mais entaché de bruit.

d-2 Méthodes d'annulation des interférences :

En passant d'une modulation mono porteuses à une modulation multi porteuses, on s'affranchit en grande partie du problème d'interférence entre symbole (IES), le signal reçu provenant du trajet direct et des trajets multiples introduisant des déphasages et des retards. Une manifestation du canal est la perte d'orthogonalité qui se traduit par une interférence entre porteuses (IEP).

Une méthode qui permet de s'affranchir complètement du canal multi chemins consiste à ajouter un "préfixe " ou intervalle de garde cyclique au symbole OFDM, comme indique la figure 1.32

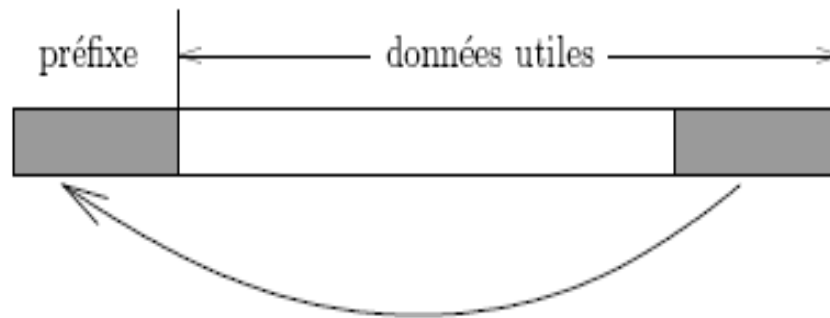


Figure 1.32 : Le préfixe cyclique

Le préfixe cyclique consiste simplement en une copie de la dernière partie du symbole OFDM avant le symbole considéré. A la démodulation, ce préfixe est simplement enlevé du signal reçu. Si la durée du préfixe est supérieure au retard maximum des signaux issus des trajets indirects, le préfixe joue un rôle double :

- Il élimine l'interférence entre deux symboles OFDM successifs :

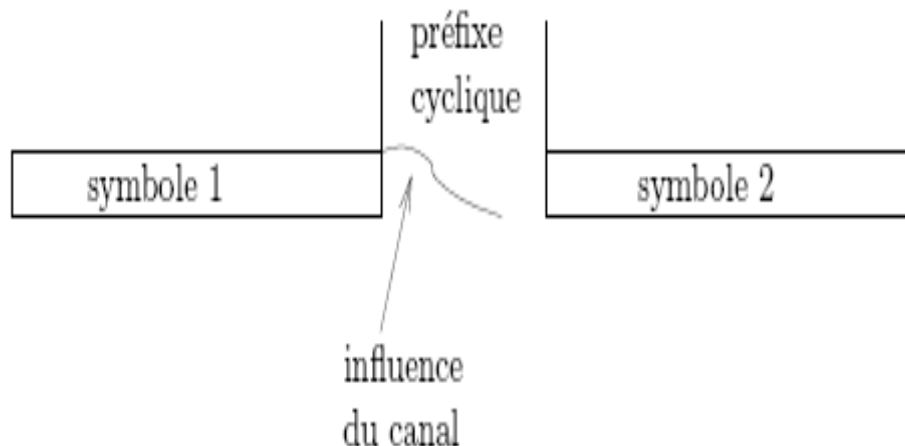


Figure 1.33 : Insertion du préfixe cyclique

Le préfixe cyclique élimine l'interférence entre les symboles OFDM successifs

- Il élimine l'interférence entre porteuses d'un même symbole OFDM. La présence du préfixe cyclique permet de rendre le canal réellement constant en fréquence dans les sous bandes.

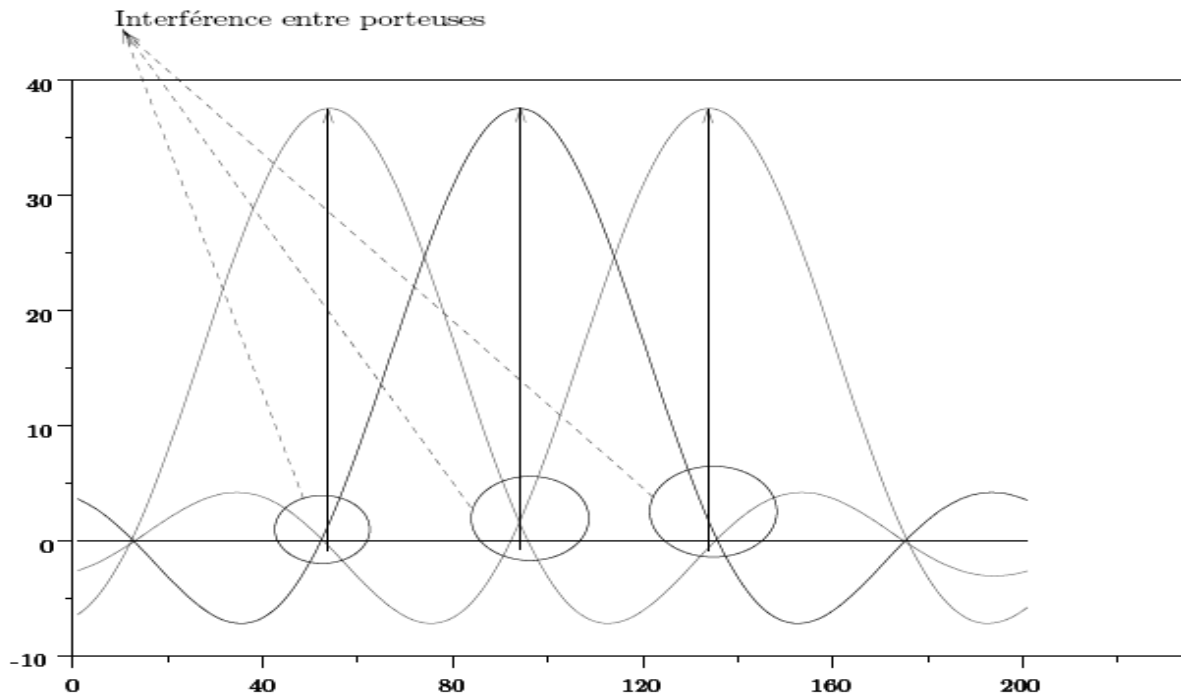


Figure 1.34 : Interférence entre porteuses

Un symbole émis lors d'une période iT_s peut se superposer à un écho provenant du symbole émis à la période $(i-1)T_s$. Il se produit alors des interférences.

Pour éviter ces interférences, on ajoute un intervalle de garde d'une durée Δ . Chaque symbole est précédé par une extension périodique du signal lui-même. La durée du symbole totale transmis est alors $T = T_s + \Delta$. Pour que les interférences soient éliminées, il faut que l'intervalle de garde soit plus grand que le plus grand des retards T_m qui apparaissent dans le canal.

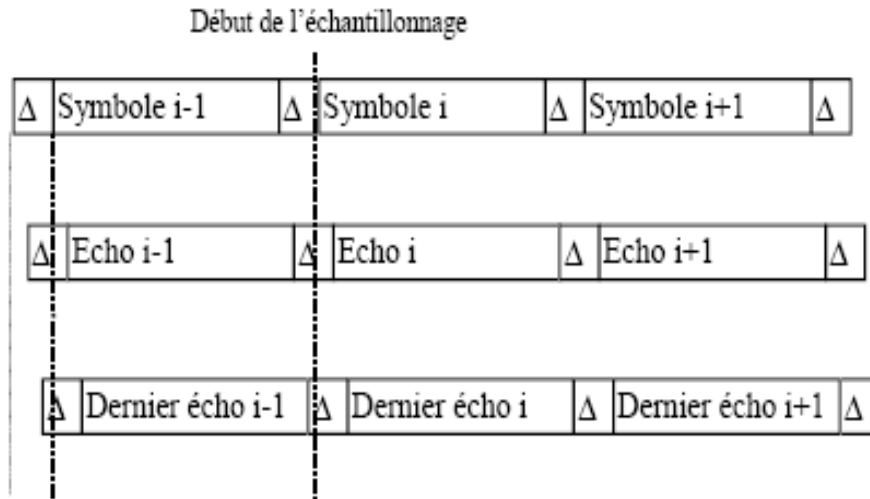


Figure 1.35 : Intervalle de garde

On voit sur cette figure que si l'échantillonnage est fait au début du symbole reçu i , l'écho le plus retardé du symbole $i-1$ ne sera pas encore reçu. Mais la modulation OFDM tire partie des échos (nous approfondirons ce point plus tard), il faut donc que le récepteur reçoivent les signaux provenant de tous les échos (ici au temps i) ce qui implique que le signal soit prolongé pendant les intervalles de garde précédant le symbole i .

Le débit qui était qN/T_s bits/s diminue et devient $qN/(T_s + \Delta)$. L'intérêt de la technique OFDM est que la durée d'un symbole OFDM contenant N symboles numériques peut être grande. Si le nombre de porteuses est assez grand permettant une durée symbole T_s assez longue devant l'intervalle de garde Δ , le débit n'est que peu réduit.

Le préfixe est ajouté à l'émission après la IFFT, puis enlevé à la réception avant le module de la FFT.

d-3 Méthode d'élimination du bruit dû au canal de transmission :

Notons $s'(t)$ le signal émis avec le préfixe cyclique, $r'(t)$ le signal reçu, $h(t)$ la réponse impulsionnelle du canal et $n(t)$ le bruit du canal et si $R'(f)$, $H(f)$, $S'(f)$ et $N(f)$ sont respectivement ses transformées de Fourier ; on a les relations suivantes :

Dans le domaine temporel

$$r'(t) = h(t) \otimes s'(t) + n(t) \quad [1-25]$$

Et si \otimes désigne le produit de convolution, on a :

$$r'(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} s'(\tau) h(t - \tau) d\tau + n(t)$$

Dans le domaine fréquentiel, on a :

$$R'(f) = H(f) \cdot S'(f) + N(f)$$

Dans le cas discret, le symbole OFDM $z_{t,k}$ reçu après la FFT correspondant au symbole émis $c_{t,k}$ de la sous porteuse k et de trame t s'écrit :

$$z_{t,k} = H_k c_{t,k} + N_{t,k} \quad [1-26]$$

Si \hat{H}_k est la valeur estimée de H_k en émettant N_T trames OFDM connues par le récepteur, la méthode d'égalisation fréquentielle afin de réduire le bruit s'écrit :

$$\hat{H}_k = \frac{1}{N_T} \sum_{t=1}^{N_T} \frac{z_{t,k}}{c_{t,k}} \quad [1-27]$$

Pour $1 \leq k \leq N$, on peut obtenir un filtre inverse de la fonction de transfert dont les coefficients sont donnés par :

$$c_k = \frac{1}{\hat{H}_k} \quad [1-28]$$

CHAPITRE 2 : ANALYSE GRAPHIQUE DE LA MODULATION OFDM

2.1 Utilisation du logiciel MATLAB :

Matlab (MATrix LABoratory) est un logiciel de calcul matriciel, on va effectuer la simulation de la modulation OFDM dans la version 6.5. Il existe deux modes de fonctionnement, le mode interactif qui permet d'exécuter les instructions au fur et à mesure qu'elles sont données par l'utilisateur et le mode exécutif où Matlab exécute ligne par ligne un fichier M (Programme en langage Matlab). dans notre cas, nous allons utiliser le mode exécutif.

La constitution de l'environnement Matlab est illustrée par la figure 2.1 suivante :

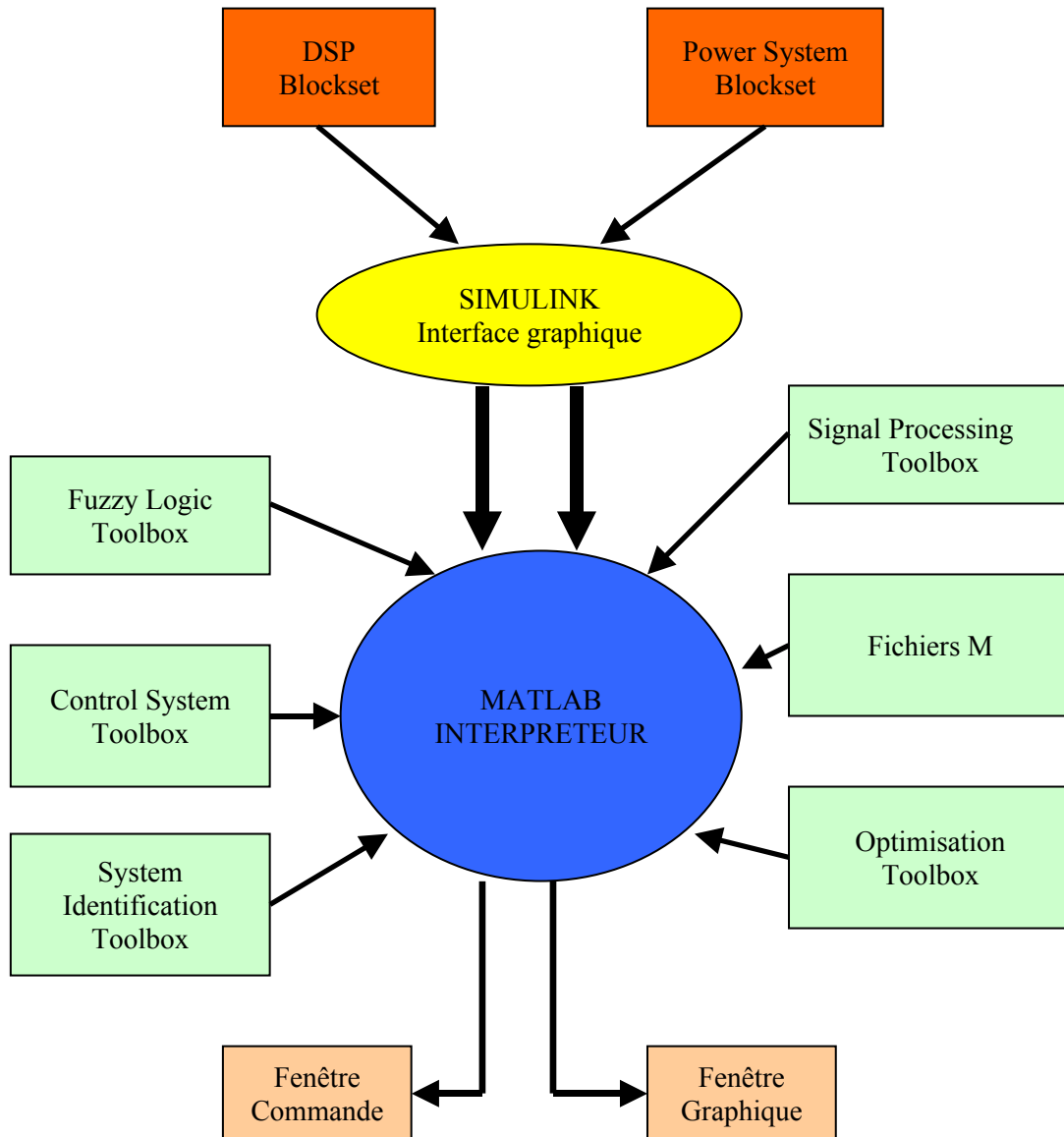


Figure 2.1 : Environnement Matlab

2.2 Présentation des porteuses OFDM :

La fenêtre d'accueil principale est présentée comme suit :



Figure 2.2 : Fenêtre d'accueil

La simulation s'obtient en cliquant sur le bouton « LANCER » et « QUITTER » pour sortir.

La figure 2.3 nous permet de faire le choix de chaque domaine de la simulation



Figure 2.3 : Fenêtre de choix

2.3 Principe général du CPL :

Dans la figure suivante, on voit que le principe général du CPL est la superposition du signal OFDM avec la tension 220V/50Hz sur le même support.

Il suffit de cliquer sur le bouton « ALLURE » pour visualiser les deux signaux et « RETOUR » pour faire un autre choix (il en est de même pour toute la suite de la simulation).

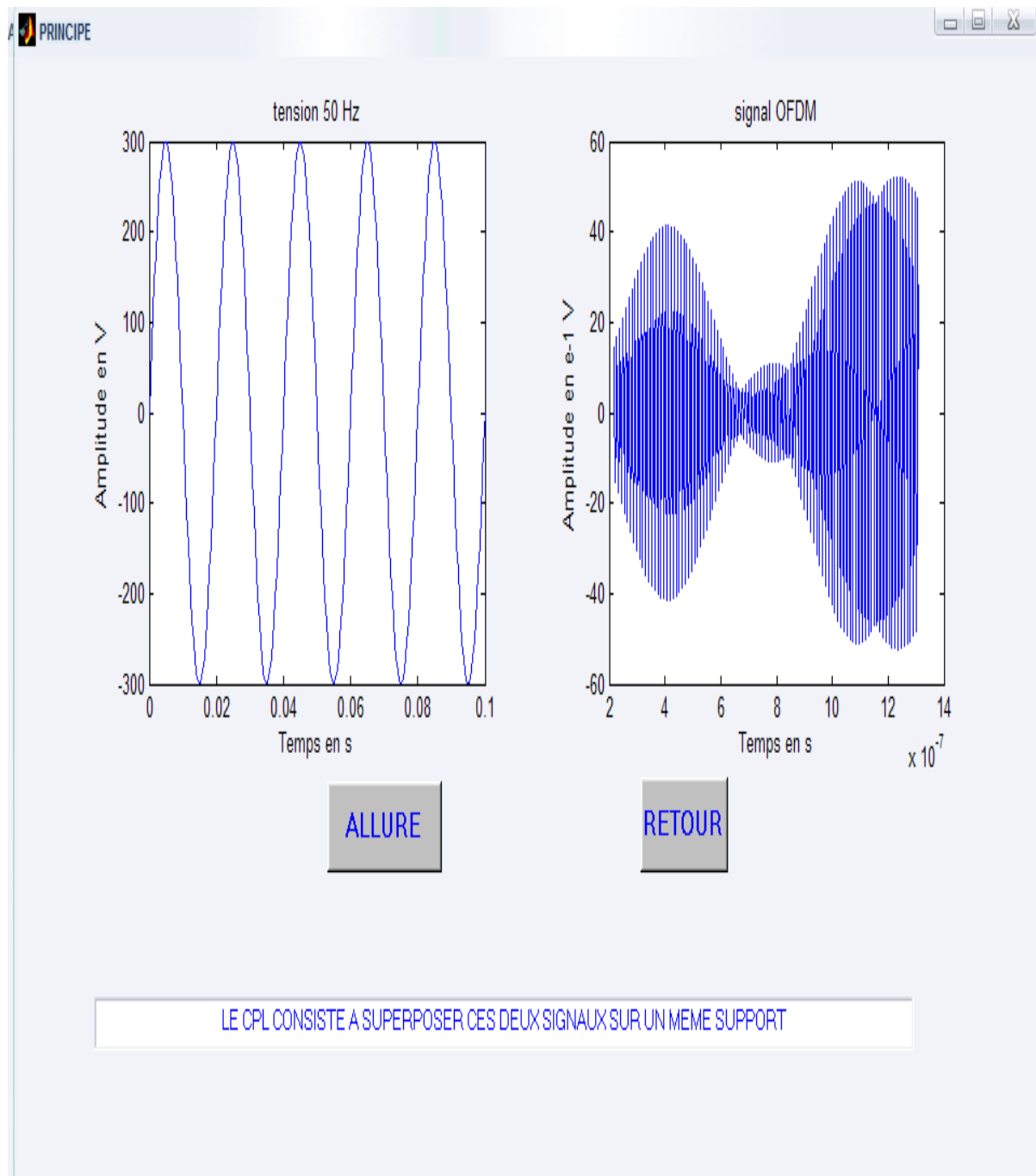


Figure 2.4 : Principe général

2.4 Présentation du signal OFDM :

La figure 2.5 donne une représentation temporelle du signal OFDM sur N sous porteuses.

Le bouton « TRACER » donne son allure.

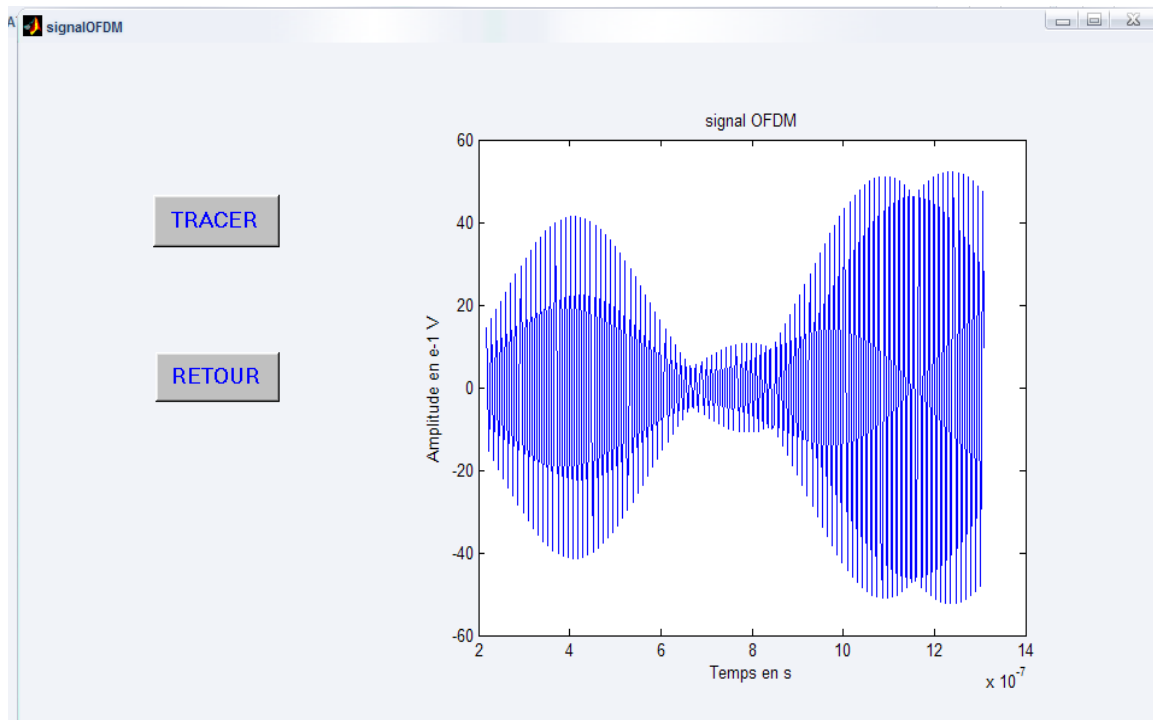


Figure 2.5 : Signal OFDM

2.5 Spectre du signal OFDM pour N sous porteuses :

Le spectre est obtenu en remplissant N qui est le nombre des sous porteuses.

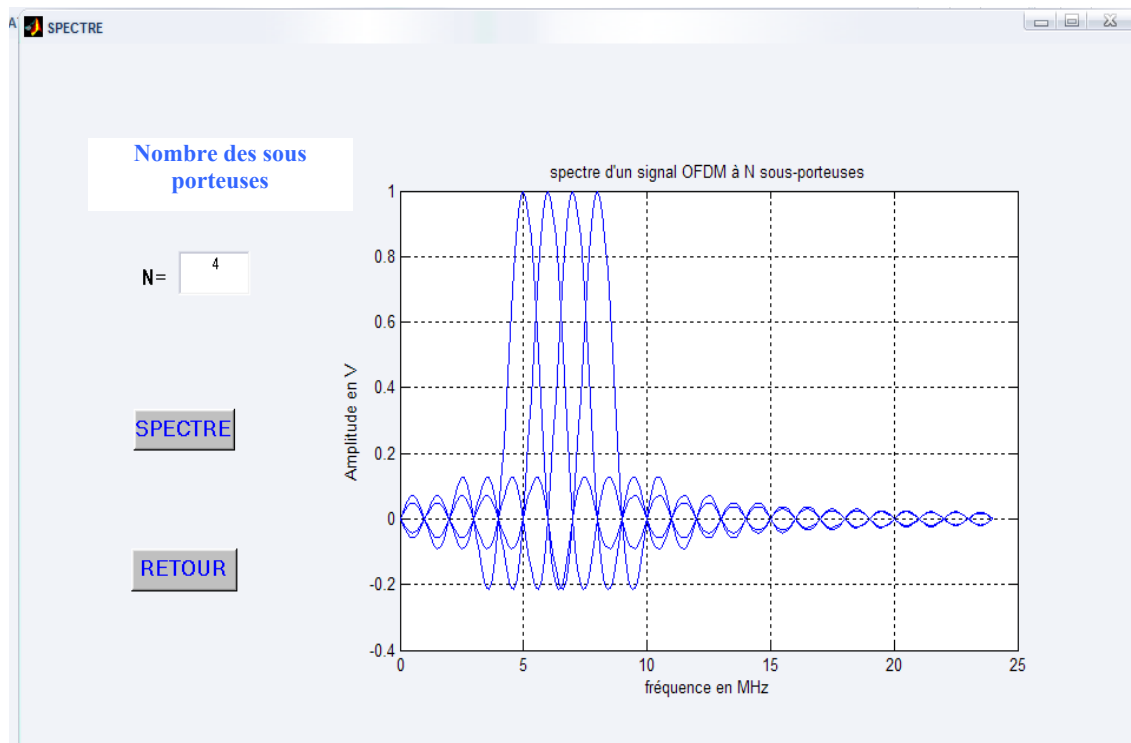


Figure 2.6 : Spectre de l'OFDM pour N=4

L'orthogonalité fréquentielle est vérifiée puisque le maximum d'une sous porteuse correspond au zéro de toutes les autres.

2.6 Occupation spectrale pour N sous porteuses :

En remplissant la valeur de N (8 dans notre cas), l'occupation spectrale sans aucun élément perturbateur est obtenue en cliquant sur « ALLURE ».

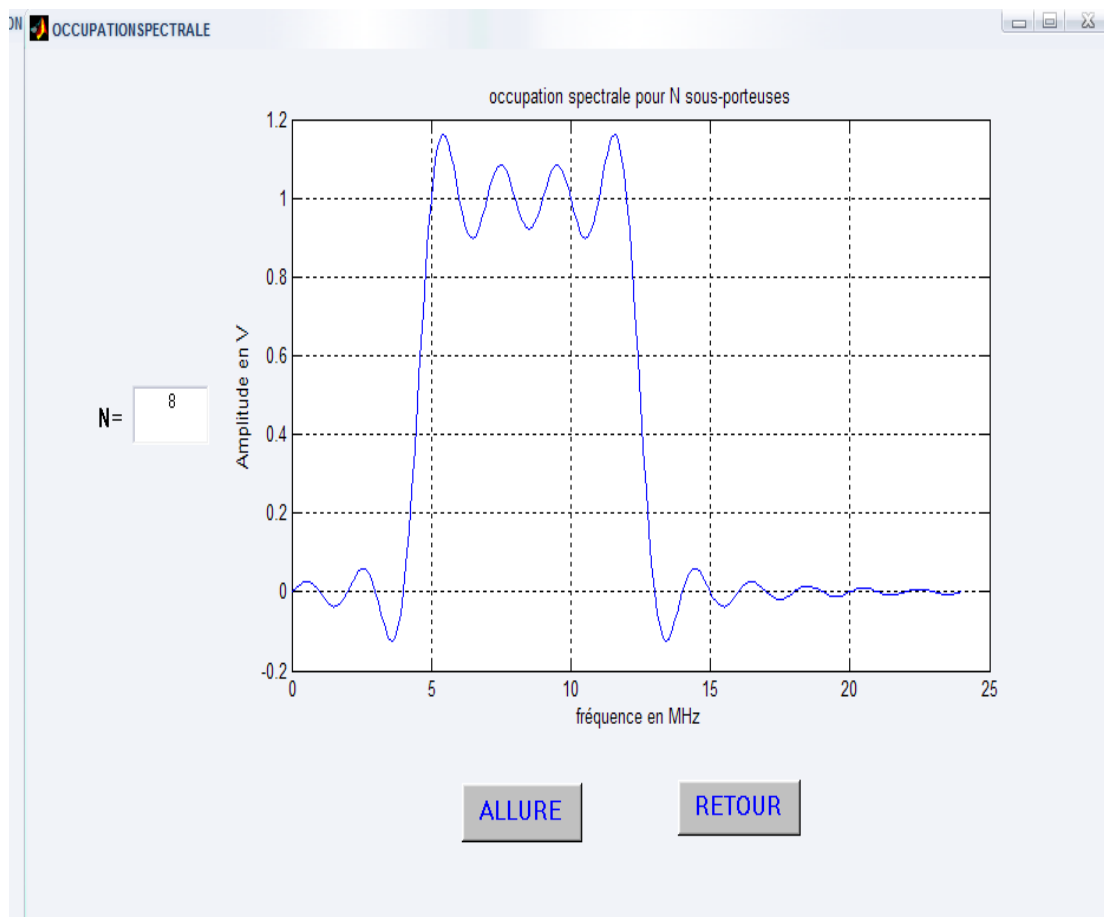


Figure 2.7 : Occupation spectrale pour N=8

2.7 Conclusion :

Un énorme chemin a été effectué afin de rendre les modulations multi porteuses attractives pour le marché des télécommunications. C'est surtout grâce à la version OFDM (à base de FFT) des modulations multi porteuses que le décollage a pu avoir lieu en réduisant de façon drastique la complexité des modulateurs.

L'utilisation de la modulation OFDM permet d'avoir une émission sur plusieurs fréquences à la fois, donc si l'une d'elle est atténuée en ligne, le signal passera grâce à l'émission simultanée.

CHAPITRE 3 : TECHNOLOGIE CPL

3.1 Généralités :

Les différents traitements à réaliser une liaison par CPL sont illustrés par la figure 3.1 suivante :

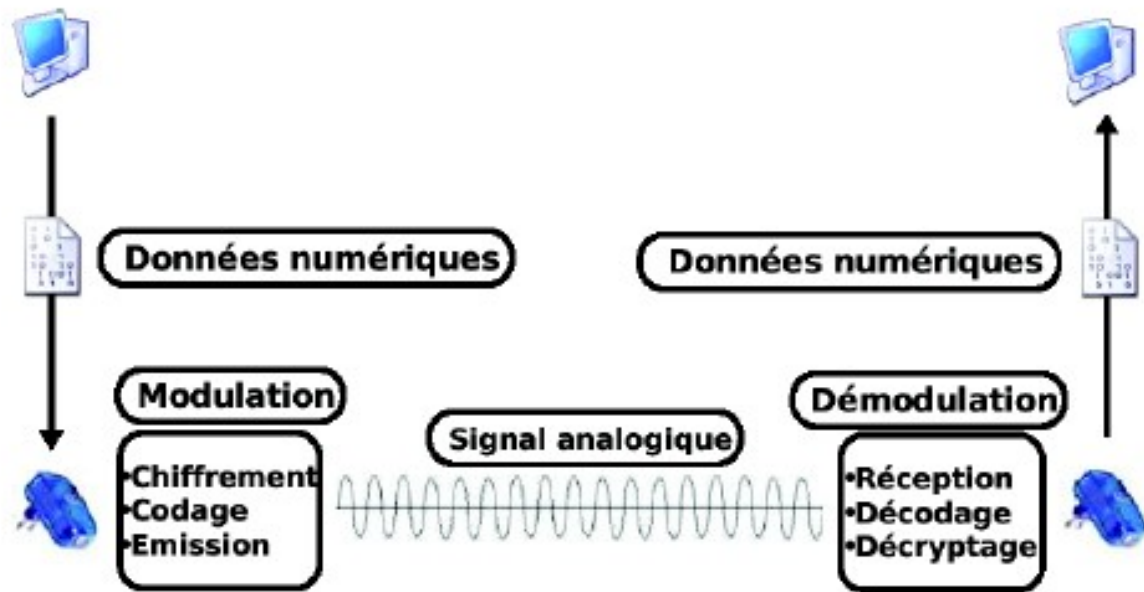


Figure 3.1 : Liaison par CPL

Comme la technologie des Courants Porteurs en Ligne est un système de communication. Il est identique au réseau LAN (Local Area network) Ethernet sauf qu'il utilise le secteur 230V comme support de transmission au lieu de câbles blindés. Il a deux sortes d'utilisation principales:

- **Système Indoor** (= intérieur): **la liaison entre deux ou plusieurs PC**
Normalement, chaque PC doit être équipé d'une carte réseau Ethernet (c'est la norme la plus répandue) et un câble blindé doit les relier. Le CPL évite de devoir utiliser ce câble puisque les signaux Ethernet transitent par le réseau 230V domestique.
- **Système Outdoor** (= extérieur): **la distribution de signaux Internet**
Traditionnellement, la connexion à Internet se fait par un modem, relié au fournisseur d'accès soit par le réseau téléphonique (analogique, ISDN, ADSL) soit par le

télé réseau. Le CPL permet de s'affranchir d'une ligne téléphonique ou du télé réseau car il apporte les signaux Internet par le secteur 230V domestique

3.2 Principales applications des CPL :

Le principe est relativement simple : on superpose au courant électrique (à 50 Hz) des signaux à hautes fréquences qui sont modulés par les informations numériques à transmettre. Ces signaux se propagent sur les fils et sont donc directement détectés par tous les équipements spécifiques connectés au réseau électrique.

L'évolution des technologies nous permet d'avoir les communications bidirectionnelles. L'utilisation de fréquences beaucoup plus élevées (entre 1,6 et 30 MHz) permet d'atteindre des débits de plusieurs dizaines de Mb/s (le débit théorique maximum est aujourd'hui de 45 Mb/s, mais la valeur de 200 Mb/s devrait être atteinte très prochainement). Pour des usages internes, les équipements au standard Homeplug (la majorité des matériels commercialisés aujourd'hui y sont conformes) offrent un débit théorique de 14 Mb/s. Les débits pratiques sont moindres (4 à 6 Mb/s) et sont à partager entre tous les utilisateurs. Cette technologie présente des avantages et des inconvénients selon le tableau suivant :

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Facilité d'installation (absence de travaux) • Un réseau unique pour l'alimentation et les données • Grande disponibilité : un réseau « universel » • Portée limitée mais extensible • Débits élevés et symétriques • Facilité et souplesse pour modifier des implantations ou pour équiper des nouvelles salles 	<ul style="list-style-type: none"> • Débit partagé entre tous les utilisateurs • Chute du débit dans des environnements perturbés, lorsque des matériels électriques gros consommateurs d'énergie sont connectés • Risques d'interférences radios (parasitage des ondes courtes) • Pas de normalisation internationale

Tableau 3.1 : Avantages et inconvénients du CPL

3.2.1 *Mode « Outdoor » :*

Compte tenu des restrictions liées aux atténuations en fonction de la distance, cette technologie ne sera utilisée que pour la distribution finale au niveau des usagers (la boucle locale) et non pas pour l'acheminement des données sur des longues distances pour lequel on préférera d'autres technologies, la fibre optique ou la liaison satellite.

L'insertion des informations numériques (accès Internet via un fournisseur d'accès, réseau Télécom d'un opérateur) dans le réseau électrique est réalisée au niveau des postes de transformations moyenne tension / basse tension 380-220 volts grâce à un modem spécifique qui va moduler les signaux hautes fréquences. Compte tenu des bruits et des perturbations inhérents à ce support, ces modems sont beaucoup plus sophistiqués que les modems téléphoniques classiques. En suivant les lignes électriques, le signal numérique est ensuite transmis jusqu'aux usagers finaux.

En « Outdoor », la boucle locale électrique permet l'accès à Internet à haut débit.

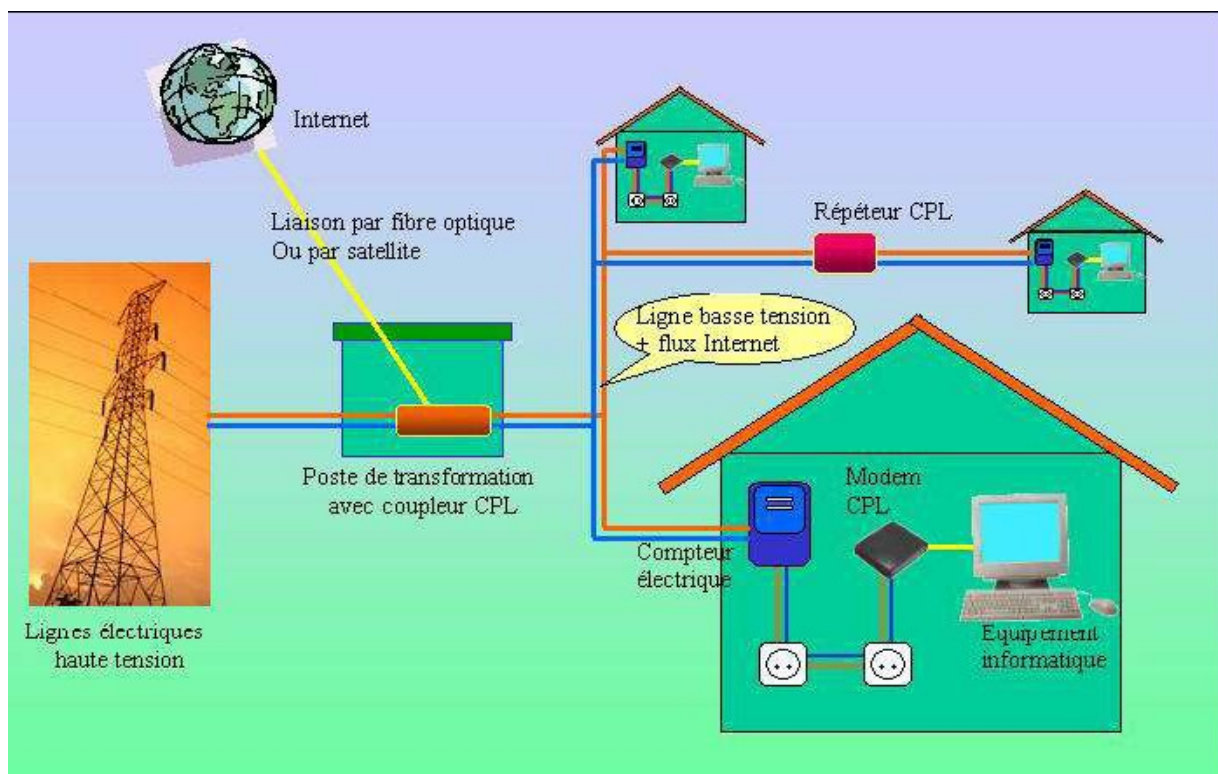


Figure 3.2 : Architecture « Outdoor »

Un certain nombre de services pourraient se développer autour de cette technologie, tels que : le relevage des compteurs (eau, gaz, électricité ...), la télésurveillance, la vidéoconférence, la téléphonie sur IP, la vidéo et les jeux en ligne, l'administration de réseau à distance.

3.2.2 Mode « Indoor » :

La technologie CPL permet la réalisation facile et rapide d'un réseau informatique dans un bâtiment qui n'est pas pré câblé. Les équipements spécifiques se placent directement sur les prises d'alimentation électrique installées dans les différents locaux et assurent l'extraction des données utiles. Ils sont connectés avec les équipements informatiques (micro-ordinateurs, imprimantes réseaux...) par l'intermédiaire d'interfaces normalisées : connecteur Ethernet, port USB...

Un réseau CPL permet de partager un accès à Internet à haut débit, qui, s'il n'est pas également établi par cette même technologie à courant porteur, pourra être réalisé par l'intermédiaire d'un fournisseur d'accès traditionnel (avec un modem routeur ADSL et un adaptateur CPL par exemple).

Le procédé CPL n'est pas seulement une solution alternative aux autres technologies réseaux. Elles sont plutôt complémentaires, chacune d'entre elles ayant ses propres caractéristiques, ses avantages et ses inconvénients en fonction de la topographie des lieux à desservir ou en fonction des services à offrir aux utilisateurs. Il est ainsi possible d'utiliser le CPL pour l'extension d'un réseau filaire existant de type Ethernet (il suffit simplement de relier un point de ce réseau - prise RJ active, hub ou switch - au réseau électrique à travers un adaptateur) ou au contraire de favoriser le travail en nomade en ajoutant au réseau CPL des équipements émetteur-récepteur à la norme Wifi.

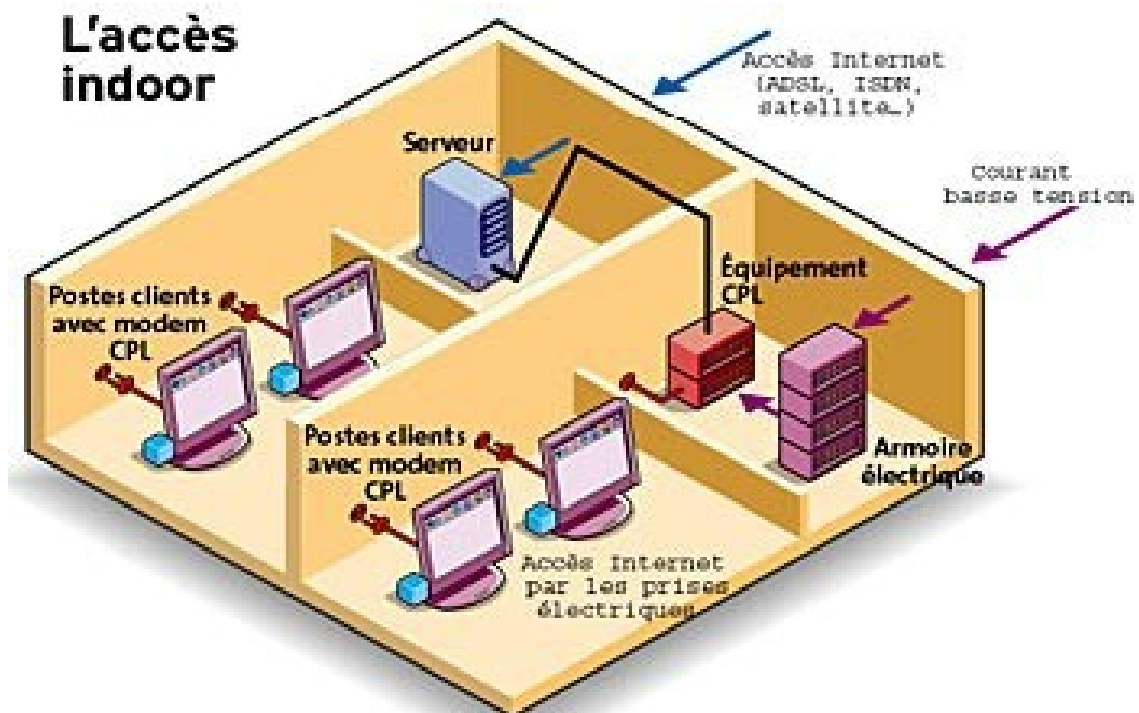


Figure 3.3 : Architecture « Indoor »

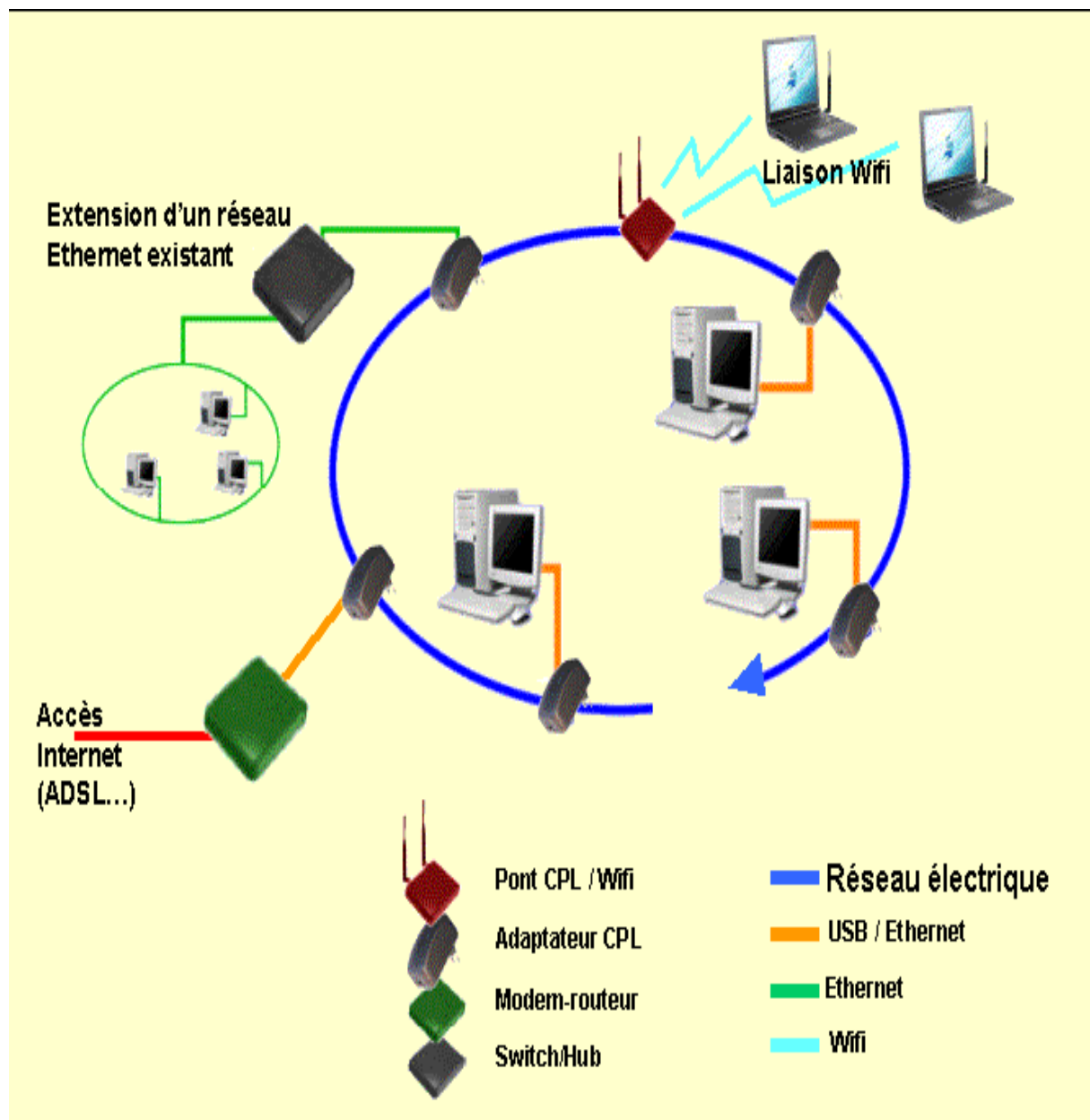


Figure 3.4 : La complémentarité des différentes technologies autour du CPL

3.3 Comparaison des technologies de réseaux locaux :

Le CPL a de nombreux atouts, notamment celui du coût. Le recours aux CPL reviendrait de 2 à 10 fois moins cher qu'un câblage traditionnel en Ethernet. Mais il a aussi un concurrent direct (qui peut aussi être un allié dans le cadre de dispositifs hybrides), le Wifi. Pour un prix sensiblement identique mais avec une sécurisation sans doute un peu moins efficace, il offre l'avantage de la mobilité pour les utilisateurs selon le tableau suivant :

Caractéristiques	CPL	Fast Ethernet (100 Base TX)	Wifi
Support	Réseau électrique	2 paires torsadées (catégorie 5)	Emission radio
Débits théoriques	45 Mb/s symétriques (200 Mb/s très prochainement)	100 Mb/s	11 Mb/s avec la norme 802.11b 54 Mb/s avec la norme 802.11g
Distances sans répéteurs	200 à 300 mètres	100 mètres	100 à 150 mètres en champ libre
Textes de référence	Usage interne : standard HomePlug Usage externe : pas de norme	IEEE 802.3	Norme 802.11b finalisée en 1999 et norme 802.11g finalisée en 2003
Contraintes	Débit à partager	Débit à partager	Débit à partager Limitation en distance en fonction de l'architecture des lieux : murs ou plafonds en béton, structures métalliques...

Tableau 3.2 : Trois technologies de réseaux locaux

3.4 Comparaison pour Les accès à haut débit :

Deux familles de technologies sont principalement disponibles pour l'accès à haut débit : l'ADSL et le câble.

L'ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) est la principale technologie pour l'accès à haut débit : plus de 91 % des abonnés à une offre haut débit utilisent l'ADSL. Pour son implantation, elle ne nécessite pas de câblage supplémentaire puisqu'on utilise les "fils du téléphone". Un modem spécifique est nécessaire chez l'utilisateur. Elle permet des liaisons Internet à plus haut débit : les offres commerciales sont variées et offrent des débits théoriques compris entre 512 Kb/s et 8 Mb/s pour l'ADSL, jusqu'à 25 Mb/s pour sa variante.

Les réseaux câblés urbains, primitivement conçus pour la distribution de programmes télévisuels ont été adaptés pour offrir également des accès à Internet. La connexion est permanente et nécessite l'installation d'un modem câble chez l'utilisateur. Les débits peuvent être de plusieurs mégabits (au maximum jusqu'à 8 Mb/s).

Ces deux technologies phares ne permettent pas de couvrir la totalité des abonnés.

Des solutions alternatives par satellite ou par liaison radio existent pour les zones « désertiques », hors agglomérations câblées ou situées trop loin d'un répartiteur pour l'ADSL, mais elles restent encore marginales par rapport à l'ADSL ou le câble.

Le tableau suivant montre la comparaison de cinq technologies.

Caractéristiques	CPL	ADSL	Câble	Satellite	WiMax
Support	Réseau électrique	Réseau téléphonique	Réseau câblé urbain	Satellite	Liaison radio
Débits théoriques	45 Mb/s symétriques (200 Mb/s très prochainement)	Dans le sens descendant : 8 Mb/s avec l'ADSL et Jusqu'à 25 Mb/s avec l'ADSL2+. Dans les deux cas, 1 Mb/s dans le sens montant	Offres commerciales généralement autour de 2 ou 2,5 Mb/ (jusqu'à 8 Mb/s pour l'un des opérateurs)	Théoriquement 40 Mb/s mais offres commerciales jusqu'à 8 Mb/s dans le sens descendant et 2 Mb/s dans le sens montant	60 Mb/s
Distances sans répéteurs	200 à 300 mètres	2,5 kilomètres		Pas de limitation	50 km max en vue directe, 2 à 3 km en milieu urbain sans vue directe
Textes de référence	Usage interne : standard HomePlug Usage externe : pas de norme	Norme ADSL2+ finalisée en 2003			Norme 802.16
Contraintes ou spécificités	Débit à partager	Débits asymétriques et limités en fonction de la distance		Voie retour par voie téléphonique ou par liaison satellite.	

Tableau 3.3 : La comparaison des cinq technologies

3.5 Principe de l'émetteur pour une télécommande :

3.5.1 Alimentation :

L'énergie est, bien entendu, fournie directement par le secteur lui-même par l'intermédiaire du bouton-poussoir de commande BP. Le couplage capacitif est assuré par la capacité C_1 . Une première alternance (que nous appellerons positive par convention) traverse C_1 et la résistance de limitation R_1 pour charger la capacité C_2 via D_2 . La diode zéner DZ_1 limite le potentiel disponible sur l'armature positive à 12V. Lors de l'alternance suivante (négative toujours par convention), la diode D_1 shunte l'alimentation située en aval de D_2 et permet ainsi à la capacité C_1 de se décharger (et même de se charger dans l'autre sens) afin

d'être prête pour affronter un nouveau cycle. La diode D2 empêche la décharge de C2 vers l'amont.

Sur l'armature positive de C2, on relève ainsi un potentiel quasi continu, légèrement ondulé, de 12V qui constitue l'alimentation de l'émetteur. Enfin, la résistance R2 permet la décharge C1 dès que la sollicitation s'achève.

Cette précaution peut éviter de bien désagréables secousses à l'opération imprudente qui viendrait à toucher par inadvertance la connexion d'un composant.

3.5.2 Base de temps de la modulation :

Les portes NAND III et IV forment un oscillateur astable. Celui-ci délivre sur sa sortie un signal carré asymétrique à cause de l'action de la diode D3. La période du signal en question est de l'ordre de 0.8ms ce qui correspond à une fréquence de modulation de 1250Hz. La durée des états hauts de ce signal est d'environ de 0.15ms, soit un rapport cyclique de près de 20%.

3.5.3 Base de temps de la porteuse :

Les portes NAND I et II constituent un oscillateur commandé. Lors des états bas présentés sur l'entrée 2, l'oscillateur est bloqué. En revanche, dès que cette entrée est soumise à un état haut, on relève sur la sortie un signal carré caractérisé par une période de l'ordre 10 μ s, soit 100kHz. C'est ce signal qui fait office de porteuse.

3.5.4 Amplification et émission :

Le signal issu de la sortie de la porte NAND II est amplifié en puissance par le transistor Q1 qui comporte dans son circuit collecteur la résistance de limitation R9. Grâce au couplage assuré par la capacité C5, le signal ainsi amplifié est injecté dans le réseau de distribution 220V. La diode zéner DZ2 protège le transistor T de tout risque de surtension éventuelle en provenance du secteur.

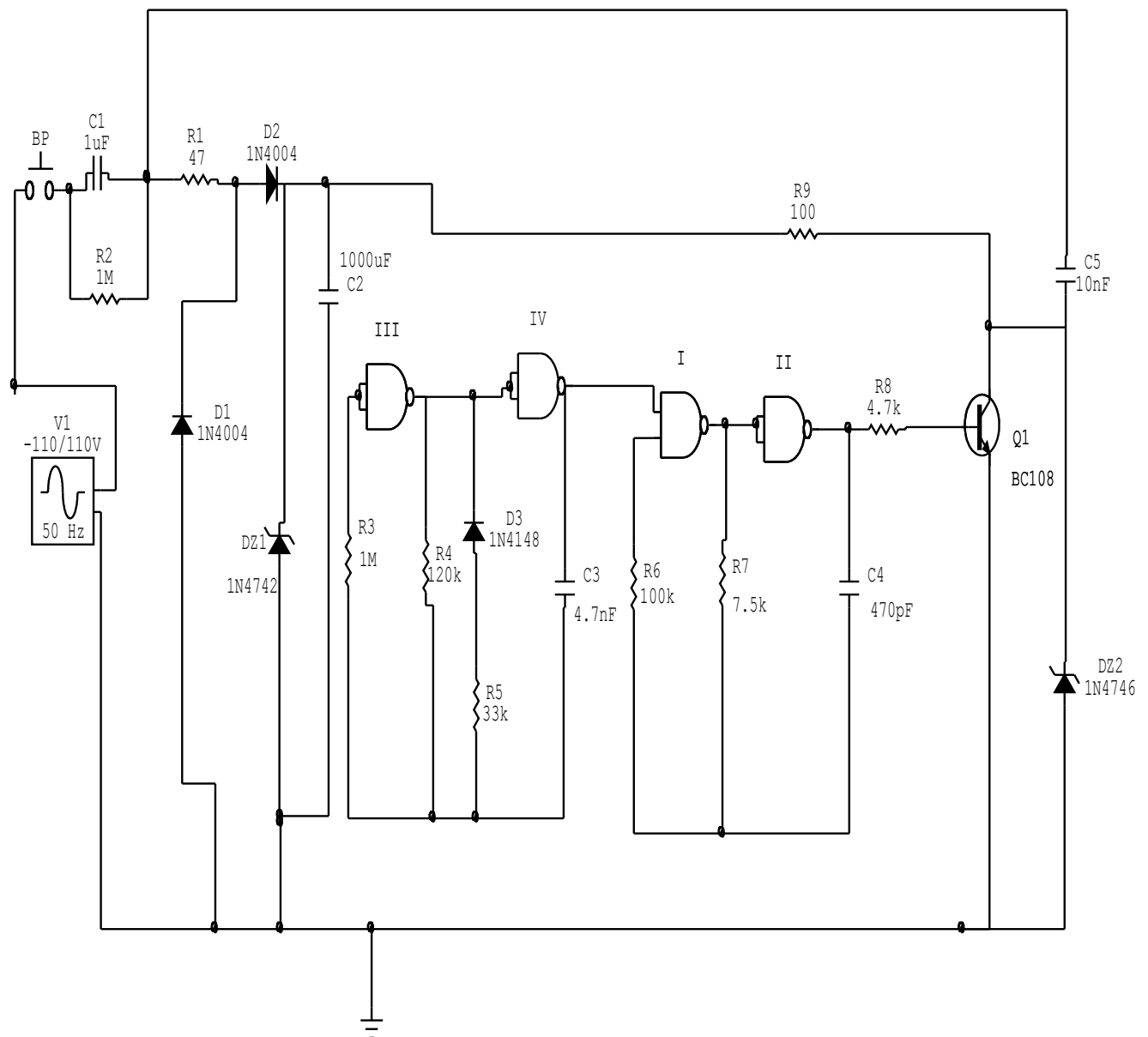


Figure 3.5 : Schéma de principe de l'émetteur

3.6 Principe du récepteur pour une télécommande :

3.6.1 Alimentation :

Il s'agit d'alimentation tout à fait classique. L'énergie provient du secteur par l'intermédiaire d'un transformateur qui délivre un potentiel de 12V sur son enroulement secondaire. Un pont de diodes redresse les deux alternances et C1 effectue un premier filtrage. Sur la sortie du régulateur 7809, on obtient un potentiel continu stabilisé à 9V. La capacité C2 complète le filtrage et C3 fait office de capacité de découplage.

3.6.2 Détection du signal de télécommande :

Les capacités C4 et C5 couplent la partie basse tension du récepteur sur le secteur. Le signal est ensuite pris en compte par un réseau de filtrage RC constitué par l'ensemble R2, R5, R7, C6, C7. Le transistor NPN T2 est monté en émetteur commun. Il assure l'amplification nécessaire. On notera que la résistance d'émetteur est découplée par C9 pour un meilleur gain. De plus, il est indispensable de retenir un transistor de classe C1 caractérisé par un gain supérieur à 600. Le signal ainsi amplifié est disponible sur le collecteur de T2.

3.6.3 Traitement du signal de télécommande :

Le transistor PNP T3, monté également en émetteur commun, a sa base polarisée de façon telle qu'en l'absence de signal d'entrée, le potentiel au niveau du collecteur est nul. Par contre, dès que le signal issu de l'étage précédent se manifeste, on peut observer sur le collecteur de T3 une succession d'impulsions positives à la fréquence de modulation de 1.25kHz générée par l'émetteur. La porteuse de 100kHz a disparu étant donné le filtrage réalisé par C11.

Les portes NOR III et IV forment une bascule monostable. Elle délivre sur sa sortie une suite d'états hauts caractérisés par une durée d'environ 0.5ms qui sont aussitôt pris en compte par le dispositif intégrateur que constituent D2, R16, R4 et C14. Lors des états hauts, la capacité C14 se charge à travers R16 et ne peut se décharger que par R4, de valeur beaucoup plus importante. Il en résulte, au niveau de l'armature positive de C14, un état haut permanent qui subsiste tant que l'on appuie sur le bouton-poussoir de télécommande de l'émetteur.

Cet état haut est dirigé ensuite vers un trigger de Schmitt formé par ses résistances périphériques R17 et R18. Ce dispositif confère au signal ainsi traité des fronts montant et descendant bien verticaux.

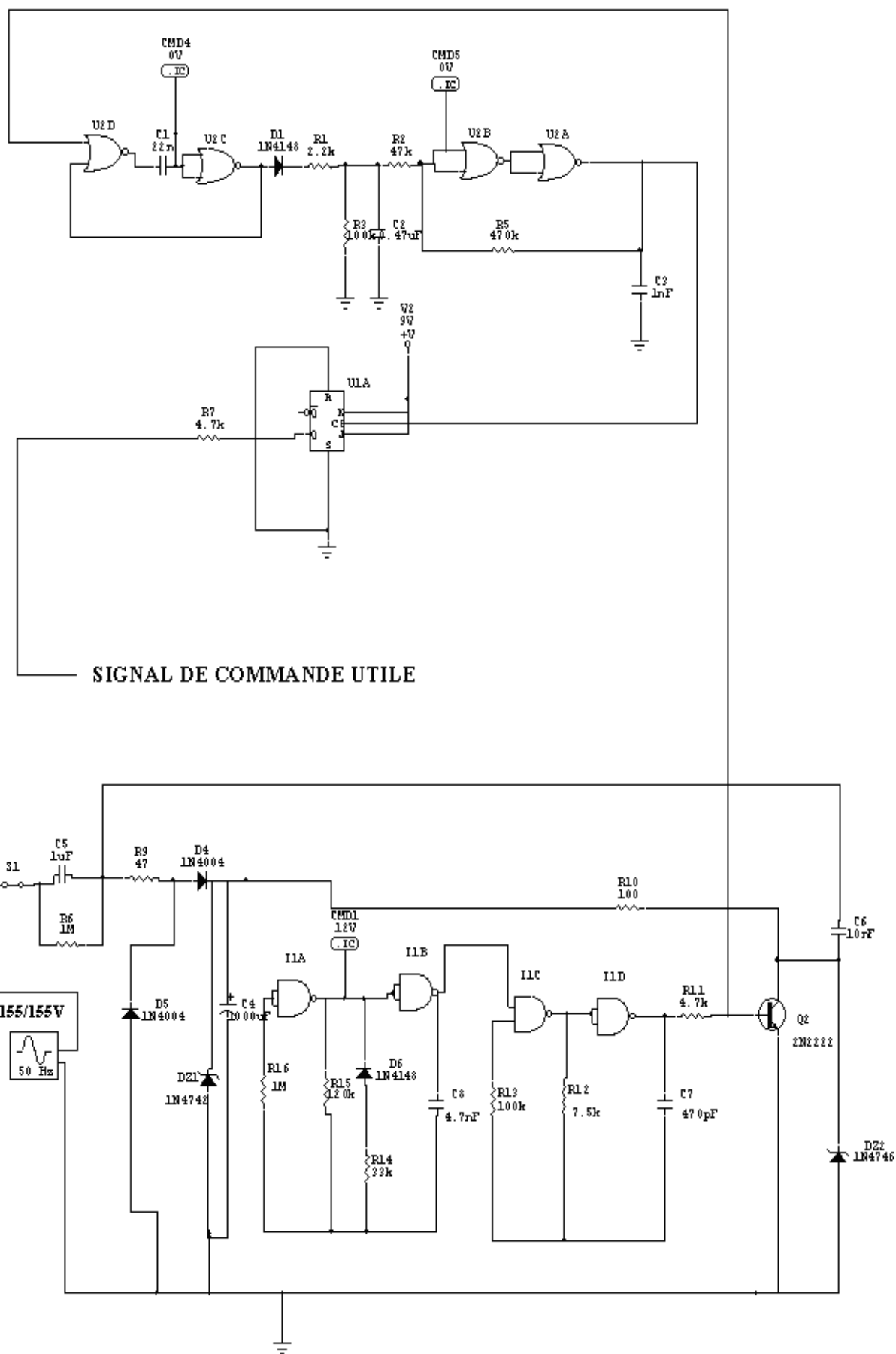


Figure 3.7 : Circuit de simulation

3.8 Chronogramme des signaux :

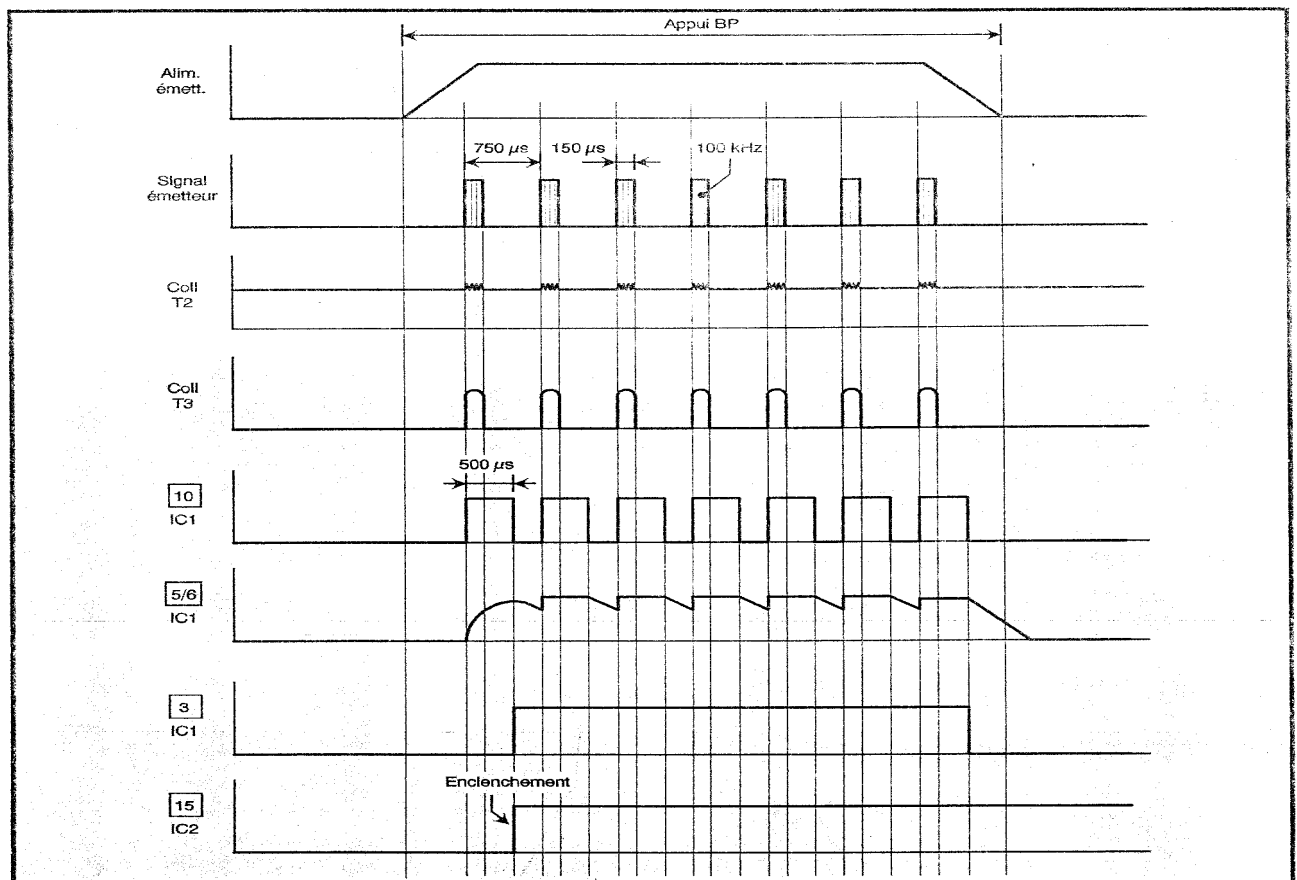


Figure 3.8 : Chronogramme des signaux

3.9 Fonctionnement du relais d'utilisation :

Le circuit intégré référencé IC2 contient deux bascules JK dont une est utilisée dans la présente application. Pour chaque état haut en provenance du trigger, la sortie Q1 change d'état. Lorsque cette sortie est à l'état haut, le transistor T1 est actif. Il comporte dans son circuit collecteur la bobine du relais d'utilisation. Ce dernier, en se fermant, alimente directement le récepteur concerné par la télécommande par le biais des contacts « commun/travail » du relais. La diode D1 protège le transistor des effets de surtension de self. Lorsque le relais est fermé, la LED L signale par son allumage que le récepteur est alimenté par le potentiel de 12V filtré, disponible sur l'armature positive de C1.

La télécommande fonctionne ainsi à la manière d'un télérupteur : chaque action sur le bouton-poussoir a pour effet de commander alternativement soit l'activation, soit la désactivation du récepteur d'utilisation.

CHAPITRE 4 : ETUDE D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

4.1 L'environnement en général :

4.1.1 Définition :

L'environnement peut être défini comme suit :

- ensemble des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des écosystèmes qui sont modifiées par l'homme et son entourage, à notre jour, l'environnement peut être considéré comme milieu.
- Ensemble des composantes naturelles déterminantes de la vie humaine, végétale et animale.
- Ensemble des éléments qui conditionnent et déterminent l'activité humaine comme les entourages biologique, physique et socioculturel.

4.1.2 Charte de l'environnement à Madagascar :

Les principes fondamentaux :

L'environnement constitue une préoccupation prioritaire de l'état.

La protection et le respect de l'environnement sont d'intérêt général. Il est du devoir de chacun de veiller à la sauvegarde du cadre dans lequel il vit ; donc toute personne physique ou morale doit être en mesure d'être informée sur les décisions susceptibles d'exercer quelque influence sur l'environnement ; selon l'article 3 qui annonce que l'environnement constitue une préoccupation prioritaire de l'état donc l'article 10 annonce que les projets d'investissements publics ou privés susceptibles de porter atteinte à l'environnement doivent faire l'objet d'une étude d'impact, compte tenu de la nature technique, de l'ampleur des dits projets ainsi que de la sensibilité du milieu d'implantation.

4.2 Transmission de données grâce au secteur 220V de la JIRAMA :

Dans un local ne disposant que des prises électriques, il n'est pas aisé d'y installer tous les appareils électriques sans casser le mur en faisant appel aux fils du secteur de distribution pour véhiculer des courants de télécommande. L'émetteur et le récepteur seront reliés directement aux prises.

L'alimentation de l'installation électrique domestique est assurée par la connexion de deux fils au réseau JIRAMA. Nous allons voir les rôles des différents éléments d'une installation électrique.

4.2.1 Les prises de courant :

Toutes les prises de courant comportent aujourd'hui trois bornes : deux bornes femelles et une borne mâle. Appelée la terre, la borne mâle est reliée à un gros câble ou piquet métallique enfoui dans le sol, à proximité de l'habitation. Les deux bornes femelles ne sont pas identiques. Pour les distinguer l'une de l'autre, on utilise un tournevis testeur dont le manche comporte une résistance élevée (plusieurs mégaohms) et une petite lampe au néon. La lampe du tournevis s'allume dans la borne appelée phase et reste éteinte dans la borne appelée neutre.

Le fil de la borne neutre est relié à la terre : la JIRAMA effectue ce branchement au niveau du transformateur de quartier pour des raisons de sécurité.

Le courant qui allume la lampe traverse celui qui tient le tournevis mais son intensité est très fortement abaissée par la résistance du manche.

Si on mesure maintenant la tension efficace entre les différentes bornes de la prise, le voltmètre indique environ 230 V entre la phase et le neutre, environ 230 V entre la phase et la terre et 0 V entre le neutre et la terre.

Dans une prise, seule la borne phase est donc dangereuse.

Si on visualise à l'oscilloscope la tension entre la phase et le neutre, on constate que c'est une tension alternative sinusoïdale, de fréquence 50 Hz.

4.2.2 Les appareils :

Quand une prise est inoccupée ou qu'un appareil branché n'est pas en fonction, le reste des autres appareils peut quand même fonctionner. Les appareils sont donc branchés en dérivation et sont tous soumis à la même tension efficace 230 V, la tension du secteur.

En revanche, chaque appareil a besoin pour fonctionner d'une intensité différente. Lorsque les appareils sont en fonction, l'intensité du circuit principal est égale à la somme des intensités des courants qui les traversent. Elle est donc d'autant plus élevée que le nombre d'appareils en fonctionnement est grand.

4.3 Les éventuels effets du projet sur l'environnement :

4.3.1 Impacts positifs :

Sur le plan technologique, l'avantage de la technologie CPL est l'utilisation de la propre installation locale pour faire circuler des données au niveau des appareils existants.

Dans le domaine du réseau informatique la technologie CPL offre une sécurité des données puisqu'en sortant de la prise, il n'existe plus de chiffrement sur le câble et c'est l'administrateur qui établit ses stratégies de sécurité.

4.3.2 Impacts négatifs :

La tension du secteur est suffisamment élevée, tout contact accidentel avec un fil électrique peut s'avérer dangereux, voire fatal. On considère qu'un courant présente un danger pour une tension de 50 V dans des conditions normales et de 24 V lorsque l'humidité est importante.

Un accident peut survenir à la suite :

- d'un contact entre la phase et le neutre,
- d'un contact avec la phase directement ou indirectement (par l'intermédiaire d'un appareil électrique mal isolé).

Le danger est d'autant plus grand que le corps humain a une moindre résistance électrique (jeunes enfants, corps humide, etc.).

L'apparition d'un court-circuit dans une installation peut s'avérer également très dangereuse. Il peut se produire quand le fil de phase entre en contact avec le neutre ou la terre ; l'intensité dans le circuit augmente très fortement (il y a surintensité), les fils s'échauffent et un incendie peut survenir. Comment éviter de tels accidents ?

4.3.2.1 Effets physiologiques du courant de fréquence industrielle :

Intensité [mA]	Effets
0-0.5	Aucune sensation
0.5-10	Sensation faible
10-30	Tétanisation des muscles
30-75	Seuil de paralysie respiratoire
75-100	Seuil de fibrillation cardiaque

Tableau 4.1 : Evaluation des effets

4.3.2.2 Effets de superposition de deux fréquences :

Contre toute logique écologique tendant à diminuer les nuisances réciproques entre appareils électroniques (règles de compatibilité électromagnétique EMC dont le but est d'éviter que des équipements électroniques se gênent mutuellement), le système CPL introduit un brouillage généralisé important dans toute la gamme des ondes courtes, pouvant perturber les autres services de télécommunication (radiodiffusion, radioamateurs, militaires, ambassades, CB, signaux horaires, télémesures, radioastronomie, aviation, etc.). (N'oublions pas que 50 milliWatts rayonnés sur ondes courtes peuvent parcourir des milliers de kilomètres par bonne propagation.).

Actuellement, il existe des gens sensibles aux rayonnements (les géobiologistes) qui coupent physiquement le réseau électrique de leur chambre à coucher pour ne pas subir de rayonnement à 50 Hertz durant leur sommeil de façon à ne pas nuire à leur santé. Avec une installation CPL, ils ne pourront plus le faire et baigneront jour et nuit dans une "bouillabaisse" d'ondes radio de 20'000 à 600'000 fois plus élevée en fréquence. Une fois le CPL installé dans un immeuble, elle rayonne partout, 24 heures sur 24, même si on "coupe le courant".

4.4 Proposition des mesures d'atténuation :

4.4.1 La protection des personnes :

Autrefois, les gaines isolantes qui recouvraient les fils étaient en tissu mais elles se détérioraient très vite et constituaient alors une source d'accidents électriques. C'est pourquoi les fils électriques sont maintenant recouverts de matériaux isolants résistants comme les matières plastiques.

Les prises sont également plus sûres car elles empêchent le contact avec les bornes grâce à un système d'éclipse.

Des appareils présentant un défaut d'isolation pouvaient constituer des sources d'accidents. Ainsi, une machine à laver est soumise à de nombreuses vibrations. Le fil de phase peut parfois entrer en contact avec la carcasse métallique de l'appareil. Si celle-ci n'est pas reliée à la prise de terre, un simple contact peut être la cause d'un accident électrique. Pour prévenir ce type d'accidents, il faut donc relier le châssis métallique de l'appareil (appelé masse) à la terre. De cette manière, si le châssis métallique d'un appareil entre en contact avec le fil de phase, un courant électrique dit de fuite est dévié dans le sol par l'intermédiaire de la prise de la terre.

Entre les courants qui circulent dans le fil de phase et dans le fil de neutre, il y a donc une différence d'intensité qui est détectée immédiatement par le disjoncteur différentiel. Ce dernier coupe alors le circuit. Pour les installations sensibles (salles de classe, salle de bains, etc.), un disjoncteur coupe le circuit pour une différence d'intensité de 30 mA. Pour les autres installations, le disjoncteur ouvre le circuit principal pour une différence d'intensité de 500 mA.

4.4.2 La protection des installations :

Pour se protéger des courts-circuits, on place dans chaque circuit un coupe-circuit appelé fusible.

Le fusible contient un fil qui fond lorsque l'intensité du courant dépasse une certaine valeur maximale dépendant du circuit : le circuit d'alimentation d'une machine à laver supporte une intensité plus grande (en général, 32 A) que le circuit d'alimentation d'une lampe (en général, 16 A). Plus l'intensité du circuit est grande, plus les fils du circuit ont un diamètre important.

Il est formellement déconseillé de remplacer un fusible par un conducteur quelconque ; celui-ci ne protège en aucun cas le circuit car il ne fond sans doute pas pour la valeur maximale de l'intensité supportée par le circuit.

4.4.3 Limitation des interférences :

La communauté radioamateur est ainsi destinée à devoir affronter de sérieux problèmes d'interférences, si cela se produit, une opération technique va être enclenchée pour d'informations précises sur le lieu et la nature des problèmes, la solution de « notching » télécommandable à distance serait immédiatement mise en service, tout en ajoutant que ce n'était jamais arrivé et que tous les cas examinés à ce jour étaient imputables à d'autres parasites que les CPL.

4.4.4 Conclusion :

En bref, la technologie CPL est appliquée et mise en œuvre dans le but de simplifier et de réduire certaine action, de transmettre des informations en associant l'étude de l'électronique et l'électricité. Mais avant de la réaliser, il faut faire l'analyse des impacts environnementaux dans tous les domaines comme tout début de projet.

CONCLUSION GENERALE

La technologie CPL est une nouvelle technologie très prometteuse : elle pourrait permettre grâce aux réseaux outdoor de développer l'Internet Haut Débit pour tous. Tandis que les réseaux CPL Indoor apporterait un plus grand intérêt dans le domaine de la domotique, comme par exemple la radio en numérique, ou encore le contrôle à distance de four ou de machines à laver.

Le CPL peut être utilisé autant comme solution complémentaire qu'alternative aux autres technologies comme les réseaux filaires, sans-fils Wi-Fi ainsi que l'ADSL.

Dans le cas de Madagascar, la possibilité de créer une boucle locale électrique doit passer par la rectification du statut de la JIRAMA en louant ses lignes basse et moyenne tensions à des sociétés qui sont intéressées par le CPL. Ceci entraînera la commercialisation du service CPL par la JIRAMA même ou d'autres sociétés qui vont collaborer avec elle, et le public aura un large choix sur les technologies réseaux à adopter.

En bref, les progrès techniques ont permis aux CPL d'afficher des performances tout à fait compétitives face aux technologies les plus déployées, performances qui se confirment à travers les multiples expérimentations recensées à travers le monde. Désormais, l'attente se porte sur l'évolution réglementaire, qui devrait permettre de passer d'une phase expérimentale à une phase de déploiement industriel et commercial.

ANNEXES

Annexe 1 : Environnement MATLAB

Voici le programme Matlab qui génère le signal BLU et le signal OFDM

```
%programme de la première modulation
N = 1000; Te=0.0000001; F=4000;
t = Te*(0:4*(N-1));
informatif = 5*cos (2*pi*F*t);
subplot (3,1,1) ; plot (t , informatif )
porteuse1 = 4*cos (2*pi*20000*t);
subplot (3,1,2) ; plot ( t , porteuse1 )
modsup = (0.7*2)*cos (2*pi*(20000+4000)*t);
subplot (3,1,3) ; plot ( t , modsup )

%programme de la deuxième modulation
N = 1000; Te = 0.0000001; F = 4000;
t = Te*(0:4*(N-1));
modsup = (0.7*2)*cos (2*pi*(20000+4000)*t);
subplot (3,1,1) ; plot ( t , modsup )
porteuse2 = 4*cos (2*pi*(250000)*t);
subplot (3,1,2) ; plot ( t , porteuse2 )
modinf = (0.7*2)*cos (2*pi*(250000-24000)*t);
subplot (3,1,3) ; plot ( t , modinf )
```

Le programme Matlab qui génère le signal OFDM

```
N=690;div=0.1;
Tu=224e-6;
T=Tu/2048;
G=0;
delta=G*Tu;
Ts=delta+Tu;
Kmin=0;
FS=4096;
q=10;
fc=(q*1/T)+div;
Rs=4*fc;
t=0:1/Rs:Tu;
M=N+1;
rand('state',0);
a=-1+2*round(rand(M,1)).'+i*(-1+2*round(rand(M,1))).';
A=length(a);
info=zeros(FS,1);
info(1:(A/2))=[a(1:(A/2)).'];
info((FS-((A/2)-1)):FS)=[a(((A/2)+1):A).'];
carriers=FS.*ifft(info,FS);
tt=0:T/2:Tu;
f=(2/T)*(1:(FS))/(FS);
L=length(carriers);
chips=[carriers.';zeros((2*q)-1,L)];
p=1/Rs:1/Rs:T/2;
g=ones(length(p),1);
dummy=conv(g,chips(:));
u=[dummy(1:length(t))];
ff=(Rs)*(1:(q*FS))/(q*FS);
[b,a]=butter(13,1/20);
[H,F]=FREQZ(b,a,FS,Rs);
uoft=filter(b,a,u);
s_tilde=(uoft.').*exp(i*2*pi*fc*t);
```

```
s=real(s_tilde);  
plot(t(80:480),s(80:480))  
title('signal OFDM')  
xlabel('Temps en s')  
ylabel('Amplitude en e-1 V')
```

Annexe 2 : Couplage optimal du réseau CPL au réseau électrique

Il existe deux méthodes :

- Couplage capacitif en parallèle sur le réseau électrique
- Couplage inductif via un tors de ferrite.

Les figures suivantes montrent les circuits qui permettent d'effectuer le couplage capacitif en parallèle sur le réseau électrique.

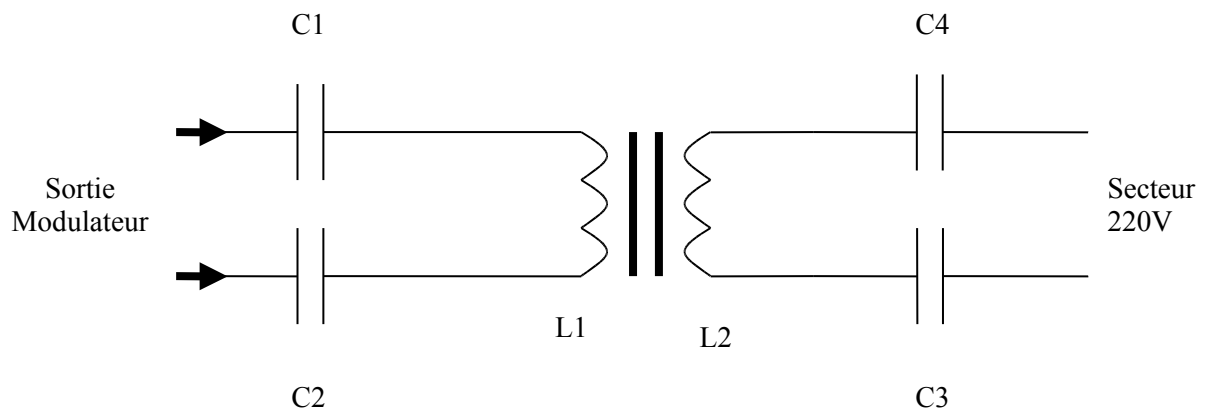


Figure A.1 : Couplage de l'émetteur avec le secteur

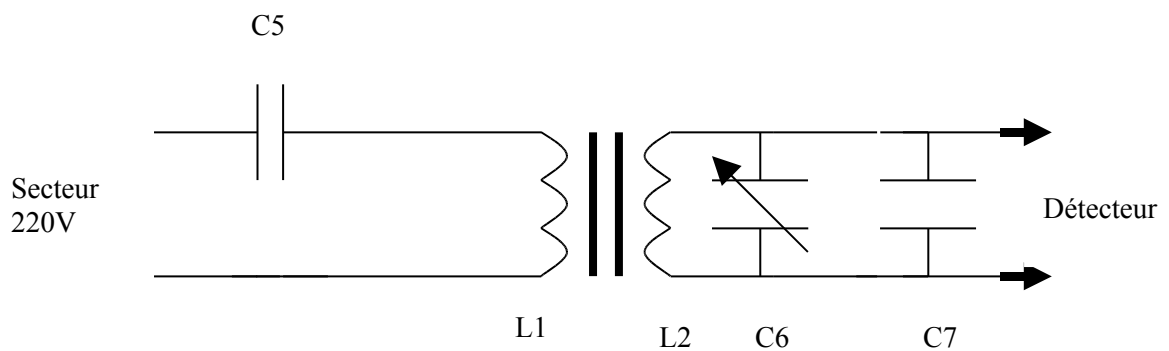


Figure A.2 : Couplage du secteur avec le récepteur

BIBLIOGRAPHIE

- [1] M.RAKOTONDRAZAKA Lovasoa Patrick, 'TECHNOLOGIE BASEE SUR LES COURANTS PORTEURS EN LIGNE', Mémoire de fin d'étude département TCO ESPA, A.U 2004/2005, 62p.
- [2] Philippe DESTUYNDER et Françoise SANTI, 'Analyse et contrôle numérique du signal', Ellipses Edition Marketing S.A., 2003, 188p.
- [3] Gilles CHOISY, 'Electronique', Ellipses Edition Marketing S.A., 2003, 249p.
- [4] M.ANDRIANAHARISON Yvon, électronique, cours 3^{ème} Année, Dép. GI-ESPA, A.U 2003/2004.
- [5] M. Andrianonimamy, 'Méthodes d'annulation des interférences entre sous porteuses dans la modulation OFDM', Mémoire de fin d'études, Dép. TCO-ESPA, A.U 2003/2004.
- [6] CPL indoor et outdoor disponible sur http://fr.wikipedia.org/wiki/Courants_porteurs_en_ligne
- [7] Technique de modulation <http://www.alterlane.fr>
- [8] M.RAVALOMANANA Olivier, 'une télécommande grâce au secteur 220V', Dép. GI-ESPA A.U 2005/2006.
- [9] Modulation d'amplitude disponible sur <http://www.edf.fr/APerezMAS.htm>.
- [10] Modulation BLU disponible sur http://fr.wikipedia.org/wiki/Bande_latérale_unique
- [11] Technique de l'OFDM disponible sur http://fr.wikipedia.org/wiki/Orthogonal_Frequency_Division_Multiplexing
- [12] CPL et ADSL disponible sur <http://www.01net.com>

RESUME

Le présent travail est axé sur l'étude du courant porteur en ligne. La technologie des courants porteurs en ligne permet de transmettre de l'information sur la ligne électrique. Le CPL a commencé dans le bas débit. Ensuite une technique de modulation avancée déjà utilisée en ADSL et à la télévision numérique terrestre lui a permis de monter en débit pour être identique à Ethernet. Par sa simplicité de mise en place et à la sécurité qu'elle offre, elle est devenue une solution tant alternative que complémentaire aux autres types de réseaux.

ABSTRACT

The present work is centred on the survey of the power Line Communication. The technology of the Power Line Communication permit to transmit information on the electrical line. The PLC began in the low debit. Then an advanced modulation technique already used in ADSL and to the terrestrial numeric television permitted him to go up in debit to be identical to Ethernet. by his simplicity of setting up and the security that it offers, it became so much a solution alternative that complementary to the other types of networks.

Titre : « Transmission de données grâce au secteur 220V »

Mots-clés : BLU, DSSS, OFDM, systèmes indoor et outdoor

Nombres de pages : 69

Nombre de figures : 52

Nom de l'auteur : ANDRIAMIHAJA Mampianina Fanomezana

Directeur de mémoire : Monsieur RAVALOMANANA Olivier