



Ingénieurs 2000

Filière Informatique & Réseaux

3<sup>ème</sup> année

Marjolaine Cladière - Sothea Seng - Sophie Vuong

## La technologie des Courants Porteurs en Ligne

Présenté le 3 février 2004

# Table des matières

Introduction .....	3
<b>1 Origine de la technologie.....</b>	<b>4</b>
1.1 <i>Petit historique</i> .....	4
1.2 <i>Principales caractéristiques</i> .....	5
1.3 <i>Le standard Homeplug</i> .....	5
1.4 <i>Les segments de marché</i> .....	6
1.4.1 Le marché OutDoor .....	6
1.4.2 Le marché InDoor .....	7
<b>2 Description de la technologie .....</b>	<b>9</b>
2.1 <i>Canal de transmission</i> .....	9
2.2 <i>Techniques de modulation de données</i> .....	10
2.1.1 OFDM.....	10
2.1.2 SS .....	12
2.2 <i>Liaison de données CSMA / CA</i> .....	15
2.2.1 Introduction.....	15
2.2.2 Mécanisme .....	16
<b>3 Eléments de sécurité .....</b>	<b>17</b>
<b>4 Réseau CPL par la pratique .....</b>	<b>19</b>
4.1 <i>Principaux composants d'un adaptateur</i> .....	19
4.2 <i>Les différents éléments perturbateurs dans un réseau CPL</i> .....	20
4.2.1 Les câbles de l'installation électrique.....	20
4.2.2 Les appareils électroménagers .....	20
4.2.3 Les rallonges.....	20
4.3 <i>Mise en place du réseau</i> .....	20
4.4 <i>Installation et configuration</i> .....	21
<b>5 Avantages et inconvénients.....</b>	<b>26</b>
5.1 <i>Avantages</i> .....	26
5.2 <i>Inconvénients</i> .....	26
Conclusion .....	27
Glossaire.....	28
Bibliographie .....	29

# Introduction

---

Le CPL ou Courant Porteur en Ligne, (ou encore PLC PowerLine Line Carrier) est une technologie qui utilise les réseaux électriques existants d'un bâtiment pour transporter les données sans câblage spécifique supplémentaire.

La technique des courants porteurs en ligne consiste à séparer les signaux à basse fréquence (courant alternatif) et les ondes de haute fréquence sur lesquelles transitent les données numériques. Grâce à cette superposition, le fonctionnement des équipements électriques n'est pas perturbé.

Pour le moment, cette technologie est surtout utilisée dans les entreprises, les établissements scolaires... pour le partage d'une connexion haut débit sur le réseau local. Des expérimentations ont montré qu'un certain nombre de problèmes complexes se posent et réclament des choix de solutions relatives au canal de transmission, au type de modulation et de codage retenus, à la couche MAC mise en place, aux normes relatives au réseau de distribution et à celles du réseau domestique.

Dans ce document sera détaillé le principe de la technologie, ce qui se passe au niveau de la sécurité, et enfin les avantages et les inconvénients à son utilisation.

# 1 Origine de la technologie

---

## 1.1 Petit historique

Le fait de se servir du courant électrique en informatique est utilisé depuis longtemps mais en bas débit seulement. Par exemple, dans les années 50, la fréquence 10 Hz servait pour les lumières en ville. Dans les années 80, ça a été le début des recherches pour utiliser l'électricité comme support de transmission de données, sur la bande correspondant à 5 - 500 kHz.

Les recherches sur le haut débit grâce au CPL n'ont commencé que fin des années 1990.

Ce n'est qu'en 1997 que les premiers tests de transmission de signaux de données sur le réseau électrique ce sont faits en bidirectionnel. La suisse (Ascom) et l'Angleterre ont commencé leurs recherches. Pour la France, il faudra attendre les années 2000 pour que EDF fasse ses premières expérimentations, ainsi que France Telecom. Mais aucune offre commerciale n'a vu le jour. En 2001, une société (Alterlane) a été créée par EDF et est spécialisée dans les réseaux informatiques sur CPL. Elle a déjà équipée des établissements scolaires, hôpitaux...

EDF a lancé il y a quelques temps, une offre destinée aux collectivités locales et voudrait déployer un premier réseau en Ile de France.

Aux Etats-Unis, c'est Intellon qui a popularisé le type d'équipements pour le CPL grâce à sa technologie PowerPacket. Celle-ci est soutenue par d'autres entreprises telles que EDF, France telecom, Motorola, NetGear... regroupées dans un consortium : le Homeplug Powerline Alliance.

En 2002, les réseaux CPL pouvaient partager de 5 à 45 Mb/s. Aujourd'hui, on a des débits de l'ordre de 5, 10 et jusqu'à 30 Mb/s.

## 1.2 Principales caractéristiques

Le Courant Porteur en Ligne n'est le fait que d'une superposition de signaux. Au signal de 50 Hz classique on superpose un signal à haute fréquence de 1 à 30 MHz. Ce signal peut être reçu et décodé à distance.

La portée maximale de transmission CPL est de 300 mètres théoriques. En pratique, cette distance est fonction de la qualité du réseaux électriques et des facteurs externes pouvant causées des perturbations au sein du réseau.

Les débits théoriques sont aujourd'hui de l'ordre de plusieurs dizaines de Mbps soit 14Mbps.

Le matériel nécessaire est un modem CPL qui se branchera sur une prise et sur la carte ethernet de l'ordinateur.

## 1.3 Le standard Homeplug

La "HomePlug Powerline Alliance" est un consortium qui regroupe près de 90 sociétés high-tech, dont Cisco Systems, Intel, Motorola, Hewlett-Packard et France Telecom et vient d'annoncer la finalisation d'un nouveau standard. Celui-ci permet de relier des périphériques électroniques à internet via les prises électriques. Grâce à lui, chaque foyer peut utiliser son réseau électrique domestique pour relier des périphériques électroniques en réseau. Ce nouveau standard est basé sur la technologie "powerline" développée par la société Intellon. Le nouveau standard HomePlug est censé permettre d'atteindre des taux de transfert de 14 mégabits par seconde

Le consortium Home Plug, a défini des spécifications d'interopérabilité précises. Les produits en provenance de ces différents constructeurs peuvent donc fonctionner sur le même réseau et communiquer entre eux, s'ils sont, toutefois, de même génération. Mais de nouveaux standards plus performants se positionnent en challengers.

## 1.4 Les segments de marché

Le marché du CPL se partage en deux segments, selon qu'on se place à l'intérieur des bâtiments (indoor) ou à l'extérieur (outdoor) vers les lignes de moyenne et haute tension.

### 1.4.1 Le marché Outdoor

Dans le cas de l'outdoor, les déploiements en sont encore au stade de l'expérimentation, tout du moins en France. Les freins au développement de ce marché ne sont pas seulement d'ordre technique -*l'absence de standard par exemple* -, ils sont aussi d'ordre juridique. En effet, l'activité du transport de données relève des télécommunications et nécessite une licence d'opérateur de réseaux télécoms (L33-1), ce qui n'est pas le cas d'EDF. L'électricien français doit donc attendre sa privatisation, contrairement à ses homologues allemands (EnBW, RWE...) qui commencent à commercialiser des offres d'accès à Internet par le courant porteur.

Cependant EDF n'entend pas rester totalement inactif et a lancé plusieurs expérimentations. Le groupe fait partie d'un forum international, créé en mars 2000 dans le but de représenter les intérêts des acteurs du secteur des CPL ([www.plcforum.org](http://www.plcforum.org)). Par ailleurs, la société Alterlane SA, créée par deux anciens d'EDF-R&D, a déjà équipé plus de 40 sites ([www.alterlane.fr](http://www.alterlane.fr)). Les premières expérimentations de CPL ont eu lieu dans les collèges de la Manche, de la Drôme et du Loiret.

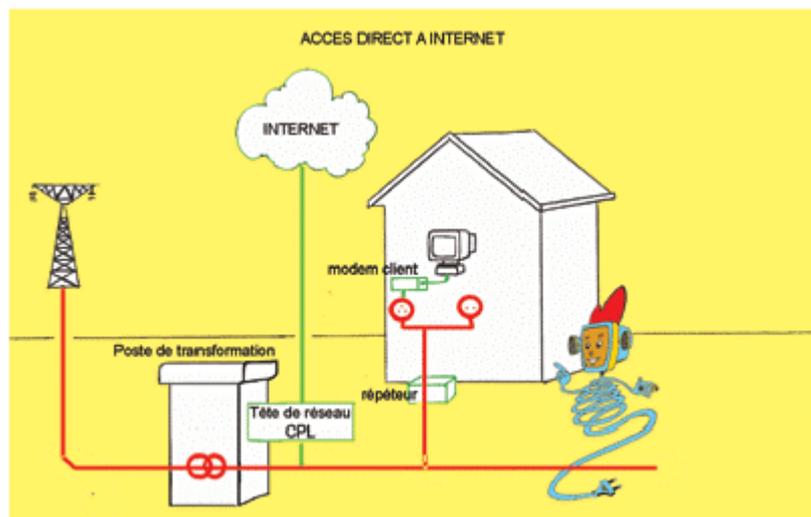


fig 1 - accès outdoor

L'accès outdoor peut elle constituer une solution pour les collectivités locale ? Dans de nombreuses parties du territoire, les opérateurs télécoms ont jugé non rentable l'installation de l'ADSL et la mise en place de câblages classiques représente un investissement trop lourd. Le réseau haut débit semble réservé aux habitants de zones urbaines relativement densément peuplées, ainsi des zones d'activité économique importantes ne peuvent accéder à cette technologie pourtant essentielle à leur développement.

Une possibilité pour les collectivités locales et les entreprises concernées est d'utiliser la technologie CPL afin d'acheminer un flux haut débit depuis un point d'accès préexistant. La capillarité extrêmement fine du réseau électrique permet en effet d'atteindre virtuellement l'ensemble du territoire, et en particulier les zones rurales qui semblaient jusqu'à présent exclues de la « révolution » haut débit.

Concrètement, les CPL sont complémentaires d'une technologie haut débit déjà installée et viennent remplacer la boucle locale qui n'a pas été mise en place pour cause de non rentabilité économique. Les CPL sont une plateforme particulièrement flexible, qui peut se déployer suivant les cibles visées, par grappes au niveau d'un transformateur, et en complément avec d'autres infrastructures.

En France, depuis l'année dernière EDF-R&D (Recherche et Développement) a lancé une expérience sur une quarantaine d'utilisateurs dans des quartiers résidentiels de Strasbourg et l'opérateur Télé2 propose un test sur une quinzaine de clients résidentiels à Courbevoie, test qui pourrait être étendu à une centaine d'utilisateurs d'ici décembre.

#### 1.4.2 Le marché InDoor

En France, le développement des CPL à l'intérieur de bâtiments n'est soumis à aucune contrainte. La seule limitation est de ne pas créer de nuisances par interférence. Pour ce marché indoor, la situation est plus limpide. Les modems CPL établissent un pont entre le matériel informatique et le réseau électrique, comme le ferait un modem analogique entre l'ordinateur et la ligne téléphonique. Dans le cas d'une connexion Internet, le signal provenant de la Toile est récupéré par le routeur CPL puis injecté dans le réseau

électrique. N'importe quel ordinateur muni d'un modem CPL peut ainsi accéder à Internet, quelle que soit la prise électrique utilisée, dans la limite des prises gérées par le même compteur électrique.

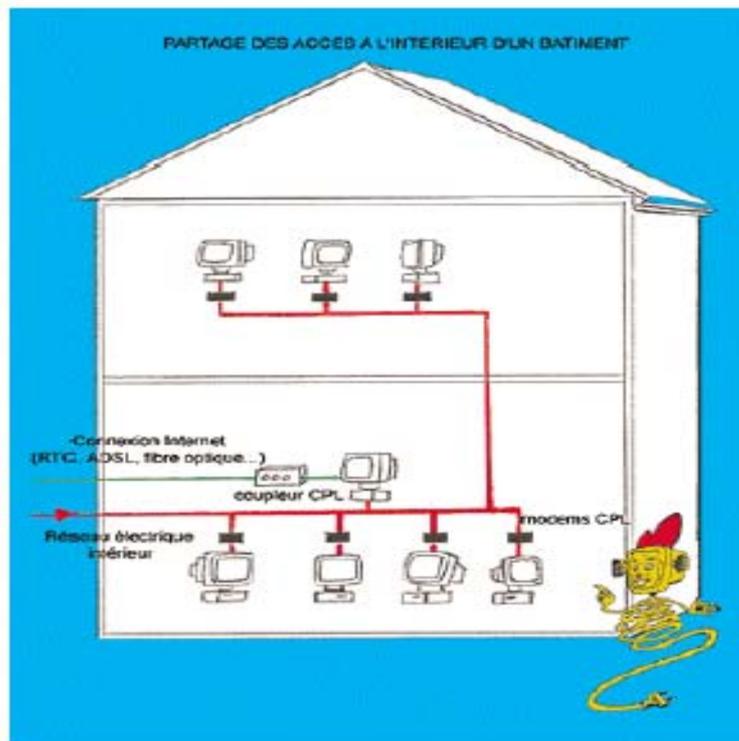


fig 2 - accès indoor

Le CPL constitue une alternative au réseau local Ethernet ou Wifi pour le développement domestique (indoor). Ainsi, un bâtiment électrifié devient communicant et apporte de nouveaux services.

Le réseau CPL peut être considéré comme un réseau :

- complémentaire qui vient étendre un réseau ethernet existant
- pour un bâtiment qui n'en n'avait pas
- supplémentaire venant doubler un réseau existant

La technologie CPL pourra être utilisée si :

- le câblage classique est impossible
- le temps de mise en service doit être court
- la couverture réseau doit être étendue avec peu de points communicants
- l'accès aux ressources se fait à différents endroits.

## 2 Description de la technologie

---

### 2.1 Canal de transmission

Le canal de transmission désigne le médium entre le récepteur et le transmetteur. Il a un effet perturbateur sur le signal modulé transmis car il est une source de bruit et d'interférence et 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.



Cependant, ce support électrique n'a pas été étudié pour transporter des signaux haute fréquence, il faut donc en tenir compte pour éviter de perturber d'autres appareils ou les fréquences 1-30 MHz. Sachant que le signal doit rester performant pour permettre un débit suffisant pour l'autre bout de la ligne !

Contrairement à ce que l'on pourrait croire, ce n'est pas le courant de 220 Volts qui assure le transport des données. Celui-ci ne servant qu'à alimenter les appareils reliés au secteur. Pour véhiculer les données, le CPL injecte dans l'installation électrique d'autres courants alternatifs de très faibles voltages de l'ordre de 2 Volts, qui servent de porteuses. Leurs fréquences est comprises entre 4,3 et 20,9 MHz. Ce qui est des milliers de fois plus élevées que la fréquence du courant d'alimentation : 50 Hz.

Il existe deux possibilités de transmission : couplage capacitif en parallèle sur le réseau électrique ou couplage inductif via un tors de ferrite. Il faut se poser la question du dispositif que l'on veut installer : indoor (réseau local électrique) ou outdoor (boucle locale électrique).

## 2.2 Techniques de modulation de données

Le but du courant porteur en ligne est d'obtenir un débit important avec un niveau d'émission faible. C'est pourquoi, soit la puissance de fonctionnement des courants porteurs est limitée, soit on traite le signal le plus performant possible.

Les 2 techniques sont en fait 2 modulations basées sur l'étalement de spectre : OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) et SS (Spread Spectrum).

### 2.1.1 OFDM

#### 2.1.1.1 Introduction

L'idée de base de l'OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) réside dans le fait de répartir un canal binaire haut débit en une multitude de canaux, lesquels étant modulés à bas débits. 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.

#### 2.1.1.2 Explications

C'est dans les années 1950 que l'OFDM a fait son apparition. Mais c'est surtout dans les années 1980 que cette technique a été mise en œuvre. Elle arrivait au bon moment pour traiter les canaux représentant des échos importants où les signaux arrivent avec de très grandes distorsions dues aux échos et réflexions entre l'émetteur et le récepteur. Le signal comporte ainsi des creux et des bosses.

Un très grand débit impose une grande bande passante et si cette bande passante couvre une partie du spectre comportant des creux (dus aux trajets multiples), il y a une perte totale de l'information pour la fréquence correspondante. Le canal est alors dit sélectif en fréquence.

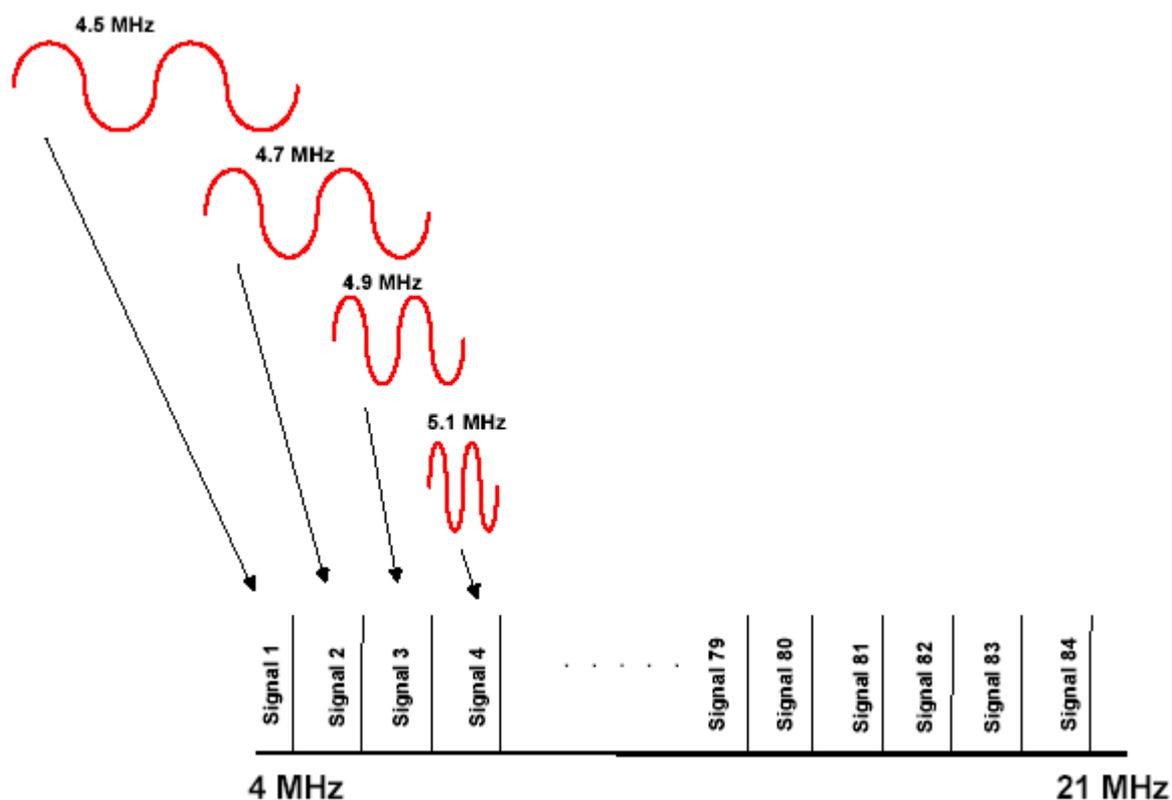
Pour empêcher ces problèmes, il faut répartir l'information sur un grand nombre de porteuses, créant ainsi des sous canaux très étroits pour lesquels la réponse fréquentielle du canal peut-être considérée comme constante. Ainsi,

pour ces sous canaux, le canal est non sélectif en fréquence, et s'il y a un creux, il n'affectera que certaines fréquences, qui pourront être récupérées grâce à un codage.

Mais même si le canal n'est pas sélectif en fréquence pour les sous bandes, la bande totale du canal, elle, est plus grande que la bande de cohérence, et certaines fréquences seront de toute façon atténuées plus ou moins fortement. Il faut donc utiliser un codage qui consiste à lier des éléments d'information suffisamment éloignés statistiquement.

Les informations à transmettre sont modulées en même temps sur 84 ondes électriques séparées par des écarts de fréquence d'environ 200 KHz et évitent les interférences entre les signaux véhiculés par des porteuses de fréquences voisines. Sachant que les parasites et échos n'affectent jamais en même temps les ondes de fréquences différentes, le CPL permet aux récepteurs de recalculer les informations émises même lorsqu'il y a du bruit.

En clair, un signal est transmis sur plusieurs fréquences à la fois. Si le signal rencontre un obstacle sur une des fréquences, il suffit qu'il réussisse à passer sur une autre, et même s'il est affaibli, le récepteur peut parvenir à reconstituer le message complet.



### 2.1.1.3 Avantages et inconvénients

#### Les avantages :

- Bonne utilisation de la bande de fréquence allouée par orthogonalisation des porteuses
- permet de s'affranchir des multi trajets en liant les éléments statistiquement indépendants
- la multiplicité de la modulation est basée sur un algorithme bien connu et peu complexe : la FFT
- un codage et entrelacement adapté permet d'améliorer de façon importante le taux d'erreur

#### Les inconvénients :

Du fait de la modulation, un signal OFDM temporel peut-être considéré comme une somme de N sinusoides. L'idée est de prendre un certain recul et de se garder de dépasser la zone où la réponse de l'amplificateur n'est plus linéaire.

Il serait en effet très dommageable de causer des distorsions non linéaires dans le cas de l'OFDM. De nombreux dispositifs ont été mis en place pour palier à ce problème, mais sous certaines conditions ( nombres de porteuses faible par exemple).

Il faut trouver une façon de réduire le facteur de crête (caractéristique du "dépassement") en utilisant soit le codage de canal, un filtrage approprié.

## 2.1.2 SS

### 2.1.2.1 Introduction

SS (Spread Spectrum) est une technique permettant la transmission de données numériques confidentielles. Le but est de transformer un signal d'information de manière à ce qu'il apparaisse comme un bruit informe. Le bruit a un spectre plat, sans relief cohérent, dans lequel le signal est noyé pendant la transmission.

### 2.1.2.2 Explications

La technique d'étalement de spectre consiste à disperser le signal dans un spectre élargi, faisant que le signal a une densité d'énergie inférieure tout en conservant la même énergie globale. Cette moindre densité d'énergie diminue l'incidence des interférences éventuelles. A l'arrivée, des filtres appropriés permettent de rassembler le signal et d'éliminer ceux qui résultent d'échos ou d'interférences.

Dans la pratique, il existe deux manières d'étaler le spectre:

- la méthode à saut de fréquence (FHSS), (première méthode), et qui consiste à sauter rapidement d'une fréquence à une autre de manière pseudo aléatoire
- la méthode à séquence directe (DSSS), qui superpose des valeurs binaires pseudo aléatoires à celles du signal pour produire un code incohérent

Le processus de rassemblement qui s'opère au récepteur est symétrique du processus d'étalement de l'émetteur, si bien que les signaux excédentaires (interférences, échos) sont à leur tour étalés sous forme de bruit informe en même temps que le signal voulu est rassemblé. Cela permet de partager la même fréquence dans un périmètre donné en utilisant différents codes d'étalement : CDMA ( Code Division Multiple Access).

### 2.1.2.3 CDMA

C'est une technologie d'étalement du spectre qui est utilisée depuis longtemps par les militaires pour sa résistance à l'interférence et pour le niveau de sécurité qu'elle offre. C'est une technique qui consiste à redistribuer et étaler le signal sur une très grande largeur de bande, jusqu'à le rendre invisible idéalement, pour les autres utilisateurs de la même largeur de bande. Au niveau du récepteur, l'opération d'étalement exécutée au transmetteur est répétée pour dé étaler le signal en bande de base (ou une fréquence intermédiaire) tandis que les autres signaux transmis (interférence) sont perçus par le récepteur comme étant du bruit.

Les systèmes CDMA emploient des signaux Large Bande possédant de bonnes propriétés de corrélation, ce qui signifie que la sortie d'un filtre adapté au signal d'un utilisateur est petite si ce n'est pas le bon utilisateur offre un débit de l'ordre de 20 à 25 Mbit/s

#### **2.1.2.4 Avantages et inconvénients**

Cependant, on peut remarquer que l'utilisation du Spread Spectrum ne permet que du bas débit. Ainsi, il est conseillé d'utiliser de l'OFDM pour monter en débit.

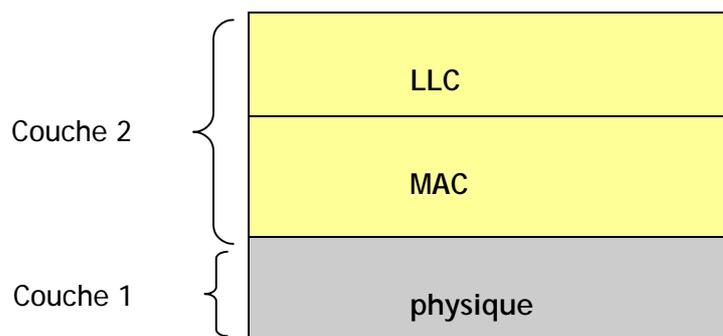
Un des avantages du Spread Spectrum, c'est qu'on ne peut pas décoder le message encodé sans connaître la clé privée utilisée pour l'encodage.

Un autre avantage est la capacité du Spread Spectrum à rejeter les interférences non désirées dues à une transmission simultanée d'un autre message.

## 2.2 Liaison de données CSMA / CA

### 2.2.1 Introduction

Dans le chapitre précédent, nous venons de décrire la couche physique à travers laquelle les données sont converties puis acheminées le long du réseau électrique. Nous allons maintenant nous attacher à la manière dont les données sont transmises vers le média physique. C'est au niveau de la couche de Liaison de données (couche 2 du modèle OSI) qu'est défini le protocole d'accès au support. La couche Liaison de données est subdivisée en deux sous couches : la couche de contrôle de la liaison logique (Logical Link Control, notée LLC) et la couche de contrôle d'accès au support (Media Access Control, ou MAC).



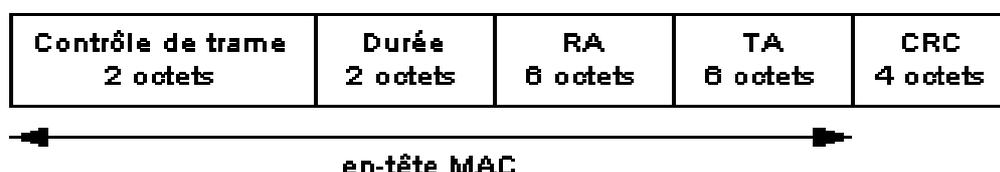
Dans les réseaux à courants porteurs, la méthode d'accès est de type CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access avec Collision Avoidance), comme en Wi-Fi, alors que dans l'Ethernet filaire la méthode d'accès est CSMA/CD (Collision Detection). La différence vient du fait que sur les réseaux filaires (Ethernet), il est facile de détecter la collision de paquets, alors que sur les médias moins fiables (radio ou ligne électrique), cette opération s'avère plus difficile. D'où la nécessité d'éviter ces collisions. Le standard 802.11 fait appel à un protocole légèrement modifié, baptisé CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), ou à la fonction DCF (Distributed Coordination Function). Le protocole CSMA/CA tente d'éviter les collisions en imposant un accusé de réception systématique des paquets (ACK), ce qui signifie que pour chaque paquet de données arrivé intact, un paquet ACK est émis par la station de réception.

## 2.2.2 Mécanisme

Le protocole CSMA/CA utilise un mécanisme d'esquive de collision basé sur un principe d'accusé de réception réciproques entre l'émetteur et le récepteur. Le mécanisme est le suivant :

- Une station qui veut envoyer la trame regarde si elle le peut. Si la voie est libre, CSMA/CA attend un temps aléatoire appelé DIFS (Distributed Inter Frame Space) et alors il est possible d'émettre.
- Elle envoie donc un message RTS (Ready To Send) au récepteur qui contient des informations importantes sur le volume de données qu'elle veut transmettre et sur la vitesse de transmission.
- Le récepteur envoie alors un CTS (Clear To Send) ce qui permet à la station émettrice d'envoyer ses données.
- Dès lors que toutes les données ont été transmises, le récepteur peut envoyer un ACK.

### Format des trames RTS



RA est l'adresse du récepteur imsupportt de la prochaine trame de données ou de gestion.

TA est l'adresse de la station qui transmet la trame RTS.

La valeur de la durée est le temps, en microsecondes, nécessaire à la transmission de la trame de gestion ou de données suivante, plus une trame CTS, plus une trame ACK, plus 3 intervalles SIFS.

### Format de la trame CTS



RA est l'adresse du récepteur de la trame CTS, directement copiée du champ TA de la trame RTS.

La valeur de la durée est la valeur obtenue dans la trame RTS, moins le temps de transmission, en microsecondes, de la trame CTS et d'un intervalle SIFS.

### Format de la trame ACK



RA est le champ directement copié du champ Adresse 2 de la trame précédant cette trame ACK.

Si le bit More Fragment était à 0 dans le champ de contrôle de trame de la trame précédente, la valeur de la durée est mise à 0. Sinon, c'est la valeur du champ durée précédent, moins le temps, en microsecondes, demandé pour transmettre la trame ACK et l'intervalle SIFS.

## 3 Éléments de sécurité

---

Les données circulent dans toute l'installation électrique d'un bâtiment. On peut se douter que le compteur électrique peut constituer un élément d'insécurité. En fait, le compteur établit une rupture d'impédance qui affaiblit et déforme le signal émit. Cependant, il n'est pas impossible de récupérer tout de même celui-ci. C'est à dire que quelqu'un peut se brancher sur la ligne et espionner le réseau. Pour pallier à ce problème, les différents produits homologués Homeplug cryptent les données à l'aide de l'algorithme de cryptage AES (Advanced Encryption Standard) ou DES qui a une clé de 56 bits. Avant, l'algorithme de cryptage était DES (Data Encryption Standard). Le mécanisme de sécurité crée un réseau logique où chaque station partage une clé de cryptage commune. Chaque trame est codée par l'algorithme DES 56bits. Ainsi en utilisant plusieurs clés différentes, on peut réaliser plusieurs réseaux logiques sécurisés par cryptage, et indépendants les uns des autres.

En fait, la question que nous nous posons est quel niveau de sécurité peut-on avoir avec l'implémentation du DES 56 bits dans le protocole Homeplug?

Deux méthodes peuvent -être abordées :

#### L'analyse cryptographique :

Il suffit de collecter suffisamment de données cryptées et d'essayer d'en faire l'analyse comme cela pourrait être fait avec des application Internet ou des transmissions sans fil. Mais recopier des données circulant sur un réseau électrique codées selon le protocole HomePlug est impossible. Le standard HomePlug impose que tous les composants certifiés HomePlug ne peuvent faire transiter des données cryptées en DES 56 bits du réseau électrique vers l'interface utilisateur (Ethernet, USB, ...). Le seul moyen est alors de réaliser sa propre carte électronique avec un processeur de type DSP de façon à simuler un système OFDM pour en faire un point d'accès, d'implanter ensuite le protocole HomePlug dont les spécifications sont réservées aux seuls membres y adhérant et d'un peu de temps !!!

#### La clé de cryptage :

La seconde méthode est de trouver la clé de cryptage par une méthode brutale. C'est en principe lié au nombre d'essais et de chance ( clé de 4 à 24 caractères). Une certaine clé sera programmée sur l'adaptateur et le résultat sera observé. Le consortium HomePlug utilise une clé de 56 bits pour le cryptage DES. Parce que c'est un schéma de cryptage symétrique, nous avons besoin de trouver une seule clé pour l'émission et la réception. Ce qui nous donne un nombre d'essais de :

$$N=2^{56} \sim 2.88 \times 10^{17}.$$

En considérant que cette clé est distribuée de façon symétrique, cela prendra  $N/2$  essais pour trouver la clé correcte. Chaque clé peut-être programmée dans l'adaptateur en envoyant une trame ETHERNET vers celui-ci. Cette trame Ethernet contient un minimum de données ; cette taille minimum est de 64 octets que nous prendrons en compte dans notre calcul. En considérant que la connexion avec le PC est à 100 Mbps, nous trouvons un temps le transmission pour une trame :

$$T_{trame} = (64 * 8) / (100 * 1024 * 1024) \sim 4.88 * 10^{-6} \text{ Sec.}$$

Il y a aussi un certain temps de traitement par le processeur pour extraire la clé, la stocker dans la mémoire et ensuite l'appliquer aux futurs trames qui seront reçues. Ce temps dépend aussi du Chipset utilisé ; on considérera que ce temps est négligeable. En prenant uniquement le temps de transmission d'une trame on peut simuler le temps à utiliser pour évaluer toutes les combinaisons :

$$T_{total} = N/2 * T_{trame} = 2.88 * 10^7 * 4.88 * 10^{-6} \text{ sec} \sim 1.4 * 10^{12} \text{ Sec}$$

Ce qui équivaut à 44591 années .

En conclusion, même s'il y a des systèmes capables d'effectuer plus de 30 millions d'opérations DES par seconde, le système HomePlug est suffisamment préparé pour résister au décryptage de données véhiculées sur le réseau courant porteur. En comparaison à d'autres technologies, l'accès aux données cryptées ne peut être réalisé. La seule possibilité est d'utiliser un adaptateur HomePlug, de charger toutes les combinaisons de clé une par une et de les tester. Cette méthode prendrait trop de temps pour être efficace.

## 4 Réseau CPL par la pratique

---

### 4.1 Principaux composants d'un adaptateur

Un adaptateur ressemble à un modem. Il sert à convertir les paquets de données numériques en signaux analogiques lors de l'envoi de données et inversement lors de la réception. Dans un adaptateur, on a 8 parties différentes :

- **Le transcepteur** : décide quand le PC peut émettre, il crypte les informations et les encode dans une forme adaptée à leur transmission et définit ce qui sera émit sur chaque porteuse.
- **Le convertisseur de signaux** : il déforme chaque porteuse en fonction des commandes du transcepteur.
- **Les circuits d'interface** : ils injectent les signaux modulés sur la ligne électrique. En réception, ils retirent les signaux de la ligne dont les fréquences sont comprises entre 4,3 et 20,9 MHz. C'est le convertisseur qui transforme les signaux en données numériques qui seront décodées et décryptées par le transcepteur.
- **Le quartz** : il rythme la modulation haute fréquence. Une mémoire Eprom contient les paramètres de configuration.
- **Les témoins lumineux** : ils indiquent le fonctionnement de l'adaptateur. (erreur activité, connexion, alimentation)
- **Circuit d'interface USB 79 ou Ethernet**
- **Transformateur électrique** pour le cas où on a une interface Ethernet ce qui permet d'alimenter l'adaptateur en énergie.

## 4.2 Les différents éléments perturbateurs dans un réseau CPL

L'acheminement d'informations sur un réseau électrifié pose de nombreux problèmes. Nous allons voir ce qui favorise ces perturbations afin de pouvoir installer un réseau CPL dans de bonnes conditions.

### 4.2.1 Les câbles de l'installation électrique

Ces câbles transportent des données en même temps que le courant d'alimentation 220 Volts à 50 Hz. Le voltage des signaux véhiculant les informations est très faible (2 Volts), mais les fréquences sont très élevées (entre 4,3 et 20,9 MHz).

### 4.2.2 Les appareils électroménagers

Le fait de démarrer un appareil électrique raccordé à ce réseau va engendrer, un parasitage plus ou moins important et une variation de la tension secteur. Ces inconvénients simples peuvent désorganiser la transmission des données à haut débit.

### 4.2.3 Les rallonges

Elles déforment les signaux en modifiant l'impédance du réseau électrique. Les multiprises amplifient également les perturbations en concentrant plusieurs appareils en un même point du réseau.

## 4.3 Mise en place du réseau

Mettre en place un réseau local à la maison s'effectue d'une manière simple. Aujourd'hui différents types d'équipements sont disponibles pour monter un réseau CPL. On trouve des adaptateurs CPL et des routeurs ADSL avec une interface CPL. Il faut brancher l'adaptateur CPL sur une prise de courant et le relier à un ordinateur à l'aide d'un cordon USB ou un câble Ethernet. Avec ce dernier, aucun pilote n'est à installer quelque soit l'OS utilisé.

La vitesse de pointe est de 14 Mbit/s, mais le débit qui est à partager entre tous les PC est à peu près du même ordre que le Wi-Fi, c'est à dire 7 Mbit/s.

En ce qui concerne les prix, ces adaptateurs sont environ 30% plus chers que pour le Wi-Fi, soit une centaine d'euros 100 €.

## 4.4 Installation et configuration

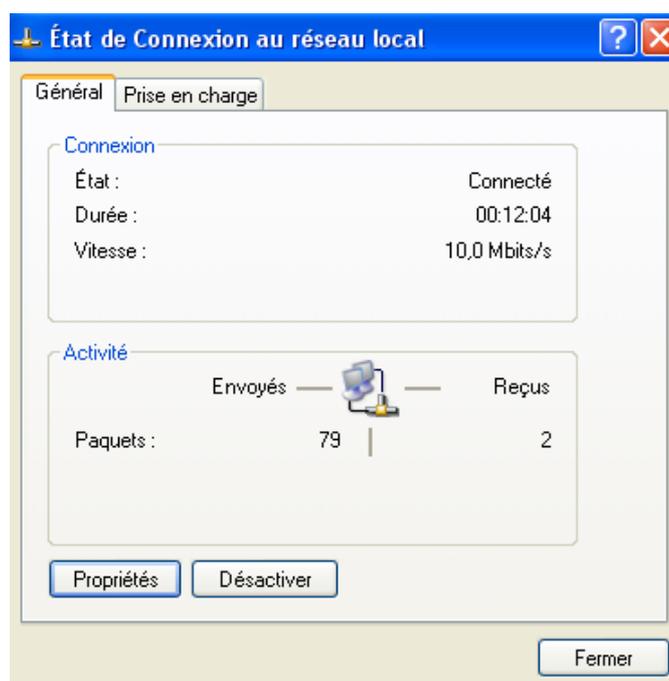
Notre objectif est de créer un réseau local CPL à l'aide de deux adaptateurs CPL.



F@ST PLUG Assistant de configuration

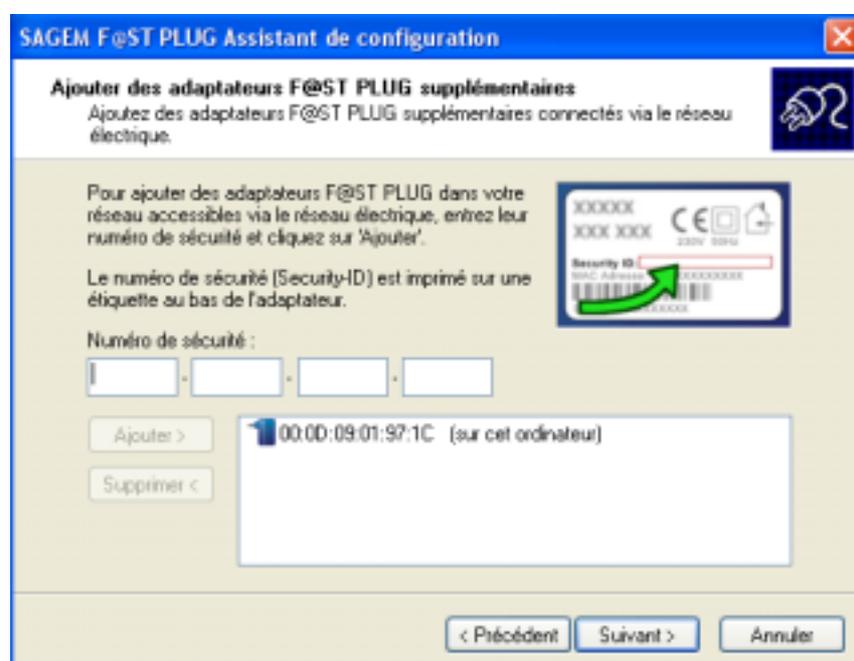
Les adaptateurs CPL sont fournis avec un logiciel de configuration qui détecte la(les) machine(s) sur le réseau CPL. Notons que tous les adaptateurs du réseau sont bien branchés durant la configuration.

Une fois que l'adaptateur CPL est branché à une prise, le réseau est établi





L'assistant de configuration détecte et reconnaît l'adaptateur CPL branché à la machine locale.



L'étape suivante consiste à « déclarer » à partir de la machine locale, tous les autres adaptateurs CPL du réseau.

**SAGEM F@ST PLUG Assistant de configuration**

**Ajouter des adaptateurs F@ST PLUG supplémentaires**  
Ajoutez des adaptateurs F@ST PLUG supplémentaires connectés via le réseau électrique.

Pour ajouter des adaptateurs F@ST PLUG dans votre réseau accessibles via le réseau électrique, entrez leur numéro de sécurité et cliquez sur 'Ajouter'.

Le numéro de sécurité (Security-ID) est imprimé sur une étiquette au bas de l'adaptateur.

Numéro de sécurité :

TVJK - PSB4 - DSKF - 5N6Z

Ajouter >

Supprimer <

00:0D:09:01:97:1C (sur cet ordinateur)

< Précédent   Suivant >   Annuler

**SAGEM F@ST PLUG Assistant de configuration**

**Ajouter des adaptateurs F@ST PLUG supplémentaires**  
Ajoutez des adaptateurs F@ST PLUG supplémentaires connectés via le réseau électrique.

Pour ajouter des adaptateurs F@ST PLUG dans votre réseau accessibles via le réseau électrique, entrez leur numéro de sécurité et cliquez sur 'Ajouter'.

Le numéro de sécurité (Security-ID) est imprimé sur une étiquette au bas de l'adaptateur.

Numéro de sécurité :

-  -  -

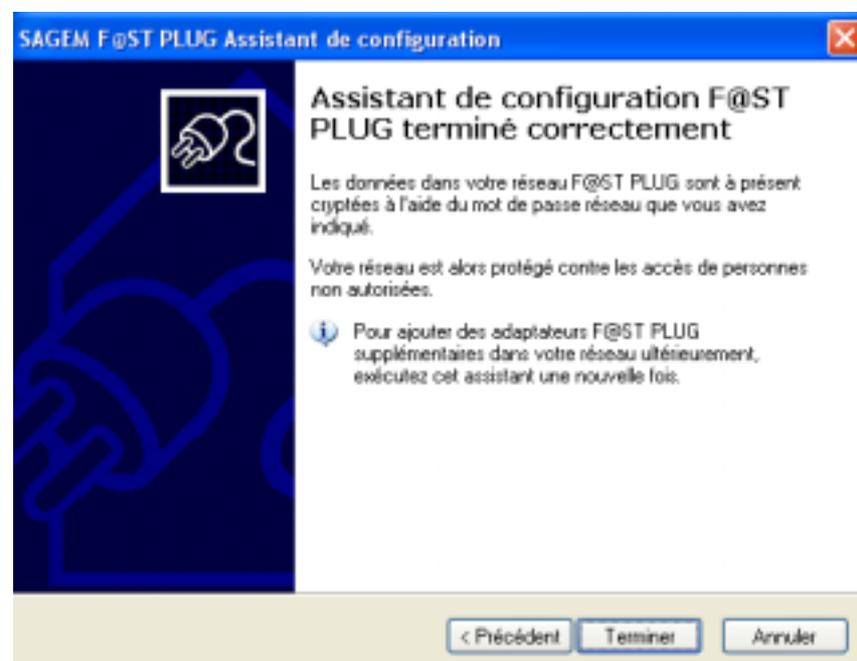
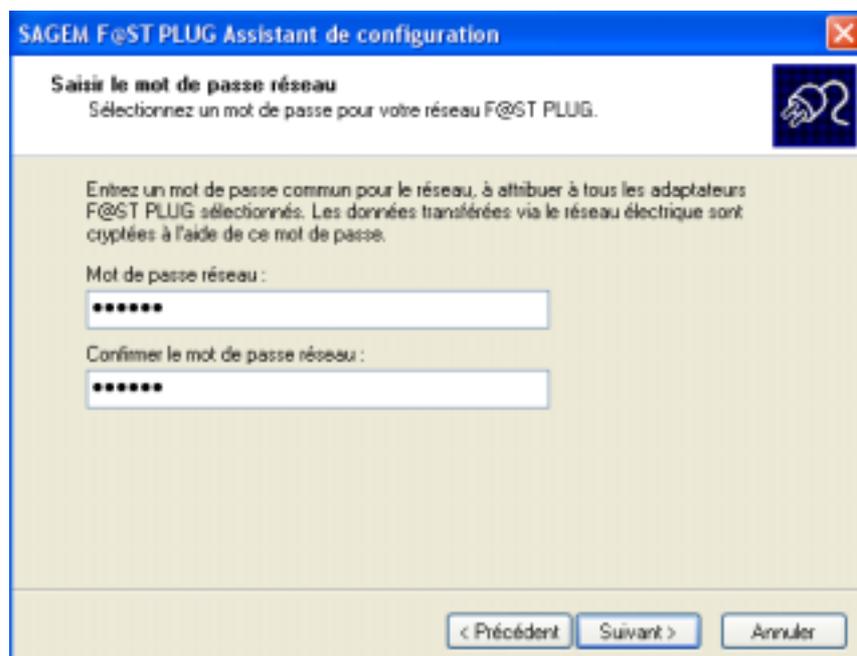
Ajouter >

Supprimer <

00:0D:09:01:97:1C (sur cet ordinateur)  
00:0D:09:01:96:AA (via le réseau électrique)

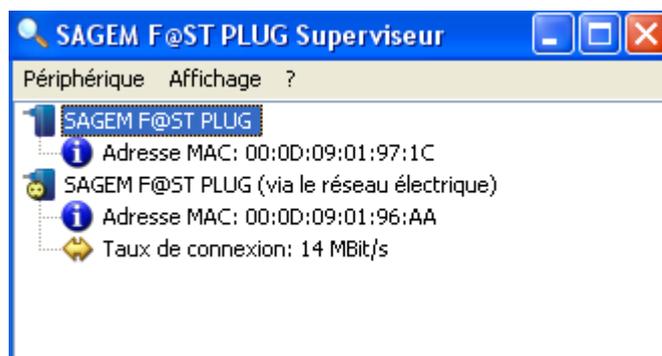
< Précédent   Suivant >   Annuler

Enfin, la dernière étape consiste à fournir un mot de passe pour protéger le réseau CPL ainsi créé.



F@ST PLUG Superviseur

Le logiciel de configuration fournit par ailleurs un outil de supervision qui indique les équipements CPL existants sur le réseau :



Il ne reste alors plus qu'à configurer le réseau en attribuant des adresses IP à chaque machine du réseau.

# 5 Avantages et inconvénients

---

## 5.1 Avantages

- Les informations véhiculées sont moins sujettes au piratage qu'avec un réseau radio.
- La façon dont sont échangées les données n'est pas modifiée. Les envois se font sous forme de paquets via le protocole IP.
- Aussi pratique qu'un réseau de type Wi-Fi.
- Cryptage des données plus sûr qu'en Wi-Fi.

## 5.2 Inconvénients

- Les précautions à prendre sont un peu contraignantes.
- Média qui présente un environnement perturbé.

# Conclusion

---

Le Courant Porteurs en Ligne est une nouvelle technologie réseau qui émerge.

La mise en place d'un réseau CPL est rapide et peu coûteuse dans la mesure où il utilise le réseau électrique existant pour transporter des données ; toutes les prises électriques devient alors un accès potentiel au réseau.

Certes, le débit de la norme Home Plug 14 Mbps/s demeure assez bas. Mais un réseau CPL peut être une solution pour partager un accès à un Internet en complément d'un réseau traditionnel, entre quelques utilisateurs. En effet, les informations sont échangées de la même manière que sur un réseau local de type ethernet, c'est à dire sous forme de paquets IP. Les CPL peuvent donc compléter une transmission sans fil Wi-Fi.

Enfin, le standard Home Plug va laisser place à une nouvelle version, le Home Plug AV, début 2005. Elle devrait porter le débit théorique à 100Mbps/s. Elle sera dédiée au transport des flux multimédias.

# Glossaire

---

**Homeplug 1.01** : label délivré par le consortium Homeplug Powerline Alliance. Il garantit la compatibilité des produits CPL. Même de marques différentes, les adaptateurs savent communiquer entre eux.

**Boucle locale électrique (outdoor en anglais)** : utilisation de la technologie du CPL pour offrir des accès à haut débit sur une ville ou un quartier non irrigués par l'ADSL.

**Réseau local électrique (indoor en anglais)** : utilisation de la technologie du CPL pour créer un réseau local Ethernet.

**Internet Powerline**: Utilise les lignes électriques pour apporter Internet aux habitations par l'intermédiaire d'un fournisseur d'accès.

**Mbps**: La vitesse de transmission de données est mesurée en millions de bits (8 octets) par seconde.

**Power Packet**: PowerPacket est une technologie utilisant la même ligne électrique qui apporte l'électricité à l'ordinateur pour le mettre en réseau avec d'autres ordinateurs dans une habitation ou un bureau. PowerPacket utilise le procédé appelé Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) pour manipuler les hautes vitesses de transmission de donnée. OFDM détecte les changements dans la ligne électrique et maintient le réseau lors des fluctuations d'énergie.

# Bibliographie

---

L'ordinateur Individuel N°157

<http://fdigallo.online.fr/cours/cpl.pdf>

<http://www.commentcamarche.com>

<http://www.rennes.supelec.fr/ren/perso/ylouet/ofdm.html>

<http://www.cpl-france.org>

<http://www.oxance.com>