

Benoît CARREZ
Colin BOUVRY

Master 2 ISIS
Université UVHC



MISE EN PLACE D'UN RESEAU LOCAL DE DIFFUSION MULTIMEDIA SUR COURANTS PORTEURS



Année 2006/2007

Tuteur : François-Xavier COUDOUX



RÉSUMÉ

Ce projet a été réalisé dans le cadre de la formation de Master 2 ISIS à l'université de Valenciennes. Il porte sur une étude du courant porteur qui est aujourd'hui un domaine d'actualité et accessible au grand public. Cette technologie est prometteuse, beaucoup de développements sont en cours. Beaucoup de systèmes sont proposés sur le marché, quant est-il de son débit, de son efficacité et de sa facilité d'utilisation ?

Nous vous proposons dans ce rapport, une étude sur la technologie du courant porteur, sur la mise en place d'un système de diffusion vidéo en streaming et sur la qualité de cette transmission. Ce projet a pour but de comprendre et de mettre en place un système de télécommunication en passant par les problèmes liés à la compression, à la diffusion en streaming et à la robustesse aux erreurs.

Nous tenons à remercier particulièrement Mr Coudoux pour son aide et son suivi tout au long du projet



OBJECTIF

Le laboratoire OAE s'intéresse aux techniques de transmission par courants porteurs, et dispose d'adaptateurs pour ce type de réseau.

Le projet consiste à mettre en oeuvre une chaîne de transmission vidéo utilisant la technologie PLC (Power Line Communications):

- étude de la configuration complète
- mise en oeuvre des adaptateurs
- étude de la partie vidéo
- mesure de la qualité

L'objectif est d'arriver à montrer la faisabilité d'un tel réseau dans le cadre d'une plateforme de démonstration opérationnelle.



SOMMAIRE

1 Introduction aux courants porteurs en ligne.....	6
1.1 Bref historique des CPL.....	6
1.2 Principe de fonctionnement.....	6
1.3 Cadre juridique et réglementation.....	7
1.4 Standardisation.....	7
1.5 La technologie.....	8
1.6 Canal de Transmission.....	8
1.7 Techniques de modulation.....	8
1.7.1 OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing.....	8
1.7.2 SS : Spread Spectrum (Modulation à étalement de spectre).....	9
1.7.3 Comparaison OFDM et SS par rapport à la montée en débit.....	9
1.8 Liaison de données.....	10
1.9 Architecture en intérieur (Indoor).....	10
1.10 Architecture en extérieur (Outdoor).....	11
1.11 Avantages et inconvénients.....	11
1.12 Conclusion	11
2 Matériel Utilisé.....	12
3 Configurations.....	12
3.1 Groupe de travail.....	12
3.2 Adresse IP.....	13
3.3 Partage de fichier.....	13
3.4 Utilitaire de configuration.....	14
3.5 Favoris réseaux.....	14
3.6 Etat de configuration du réseau.....	15
3.7 Ping.....	15
3.8 IP config.....	16
3.9 Test de lecture d'une vidéo sur le réseau.....	16
3.10 Test de débit.....	17
4 Etude de la partie videolan.....	18
4.1 Introduction.....	18
4.2 Diffusion d'un flux vidéo en streaming.....	18
4.3 Configuration de VLC en émission.....	19
4.4 Configuration de VLC en réception.....	20
4.5 Qu'est ce qu'un flux streaming ?.....	21
4.5.1 Modèle OSI.....	21
4.5.2 Configurations utilisées.....	21



5 Mesure du PSNR.....	23
5.1 Introduction.....	23
5.2 Application.....	24
5.3 Problèmes rencontrés.....	25
5.4 Résultats.....	25
5.4.1 Introduction.....	25
5.4.2 Caractéristiques de la vidéo utilisée pour le test.....	25
5.4.3 Résultats des tests effectués à des distances variant de 0 à 7m.....	26
5.4.4 Résultat des tests effectués à une distance de 7m avec perturbations.....	27
5.4.5 Résultat des tests effectués à une distance >9m sans perturbations.....	29
5.4.6 Autres tests.....	29
5.4.7 Conclusion.....	30
6 Références.....	31
7 Conclusion.....	31



1 Introduction aux courants porteurs en ligne

On retient sous l'appellation « *Courants Porteurs en Ligne* » toute technologie qui vise à faire passer de l'information à bas débit ou haut débit sur les lignes électriques en utilisant des techniques de modulation avancées.

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*)

1.1 Bref historique des CPL

La technologie sur courants porteurs existe depuis longtemps, mais elle n'était utilisée qu'à bas débit pour des applications de télécommande de relais, éclairage public et domotique.

Le haut débit sur CPL n'a commencé qu'à la fin des années 1990 :

- **1950** : sur fréquence 10 Hz, puissance 10 kW, unidirectionnel : lumières en ville, télécommande de relais.
- **Milieu des années 80** : début des recherches pour utiliser le réseau de distribution électrique comme support de transport de données, sur la bande 5 – 500 kHz, toujours en unidirectionnel.
- **1997** : premiers tests de transmission de signaux de données sur réseau électrique en bidirectionnel, et début des recherches pour Ascom (Suisse) et Norweb (UK).
- **2000** : premières expérimentations en France par EDF R&D et Ascom.

1.2 Principe de fonctionnement

En effectuant la technologie CPL à Haut Débit, il est possible de faire passer des données informatiques sur le réseau électrique, et ainsi étendre un réseau local existant ou partager un accès Internet existant via les prises électriques grâce à la mise en place de boîtiers spécifiques.

Le principe des CPL consiste à superposer au signal électrique de 50 Hz 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. Ainsi le signal CPL est reçu par tout récepteur CPL qui se trouve sur le même réseau électrique.



Mise en place d'un réseau local de diffusion multimédia sur courants porteurs

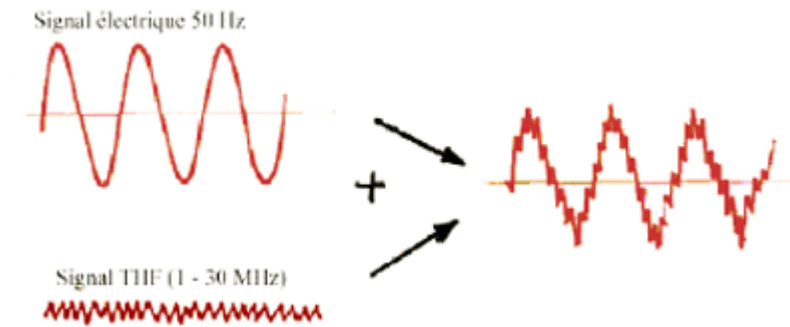


Illustration 1: Principe du modem courant porteur

Un coupleur intégré en entrée des récepteurs CPL élimine les composantes basse fréquence avant le traitement du signal. La technologie CPL permet de transporter des débits jusqu'à 14Mbps sur le signal électrique (50-60Hz/220V) des équipements. Les courants porteurs s'arrêtent au compteur EDF qui filtre le courant et ne laisse pas remonter les informations vers le réseau.

Les applications des produits sont multiples. Il est ainsi possible d'avoir une connexion Internet haut débit par l'intermédiaire d'un modem branché sur une prise de courant, réaliser un réseau LAN, déporter une connexion Ethernet, connecter un téléphone IP sur une prise électrique....

1.3 Cadre juridique et réglementation

Toute technologie qui travaille sur une bande de fréquence définie doit rentrer 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. De plus il n'existe pas encore de réglementation précise pour les équipements et les réseaux CPL. Des travaux sont en cours, notamment avec le [PLC Forum](#) et l'[ETSI](#), mais les résultats n'ont pas encore été publiés.

Ainsi la mise en place de réseaux CPL est libre pour ce qui est des installations derrière un compteur privé (appelé « Indoor » ou « InHome »), sous réserve de ne pas créer de nuisances, auquel cas le matériel doit être retiré. Pour ce qui est des installations extérieures (appelé « outdoor ») où l'on injecte le signal au niveau du transformateur HTA /BT pour des créations de boucles locales électriques, des autorisations d'expérimentation sont à demander auprès de l'ART tant que la technologie n'est pas mature et les normes pas éditées.

1.4 Standardisation

Un seul standard existe et il est américain : le standard *Homeplug V1.0.1*. C'est un standard qui ne concerne que les installations « indoor » et qui n'est pas compatible avec les solutions « outdoor » existantes à ce jour. D'autres standards devraient voir le jour sous quelques mois ou années.

Tous les équipements commercialisés à ce jour pour le grand public sont des produits « Homeplug ».



1.5 La technologie

La technologie PLC est basée sur la transmission de données de type IP au travers des câbles électriques de basse tension (220 - 380 volts). Les premiers problèmes qui ont dû être résolus sont les perturbations et les atténuations au niveau du réseau électrique. Sachant que ceux-ci n'ont pas été conçus à l'origine pour transporter ce type de média, il a fallu plusieurs années avant que des recherches permettent d'obtenir des résultats satisfaisants et de transmettre des données sur des fréquences hautes (en dessus du MHz) sans perturbations.

1.6 Canal de Transmission

Le support du réseau électrique n'a pas été étudié pour transporter des signaux Haute fréquence (HF). Il faut donc prendre en compte les contraintes de ce support pour assurer une bonne transmission de ces signaux HF sans pour autant perturber les appareils environnants, ni les fréquences de la bande 1-30 Mhz par rayonnement, certaines fréquences de cette bande étant réservées à l'armée ou bien aux radioamateurs. Tout ceci doit enfin être étudié pour donner un débit suffisant à l'utilisateur en bout de ligne.

Tout le problème consiste ainsi à limiter la puissance de fonctionnement des courants porteurs tout en assurant un débit suffisant, et limiter les effets du bruit et de la distorsion sur la ligne. La solution : allier un traitement du signal le plus performant possible et effectuer un couplage optimal du réseau CPL au réseau électrique.

Il existe deux méthodes de couplage : couplage capacitif en parallèle sur le réseau électrique ou couplage inductif via un tore 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), beaucoup plus complexes à réaliser.

1.7 Techniques de modulation

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 faut donc « tenir » un débit avec un niveau d'émission faible, d'où limitation de la puissance de fonctionnement des courants porteurs, ou bien traitement du signal le plus performant possible pour contourner cette contrainte de niveau d'émission.

Sur les solutions actuelles, deux types de modulation ressortent particulièrement : OFDM et Spread Spectrum (ou modulation à étalement de spectre).

1.7.1 OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing

Cette modulation a été choisie par le comité Homeplug, donc tous les équipements qui respectent la norme Homeplug sont en modulation OFDM. La modulation OFDM est utilisée également pour le wireless : 802.11a.

Principe :

Emission simultanée sur x bandes de fréquence (situées entre 1 et 30 Mhz) de N porteuses (modulées par exemple en QPSK) sur chaque bande : répartition d'un train binaire haut débit en une multitude de trains (ou canaux) modulés à bas débit. Le signal est donc injecté sur



Mise en place d'un réseau local de diffusion multimédia sur courants porteurs

plusieurs fréquences à la fois, si l'une d'elles est atténuée le signal passera quand même grâce à l'émission simultanée. OFDM résout également les problèmes de distorsion des signaux transmis en apportant une solution au problème des échos multiples que l'on rencontre quand on monte en débit. Le spectre du signal OFDM présente une occupation optimale de la bande allouée grâce à l'orthogonalité des sous porteuses.

Cas de la norme Homeplug :

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.

1.7.2 SS : Spread Spectrum (Modulation à étalement de spectre)

La modulation CDMA (Code Division Multiple Access) est une modulation à étalement de spectre (*Spread Spectrum*) utilisée pour certaines solutions CPL.

Principe :

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.

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.

1.7.3 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.

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

- avec OFDM grâce à cette modulation on choisit les fréquences sur lesquelles le signal est émis, les autres porteuses étant éteintes logiciellement. Ainsi, selon le pays où l'on se trouve les algorithmes sont configurés spécifiquement selon les réglementations d'émission dans la bande 1-30 MHz. Et les porteuses émises le sont à un niveau suffisant pour monter en débit.



Mise en place d'un réseau local de diffusion multimédia sur courants porteurs

- avec SS on reste à bas débit : en effet, la solution ici consiste à émettre le signal à faible niveau, afin de ne pas risquer de perturber les fréquences déjà utilisées (radio émetteurs, pompiers, etc...).

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.

1.8 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.

1.9 Architecture en intérieur (Indoor)

Les solutions CPL commercialisées à ce jour, de type *Homeplug* pour l'indoor, sont des solutions parfaites pour étendre le réseau local et partager l'accès Internet haut débit existant, notamment à la maison ou en petite entreprise, avec une mise en œuvre simple. Les boîtiers CPL se présentent en général avec un port Ethernet ou USB suivant le modèle choisi, et une connexion vers la prise électrique.

La mise en œuvre 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.

- Pour la mise en place d'un boîtier Ethernet, l'installation est équivalente à celle d'un réseau local Ethernet filaire.
- Pour la mise en place d'un boîtier USB, la configuration se fait via le pilote fourni, une carte réseau virtuelle est alors à configurer comme la carte Ethernet en réseau local.

Au niveau électrique, l'installation ne pose aucun souci à l'intérieur d'un logement derrière un compteur monophasé dans la mesure où les adaptateurs se branchent directement sur les prises électriques. En revanche l'intégration est plus complexe dans les immeubles, que ce soit en résidentiel avec une arrivée triphasée et différents compteurs, ou bien dans les bâtiments de grande taille, tels que des collèges, des hôpitaux ou immeubles administratifs. La mise en œuvre d'une solution CPL « étendue » nécessite alors une double compétence : expertise en réseau électrique et en réseau informatique, ainsi que l'utilisation de matériel différent des boîtiers Homeplug vendus pour l'indoor.

La solution grand public actuellement vendue, Homeplug, possède un débit théorique de 14 Mb/s. D'autres solutions existent toutefois avec des débits allant de 2 Mb/s à 45 Mb/s. Une solution à 100 Mb/s a été testée en laboratoire.



Mise en place d'un réseau local de diffusion multimédia sur courants porteurs

Les débits réels se voient amputés de la partie du trafic réservé à la gestion du système. Pour autant les débits obtenus restent suffisants pour la majorité des applications domestiques si on part des 14 Mb/s de Homeplug par exemple.

1.10 Architecture en extérieur (Outdoor)

Des expérimentations sont en cours pour des installations extérieures, avec un couplage entre l'arrivée Internet Haut Débit et le réseau électrique via un transformateur HTA/BT pour la création d'une boucle locale électrique.

1.11 Avantages et inconvénients

Avantages CPL :

- Mobilité grâce à la présence de nombreuses prises d'électricité.
- Progressivité et souplesse : achat des boîtiers au fur et à mesure des besoins.
- Simplicité de mise en œuvre en indoor.
- Stabilité de fonctionnement.
- Complémentaire aux solutions filaires et sans-fils.
- Economie de câblage.

Inconvénients CPL :

- Mise en œuvre et bon fonctionnement dépendant de l'architecture du réseau électrique
- Manque de standardisation et de normes
- Problème d'interopérabilité entre les différents équipements
- Prix à ce jour, marché à développer.
- Tributaire de l'état et de l'architecture du câblage électrique, autant pour la mise en œuvre que pour le bon fonctionnement
- Portée du système.
- Bande passante partagée.
- Coût de l'installation Outdoor: , prix des équipements, coût dépendant de la distance à couvrir et de la qualité du réseau électrique.
- Mise en œuvre Outdoor souvent complexe: manque de méthodes de mise en œuvre, surtout au niveau des couplages au réseau électrique.

1.12 Conclusion

Les solutions CPL peuvent être vues comme des solutions complémentaires ou alternatives aux réseaux filaires traditionnels, aux réseaux sans fils et au VDSL.

Suivant les architectures des réseaux existants, des bâtiments ou des contraintes techniques, l'une ou l'autre des solutions peut être choisie, mais l'on peut également envisager une solution en complément d'une autre.

Les débits des solutions CPL sont amenés à augmenter, le standard Homeplug AV est à l'étude pour diffuser des canaux de télé numérique.

De nombreux projets de recherche portent sur ces solutions et leurs évolutions, tout est à venir, il faut donc suivre de près les informations sur le sujet.



2 Matériel Utilisé

Les adaptateurs utilisés pour effectuer les tests sont des adaptateurs Celektron USB d'interface réseau, qui utilise la ligne électrique 110/120 V ou 220/240 V comme support de communication.

Celektron :

- Permet aux utilisateurs de connecter différents ordinateurs ou autres dispositifs sur un réseau local via les fils électriques du réseau d'alimentation électrique
- Permet le partage de fichiers et d'applications
- Permet le partage de périphériques et d'une imprimante via le réseau de ligne d'alimentation électrique
- Permet l'accès partagé d'Internet à large bande
- Permet de partager la largeur de bande pour des applications multimédia incluant la voix, les données, l'audio et le vidéo
- Permet le jeu sur le réseau
- Élimine la nécessité d'un câblage de données spécial

L'adaptateur Celektron peut atteindre un débit de 14 Mbps. Ainsi ces solutions réduisent les coûts d'entretien et élimine des barrières d'utilisation, sans avoir besoin de câblage supplémentaire. Le produit est complètement intégré et n'exige aucun autre composant électronique externe. Celektron de la gamme B-Wired est une solution rentable et fiable pour les transmissions à haute vitesse au bureau ou à la maison.

3 Configurations

Pour communiquer en réseaux entre 2 ordinateurs, il est nécessaire de configurer l'ordinateur selon plusieurs étapes.

3.1 Groupe de travail

Dans la fenêtre propriétés système de windows et dans l'onglet Nom de l'ordinateur, il faut modifier le groupe de travail sur chaque ordinateur en réseau. Les ordinateurs doivent appartenir au même groupe de travail.

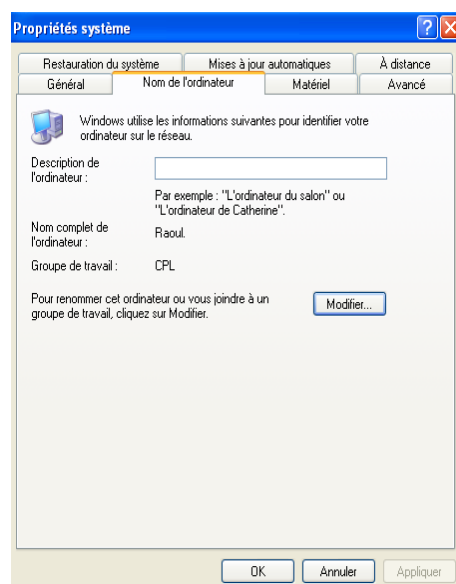


Illustration 2: Groupe de travail



3.2 Adresse IP

Par la suite, il faut configurer une adresse IP dans la fenêtre propriétés de connexion au réseau local en cliquant sur Protocole Internet (TCP/IP). Nous choisissons une adresse non réservé en unicast et un masque sous-réseau 255.255.255.0. Seul le dernier octet de l'adresse IP permet de différencier un ordinateur sur le même réseau.

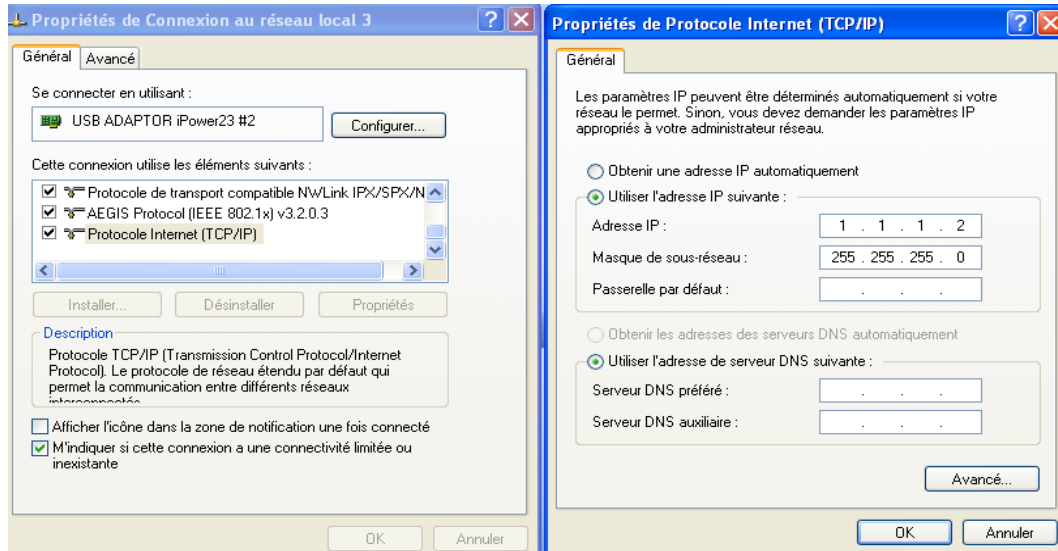


Illustration 3: Propriétés

3.3 Partage de fichier

Une fois la configuration du réseau établie, le partage de fichier deviendra possible. Pour cela, nous cliquons sur un dossier que nous voulons partager et sur le bouton droit, nous choisissons partage et sécurités. Dans la fenêtre propriétés de réseau CPL, il faut cocher Partager ce dossier sur le réseau.

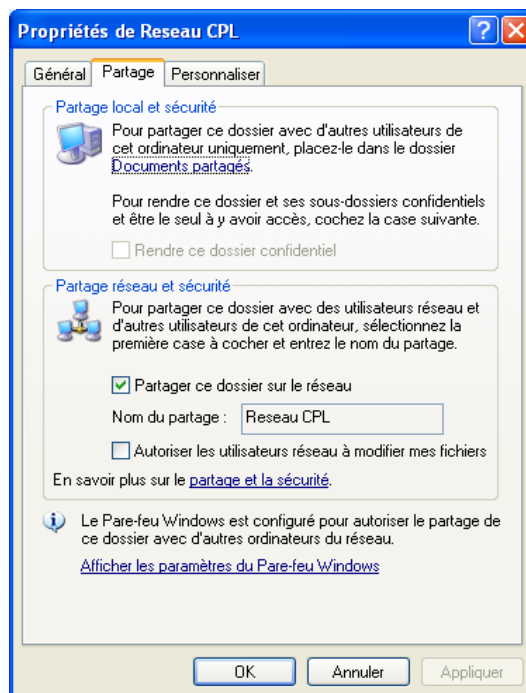


Illustration 4: Partage de fichier



Mise en place d'un réseau local de diffusion multimédia sur courants porteurs

3.4 Utilitaire de configuration

Les deux modems CPL sont installés sur la même multiprise.
Nous utilisons le logiciel de configuration fournie par Celektron. Ce logiciel permet de communiquer avec le MODEM afin de le piloter et d'obtenir des informations sur le réseau CPL.

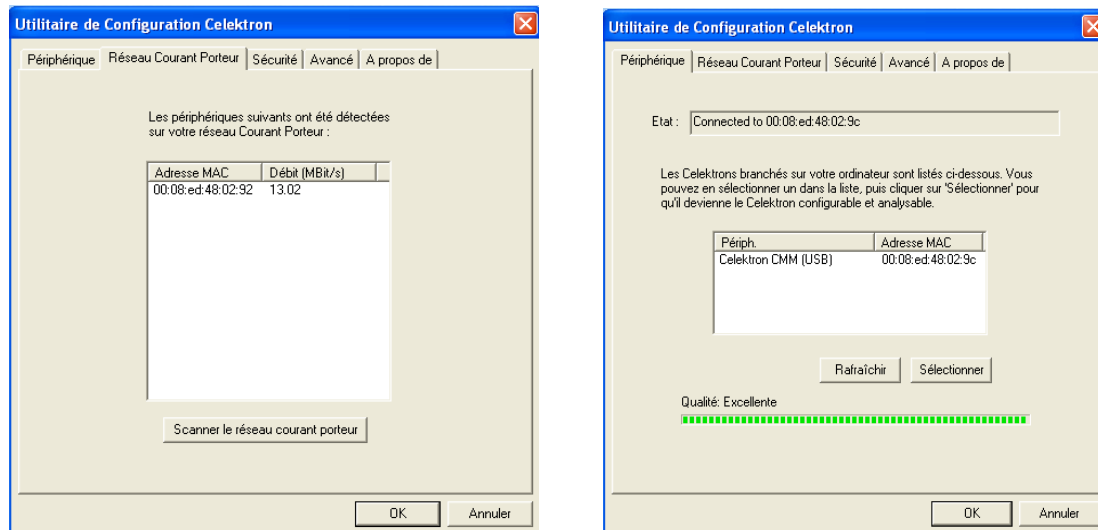


Illustration 5: Utilitaire de Configuration Celektron

3.5 Favoris réseaux

Dans la fenêtre favoris réseaux, nous pouvons voir les ordinateurs du groupe de travail sur le réseau CPL et même aller voir les dossiers partagés en cliquant sur les ordinateurs.

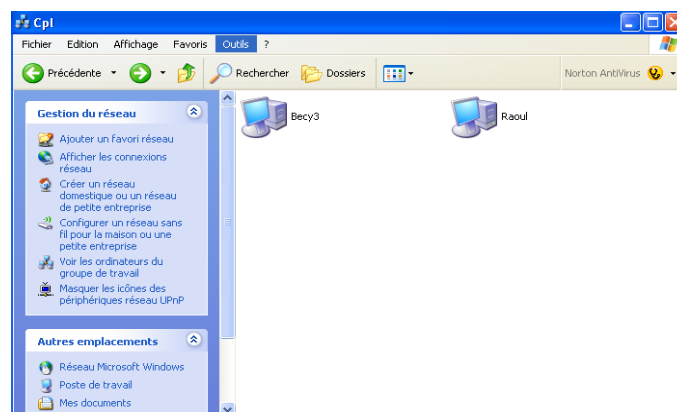


Illustration 6: Favoris réseaux



3.6 Etat de configuration du réseau

Les informations ci-dessous sont disponibles avec un double clique sur le réseau dans la fenêtre connexion réseau.

Ces informations permettent d'observer l'état de connexion s'est à dire le débit, le nombre de paquets envoyés et reçus, et l'adresse IP.

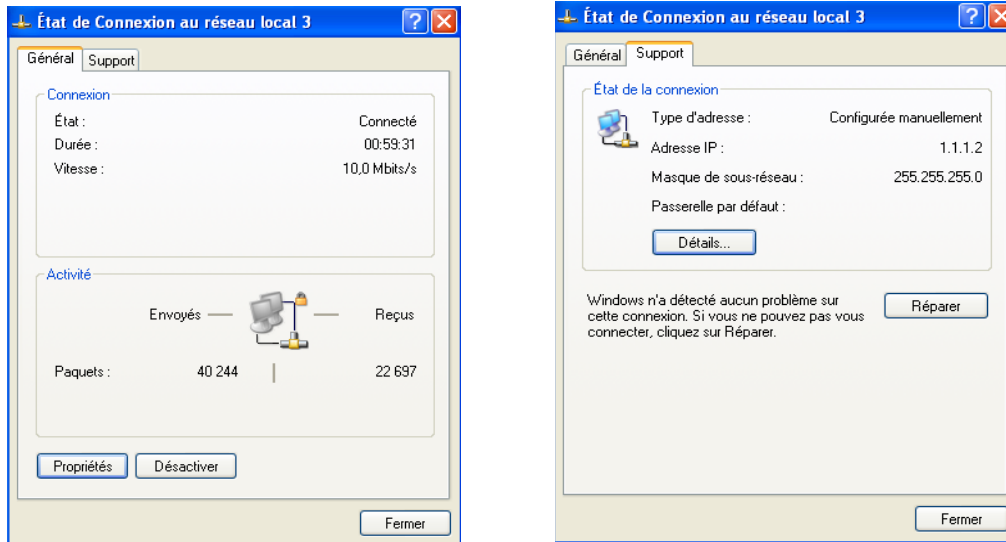


Illustration 7: Etat de Connexion

3.7 Ping

Pour vérifier le bon fonctionnement de la connexion, nous appelons un test de ping sous dos.

Pour cela, il faut taper la commande : ping IP

Dans l'illustration ci-dessous, nous pouvons voir que la transmission s'est bien déroulée avec notamment 0% de perte de donnée.

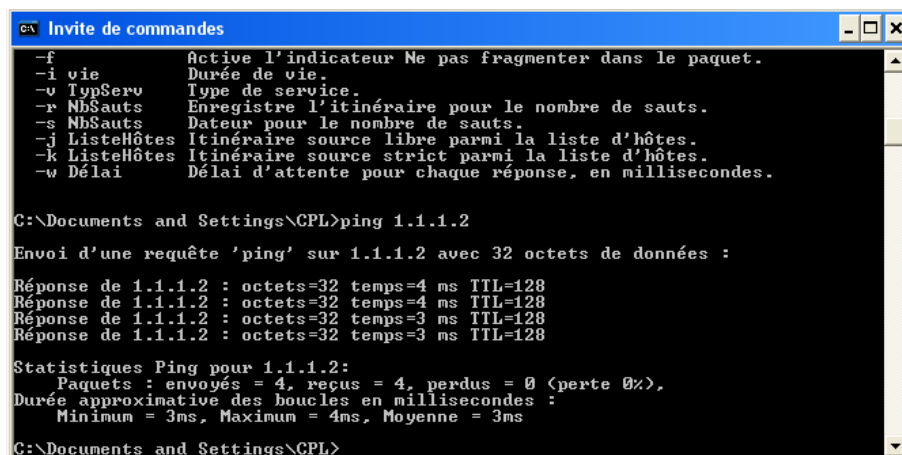


Illustration 8: Ping



Mise en place d'un réseau local de diffusion multimédia sur courants porteurs

3.8 IP config

La commande sous dos «ipconfig /all » permet d'obtenir un ensemble de paramètres concernant la configuration du réseau (voir ci-dessous).

```
C:\Documents and Settings\CPL>ipconfig /all

Configuration IP de Windows

Nom de l'hôte . . . . . : becy3
Suffixe DNS principal . . . . . :
Type de noud . . . . . : Hybride
Routage IP activé . . . . . : Non
Proxy WINS activé . . . . . : Non
Liste de recherche du suffixe DNS : univ-valenciennes.fr

Carte Ethernet Connexion au réseau local 3:

Suffixe DNS propre à la connexion :
Description . . . . . : USB ADAPTOR iPower23 #2
Adresse physique . . . . . : 00-00-ED-48-02-92
DHCP activé . . . . . : Non
Adresse IP . . . . . : 1.1.1.1
Masque de sous-réseau . . . . . : 255.255.255.0
Passerelle par défaut . . . . . :

Carte Ethernet Connexion au réseau local:

Suffixe DNS propre à la connexion : univ-valenciennes.fr
Description . . . . . : Carte réseau Fast Ethernet PCI Realtek
Adresse physique . . . . . : 00-30-84-87-72-04
DHCP activé . . . . . : Non
Adresse IP . . . . . : 195.221.188.102
Masque de sous-réseau . . . . . : 255.255.255.0
Passerelle par défaut . . . . . : 195.221.188.254
Serveurs DNS . . . . . : 195.221.188.34
                          193.50.192.1
Serveur WINS principal. . . . . : 193.50.195.143

C:\Documents and Settings\CPL>
```

Illustration 9: IP config

3.9 Test de lecture d'une vidéo sur le réseau

Utilisation de VLC, nous ouvrons une vidéo se trouvant dans le dossier de partage de l'autre PC.

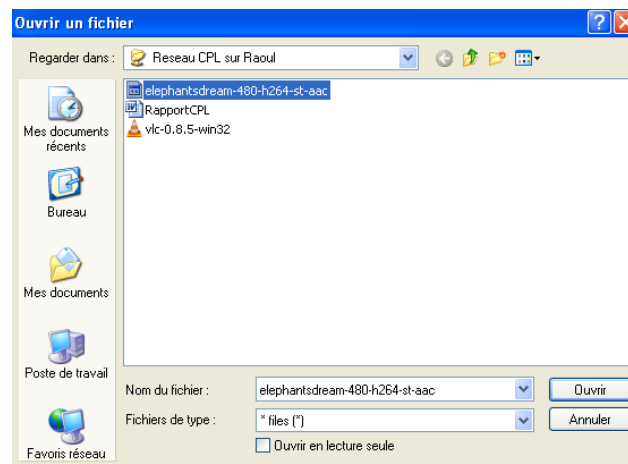


Illustration 10: Ouvrir un fichier avec VLC

La lecture s'effectue sans problème, nous avons une bonne qualité visuelle sans saccades.

Quand nous débranchons le modem pendant la lecture, la vidéo continue à lire pendant 2 s, car elle est stockée dans la mémoire tampon. Lors du re-branchement du modem nous avons une attente de 5s avant la reprise de la lecture de la vidéo.



Mise en place d'un réseau local de diffusion multimédia sur courants porteurs

3.10 Test de débit

Transfert d'une vidéo de 98,8 Mo

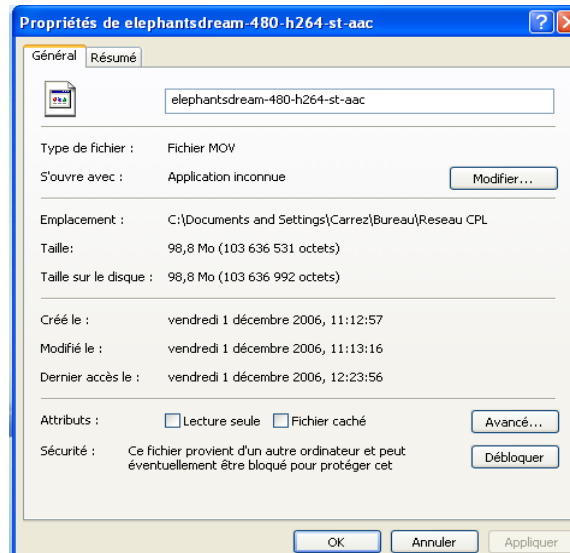


Illustration 11: Propriétés de elephantsdream

Durée de transfert : 3 min 12 s.
Temps estimé Windows : 4 min.

Calcul du débit utile :

Débit = Taille / Temps = 103 636 531 o. / 192 s. = 539 774 o/s = 527 Ko/s = 0,51 Mo/s = 4,12 Mb/s



4 Etude de la partie videolan

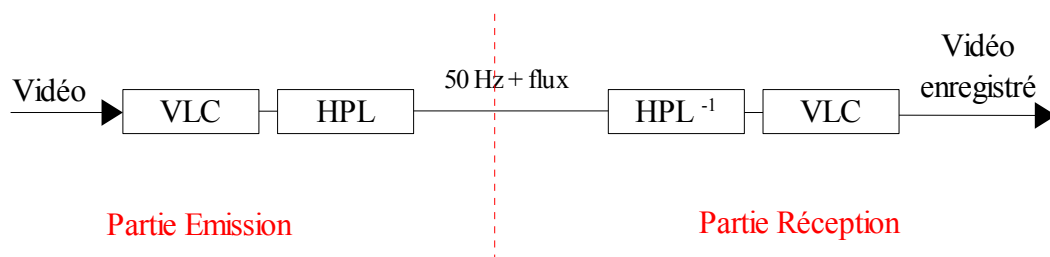
4.1 Introduction

Le but étant de diffuser un flux vidéo en streaming sur courant porteur. Il existe pour cela plusieurs logiciels de diffusion gratuits comme VLC et ffmpeg serveur. VLC étant plus simple à mettre en place grâce à son interface graphique et bénéficiant d'une bonne réputation, l'étude et les essais se porteront sur VLC.

4.2 Diffusion d'un flux vidéo en streaming

La diffusion se décompose en 2 parties (voir illustration ci-dessous), l'émission et la réception. La première consiste à émettre une vidéo en streaming grâce au logiciel VLC et par l'intermédiaire du modem CMM, les informations vont communiquer via le réseau électrique jusqu'à la partie réception.

Dans la partie réception, VLC est configuré en réception afin d'enregistrer les flux pour les comparer dans la suite de l'étude.



HPL : Modem Homeplug CMM

Illustration 12: Diffusion streaming sur courant porteur

La diffusion d'un flux streaming sur VLC peut se faire avec l'assistant de diffusion (voir illustration ci-dessous).

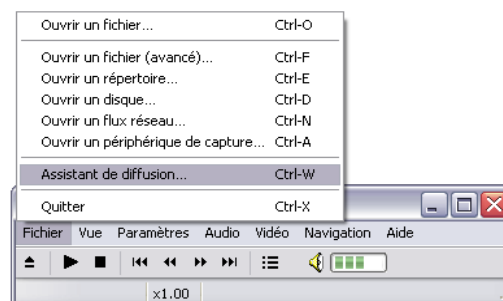
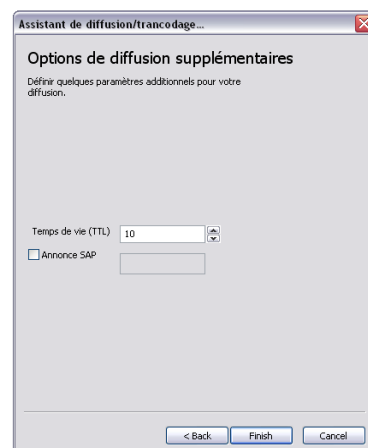
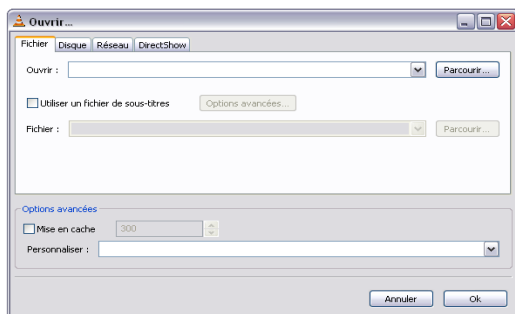
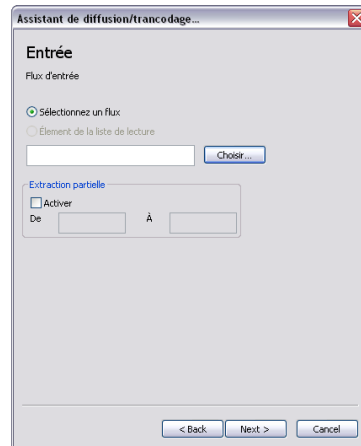


Illustration 13: Diffusion avec VLC



Mise en place d'un réseau local de diffusion multimédia sur courants porteurs

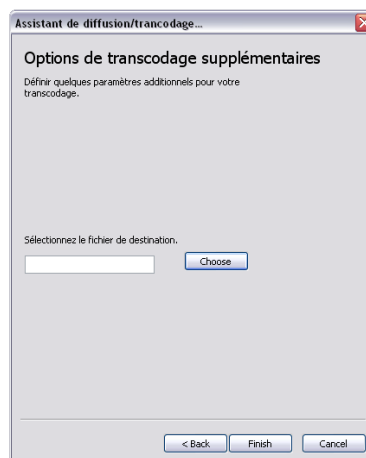
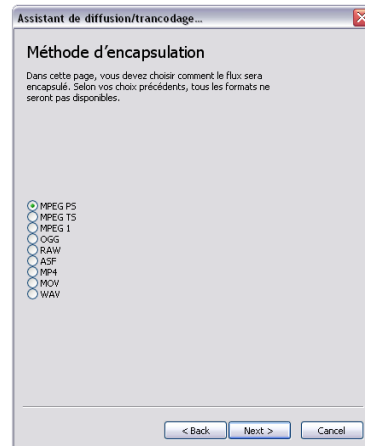
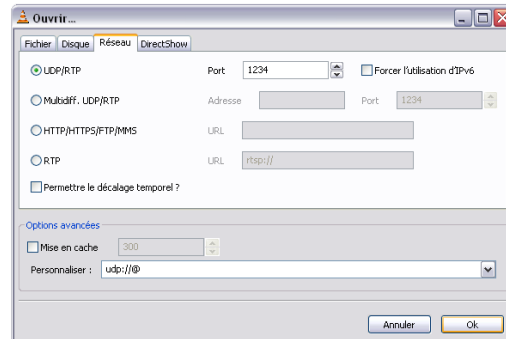
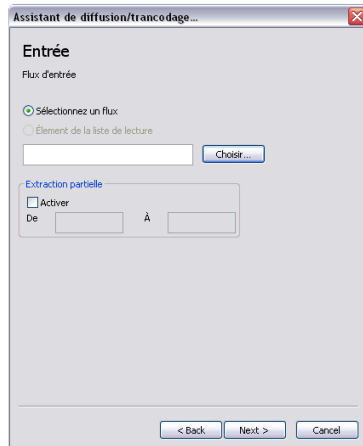
4.3 Configuration de VLC en émission





Mise en place d'un réseau local de diffusion multimédia sur courants porteurs

4.4 Configuration de VLC en réception





4.5 Qu'est ce qu'un flux streaming ?

Tout d'abord, il est utile de rappeler le modèle OSI (Open Systems Interconnection) afin de comprendre ce qu'est un flux streaming.

4.5.1 Modèle OSI

Couches Hautes	Logiciel	Application	Telnet FTP SMTP	7
	Cryptage, Compression	Présentation	NFS SSH IRC SNMP	6
	DNS / Transaction	Session		5
Couches Basses	Datagrammes	Transport	TCP, UDP, RTP...	4
	Paquets / Routeur	Réseau	IP, ICMP, (R) ARP, IPX...	3
	Trames / Pont	Liaison	Connexion, Déconnexion Ethernet, wifi, token...	2
	Bit	Physique	Modem, Multiplexeur	1

Illustration 14: Modèle OSI

Les fonctions des couches :

Physique fournit les moyens mécaniques et électriques nécessaires à l'activation, au maintien et à la désactivation des connexions physiques destinées à la transmission des éléments binaires (bits).

Liaison s'occupe de l'établissement, du maintien et de la libération des connexions, en se basant sur les moyens fournis par la couche physique. Elle s'occupe aussi du partage d'un support physique unique entre plusieurs machines.

Réseau doit acheminer des paquets d'information jusqu'à leur destination finale. Elle gère donc les flux d'informations (en évitant les embouteillages), leur routage, ainsi que l'adressage. Elle s'appuie par les moyens fournis par les couches physique et liaison.

Transport complète les fonctions des couches précédentes en gérant les erreurs et en optimisant le transport.

Session établit et maintient des sessions.

Présentation formate les données à envoyer dans un format compréhensible pour le destinataire. Elle gère par exemple le cryptage et la compression des données.

Application, au-dessus de toutes les autres, représente les applications qui utilisent la connexion réseau, comme par exemple un logiciel de courrier électronique ou un logiciel de transfert de fichiers.

4.5.2 Configurations utilisées

Le flux streaming utilisé dans la transmission par VLC, est composé de l'UDP et du RTP de la couche transport :



Mise en place d'un réseau local de diffusion multimédia sur courants porteurs

UDP (protocole de datagramme utilisateur)

Le rôle de ce protocole est de permettre la transmission de paquets de manière très simple entre deux entités. Contrairement au protocole TCP, il travaille en mode non-connecté : il n'y a pas de moyen de vérifier si tous les paquets envoyés sont bien arrivés à destination et ni dans quel ordre. C'est pour cela qu'il est souvent décrit comme étant un protocole non-fiable. Par contre, pour un datagramme UDP donné, l'exactitude du contenu des données est assuré grâce à une somme de contrôle (*checksum*).

RTP (Real-time Transfert Protocole)

Le but de RTP est de fournir un moyen uniforme de transmettre sur IP des données soumises à des contraintes de temps réel (audio, vidéo, ...). Le rôle principal de RTP consiste à mettre en oeuvre des numéros de séquence de paquets IP pour reconstituer les informations de voix ou vidéo même si le réseau sous-jacent change l'ordre des paquets.

Plus généralement, RTP permet :

- d'identifier le type de l'information transportée,
- d'ajouter des marqueurs temporels et des numéros de séquence l'information transporte
- de contrôler l'arrivée à destination des paquets.

Dans la couche réseau, le protocole **IP** est utilisé.

VLC accepte les formats suivants dans le conteneur TS :

Codecs video acceptés :

- [mpgv](#): MPEG-1 or MPEG-2 video
- [mp4v](#): MPEG 4 video
- [h264](#)
- [jpeg](#)
- [ms](#): MS codecs (nonstandard?)

Codecs audio acceptés :

- [MP1](#), [MP2](#), [MP3](#)
- [mp4a](#): MPEG-4 Audio (MP4)
- [a52](#)
- [lpcm](#)
- [dts](#)

Codecs sous-titre acceptés :

- [spu](#)
- [subt](#)
- [telx](#)

MPEG-TS :

Le format MPEG-TS est conçu pour être très robuste aux erreurs. Il utilise un mécanisme de forte correction d'erreur. Il est utilisé notamment en DVB.

Un paquet TS est composé d'un header et d'un payload (voir illustration ci-dessous).

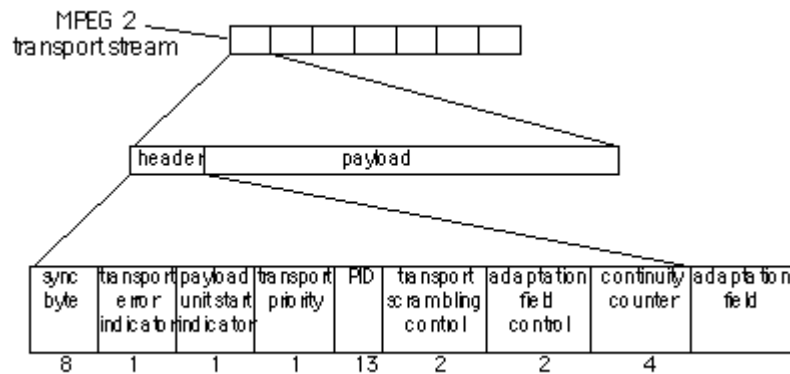


Illustration 15: Paquet du format Transport Stream

5 Mesure du PSNR

5.1 Introduction

- PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) est une mesure de distorsion utilisée en image numérique. Il s'agit de quantifier la performance des codeurs ou des transmetteurs en mesurant la qualité de reconstruction de l'image compressée par rapport à l'image originale.

Le PSNR est défini comme suit :

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{d^2}{EQM} \right)$$

où d est la dynamique du signal. Dans le cas standard d'une image où les composantes d'un pixel sont codées sur 8 bits, $d = 255$.

- EQM est l'erreur quadratique moyenne et est définie pour 2 images I_o et I_r de taille $m \times n$ comme:

$$EQM = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} ||I_o(i, j) - I_r(i, j)||^2$$

Les valeurs typiques de PSNR pour des images de bonne qualité varient entre 30 et 40 dB.

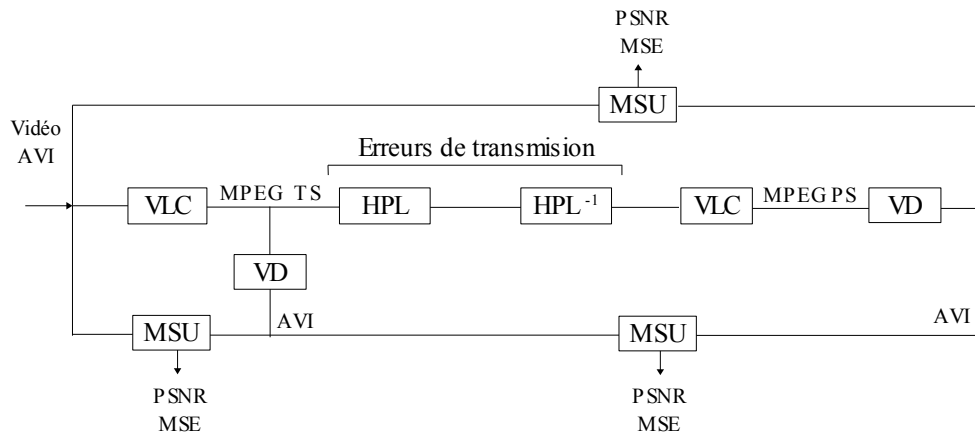
A noter que si le PSNR est utile pour mesurer la proximité de l'image compressée par rapport à l'originale au niveau du signal, il ne prend pas en compte la qualité visuelle de reconstruction et ne peut être considéré comme une mesure objective de la qualité visuelle d'une image.



5.2 Application

Pour mesurer la qualité des vidéos, il est nécessaire de comparer la vidéo après transmission avec la vidéo avant transmission. Pour cela, des outils de mesures comme le PSNR et MSE vont permettre de mesurer la qualité de la transmission. Nous avons réalisé une chaîne de traitement vidéo avec des logiciels libres pour mesurer la qualité (voir ci-dessous).

Schéma de la chaîne vidéo de mesure utilisée :



MPEG TS : Codeur de flux streaming en MPEG TS avec VLC

HPL : MODEM Homeplug

MSU : Logiciel pour mesurer le PSNR et le MSE

VD : VirtualDub MPEG2 pour convertir en AVI

VLC : Logiciel de diffusion en streaming

Illustration 16: Chaîne vidéo de mesure

Tout d'abord, une vidéo rigoureusement choisie est lue et convertie avec VLC en flux streaming au format MPEG-TS. MPEG-TS est un format vidéo pour la diffusion qui utilise un codec MPEG2 pour la compression vidéo, et une encapsulation TS (Transport Stream) spécialement conçu pour le streaming.

Le modem HPL permet de communiquer via le secteur avec le modem récepteur HPL⁻¹. La qualité du flux est dégradé selon la distance entre les deux modems et les perturbations sur le réseau ce qui induit des erreurs de transmissions. VLC permet de récupérer ce flux toujours au format MPEG-TS et de le transcoder en MPEG-PS. Seul l'encapsulation du flux est transcodée, le codec reste le même. Le MPEG2 PS (Program Stream) est souvent utilisé pour le stockage par exemple sur DVD ou disque dur. Ce transcodage en MPEG-PS a été choisi pour être compatible avec le logiciel « VirtualDub MPEG2 » qui est chargé de la conversion en YUV avec l'encapsulation AVI. Cette conversion permet de mettre l'un après l'autre chaque image de la vidéo au format YUV. Cette conversion ne subit pas d'erreurs de codages. Le logiciel VirtualDub MPEG2 a été choisi pour convertir la vidéo avec un format compatible avec le logiciel MSU qui calcule le PSNR et le MSE.

Le codage de la source vidéo en MPEG-TS peut amener des erreurs de codages. Il est intéressant de mesurer ces erreurs en plus des erreurs de transmission. Pour cela, 3 mesures sont réalisées à différents endroits de la chaîne (voir schéma de la chaîne).



5.3 Problèmes rencontrés

Beaucoup de problèmes de compatibilité entre les différents logiciels utilisés ont été rencontrés. En effet, VLC lit un grand nombre de formats de compression mais ne sait pas toujours encoder en MPEG-TS. Nous étions donc limité par le choix de la source vidéo. De plus, nous devons enregistrer les vidéos reçues pour pouvoir mesurer leurs qualités parmi quelques méthodes d'encapsulations comme MPEG PS, MPEG TS, MPEG 1, OGG, RAW, ASF, MP4, MOV et WAV proposé par VLC.

Deux méthodes sont possibles pour mesurer la qualité. La première consiste à récupérer chaque image de la vidéo et de les enregistrer individuellement en YUV ou BMP afin des les traiter sous un script matlab.

La seconde solution consiste à utiliser le logiciel MSU avec des sources vidéos en avi ou YUV. Le choix s'est porté sur la seconde solution donc il a fallu trouver un logiciel pour transcoder la vidéo enregistrée du flux streaming en un format compatible avec MSU. MSU peut lire seulement les formats avi, avs, yuv et bmp mais pas sans souci car il n'est pas toujours capable de les lire. En effet, cela dépend du codec dans le format avi et du format 4:2:2 ou 4:2:0 ou 4:1:1 utilisé dans le format yuv. La seule solution trouvée après de nombreux tests est le logiciel « VirtualDub MPEG-2 » permettant de convertir du MPEG PS ou MPEG1 au format avi avec un codec YUV pour être compatible avec MSU. De plus, VirtualDub permet d'exporter séparément un ensemble d'image au format BMP, JPEG ou TARGA pour être lisible par Matlab (première solution).

5.4 Résultats

5.4.1 Introduction

Les tests ont été effectués sur le reseau électrique d'une salle du laboratoire de l'IEMN. Cette salle se situe dans un bâtiment comportant beaucoup d'appareils électriques susceptibles de provoquer des perturbations électromagnétiques sur le réseau. La salle de test est équipée de 2 réseaux électriques différents, l'une est un réseau électrique normal et l'autre est un réseau sécurisé avec un onduleur (en panne). Ce réseau avec l'onduleur n'étant pas beaucoup utilisé, il y a moins d'appareils électriques qui y sont branchés donc il y a moins de perturbations. Les tests ont été réalisés à des distances différentes entre les modems CPL et avec des perturbations provoquées en allumant des appareils électriques pendant la transmission. Pour cela nous avons utilisé une video encodée avec VCDEMO et traitée suivant la chaîne vidéo de mesure étudiée précédemment.

5.4.2 Caractéristiques de la vidéo utilisée pour le test

Nous utilisons un extrait vidéo du film terminator2 avec beaucoup de mouvements et avec des étincelles. Cette vidéo est encodée en MPEG2.
Cette vidéo a les caractéristiques suivantes :

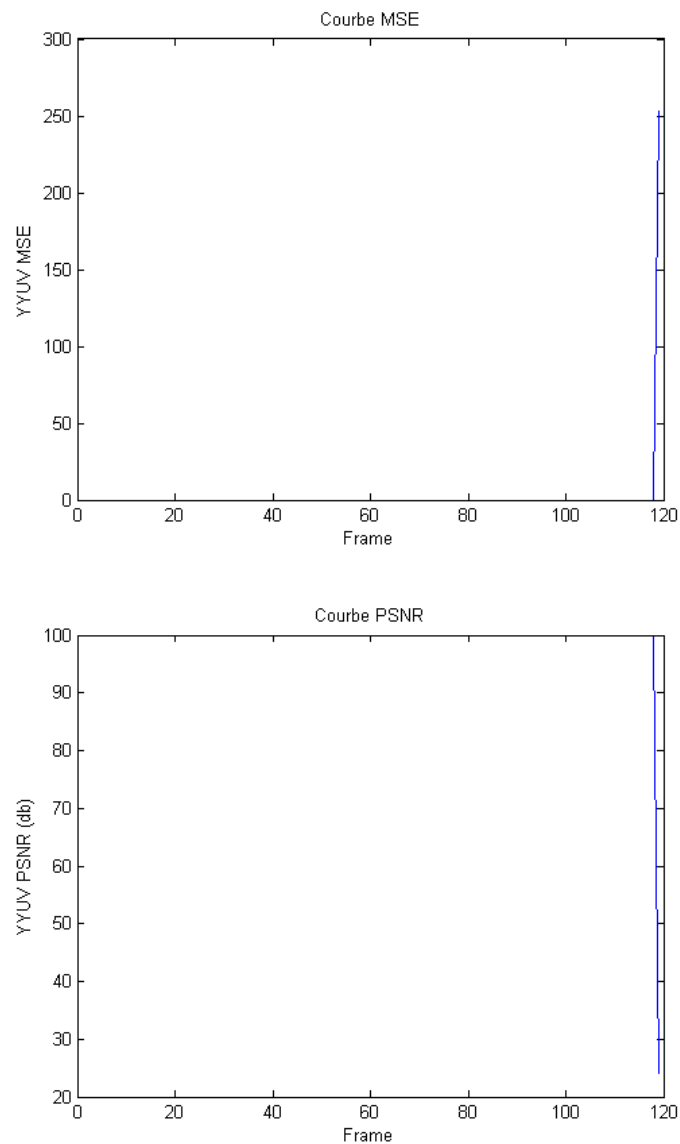
Format	AVI
Format/Info	Audio Video Interleave
Format/Family	RIFF
Taille du fichier	36.3 Mio
Durée	5s
Débit	61 Mb/s
Codec	RGB
Débit	61 Mb/s



Mise en place d'un réseau local de diffusion multimédia sur courants porteurs

Largeur	352 pixels
Hauteur	240 pixels
Format à l'écran	1.467
Images par seconde	30.000 Im/s
Bits/(Pixel*Image)	23.999
NbImages	150 Im

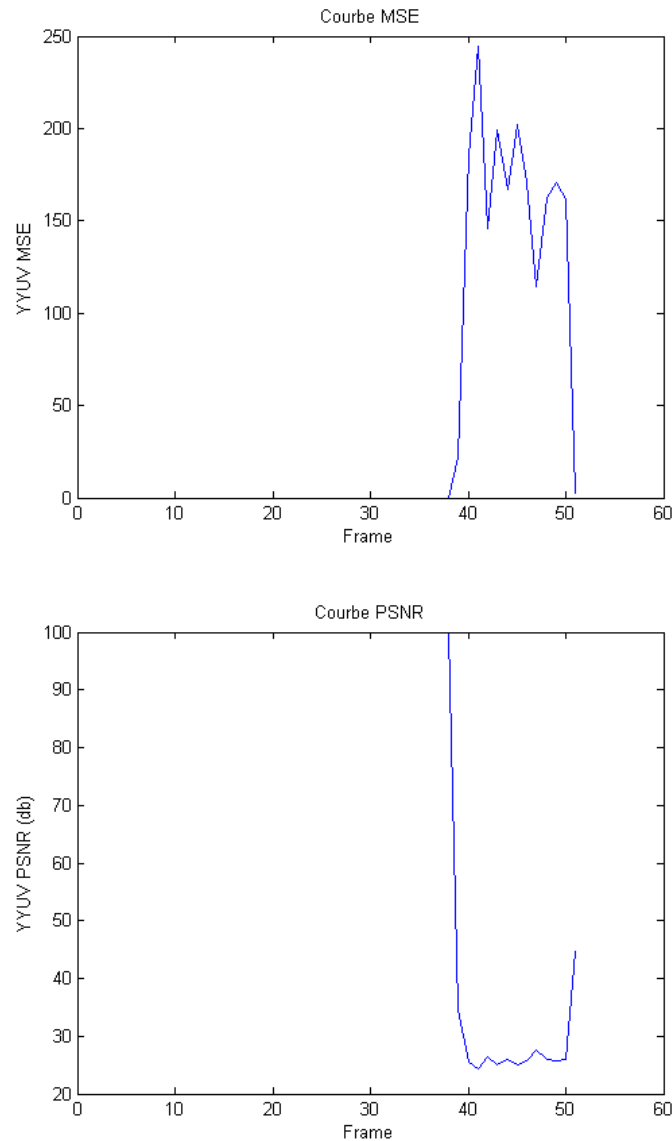
5.4.3 Résultats des tests effectués à des distances variant de 0 à 7m



Sur ces distances, la transmission s'effectue sans perturbations. La video reçue ne comporte pas d'erreurs. Nous remarquons une chute du PSNR sur la dernière image car VLC lors de l'enregistrement du flux streaming, recopie cette image par la précédente. Nous pouvons dire que la transmission est très bonne pour ces distances.



5.4.4 Résultat des tests effectués à une distance de 7m avec perturbations



Les perturbations ont été réalisées en allumant 2 écrans d'ordinateurs situés entre les deux modems pendant la transmission. Elles ont été introduites au bout de 2 secondes après le début de la diffusion. A partir de l'image 38, le PSNR chute à environ 25 dB, ce qui se traduit par l'apparition de blocs ainsi qu'un léger flou, ceci dit la vidéo reste regardable. A partir de l'image 51, la vidéo n'a pas enregistré les images car les données ont été perdues sur le réseau. Ceci est sûrement dû à une perte de données sur l'entête IP.



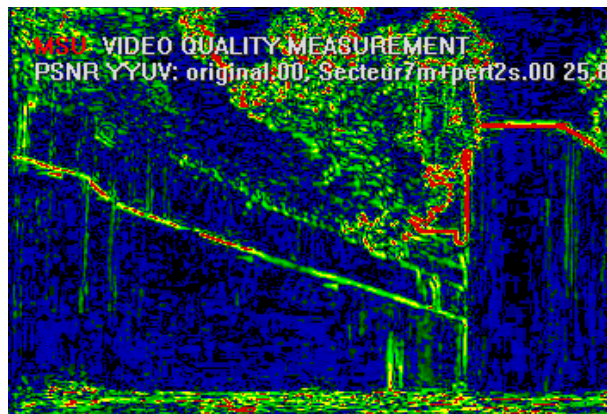
Mise en place d'un réseau local de diffusion multimédia sur courants porteurs

Exemple d'une image prise de la séquence (image 43):

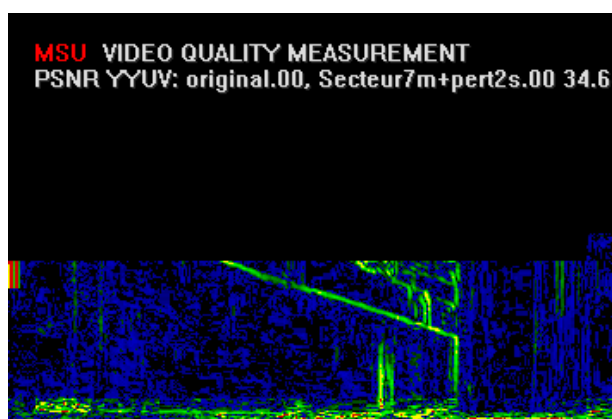


Sur l'image précédente, nous pouvons apercevoir un effet de blocs et de flou.

PSNR de l'image 43 :



PSNR de l'image 38 :

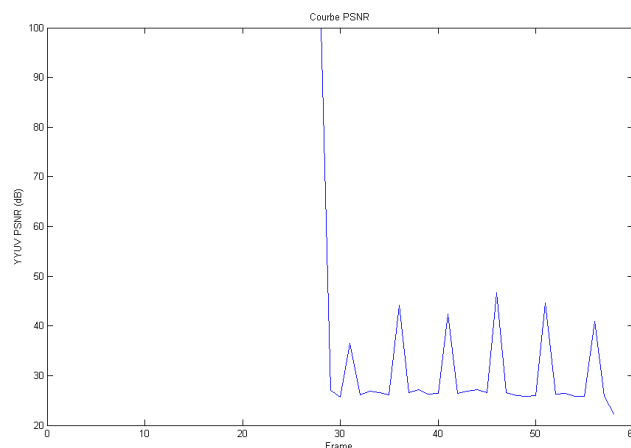
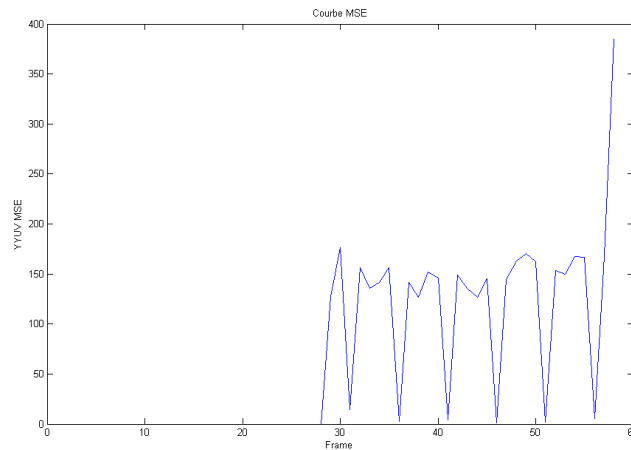


En regardant la séquence nous remarquons que les erreurs dues à la perturbation commencent au milieu de l'image 38.



5.4.5 Résultat des tests effectués à une distance >9m sans perturbations

La salle de TP ne nous permettait pas de mesurer approximativement la distance entre les deux modems, mais nous savions tout de même qu'elle dépassait les 9 mètres.



Jusqu'à l'image 28, il n'y a aucune erreur de transmission. Par contre nous constatons que le PSNR chute entre 30dB et 45dB, il y a une perte d'images toutes les 5 images. Sur la vidéo reçue l'image perdue est recopiée par son image précédente.

5.4.6 Autres tests

Un test de communication en branchant les deux modems ensemble sans passer par le secteur a été réalisé. Cette configuration ne perturbe pas la transmission, elle fonctionne très bien.

Un autre test avec un modem dans une salle et l'autre modem dans une autre salle qui se trouvait à côté a été réalisé. Son résultat est très décevant puisque les deux modems n'arrivaient presque pas à communiquer voire pas du tout.



5.4.7 Conclusion

La qualité de la communication est très satisfaisante sur une faible distance, cependant à des grandes distances inconnues beaucoup de problèmes apparaissent.

Les résultats montrent différents cas possibles d'altérations des données : perte de l'entête IP, RTP, perte d'images, de slices, de macrobloc... Ces pertes se traduisent par des réponses différentes selon l'endroit où elles sont perdues et selon le taux d'erreur.

Par exemple, si l'entête IP est perdue, la vidéo sera interrompue. Si l'entête RTP est perdue, cela se traduit par une désynchronisation des données. Des saccades des images peuvent aussi apparaître dans certains cas. Nous n'avons pas vu de phénomènes de propagations d'erreurs dans les tests, ceci est sûrement dû au codage robuste aux erreurs dans la norme MPEG-TS.

Nous nous sommes aperçu lorsque le modem est branché sur une multiprise que cela diminuait la qualité du réseau. Cela est sûrement dû au fait que les ondes sont réfléchies en bout de ligne.



6 Références

CPL-FRANCE Courants Porteurs en Ligne. CPL	www.cpl-france.org
Technologie des courants porteurs en ligne (CPL)	www.commentcamarche.net/cpl
Utilisation de VLC	www.videolan.org/doc/play-howto/fr
Mpeg2 TS	en.wikipedia.org/wiki/Transport_stream erg.abdn.ac.uk/research/future-net/digital-video/mpeg2-trans.html wiki.videolan.org/MPEG#TS

7 Conclusion

La réalisation de ce projet sur la technologie du courant porteur nous a permis de découvrir et de tester ce nouveau moyen de transmission qui est actuellement en pleine expansion. Nous avons pu prendre connaissance de tous les différents problèmes liés à la mise en œuvre d'un tel système.

Ce projet nous a permis de réaliser un travail d'étude de la technologie courant porteur, de trouver des solutions aux problèmes que nous avons rencontrés et de réaliser des tests de transmission. Pour cela un bon esprit d'analyse et un esprit critique sont essentiels pour arriver à de bonnes conclusions.

En ce qui concerne les résultats obtenus lors des essais, nous constatons que ce moyen de communication est efficace et facile à mettre en œuvre par contre il reste limité en distance et reste facilement perturbable par d'autres appareils électriques. Le développement de cette technologie devrait permettre de remédier à ces principaux défauts.

Dans la continuation de ce projet, nous pourrions envisager d'approfondir les tests effectués et de les réaliser dans des milieux différents.
Nous aurions aimé développer d'avantage le codage robuste aux erreurs et l'analyse du spectre sur le réseau électrique.