



Nouvelles Technologies Réseaux

Les courants Porteurs en Ligne



Professeur Responsable : Etienne DURIS
Février 2005

Loïc Heuzé
Woollams Kwame
Zidouri Hakima



Introduction

Ce document décrit la technologie des Courants Porteurs en Ligne(CPL) ou Power Line Carrier (PLC). Basée sur l'utilisation des réseaux électriques, le CPL est un moyen rapide de mettre un place un réseau local.

L'étude de cette technologie se fera en trois parties. Tout d'abord une présentation rapide du CPL ainsi que des textes de loi qui la régissent. Ensuite l'explication des différentes architectures possibles sera abordée. Enfin on s'attardera sur la technologie elle-même avec l'approfondissement des techniques de modulations utilisées pour en tirer les avantages et les inconvénients de la mise en place d'un tel réseau.



Sommaire

INTRODUCTION	1
<hr/>	
SOMMAIRE	3
<hr/>	
A. PRESENTATION	5
<hr/>	
I. QU'EST CE QUE LE CPL?	5
II. HISTORIQUE DE LA TECHNOLOGIE CPL	5
III. STANDARDISATION	6
IV. CADRE JURIDIQUE ET REGLEMENTATION	7
V. APPLICATIONS ET PRINCIPES DE FONCTIONNEMENT	8
	8
B- ARCHITECTURE DES COURANTS PORTEURS EN LIGNE	9
<hr/>	
I. DEUX TYPES D'ARCHITECTURES	9
I.1 OUTDOOR : ACCES EXTERIEUR	9
I.2 INDOOR : ACCES INTERIEUR	10
II. LES BESOINS TECHNIQUES (POUR LE INDOOR)	11
II.1 MISE EN PLACE D'UN RESEAU LOCAL	11
II.2 PARTAGE D'UNE CONNEXION INTERNET	12
III. LA SECURITE SUR LE COURANT PORTEURS EN LIGNE	13
C. TECHNOLOGIE	14
<hr/>	
I. CANAL DE TRANSMISSION ET FREQUENCES	14
II. METHODES DE COUPLAGE AU RESEAU ELECTRIQUE	15
II.1 LE COUPLAGE CAPACITIF	15
II.2 LE COUPLAGE INDUCTIF	16
III. TECHNIQUES DE MODULATION DE DONNEES	17
III.1 LA MODULATION OFDM (ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING)	17
III.2 SS SPREAD SPECTRUM : MODULATION A ETALEMENT DE SPECTRE	18
	18
III.3 COMPARAISON OFDM ET SS PAR RAPPORT A LA MONTEE EN DEBIT	19
IV. LIAISON DE DONNEES	20
IV.1 LA METHODE D'ACCES CSMA/CA	20
V. LES DEBITS	21
VI. LES LIMITES ET LES EVOLUTIONS	22
D. LE CPL : BIEN OU PAS?	24
<hr/>	
I. LES AVANTAGES	24
II. LES INCONVENIENTS	25



<u>CONCLUSION</u>	27
<u>GLOSSAIRE</u>	28
<u>REFERENCES</u>	29
<u>ANNEXES</u>	30
ANNEXE 1 : UTILISATION ET CONFIGURATION DES BOITIERS HOMEPLUGS.	30
ANNEXE 2 : CAPTURE AVEC ETHEREAL	33



A. Présentation

I. Qu'est ce que le CPL?

Les CPL (Courants Porteurs en Ligne) sont une norme de transmissions de signaux numériques. Ils concernent toute technologie qui vise à faire passer de l'information à bas/haut débit sur les lignes électriques en utilisant des techniques de modulation avancées.

Les CPL sont principalement utilisés dans le domaine informatique pour créer un réseau local haute vitesse en utilisant les prises de courant électrique. Mettre en place un tel réseau ou partager une connexion Internet entre plusieurs ordinateurs devient beaucoup plus simple, il suffit d'utiliser le réseau électrique qui existe déjà.

Les CPL offrent aux utilisateurs un large éventail d'applications et de services comprenant l'Internet haut débit, la voix sur IP, les services multimédias. Ils s'adressent généralement à des professionnels mais des offres "grand public" commencent à être proposées. Ces offres comprennent en général une borne qui doit être reliée d'une part à la prise électrique d'autre part à la carte réseau de l'ordinateur (carte Ethernet). Selon les pays, les institutions, les sociétés, les courants porteurs en ligne se retrouvent sous plusieurs mots-clés différents :

- **CPL** (*Courants porteurs en ligne*)
- **PLC** (*Powerline Communications*)
- **PLT** (*Powerline Telecommunication*)
- **PPC** (*Power Plus Communications*)

II. Historique de la technologie CPL

C'est une technologie qui existe depuis longtemps, mais qui n'était utilisée qu'à bas débit pour des applications permettant de piloter à distance des appareils électriques comme les éclairages publics par exemple. Une telle utilisation du CPL est fréquente **dans les années 1950**. On utilisait alors la fréquence 10 Hz avec une puissance de 10 kW

Au milieu des années 80, des recherches sont effectuées dans le but d'utiliser le réseau électrique comme un support pour le transport de données. La bande de fréquence utilisée est alors élargie (5 à 500 kHz). Les transmissions sont faites de manière unidirectionnelle.

En 1997 les premiers tests de transmission de signaux de données sur réseau électrique en bidirectionnel sont effectués.

En Mars 2000, une alliance est passée entre une dizaine de grands groupes industriels notamment ceux représentant les producteurs d'électricité afin de mettre en place de spécification pour le CPL. Parmi ces groupes industriels on retrouve EDF, France Telecom, Motorola, Sony, ST&T... De cette alliance née une spécification le HomePlug 1.0 en Juin 2001.



L'an 2000 voit aussi la création de l'association PLCForum dont le but est de promouvoir le CPL en Europe. Une association similaire, PLCA, est créée **en 2001** pour la promotion du CPL en Amérique du Nord.

De nombreux tests ont été effectués en vraie grandeur, à Fribourg (Suisse) **en 2001** sous le contrôle de l'OFCOM (Office Fédéral de la Communication).

Un autre test de grande envergure est lancé à Saragosse **en 2002** sur plus de 300 immeubles

En France, EDF n'est pas autorisé à faire un travail de fournisseur réseau de manière directe. Il a donc créé une filiale Edev CPL **en Mai 2003** pour exploiter cette technologie.

1^{er} Janvier 2004, la commission Européenne lance le projet Opera (Open PLC European Research Alliance) sur 4 ans et un budget de 20 Millions d'Euros (9M de la part de l'union européenne) dans le but de proposer une norme d'ici la fin de l'année 2004 puis d'effectuer des tests.

III. Standardisation

Les CPL se trouvent à la frontière de plusieurs domaines concernant différents corps de réglementation:

- L'électricité
- Les télécommunications
- La Compatibilité Electro Magnétique
- La gestion du plan de fréquence

Les problèmes de normalisation/standardisation sont donc extrêmement complexes à résoudre.

Il y a donc eu la création d'une association « HomePlug Power Alliance » qui a pour but de normaliser l'essentiel de cette technologie. Cette association met en place des spécifications et sort le standard *Homeplug V1.0.1*. Tous les équipements commercialisés à ce jour pour le grand public sont des produits « Homeplug ».

Le standard « Homeplug » est le seul standard qui existe, il est américain. Il n'existe pas encore de standard au niveau européen. Le Homeplug ne concerne que les installations « indoor » qui ne sont pas interopérables avec les installations « outdoor » existantes à ce jour.

D'autres standards verront bientôt le jour afin de régler cette incompatibilité entre les deux types d'équipements.

IV. Cadre juridique et réglementation

Toutes les technologies qui travaillent sur une bande de fréquence définie doit être incluses dans un cadre juridique. Les réseaux CPL sont à la fois des réseaux électriques et des réseaux de télécommunication, ce qui fait que les autorités ont du mal à définir leur cadre juridique précis.

Voici des extraits de textes de lois concernant ces deux types de réseaux :

- Définition d'un réseau de télécommunications : « Toute installation ou tout ensemble, soit la transmission, soit la transmission et l'acheminement de signaux de télécommunications ainsi que l'échange des informations de commande et de gestion qui y est associé, entre les points de terminaison du réseau » (article L32 du code des télécommunications, point n°2).
- Définition relative à un réseau électrique : Un réseau électrique peut être qualifié de réseau de télécommunication quand la mise en place et l'activation d'équipements émule le réseau en permettant la transmission de signaux de télécommunication.

Il est à noter que les textes de loi diffèrent qu'il s'agit d'un réseau CPL « indoor » ou « outdoor »

- Les services CPL « indoor » sont des réseaux dits « internes » : « On entend par réseau interne un réseau indépendant entièrement établi sur une même propriété, sans emprunter ni le domaine public –y compris hertzien- ni une propriété tierce » (article L32, point n°5).
 - **Un réseau interne est libre d'activité et peut être établi librement sans demande d'autorisation préalable auprès de l'ART.**
- ◆ Les services CPL « outdoor », eux, sont des réseaux dits « ouverts au public » (article L32, point n°3). Ils doivent répondre aux exigences de l'article L33-1 du code des postes et télécommunications.
 - Cet article soumet en particulier l'activité des opérateurs de réseaux ouverts au public à un régime d'autorisation préalable, et ce quelle que soit la technologie utilisée.
 - **Cependant, tant qu'une technologie n'est pas mature, que ce soit sur le plan technique et économique, le réseau mis en place doit faire l'objet d'une demande préalable d'autorisation, mais à titre expérimental, conformément à l'article L33-1.**
 - Cette autorisation est donnée sur une zone géographique très restreinte, et un bilan doit être fait au bout de 6 mois.

En résumé, le réseau CPL « indoor » est libre (sous réserve de ne pas créer de nuisances).

Pour les réseaux « outdoor », c'est-à-dire les installations extérieures, il faut demander l'avis de l'ART (Autorité de Régulation des Télécommunications) qui régule tout ce qui est réseaux de télécommunications.



V. Applications et principes de fonctionnement

Le principe des CPL consiste à superposer au signal électrique de 50 Hz (fréquence du courant électrique qui est délivré par les prises électriques) un autre signal à plus haute fréquence (bande 1,6 à 30 MHz) et de faible énergie. Ce deuxième signal se propage sur l'installation électrique et peut être reçu et décodé à distance.

Le décodage est effectué par des récepteurs CPL. Un coupleur intégré en entrée des récepteurs CPL élimine les composantes basse fréquence avant le traitement du signal.



B- Architecture des Courants porteurs en Ligne

Le réseau CPL permet d'étendre un réseau local Ethernet existant ou bien de partager un accès Internet Haut Débit et ce à travers toutes les prises électriques d'un même bâtiment.

On utilise donc l'infrastructure électrique existante et il n'y a pas besoin de câblage supplémentaire.

I. Deux types d'architectures

Le réseau CPL peut être mis en oeuvre sous deux types d'architectures : OUTDOOR et INDOOR.

I.1 OUTDOOR : accès extérieur

Lorsqu'on parle d'OUTDOOR pour les CPL, on est dans la logique dit « Accès dernier kilomètre » pour un accès Internet à Haut Débit : à partir du transformateur jusqu'au domicile.

Il s'agit ici d'un couplage à réaliser au niveau du transformateur (Moyenne Tension/Basse Tension) : couplage entre l'accès Internet Haut Débit (fibre optique, ligne spécialisée...) et le réseau de distribution Basse Tension.

Cette mise en oeuvre doit donc se faire alors avec la coopération du distributeur d'électricité et d'un fournisseur d'accès Internet.

De cette manière toute la zone desservie par le transformateur (habitations ou entreprises) peut bénéficier de cet accès distribué via le réseau électrique.

Les zones rurales

Ainsi, pour les zones rurales dépourvues d'accès Haut Débit, cette solution peut devenir une alternative, et peut être amenée à remplacer ce qu'on appelle « la boucle locale ».

Actuellement, EDF n'ayant pas l'autorisation d'être opérateur de télécommunications, l'OUTDOOR n'existe qu'au point de vue expérimental.

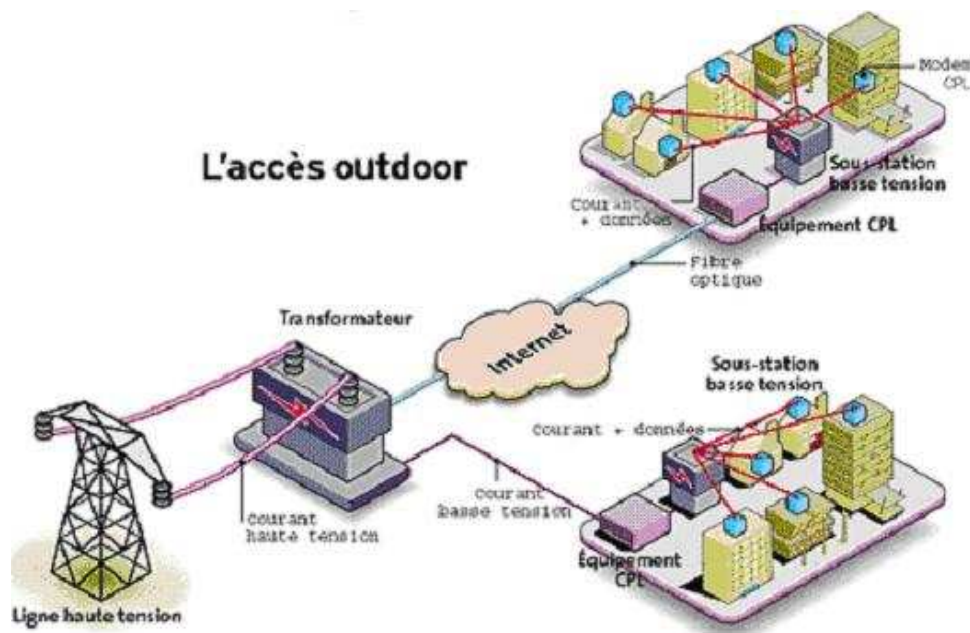


Illustration 1 : Schéma d'une configuration de CPL en OUTDOOR

Description de la configuration OUTDOOR :

- Une connexion Internet est mise en place au niveau des lignes électriques moyenne tension ;
- Des équipements CPL sont mis en oeuvre sur plusieurs sites ;
- Chaque utilisateur accède à Internet depuis sa ligne électrique via son équipement CPL.

I.2 INDOOR : accès intérieur

Lorsque l'on parle d'INDOOR pour les CPL, il s'agit de l'intérieur d'un bâtiment, que ce soit une maison, un appartement, une entreprise, c'est une prolongation du réseau local ou/et de l'accès haut débit existant.

Ce type d'architecture couvre la zone privée de la distribution électrique Basse Tension (derrière un compteur monophasé en général, triphasé dans le cas du résidentiel par exemple).

Mise en oeuvre INDOOR

La mise en oeuvre d'une solution CPL en intérieur demande au niveau informatique comme configuration minimum un PC avec carte Ethernet ou une prise USB selon le choix du boîtier.

De cette manière, il est possible d'étendre le réseau local et l'accès Internet sur toutes les prises électriques du bâtiment, en partant tout simplement d'un PC avec accès Internet (ou bien d'une architecture plus complexe avec Routeur et Serveur).

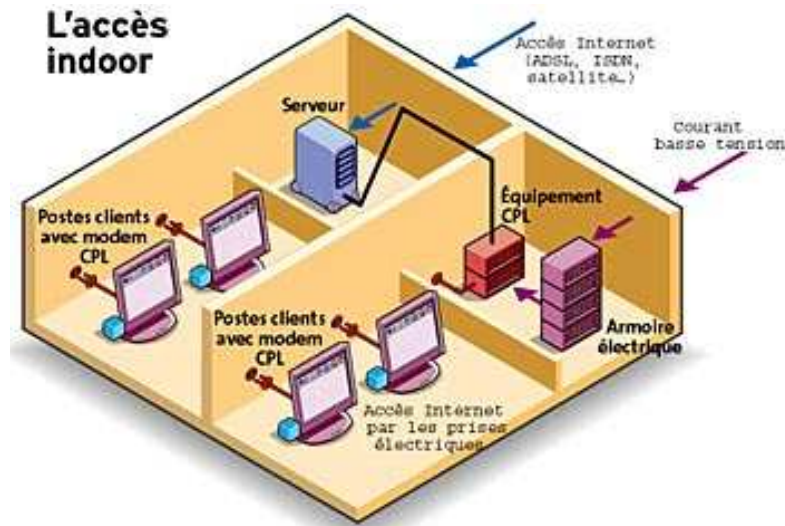


Illustration 2 : Schéma d'une configuration de CPL en INDOOR

Description de la configuration INDOOR :

- On dispose d'un serveur/routeur ayant accès à Internet ;
- Le serveur/routeur est branché à un équipement CPL au sein de l'habitation ;
- Chaque poste client est branché sur un boîtier CPL, relié à une prise électrique de l'établissement.

Ainsi chaque poste dispose d'un accès internet.

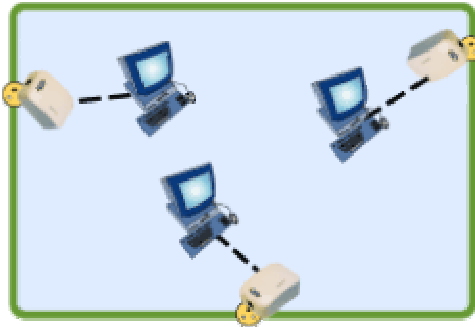
II. Les besoins techniques (pour le INDOOR)

II.1 Mise en place d'un réseau local

La mise en place d'un réseau local par CPL ne demande que peu de moyen technique.

Par exemple pour faire communiquer deux ordinateurs en utilisant le courant porteur en ligne, il suffit d'avoir deux adaptateurs CPL et deux ordinateurs.

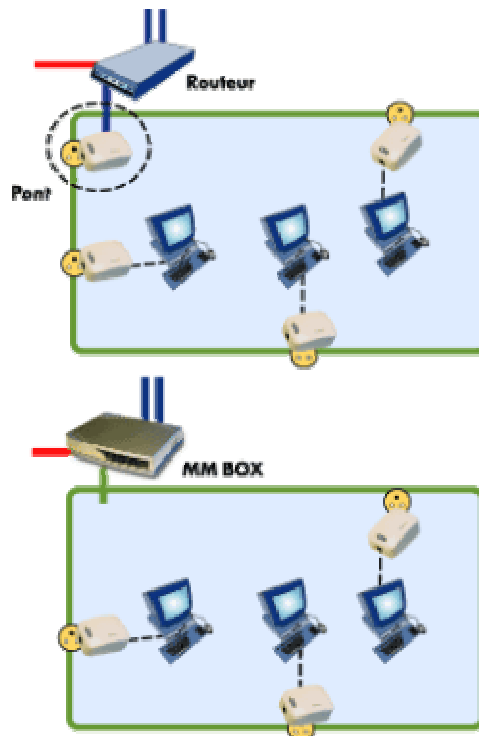
Les adaptateurs doivent être branchés au secteur, et chaque ordinateur se voit relié au boîtier via un câble Ethernet croisé ou USB. L'utilisation d'un câble Ethernet ne requiert aucune installation supplémentaire (par exemple un pilote).



II.2 Partage d'une connexion Internet

Pour les connexions Internet, il faut insérer un matériel entre la connexion et le réseau CPL.

Avec un matériel de type Routeur-modem ADSL, il « suffit » de le connecter à un adaptateur pour permettre aux matériels sur le réseau CPL de se partager l'accès à Internet.





III. La sécurité sur le Courant Porteurs en Ligne

Les données circulent dans toute l'installation électrique de l'habitation (lieux/bâtiments...). De cette manière, on se pose la question de savoir si le compteur électrique peut constituer un élément d'insécurité.

En effet quiconque peut se brancher sur la ligne, venir écouter et « espionner » le réseau.

Un moyen mis en place pour renforcer la sécurité au niveau des équipements homologués HomePlug est le cryptage DES qui possède une clé de 56 bits.

Algorithme DES :

Le D.E.S. est un système de chiffrement par blocs. Cela signifie que D.E.S. ne chiffre pas les données à la volée quand les caractères arrivent, mais il découpe virtuellement le texte clair en blocs de 64 bits qu'il code séparément, puis qu'il concatène.

Un bloc de 64 bits du texte clair entre par un côté de l'algorithme et un bloc de 64 bits de texte chiffré sort de l'autre côté.

L'algorithme est assez simple puisqu'il ne combine en fait que des permutations et des substitutions. On parle en cryptologie de techniques de confusion et de diffusion.

C'est un algorithme de cryptage à clef secrète. La clef sert à la fois à crypter et à décrypter le message. Cette clef a ici une longueur de 64 bits, c'est-à-dire 8 caractères, mais seulement 56 bits sont utilisés (on peut donc éventuellement imaginer un programme testant l'intégrité de la clef en exploitant ces bits inutilisés comme bits de contrôle de parité).

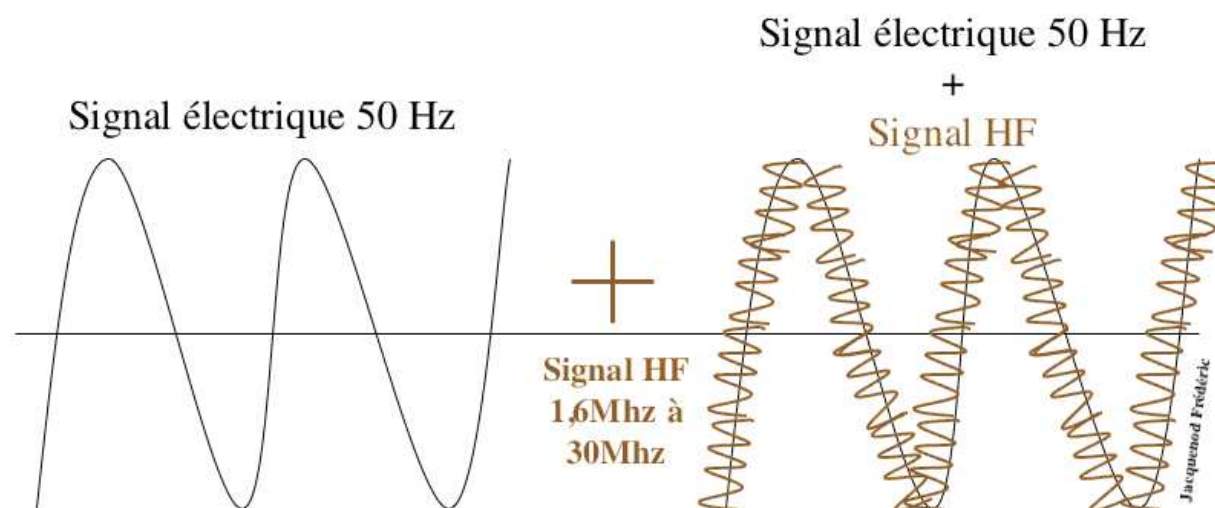
C. Technologie

I. Canal de Transmission et fréquences

Le principe des CPL est utilisé depuis des dizaines d'années pour propager de l'information sur les lignes électriques. Par exemple, EDF utilise un signal CPL à 175 Hz pour faire basculer les compteurs électriques d'un poste tarifaire à l'autre : jour/nuit, été/hiver, etc.

La nouveauté a été l'application des technologies les plus modernes du traitement numérique de signal aux Courants Porteurs en Ligne. Les premiers tests ont rapidement montré que des débits de plusieurs mégabits par seconde étaient accessibles avec la technologie CPL.

La technologie des Courants Porteurs en Ligne (CPL) consiste à superposer au signal électrique "classique" (50 Hz), un 2ème signal à plus haute fréquence (de 1 à 30 MHz) et de faible énergie (<0,5 V) ce signal se propage sur l'installation électrique et qui peut être reçu et décodé à distance.



Pour éviter toutes confusions avec d'éventuels parasites, le signal peut être transmis jusqu'à 4 fois de suite à quelques millisecondes d'intervalle.

Les adaptateurs CPL, récupèrent le signal et suppriment les fréquences basses (courant) à l'aide d'un coupleur intégré en entrée pour isoler les fréquences hautes (données informatiques) avant de procéder au traitement du signal.

Etant donné que certaines bandes de hautes fréquences sont réservées à l'armée ou aux radio amateurs, les communications à haut débit sur le courant doivent se faire avec le minimum d'effets de rayonnement pour ne pas parasiter les réceptions radio ni perturber



l'usage des autres appareils électriques. Il est donc nécessaire de limiter la puissance de fonctionnement des CPL.

Force est de constater que les câbles électriques ont été développés pour y faire transiter des ondes courtes à basses fréquences (50 ou 60 Hz). Les protections (« blindages ») sont « efficaces » pour ce type d'ondes, et évitent au maximum les parasitages des alentours par le flux de courant.

Par contre, rien n'a été prévu pour empêcher les parasitages des ondes courtes à hautes fréquences (celles du CPL 1,5Mhz à 30Mhz), le câble électrique n'est pas prévu pour cela.

C'est pourquoi de nombreuses voix (sauf celles des industriels), s'élèvent pour dire que le CPL n'est pas sans danger.

La difficulté des CPL consiste donc à assurer un débit suffisant tout en limitant la puissance de fonctionnement des courants porteurs.

La solution : allier un traitement du signal le plus performant possible et effectuer un couplage optimal du réseau CPL au réseau électrique.

II. Méthodes de couplage au réseau électrique

Toute installation de réseau CPL doit être soignée au niveau de l'injection du signal CPL sur le réseau électrique. Il existe deux méthodes de couplage: couplage capacitif en parallèle sur le réseau électrique ou couplage inductif via un tors de ferrite. En ce qui concerne les installations en intérieur (indoor), le couplage capacitif est fait par défaut lorsqu'on branche l'équipement CPL sur la prise électrique. Le problème ne se pose donc que pour les installations en extérieur (outdoor), les réseaux triphasés doivent permettre de transmettre la même qualité de signal sur toutes les phases.

Un bon couplage minimise les effets de rayonnement et optimise la qualité du signal sur le réseau et sur toutes les phases si l'on est en triphasé.

II.1 Le couplage capacitif

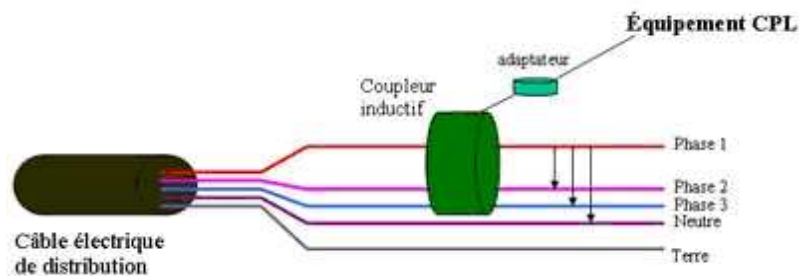
- Le couplage capacitif est le plus utilisé pour le CPL indoor, il est natif dans les adaptateurs pour des réseaux monophasés.
- Lorsqu'on couple le signal CPL au réseau via une prise électrique, on fait du couplage capacitif : l'équipement est branché en parallèle sur le départ.
- Le couplage capacitif peut se faire au niveau du tableau électrique pour un réseau triphasé, mais doit être réalisé par un électricien.



Le coupler de phase CPL3PH d'Oxance permet le couplage des phases L1, L2, L3 et le neutre. Ceci permet ensuite de faire passer le signal HomePlug entre ces 3 phases et le neutre sur les fréquences situées entre 3Mhz et 30Mhz.

II.2 Le couplage inductif

- l'équipement est raccordé sur une phase (ou plusieurs) au réseau par le biais d'une bobine (tore de ferrite). Le signal se propage sur les autres phases et sur le réseau par effet magnétique.
- Ce type de couplage est utilisé quand on injecte sur un réseau triphasé, afin d'avoir la même qualité de signal sur les trois phases.
- Les couplages inductifs sont réalisés avec des coupleurs de marque Eichhoff : ils consistent en un gros tore en deux parties que l'on referme avec du gaffer pour assurer une efficacité maximum du couplage.



- Pour des couplages inductifs en pied d'immeuble, il existe des coupleurs de taille moindre comme le modèle suivant qui s'adapte sur des câbles de section moins importante :



III. Techniques de modulation de données

Il faut donc « tenir » un débit avec un niveau d'émission faible en raison de la limitation de la puissance de fonctionnement des courants porteurs. On doit donc avoir un traitement du signal le plus performant possible permettant de contourner cette contrainte de niveau d'émission.

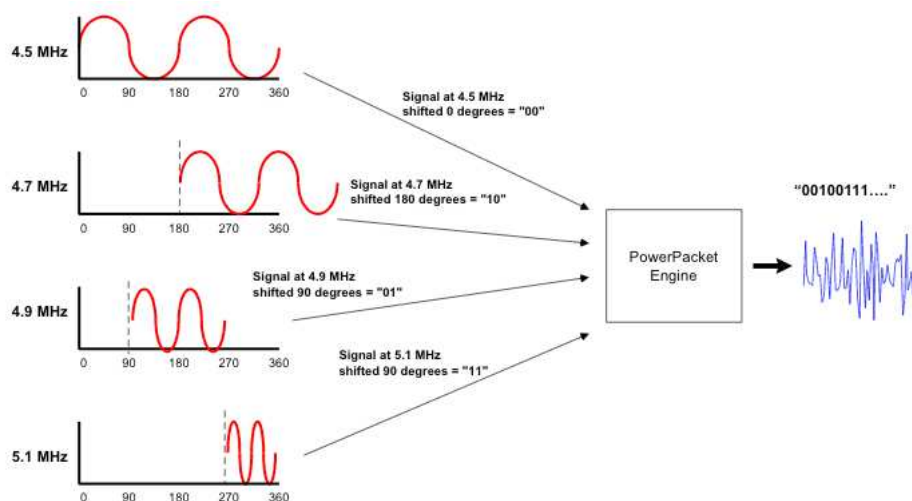
Le principe est de répartir un débit important sur une série de sous porteuses modulées à bas débits. Parmi les solutions actuelles, deux types de modulations ressortent particulièrement : OFDM et Spread Spectrum (ou modulation à étalement de spectre).

III.1 La modulation OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

La technique de transmission OFDM est basée sur l'émission simultanée sur n bandes de fréquence (situées entre 2 et 30 MHz) de N porteuses sur chaque bande. Le signal est réparti sur les porteuses : répartition d'un train binaire haut débit en une multitude de trains (ou canaux) modulés à bas débit.

Les fréquences de travail sont choisies en fonction des réglementations, les autres sont « éteintes » de manière logicielle. **Le signal est émis à un niveau assez élevé pour pouvoir monter en débit, et injecté sur plusieurs fréquences à la fois.** Si l'une d'elles est atténuée le signal passera quand même grâce à l'émission simultanée. Le spectre du signal OFDM présente une occupation optimale de la bande allouée grâce à l'orthogonalité des sous-porteuses.

Le schéma suivant tiré de la spécification PowerPacket (<http://www.oxance.com/technologie.html>) montre la façon dont est mis en œuvre cette technologie. Les modulations de fréquences vont de 4Mhz à 21Mhz ce qui représente 84 sous porteuses possibles (dans l'exemple cela va de 4Mhz à 5Mhz). On retrouve ce principe dans les liaisons sans-fil 802.11a et 802.11g.



La norme HomePlug : cette modulation a été choisie par le comité Homeplug, dont tous les équipements sont en modulation OFDM. Elle utilise une adaptation au canal en optimisant le taux de transfert grâce à une approche adaptative : choix de la modulation des porteuses suivant l'état du lien, pour réduire le taux d'erreur. Homeplug autorise les choix suivants : DBPSK $\frac{1}{2}$, DQPSK $\frac{1}{2}$, DQPSK $\frac{3}{4}$ ainsi que le mode ROBO (mode robuste, chaque bit répété 4 fois) pour les liens difficiles et pour la transmission des trames multicast.

Les débits bruts varient en fonction du choix de la modulation, de 14Mb/s environ pour le DBPSK $\frac{1}{2}$ à 1 Mb/s pour le mode Robo.

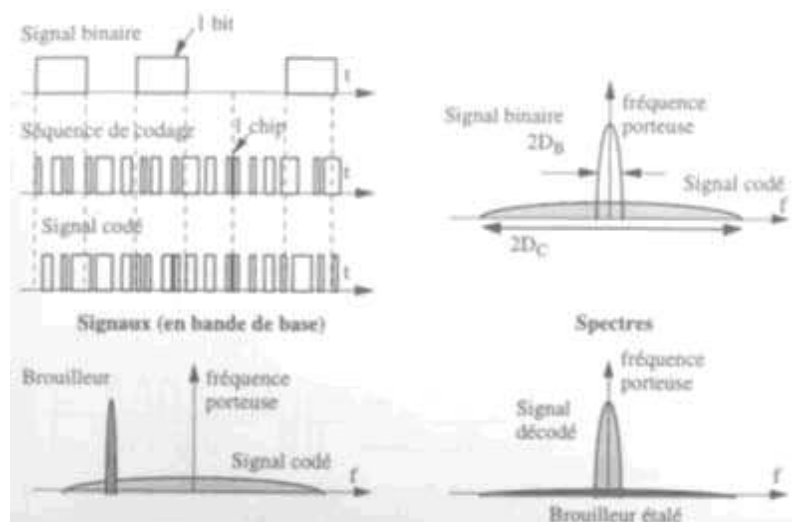
Cette modulation est également utilisée pour les transmissions sans fil [WiFi](#) (802.11a).

III.2 SS Spread Spectrum : Modulation à étalement de spectre

Le principe de la modulation à étalement de spectre (Spread Spectrum) 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 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. Le signal étant émis à un niveau plus faible que celui du bruit, le débit reste faible. La modulation avec étalement de spectre est ainsi optimisée pour lutter contre le bruit, dont elle limite mieux les effets.

La modulation CDMA (**C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess) est une modulation à étalement de spectre utilisée pour certaines solutions CPL.





III.3 Comparaison OFDM et SS par rapport à la montée en débit

Lorsqu'on fait le point des différentes solutions existantes à ce jour on note que les solutions qui utilisent l'étalement de spectre restent à bas débit, seules les solutions qui utilisent OFDM peuvent monter en débit à ce jour.

Il semble donc intéressant à ce niveau de tenter une explication en partant de la formule sur la capacité d'un canal :

Formule de Shannon-Tuller, capacité d'un canal de transmission :

$$C=B*\log_2(1+S/N)$$

- **C** désigne la capacité du canal en bit/s ;
- **B** représente la bande de fréquences utilisable, elle est définie et limitée par la norme ;
- **S** est la puissance moyenne du signal, elle est définie et limitée par la norme ;
- **N** est la puissance moyenne de bruit.

La capacité d'un canal de transmission est bien dépendante de la bande passante allouée et de la puissance du signal envoyé, donc à signal faible, débit faible.

Ces deux modulations sont très différentes dans leur principe, mais comme elles s'attaquent à deux effets relativement indépendants (bruit pour SS, distorsion pour OFDM), il devient intéressant d'exploiter cette complémentarité pour travailler avec une modulation qui tirerait profit de ces deux techniques.

A ce propos, le projet RNRT « IDILE » en cours actuellement, qui porte sur ce sujet.

Cas de la modulation spécifique DS2

DS2, qui a développé une solution spécifique pour l'outdoor, travaille sur une modulation OFDM sur 4 bandes (à ce jour) réparties sur la bande de fréquence allouée aux CPL : **la bande de travail est choisie suivant les conditions de qualité du réseau électrique**, cela permet ainsi une meilleure adaptabilité pour une performance maximale. La configuration se fait à partir d'un PC branché sur l'équipement CPL dit « tête de réseau », c'est-à-dire l'équipement maître présent au niveau du transformateur.

IV. Liaison de données

Toute solution CPL doit inclure une couche physique robuste mais également un protocole d'accès à la couche réseau efficace. Ce protocole contrôle le partage du média de transmission entre de nombreux clients, pendant que la couche physique spécifie la modulation, le codage et le format des paquets.

La méthode d'accès utilisée par les machines utilisant les courants porteurs en ligne est le **CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)**, c'est-à-dire la même méthode utilisée pour les réseaux sans fils WiFi et non celle dérivée de la topologie bus 802.3 CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection).

Rester en écoute et attendre que le canal soit libre pour émettre. Après l'émission attendre un acquittement pour être sûr de la bonne réception du paquet.

IV.1 La méthode d'accès CSMA/CA

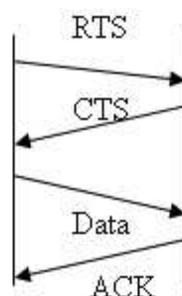
Dans un réseau local Ethernet classique, la méthode d'accès utilisée par les machines est le *CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect)*, pour lequel chaque machine est libre de communiquer à n'importe quel moment.

Chaque machine envoyant un message vérifie qu'aucun autre message n'a été envoyé en même temps par une autre machine. Si c'est le cas, les deux machines patientent pendant un temps aléatoire avant de recommencer à émettre.

Dans un environnement sans fil ce procédé n'est pas possible dans la mesure où deux stations communiquant avec un récepteur ne s'entendent pas forcément mutuellement en raison de leur rayon de portée.

Ainsi la norme 802.11 propose un protocole similaire appelé **CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)**.

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





La station voulant émettre écoute le réseau. Si le réseau est encombré, la transmission est différée.

Dans le cas contraire, si le média est libre pendant un temps donné (appelé *DIFS* pour *Distributed Inter Frame Space*), alors la station peut émettre. La station transmet un message appelé *Ready To Send* (noté *RTS* signifiant *prêt à émettre*) contenant des informations sur le volume des données qu'elle souhaite émettre et sa vitesse de transmission. Le récepteur (généralement un point d'accès) répond un *Clear To Send* (*CTS*, signifiant *Le champ est libre pour émettre*), puis la station commence l'émission des données.

La topologie est celle du bus, tous les postes vont recevoir le RTS ou le CTS. Dès qu'ils l'ont, ils mettent en place un timer qui les empêchera d'émettre pendant la durée estimée de communication indiquée dans le RTS ou le CTS.

Toutes les stations avoisinantes patientent donc pendant un temps qu'elles considèrent être celui nécessaire à la transmission du volume d'information à émettre à la vitesse annoncée.

Après la réception de toutes les données émises par la station, le récepteur envoie un accusé de réception (*ACK*).

Sans l'envoi par le récepteur d'un accusé de réception (Positif *ACKnowledge*) l'émetteur ne transmet pas la suite. S'il ne le reçoit pas il émet à nouveau le paquet au bout d'un certain temps.

Le principe est basé sur le théorème de Backoff exponentiel qui permet en cas de collision détectée de modifier sur les stations le nombre maximum (n) de manière exponentielle. Un nombre x est tiré aléatoirement entre 0 et n . Ce nombre permet d'accéder au support au bout de x durées de temps. Il y a alors beaucoup moins de chance que plusieurs stations aient le même nombre et par conséquent cherchent à communiquer en même temps provoquant alors une collision. Ce nombre correspond au nombre de slot (intervalle) qu'il doit attendre avant de pouvoir émettre. Un slot possède une durée déterminée par le Slot Time.

V. Les débits

Les débits moyens actuels sont situés aux alentours de 14Mbits/s en « indoor » partagés par tous les postes reliés à la même ligne électrique.

L'évolution de la vitesse de transmission est rapide.

En effet en 1998, le débit était de 0,4Mbit/s tandis qu'en 2001 le débit proposé était de 2 Mbits/s théoriques.

Ce débit dépend du type de matériel.



Certains fournisseurs comme Alterlane indiquent des débits de l'ordre de 45Mbits/s.

D'autres comme SpidCom via la technologie FLIP (FLexible Powerline) ont testé des débits à 224 Mbits/s.

Une spécification proposant le 200Mbits/s est en cours d'élaboration par le DS2 et devrait sortir en 2004.

Les spécifications du HomePlug AV, successeur du Home Plug 1.01, indiquent des débits de l'ordre de 45 Mbits/s.

Attention, les chiffres avancés sont à scinder en deux parties.

Les débits en «indoor» (dans la maison, en aval du compteur électrique) sont situés actuellement entre 14Mbits/s et 45Mbits/s théoriques.

Les débits en «outdoor» (entre le compteur et le transformateur général du quartier) sont situés entre 14 Mbits/s et 224 Mbits/s théoriques.

Ces débits sont modulés en fonction de plusieurs critères :

1. La distance entre la prise électrique et le transformateur
2. Le nombre d'utilisateurs connectés
3. Si vous êtes en « indoor » ou en « outdoor »
4. **Le nombre de répéteurs installés entre le transformateur et la prise**

5. La charge du circuit électrique (plus il y a de matériels consommant de l'électricité plus le débit diminue)

6. Le type de matériel utilisé

Tout cela aboutit, en débit réel, à des valeurs plus proches des 2 à 10 Mbits/s à la sortie de la prise. Les valeurs indiquées sont souvent celles obtenues au niveau du câble électrique et non à la sortie de la prise (plusieurs utilisateurs, répéteurs, appareils électrique branchés ...). De plus, la valeur en sortie de prise (2 à 10Mbits/s) sera partagée par tous les matériels connectés à la prise si vous y branchez un concentrateur. Comme pour le WiFi, l'utilisation du cryptage diminue aussi le débit effectif.

VI. Les limites et les évolutions

Les liaisons sont au maximum de 800 mètres en « outdoor » c'est à dire entre votre compteur et le transformateur général (station électrique) de votre quartier (boucle locale). Les fréquences utilisées vont de 1,5Mhz à 30Mhz pour le transport de l'information. Entre 100 et 250 points d'accès « indoor » peuvent être gérés.



La spécification HomePlug 1.01 indique 15 points d'accès maximum par réseau logique. Certains constructeurs comme Oxanxce avec sa gamme PLA proposent déjà jusqu'à 250 points d'accès par réseau logique.

Les liaisons en « indoor » peuvent aller jusqu'à 300 mètres. Les fréquences utilisées vont de 1,5Mhz à 30Mhz.

Pour éviter des perturbations entre le réseau « outdoor » et celui « indoor », les fréquences utilisées peuvent ne pas être les mêmes. Certaines spécifications indiquent d'utiliser en « outdoor » les bandes de fréquences 1,5 MHz à 10 MHz et en « indoor » 10 MHz à 30 MHz. Lorsque l'on voit les spécifications des produits vendus, on s'aperçoit qu'ils utilisent plus généralement en « indoor » les bandes 4 MHz à 21 Mhz.

Le nombre d'utilisateurs en « indoor » varie selon le débit, le matériel utilisé, le nombre de porteuses (modulation de fréquences, multiples spectres ayant une fréquence différente) autorisées. Le Celektron à 14Mbits/s permet d'utiliser 84 porteuses sur le circuit électrique.

La spécification HomePlug 1.01 propose un cryptage DES 56 bits jusqu'à la carte réseau connectée à la prise.

Attention, une fois sorti de la prise, il n'y a plus de cryptage sur le câble ethernet ou sur le câble usb (Universal Serial Bus) qui relie la carte réseau à la prise.

Les liaisons ne peuvent se poursuivre en amont du compteur électrique.

Mise en place de solutions de Qualités de Services (Qos) pour pallier le partage de la bande passante par tous les utilisateurs (ou matériels) connectés sur un même segment électrique.

Les lignes électriques sont soumises à de fortes variations de performance dès que des matériels « gourmands » électriquement y sont connectés.

De plus, même avec des appareils ménagers de moindre importance le débit chute invariablement (démarrage du réfrigérateur, allumage d'un néon ...).

Le principal problème est dû aux parasitages des ondes courtes aux alentours des réseaux CPL mis en place.



D. Le CPL : bien ou pas?

I. Les avantages

Il est indéniable que le CPL possède des avantages non négligeables :

- L'utilisation des câbles électriques évite de refaire du câblage spécifique informatique ou de configurer des connexions Sans-Fil.
- Presque toute la planète utilise l'électricité. Il paraît donc possible simple de faire accéder un très grand nombre de la population aux réseaux informatiques et donc à Internet.
- Cette technologie peut être très utile pour désenclaver des endroits dans lesquels aucune technique ne permet de se raccorder.
- Les débits sont corrects 14Mbits/s et sont en cours d'évolution rapide.
- Il n'est pas nécessaire d'installer de pilotes sur les PC, les matériels sont « autonomes ». Il faut juste configurer sa carte réseau Ethernet ou son port USB.
- Il existe des passerelles vers les autres technologies que sont l'ADSL, le câble, le satellite ...
- Les matériels ne sont pas plus chers que ceux associés à des technologies équivalentes comme le Sans-Fil.
- Les matériels, même si **il n'y a pas de normes**, sont compatibles les uns avec les autres dans leur grand ensemble.
- Les distances permises par le CPL sont importantes (100 à 800 mètres).
- Sécurisation possible avec du DES 56 bits (voir AES (Advanced Encryption Standard) 128 Bits chez certains fournisseurs comme Oxance).
- Le CPL est une technique plus sûre car il est plus difficile d'écouter un câble électrique que de capter une onde hertzienne (WiFi).



- L'utilisation du CSMA/CA plus d'autres techniques vues dans les chapitres précédents permettent, malgré la bande partagée par tous d'éviter un trop grand nombre de collisions.

II. Les inconvénients

Souvent les avantages sont aussi des inconvénients et cela se confirme avec le CPL :

- **Le débit même élevé en «INDOOR», est partagé par tous les matériels connectés à une même ligne électrique.** Plus il y a de matériels, moins le débit sera important.
- **Ce problème se retrouve en «OUTDOOR», où le point d'accès global (pour un immeuble, pour la boucle locale ...) est aussi partagé par tous les utilisateurs connectés.**
- L'installation est simple si elle est basique. Mais dès qu'on lance la configuration des outils avancés, des connaissances réseaux sont nécessaires comme avec toutes technologies réseau que ce soient du WiFi, du câble ...
- **Le manque de norme,** même si, la spécification HomePlug est prise en compte est un frein au développement réel de cette technologie.
- **La sécurisation proposée est faible.** 56 Bits ne représente que 7 octets. Le sans-fil même avec des cryptages plus importants (128 voir 256 bits) est une solution peu sécurisée alors le CPL ...
- La sécurisation via le cryptage ne se fait qu'à l'intérieur du réseau électrique. **Une fois le signal sorti de la prise via l'adaptateur, il n'y a plus de cryptage. Il est donc possible de récupérer les données en clair.** Le tri se fait alors au niveau des couches physiques de la carte réseau en étudiant les en-têtes Ethernet des paquets. **Il est donc possible au moyen d'un « sniffer » de récupérer ces paquets non cryptés.**
- Les limitations qu'elles soient au niveau des distances, du nombre des utilisateurs **connectés à un point d'accès, ou sur les adaptateurs, les débits ... du fait de l'absence de norme ne sont pas clair** et dépendent d'un grand nombre de critères difficiles à évaluer.
- Les débits et les distances dépendent des matériels utilisés, du nombre de connexions, des distances, **des parasitages du réseau électrique ...**



- Les lignes électriques sont soumises à de fortes variations de performance dès que des matériels « gourmands » électriquement y sont connectés.

Un exemple amusant : un particulier se plaint que lorsqu'il passe l'aspirateur, tout le réseau CPL plante du fait de la charge trop importante. La conclusion peut être : « CPL et aspirateur ne font pas bon ménage ».

De plus, même avec des appareils ménagers de moindre importance le débit chute.



Conclusion

Les Courants Porteurs en Ligne deviennent une méthode de plus en plus répandue. En effet, la rapidité de mise en place et le coût font de cette technologie un facteur d'évolution et d'expansion indiscutable.

Avec les Courants Porteurs en Ligne, toutes les prises électriques deviennent un point d'accès réseau potentiel.

Les débits de réseaux locaux CPL seront amenés à augmenter et l'on peut penser que le CPL prendra de plus en plus d'importance au sein du choix d'une solution facile et performante lors de la mise en place d'un réseau local chez un particulier ou encore dans une entreprise.



Glossaire

CPL (*Courants Porteurs en Ligne*) : Technologie permettant de transmettre des informations numériques sur le réseau électrique.

OFCOM (Office Fédéral de la COMmunication) : Il traite des questions liées aux télécommunications et à la radiodiffusion (radio et télévision) et s'occupe de diverses tâches de régulation.

HomePlug Power Alliance : Association chargée de créer des spécifications du CPL. Parmi les adhérents les plus connus du grand public, on retrouve EDF, France Télécom R&D, Belkin, Sony, Mitsubishi, Samsung et Motorola.

Homeplug V1.0.1 : Standard pour les réseaux domestique CPL qui permet de connecter divers appareils électroniques. Cette norme garantit l'interopérabilité des appareils CPL.

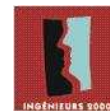
indoor : Se dit des architectures réseau par courant porteur destinées à l'intérieur des bâtiments.

outdoor : Se dit des architectures réseau par courant porteur destinées à l'extérieur des bâtiments (boucle locale).

ART (Autorité de régulation des télécommunications) : Autorité pour l'application des dispositions juridiques, économiques et techniques qui permettent aux activités de télécommunications de s'exercer effectivement.

Boucle locale : La boucle locale est le segment d'un réseau de télécommunications compris entre la prise placée chez l'abonné au réseau, et le commutateur (ou " central ") - appartenant dans tous les cas à France Télécom - auquel il est raccordé.

Ethernet: Câble coaxial utilisé dans les réseaux. Le câble transmet les signaux de fréquence entre les ordinateurs à des vitesses de 10, 100 mégabits ou plus.



Références

Le courant porteur en Ligne :

- <http://www.jacquenod.cicrp.jussieu.fr/jacqueno/Web/Cpl/DHTML/CI-cpl.htm>
- <http://www.supinfo-projects.com/fr/2004/cpl/introduction/>
- <http://www.commentcamarche.net/cpl/cpl-intro.php3>
- <http://www.cpl-france.org/>

Le cryptage :

- <http://lwh.free.fr/pages/algo/crypto/des.htm>

Les définitions :

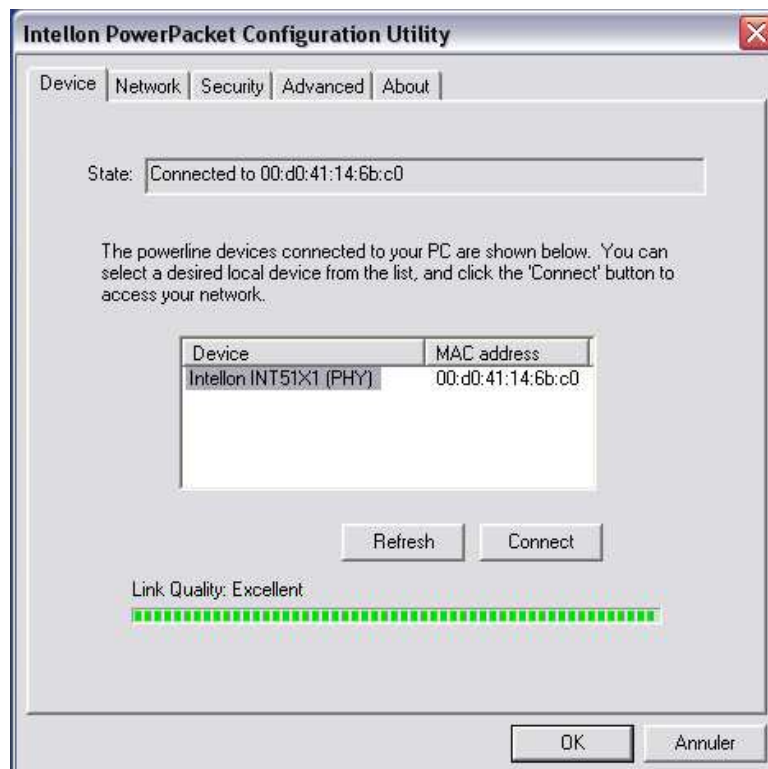
- http://www.internet.gouv.fr/imprimer.php3?id_article=570

Annexes

Annexe 1 : Utilisation et configuration des boîtiers HomePlugs.

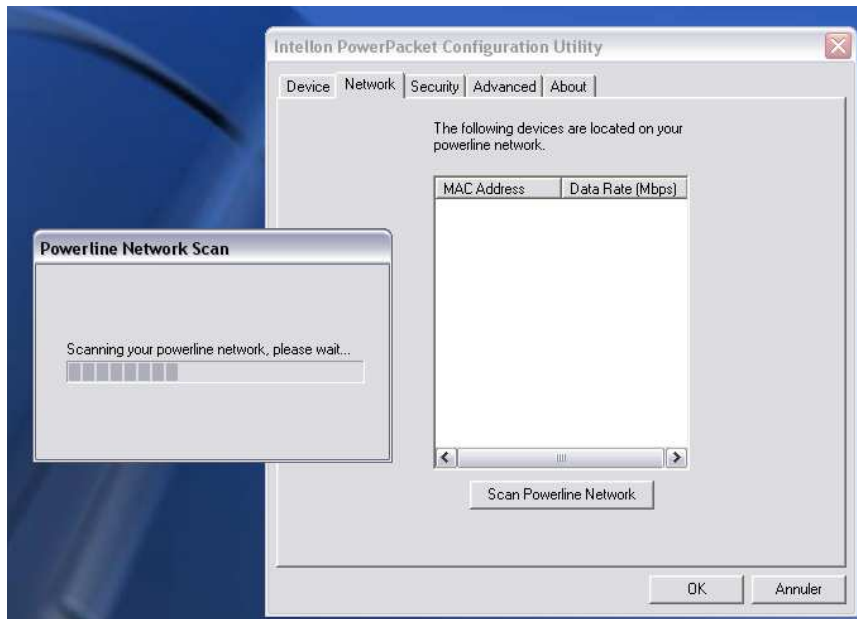
L'onglet Device montre l'ensemble des appareils HomePlugs connectés sur le réseau.

Si plus de deux appareils ont été installés on peut alors sélectionner son préféré et se connecter au réseau.

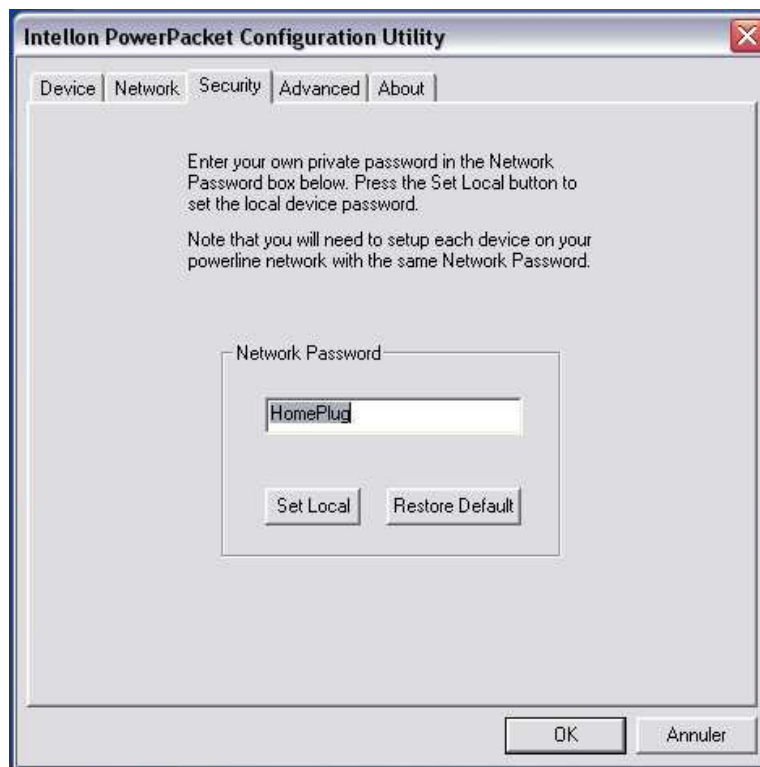




L'onglet Network montre simplement tous les boîtiers présents sur le réseau.

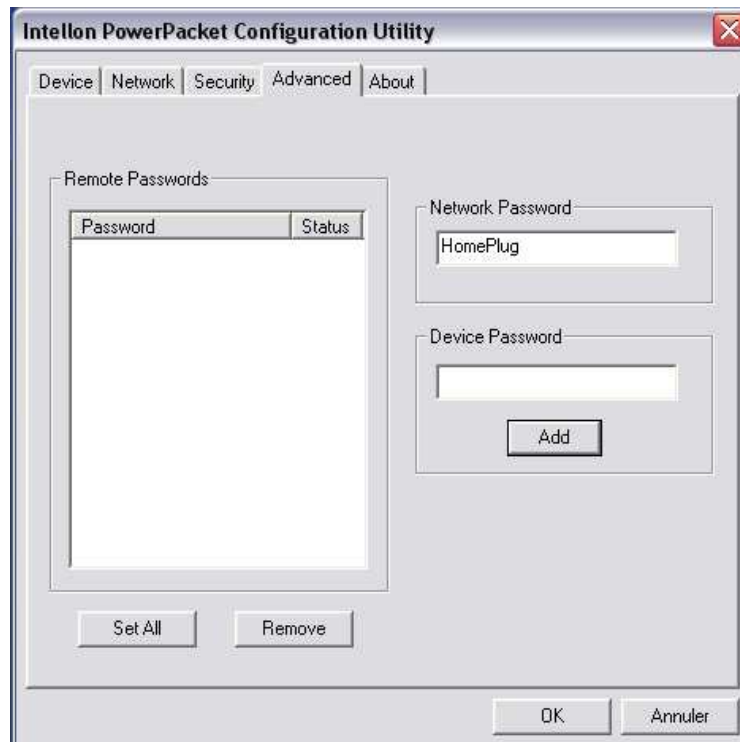


La fenêtre sécurité indique le mot de passé par défaut de la liaison qui est 'ici 'HomePlug''.





Enfin la fenêtre avancé permet d'indiquer le mot de passe de l'appareil éloigné lorsque celui-ci est différent du mot de passe par défaut. Chaque appareil possède un code stipulé sur les étiquettes collées sur les appareils.





Annexe 2 : Capture avec Ethereal

La trace suivante résulte de l'écoute d'un PING entre deux machines inter connectées à l'aide de boîtiers HomePlug courants porteurs. On peut constater que l'échange se passe tout à fait normalement et que les trames circulant sont exactement les mêmes que sur un réseau ETHERNET standard.

No.	Time	Source	Destination	Protocol
11	10.774242	192.168.1.121	Broadcast	ARP

Info
Who has 192.168.1.1? Tell 192.168.1.121

Frame 11 (42 bytes on wire, 42 bytes captured)
Ethernet II, Src: 00:0d:56:f7:a5:43, Dst: ff:ff:ff:ff:ff:ff
Address Resolution Protocol (request)

No.	Time	Source	Destination	Protocol
12	10.780591	192.168.1.1	192.168.1.121	ARP

Info
192.168.1.1 is at 00:06:25:fd:dd:a3

Frame 12 (243 bytes on wire, 243 bytes captured)
Ethernet II, Src: 00:06:25:fd:dd:a3, Dst: 00:0d:56:f7:a5:43
Address Resolution Protocol (reply)

No.	Time	Source	Destination	Protocol
13	10.780611	192.168.1.121	192.168.1.1	ICMP

Info
Echo (ping) request

Frame 13 (74 bytes on wire, 74 bytes captured)
Ethernet II, Src: 00:0d:56:f7:a5:43, Dst: 00:06:25:fd:dd:a3
Internet Protocol, Src Addr: 192.168.1.121 (192.168.1.121), Dst Addr:
192.168.1.1 (192.168.1.1)
Internet Control Message Protocol

No.	Time	Source	Destination	Protocol
14	16.209358	192.168.1.121	192.168.1.1	ICMP

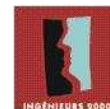
Info
Echo (ping) request

Frame 14 (74 bytes on wire, 74 bytes captured)
Ethernet II, Src: 00:0d:56:f7:a5:43, Dst: 00:06:25:fd:dd:a3
Internet Protocol, Src Addr: 192.168.1.121 (192.168.1.121), Dst Addr:
192.168.1.1 (192.168.1.1)
Internet Control Message Protocol

No.	Time	Source	Destination	Protocol
15	16.211437	192.168.1.1	192.168.1.121	ICMP

Info
Echo (ping) reply

Frame 15 (74 bytes on wire, 74 bytes captured)
Ethernet II, Src: 00:06:25:fd:dd:a3, Dst: 00:0d:56:f7:a5:43



Internet Protocol, Src Addr: 192.168.1.1 (192.168.1.1), Dst Addr:
192.168.1.121 (192.168.1.121)
Internet Control Message Protocol

No.	Time	Source	Destination	Protocol
Info				
16	17.210760	192.168.1.121	192.168.1.1	ICMP

Echo (ping) request

Frame 16 (74 bytes on wire, 74 bytes captured)
Ethernet II, Src: 00:0d:56:f7:a5:43, Dst: 00:06:25:fd:dd:a3
Internet Protocol, Src Addr: 192.168.1.121 (192.168.1.121), Dst Addr:
192.168.1.1 (192.168.1.1)
Internet Control Message Protocol