

2

Architecture

CPL, ou courants porteurs en ligne, est le nom générique d'une technologie réseau utilisant les câbles électriques, issue de nombreux travaux de recherche sur les transmissions de données haut débit sur le support électrique.

L'architecture des réseaux CPL est comparable à maints égards à celle des réseaux filaires, mais également à celle des réseaux Wi-Fi, comme nous le verrons dans ce chapitre.

HomePlug a été la première spécification CPL à offrir un débit compris entre 1 et 5 Mbit/s. Elle a en outre implémenté de nouveaux mécanismes pour raccorder des équipements réseau, que nous allons détailler de manière précise.

Une autre caractéristique de cette spécification est qu'elle évolue en permanence. De nombreuses améliorations ont permis d'accroître les débits, qui restent toujours partagés, et d'ajouter de nombreuses fonctionnalités, comme la qualité de service ou la sécurité. L'alliance HomePlug est pour l'instant le seul standard CPL de fait, mais des projets de standardisation sont en cours, comme nous l'avons vu au chapitre 1, aussi bien au niveau de l'ETSI que de l'IEEE.

Ce chapitre présente l'architecture générale des réseaux CPL et en détaille les deux couches essentielles, la couche physique et la couche liaison de données.

Architecture des réseaux électriques

La technologie CPL, en anglais PLC (Power Line Communications), vise à transmettre des données sur un câble électrique. Ce câble fait donc office de support (couche PHY du modèle OSI) de la transmission des données. Contrairement à d'autres supports de communication, comme les câbles Ethernet, coaxiaux, fibre optique, etc., ce rôle de support de transmission des données n'est pas la fonction principale du câble électrique.

Le transport des données doit donc s'ajouter à celui de l'énergie électrique (en France et en Europe 200 V/50 Hz, aux États-Unis et au Japon 100 V/60 Hz) dans les câbles permettant d'alimenter les équipements électriques en énergie à partir du réseau public d'électricité.

Les réseaux électriques sont découpés en différentes catégories selon leur niveau de tension, comme indiqué au tableau 2.1.

Tableau 2.1 Niveaux de tension électrique

Appellation actuelle	Ancienne appellation (toujours d'usage)	Niveaux de tension usuels en France
HTB	Très Haute Tension (THT)	400 000 V 225 000 V
	Haute Tension (HT)	90 000 V 65 000 V
HTA	Moyenne Tension (MT)	20 000 V
BT	Basse Tension (BT)	380 V (triphase) 220 V (monophasé)

Cette classification des réseaux électriques en niveaux de tension permet de séparer les rôles de chacun des acteurs des réseaux électriques en terme de responsabilité sur ces réseaux.

À l'image du réseau téléphonique commuté (RTC) de France Télécom, le réseau de distribution électrique est composé d'un « central » électrique et d'un réseau de desserte jusqu'à l'abonné. Ce réseau s'appuie sur une architecture en étoile, chaque branche de l'étoile étant le câble téléphonique reliant l'abonné au central.

Dans le réseau RTC, le central téléphonique sert « d'aiguilleur » entre le trafic IP venant des modems des abonnés sur la bande de fréquences 20 kHz-1,1 MHz et les communications téléphoniques classiques sur la bande de fréquences 300 kHz-3 300 kHz. Du point de vue de la modélisation réseau, le central téléphonique fait office de commutateur Ethernet et de routeur IP vers la liaison à plus haut débit de la dorsale IP (*voir figure 2.1*).

Dans le réseau de distribution électrique, appelé EGS (Électricité Gaz Services), du nom de l'entité d'EDF qui opère la distribution en gaz et en électricité de ses 26 millions d'abonnés, c'est le transformateur MT/BT qui fait le lien entre le réseau MT et les réseaux de desserte et de distribution, dont chacun alimente en moyenne 200 compteurs EDF d'abonnés (*voir figure 2.2*). Le transformateur MT/BT peut être vu comme le concentrateur Ethernet du réseau EGS et comme la passerelle vers la dorsale IP grâce à des liens de transit IP haut débit.

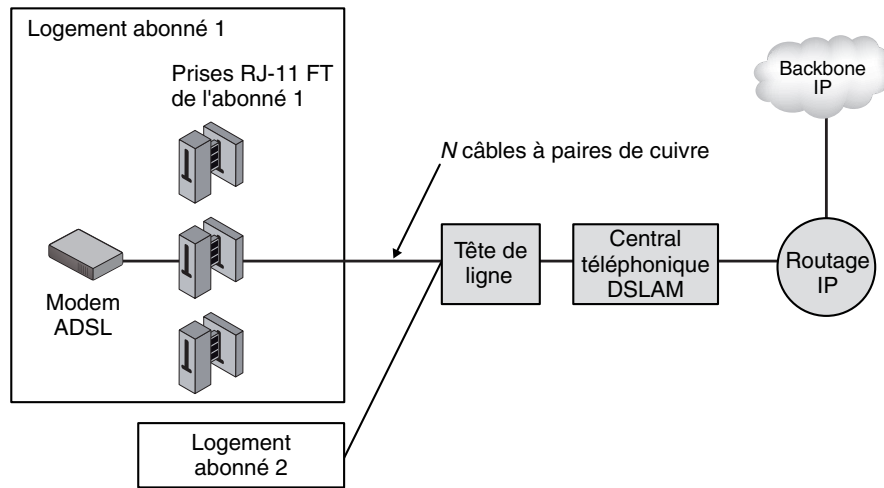


Figure 2.1

Architecture simplifiée du réseau téléphonique commuté

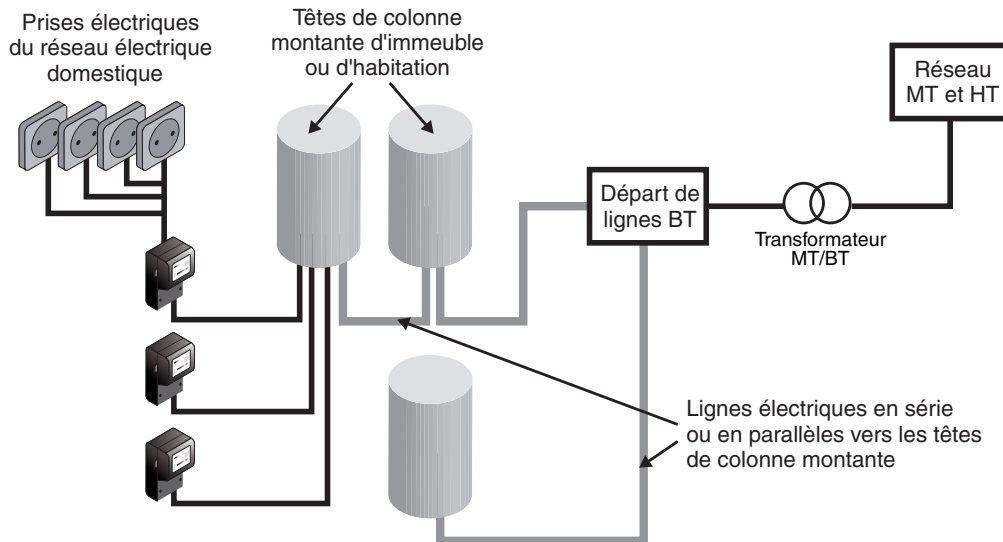


Figure 2.2

Architecture simplifiée du réseau de distribution électrique

En terme de responsabilité, chaque partie du réseau électrique est opérée par des entités distinctes, auxquelles revient la charge de l'alimentation et du transport électrique, ainsi que, le cas échéant, du transport de données pour les réseaux CPL.

La figure 2.3 illustre cette distinction des responsabilités à l'égard des différentes parties du réseau électrique national.

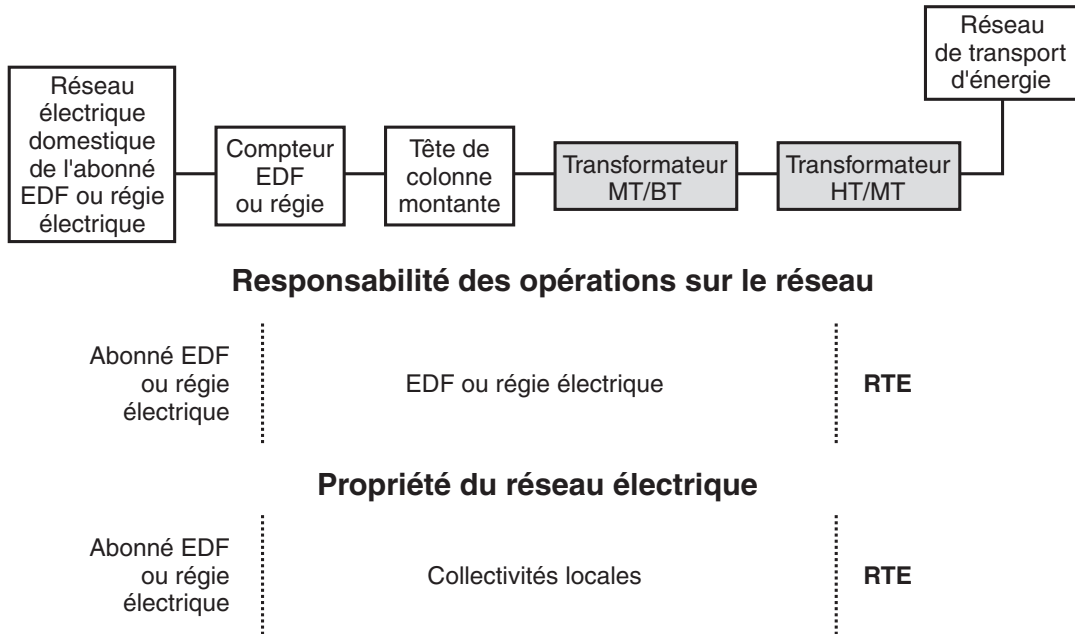


Figure 2.3

Responsabilités des opérations sur le réseau électrique

Caractéristiques du câble électrique

Le support de communication utilisé dans les technologies CPL est le câble électrique, qui n'est pas, au départ, conçu pour transporter des données, et dont les caractéristiques physiques sont avant tout adaptées au transport du signal 220 V/Hz.

Cette section présente un certain nombre de ces propriétés physiques afin de faire mieux comprendre les capacités (avantages et limitations) qu'offre ce support à la transmission de données.

Impédance

Un câble électrique présente une impédance Z (valeur absolue des composantes résistives, inductives et capacitatives des éléments du réseau électrique), qui, n'est pas fixe. Les équipements branchés et débranchés en permanence sur le câble électrique modifient l'impédance du câble, rendant difficile une modélisation du support de communication et donc du canal de transmission.

Par principe, un équipement électrique peut être branché ou débranché du réseau à tout moment, engendrant une modification de l'impédance globale du réseau électrique. De plus, cet appareil peut subir une modification de sa propre impédance en fonction de son mode de fonctionnement, de sa vitesse de fonctionnement, de son état de vieillissement, de sa conception, etc.

Des études ont montré que l'impédance des équipements électriques BT varie classiquement entre 10Ω et $1 \text{ k}\Omega$.

Capacité et inductance

Les différents équipements qui sont connectés sur le réseau électrique ont chacun une certaine capacité et une certaine inductance vis-à-vis du courant électrique qui circule sur le circuit 220 V alternatif à la fréquence de 50 Hz.

L'*inductance* (L), aussi appelée bobine ou self, d'un circuit ou d'un dipôle électrique est une valeur qui traduit le flux d'induction créé par le courant électrique traversant ce circuit. Le déplacement de charges électriques dans un matériau de susceptibilité magnétique (μ) non nulle crée un champ magnétique (H) et une induction magnétique (B).

Dans le cas d'un matériau qui se limite à une surface circonscrite, typiquement un câble électrique, le champ magnétique provenant du courant qui traverse ce circuit crée un flux d'induction. L'inductance peut être propre au circuit ou mutuelle avec un autre circuit électrique.

L'inductance vis-à-vis du champ magnétique (ϕ) et du courant électrique (I) peut être exprimée par la formule :

$$L = \frac{\phi}{I}$$

En régime sinusoïdal (cas du courant électrique 220 V/50 Hz), cette équation est exprimée en valeurs efficaces par la loi d'Ohm, en fonction de la tension (U), du courant électrique (I) et de la fréquence (f) :

$$L = \frac{U}{2\pi f I} \text{ (exprimée en henry)}$$

La *capacité* (C), aussi appelée condensateur ou capacitance, d'un circuit électrique est une valeur qui traduit l'énergie potentielle stockée dans un champ électrique constitué de deux plaques conductrices séparées se faisant face et de charge électrique opposée.

Cette énergie potentielle, ou capacité, est proportionnelle à la charge électrique stockée par le dipôle électrique constitué de ces deux plaques. Cette charge électrique peut être également exprimée en flux électrique (ϕ) et associée au potentiel électrique entre les deux plaques du dipôle :

$$C = \frac{\phi}{V} \text{ (exprimée en coulomb)}$$

En régime sinusoïdal (cas du courant électrique 220 V/50 Hz), cette équation est exprimée en valeurs efficaces par la loi d'Ohm, en fonction de la tension (U), du courant électrique (I) et de la fréquence (f) :

$$C = \frac{I}{2\pi f U} \text{ (exprimée en farad)}$$

L'impédance (Z) d'un circuit électrique est composée d'une partie résistive (R), d'une partie inductive (L) et d'une partie capacitive (C), qui le caractérisent complètement du point de vue électrique.

Ces caractéristiques influent sur le comportement global du réseau électrique en fonction des niveaux de courant électrique circulant dans ce réseau. Du point de vue informatique, ces caractéristiques se traduisent par une modélisation particulière de la couche physique afin d'obtenir la meilleure qualité possible du canal de transmission.

L'impédance peut s'exprimer en valeurs complexes par la loi d'Ohm comme la somme de ses composantes résistives, inductives et capacitives, j exprimant la partie imaginaire d'un nombre complexe :

$$Z = R + jL2\pi f + \frac{1}{C2\pi f} \text{ (exprimée en ohm pour la valeur absolue)}$$

L'ensemble des impédances des différents circuits électriques traversés par le courant électrique forme donc un réseau complexe d'impédances en série et en parallèle, qui peuvent être connectées et déconnectées en permanence du réseau. De plus, ces différentes impédances induisent des champs magnétiques et électriques mutuels, qui se traduisent par des courants électriques proportionnels les uns par rapport aux autres. Du point de vue du canal de transmission, cette caractéristique peut se révéler étonnante, comme nous le verrons.

Les caractéristiques inductives et capacitives modifiant en permanence le canal de transmission physique, cela nécessite une optimisation et une consolidation des techniques de transmission CPL.

Bruits et perturbations électromagnétiques

Le canal de transmission récolte un certain bruit des différents équipements électriques connectés ou à proximité du câble électrique.

Les différents types de bruits qui peuvent être perçus sur et autour du câble électrique sont les suivants :

- bruits impulsionnels dus aux arrêts/démarrages des appareils électriques ;
- bruits blancs à large bande, dont la densité spectrale de puissance est la même pour toutes les fréquences ;

- bruits périodiques à plusieurs fréquences ;
- bruits harmoniques, composés des multiples fréquences utilisés par les équipements électriques branchés sur le réseau et qui sont, par exemple, des multiples de 50 Hz (300, 600, etc.).

Ces bruits sont exprimés globalement par le rapport signal sur bruit, ou SNR (Signal to Noise Ratio), généralement mesuré en décibels (dB).

En plus des bruits sur le support électrique, les appareils électriques connectés ou déconnectés du réseau électrique mais à proximité du câble électrique engendrent un certain nombre de perturbations sur le canal de transmission. Ce sujet technique fort complexe est appelé CEM (compatibilité électromagnétique), ou EMC (Electro-Magnetic Compatibility).

Du point de vue de la CEM, chaque appareil électrique alimenté en énergie est générateur de perturbations électromagnétiques conduites, c'est-à-dire transportées sur le câble électrique, ou induites, c'est-à-dire émises dans l'environnement radio de l'équipement perturbateur.

De nombreux groupes de travail du Cenélec (européen) et de la CEI (international) ont mis en place des règles fixant les limites des perturbations autorisées pour chaque classe d'équipement électrique, y compris les équipements CPL. De leur côté, les organismes de standardisation et de normalisation des télécommunications ETSI (européen) et ITU (international) travaillent sur les seuils de perturbation afin d'optimiser le canal de transmission et les techniques de traitement du signal à mettre en œuvre pour obtenir les meilleures performances des CPL. L'IEEE travaille également sur ces sujets pour optimiser la couche physique du modèle ISO.

Le groupe de travail ISRIC (International Special Radio Interference Committee) Working Group 3 a fixé les limites de perturbations autorisées des appareils électriques CPL dans la bande 150 kHz-30 MHz.

Les perturbations CEM reçues et provoquées par les CPL font l'objet de nombreux autres travaux et études en vue d'harmoniser les niveaux d'émission de chaque appareil et d'obtenir un canal de transmission efficace avec ces niveaux d'émission.

Atténuation

De même que le signal radio subit une atténuation de sa puissance en fonction de la distance parcourue par les ondes ou que le signal DSL s'atténue le long du câble à paires de cuivres du RTC, le signal électrique perd de sa puissance en fonction de la distance parcourue.

Il est important de prendre en compte cette caractéristique du câble électrique pour implémenter un réseau CPL. Nous détaillons au chapitre 8 les paramètres à configurer

pour offrir les meilleures performances au réseau CPL, ces dernières varient grandement en fonction de la portée et de l'atténuation du signal.

Les différences d'impédances sur le réseau électrique provoquent des effets tels que les multitrajets, qui entraînent des « notches », ou pics d'amplitude du signal CPL, importants à certaines fréquences. Dans un habitat domestique, l'atténuation du signal sur le câble électrique est de l'ordre de 20 à 60 dB, en fonction de la charge réseau.

L'atténuation minimale de l'ensemble compteur/disjoncteurs est de 30 dB pour un équipement émettant un signal à une fréquence supérieure à 20 MHz. Pour les fréquences situées en dessous de 20 MHz, la valeur moyenne de l'atténuation est d'environ 50 dB. Un coupleur CPL de bonne qualité permet toutefois de réduire l'atténuation de 10 à 15 dB pour certaines fréquences.

La fréquence du signal d'un modem HomePlug 1.0 étant comprise entre 4 et 25 MHz, la densité spectrale de sa puissance est de -50 dBm/Hz. Nous reviendrons sur les conséquences de cette valeur au chapitre 8.

Le tableau 2.2 récapitule quelques valeurs d'atténuation pour les principaux équipements du réseau électrique.

Tableau 2.2 Atténuation des principaux équipements électriques d'un réseau électrique

Équipement électrique	Atténuation	Commentaire
Compteur électromécanique	15 dB	Les compteurs électromécaniques atténuent le signal CPL mais ne le bloquent pas, si bien que le signal CPL se propage hors du réseau électrique privé.
Compteur électronique	15 dB	Idem
Disjoncteur	5 dB	S'il traverse un trop grand nombre de disjoncteurs pour relier deux équipements CPL, le signal CPL risque d'être trop atténué.
Multiprise	10 dB	La qualité de fabrication de la multiprise influe énormément sur l'atténuation. Il faut donc éviter de brancher les équipements CPL sur des multiprises.
Compteur électronique + disjoncteurs	20 à 30 dB	L'ensemble compteur + disjoncteurs n'atténue pas assez le signal pour empêcher qu'il se propage hors du réseau électrique privé d'un appartement ou d'une entreprise.
Compteur électromécanique + disjoncteurs	30 dB	Au-dessus de 20 MHz
	50 dB	En dessous de 20 MHz

Les différences mesures effectuées indiquent que, dans un réseau de distribution basse tension, l'atténuation moyenne du signal est de l'ordre de 50 dB/km.

Couplage entre phases

Un signal électrique alternatif à haute fréquence circulant dans un câble électrique provoque un champ électromagnétique, appelé *couplage*, à proximité de ce câble.

Le couplage est appelé diaphonique lorsque l'induction concerne deux câbles d'un même réseau électrique et tellurique lorsqu'elle s'effectue entre des câbles de deux réseaux électriques différents.

Réponse fréquentielle

Selon la nature des câbles électriques (matériau, constitution, âge, etc.), la réponse du câble, c'est-à-dire sa capacité à propager le signal, aux signaux HF diffère notablement.

Nous détaillons les conséquences de cette caractéristique sur la mise en place d'un réseau CPL au chapitre 8 et montrons comment la prendre en compte dans le choix de la topologie réseau et celui des câbles électriques.

Sensibilité des interfaces

Les équipements électriques sont constitués d'interfaces analogiques, qui permettent leur couplage au support électrique (inductif ou capacitif). Dans le cas des CPL, ces interfaces permettent en outre la transmission du signal numérique sur les câbles électriques.

Selon les composants électroniques utilisés, l'interface analogique présente une certaine « sensibilité », qui influe sur sa capacité à transmettre le signal CPL sans trop de dégradation. Cette sensibilité est modélisée par une impédance entre le câble électrique et les circuits numériques de l'équipement.

Modélisation des réseaux électriques

La modélisation d'un réseau électrique permet d'anticiper les phénomènes qui se produisent lors de la transmission des données (perturbations, perte de liens, etc.) et d'en proposer une représentation susceptible d'aider à l'ingénierie du réseau.

La modélisation des réseaux électriques, qu'ils soient domestiques, d'entreprise ou publics (dans le cas des réseaux de distribution électrique) est un sujet technique difficile, qui exige de prendre en compte de nombreux paramètres (topologie, nature des câbles, perturbations, équipements branchés sur le réseau, heures de la journée, etc.).

Comme il n'existe pas d'outil de modélisation complet des réseaux électriques, l'ingénierie des réseaux CPL de télécommunications se limite à modéliser la couche physique de transport du signal CPL.

Les mesures effectuées sur les réseaux électriques ont permis de quantifier l'impédance moyenne d'une ligne électrique dans les fréquences hautes du type de celle utilisées par les équipements CPL.

La figure 2.4 illustre la courbe de l'impédance exprimée en ohm (impédance en valeur absolue) en fonction de la fréquence. Cette impédance varie de 50 à 150 ohms pour les fréquences des CPL.

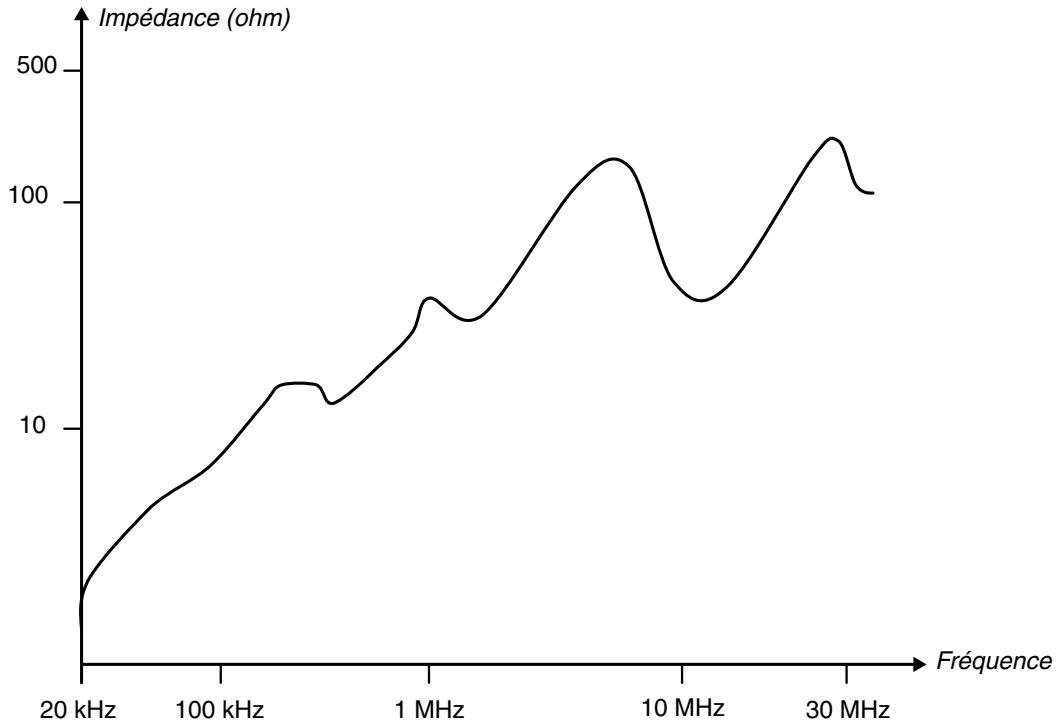


Figure 2.4

Impédances moyennes d'une ligne électrique en fonction de la fréquence

Les travaux de Nicholson et Malak ont permis d'exprimer l'impédance moyenne d'une ligne électrique par la formule :

$$Z_c = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Où

$L = \mu H/m$ (inductance linéaire de la ligne électrique)

$C = \mu F/m$ (capacité linéaire de la ligne électrique)

Les travaux de Downey et Sutterlin ont permis de modéliser le circuit électrique équivalent d'une ligne électrique. Ce circuit, composé de résistances, d'inductances et de capacités peut être schématisé comme illustré à la figure 2.5.

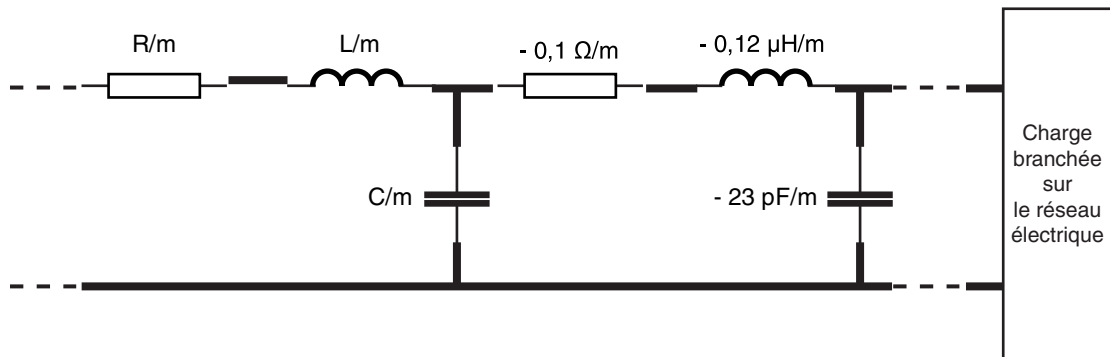


Figure 2.5

Circuit schématique d'une ligne électrique selon le modèle de Downey et Sutterlin

L'impédance d'une ligne électrique est décrite par l'équation suivante :

$$Z = R() + s \times L \text{ (exprimée en ohm)}$$

où R est la résistance du câble électrique en fonction de la fréquence du signal qui se propage dans le câble, s la section du câble électrique et L l'inductance de la ligne électrique.

L'impédance dépend de la charge branchée sur la ligne électrique, c'est-à-dire des équipements électriques (tels que sècheurs électriques, lampes halogènes, etc.) branchés sur le réseau, avec leur impédance propre.

Ces éléments de modélisation des réseaux électriques permettent de donner des ordres de grandeur des valeurs caractéristiques des réseaux électriques influant sur le transport des signaux CPL.

Modélisation des équipements électriques sur le réseau

De la même manière qu'il est difficile de modéliser des réseaux électriques, il est difficile de modéliser les équipements électriques branchés sur le réseau électrique. Ces équipements de toutes sortes sont en effet branchés et débranchés de manière aléatoire, modifiant la charge du réseau en permanence.

De plus, les caractéristiques de ces équipements changent au cours de leur vie, des heures de la journée, de leur fréquence d'utilisation, etc., rendant parfois peu fiable cette modélisation.

À l'exception d'EMTP, qui permet de modéliser l'ensemble d'un réseau électrique avec ses différents câbles en fonction de la topologie, il n'existe guère d'outil susceptible de faciliter l'ingénierie et la compréhension des comportements des signaux CPL sur les câbles électriques.

Le Cenélec travaille toutefois à la mise au point d'un projet destiné à faciliter la modélisation des réseaux électriques domestiques.

Architecture à média partagé

Nous verrons aux chapitres 10, 11 et 12, consacrés à l'installation de réseaux CPL domestiques, d'entreprise et de collectivités locales, que les topologies des réseaux électriques peuvent être vues comme des médias partagés entre tous les équipements au travers desquels se propagent les différents signaux CPL transportant les données échangées entre les terminaux d'un réseau local.

Nous distinguons dans cette section les réseaux dits « publics », qui fournissent l'électricité aux particuliers, entreprises et collectivités, et les réseaux dits « privés », constitués par les réseaux de distribution de l'électricité d'un bâtiment depuis les compteurs jusqu'à l'ensemble des prises du bâtiment. Nous verrons que la notion de média partagé est équivalente pour ces deux types de réseaux.

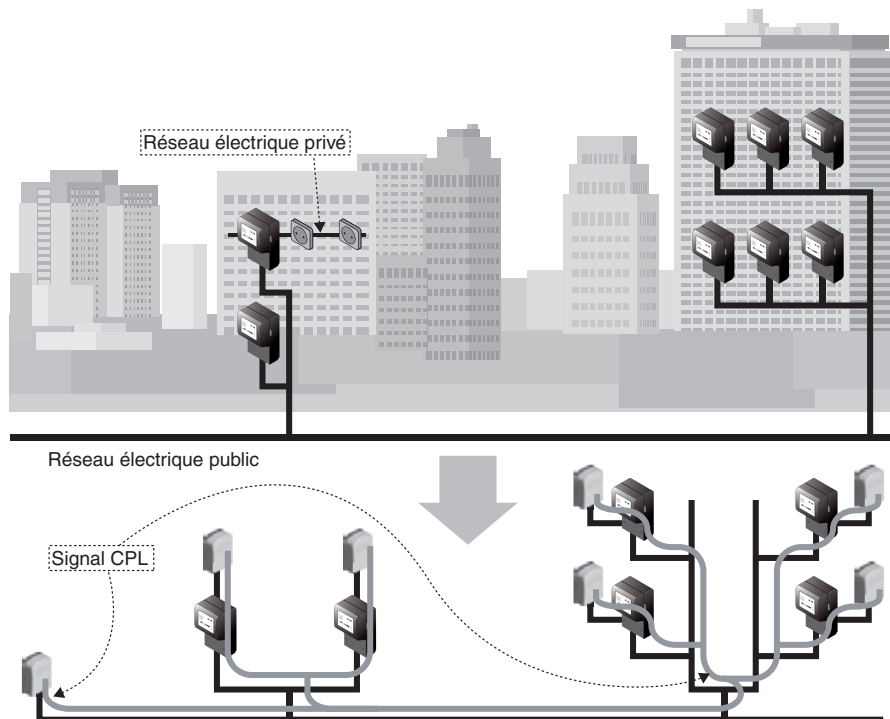
Réseaux publics

On appelle réseau électrique public, un réseau de distribution qui alimente les bâtiments, appartements, immeubles et entreprises d'un quartier, d'une agglomération ou d'une collectivité locale. Ce réseau est public dans la mesure où quiconque peut souscrire un abonnement pour être alimenté par la régie électrique locale ou par un fournisseur tel qu'EDF.

La figure 2.6 illustre schématiquement un réseau électrique public alimentant six compteurs électriques, derrière lesquels se trouvent des équipements CPL connectés au réseau

Figure 2.6

Réseau électrique public et média partagé



électrique privé de l'habitation. Selon les types de topologie du réseau électrique public (étoile, anneau, etc.), le média est plus ou moins partagé entre tous les compteurs en fonction des ramifications du réseau.

Sur cette figure, deux ramifications électriques aboutissent à plusieurs compteurs et aux équipements CPL. Le signal CPL se propage entre les différents équipements connectés au réseau électrique tout le long de ces ramifications, incluant les ensembles compteur + disjoncteurs, aux atténuations du signal près. Cela permet de voir le réseau électrique comme un bus de données, auquel les équipements CPL sont « connectés » de part et d'autre.

Réseaux privés

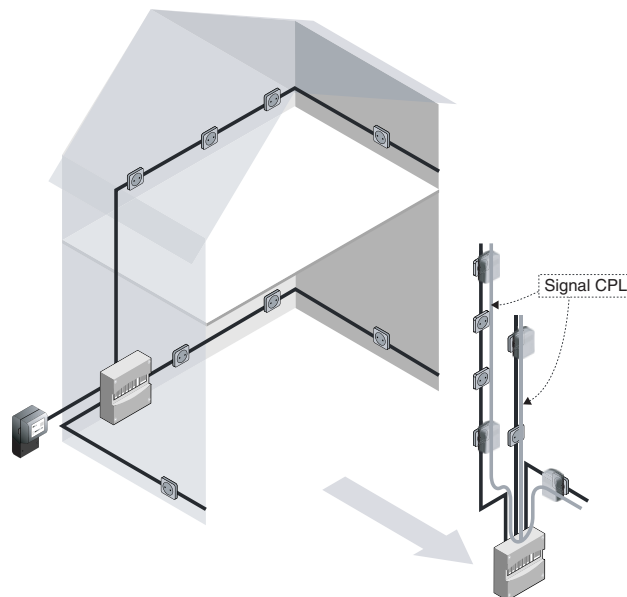
Un réseau électrique privé se situe derrière le compteur d'alimentation du réseau électrique public et ne concerne, en terme de responsabilité, que les occupants de l'habitation (appartement, maison, bureau, usine, etc.).

La topologie de ce type de réseau, contrairement à celle des réseaux électriques publics, ne dispose pas de règles d'ingénierie bien définies et peut être spécifique à chaque installation (ajout de parties de réseau ou de tableaux électriques, topologie en série, etc.). Néanmoins, toutes les ramifications du réseau partent généralement de l'ensemble compteur + tableau électrique, et le signal CPL circule dans l'ensemble des ramifications en repassant par le tableau électrique.

La figure 2.7 illustre un exemple de réseau électrique simplifié, avec trois ramifications depuis le tableau électrique. À droite de la figure, le signal CPL se propage entre les différentes prises afin de connecter les équipements CPL. Cet exemple montre que le réseau électrique privé peut être vu comme un média partagé de type bus de données.

Figure 2.7

*Réseau électrique
privé et média
partagé*



Analogie avec le concentrateur réseau

Les deux exemples précédents de réseaux électriques public et privé démontrent que tout type de réseau électrique peut être vu comme un vaste bus de données sur lequel se connectent les équipements CPL du réseau.

En terme d'équipement de télécommunications, l'analogie la plus évidente est celle d'un concentrateur, ou hub, dont les différents équipements CPL connectés au réseau électrique représenteraient les différents ports Ethernet.

La figure 2.8 illustre schématiquement cette analogie.

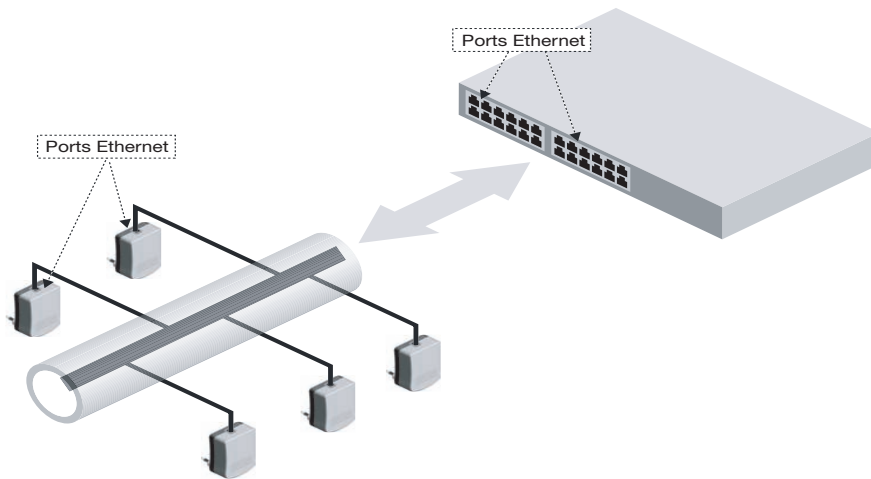


Figure 2.8

Analogie des réseaux CPL avec un concentrateur réseau

Notions de répéteurs

Comme nous le verrons au chapitre 7, dédié aux équipements CPL, il peut être nécessaire de répéter le signal afin d'agrandir sa zone de couverture et de connecter davantage d'équipements.

Lorsque le signal CPL est trop atténué pour pouvoir être interprété par les équipements CPL du réseau, l'équipement répéteur le réamplifie et le régénère le long du câble électrique.

Il existe deux types de répéteurs de signal permettant d'agrandir la couverture réseau :

- Les répéteurs « physiques », qui amplifient réellement le signal et le réémettent le long de la ligne électrique. Cette répétition est dite « physique », car elle intervient sur le signal physique lui-même et non sur les trames logiques. Ce type de répéteur ne diminue donc pas la bande passante de l'ensemble du réseau CPL.

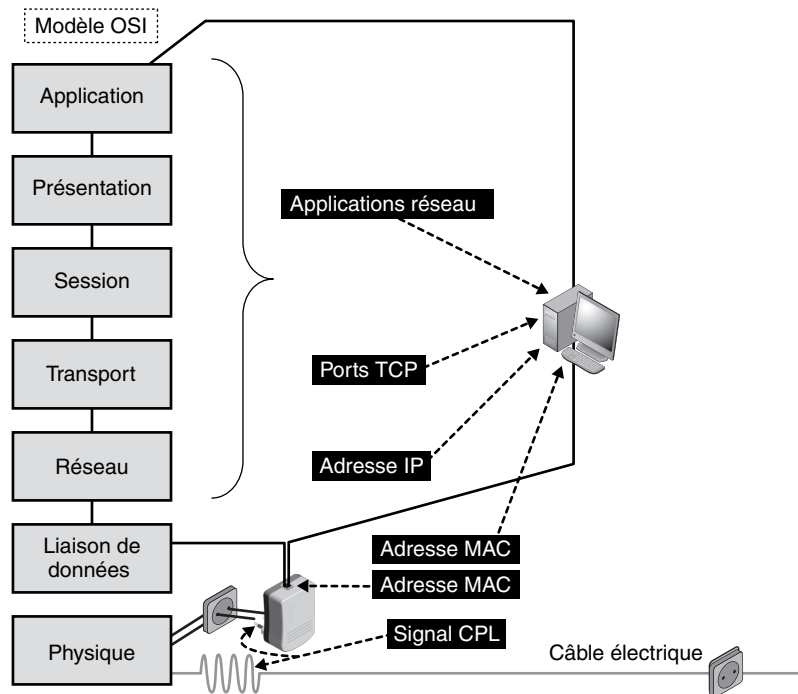
- Les répéteurs « logiques », qui répètent le signal au niveau des trames de données. Ce type de répéteur est constitué de deux équipements CPL reliés par leur interface Ethernet, l'un des équipements étant connecté à un segment du réseau électrique et l'autre au segment du réseau électrique inaccessible par le signal CPL du fait d'une atténuation trop importante. Ce type de répéteur divise par deux la bande passante de l'ensemble du réseau CPL puisqu'il produit deux réseaux logiques distincts sur le même réseau électrique.

Architecture en couches

Le modèle OSI (Open Systems Interconnection) en couches offre une base commune à la description de tout réseau informatique. Ce modèle comporte sept couches, dont chacune décrit un protocole indépendant des autres couches et fournit un service à la couche supérieure et demande des services de la couche inférieure.

Dans le cadre de ce modèle, les réseaux CPL se situent au niveau des couches 1 (physique) et 2 (liaison de données) pour fournir un service de connexion Ethernet aux couches supérieures.

Figure 2.9
*Place des technologies CPL
dans le modèle OSI*



La figure 2.9 illustre la place des technologies CPL dans le modèle OSI. La couche 1 (physique) est constituée logiquement par le câble électrique sur lequel circule le signal

CPL. L'équipement CPL fournit à un terminal (classiquement un PC) un service de connexion Ethernet au niveau de la couche 2 (liaison de données) au moyen d'un adressage MAC et d'une connectique RJ-45. Le terminal utilise les services du réseau CPL pour accéder aux services des couches supérieures (IP, TCP, HTTP, etc.).

La couche physique

La couche physique des technologies CPL est constituée par le câble électrique et plus généralement par les réseaux électriques. La technique utilisée pour transporter le signal CPL sur ce support consiste à ajouter aux 220 V/50 Hz du circuit électrique un signal modulé de faible amplitude autour d'une fréquence centrale dite « fréquence porteuse » F .

La couche physique consiste en ce signal modulé (nous détaillons les techniques de modulation au chapitre 3) de faible amplitude, transporté sur les câbles électriques à une fréquence déterminée par la technologie CPL considérée et la réglementation en vigueur.

La figure 2.10 illustre la somme des signaux CPL et 220 V/50 Hz qui se superposent sur les câbles électriques pour constituer la couche physique des réseaux CPL.

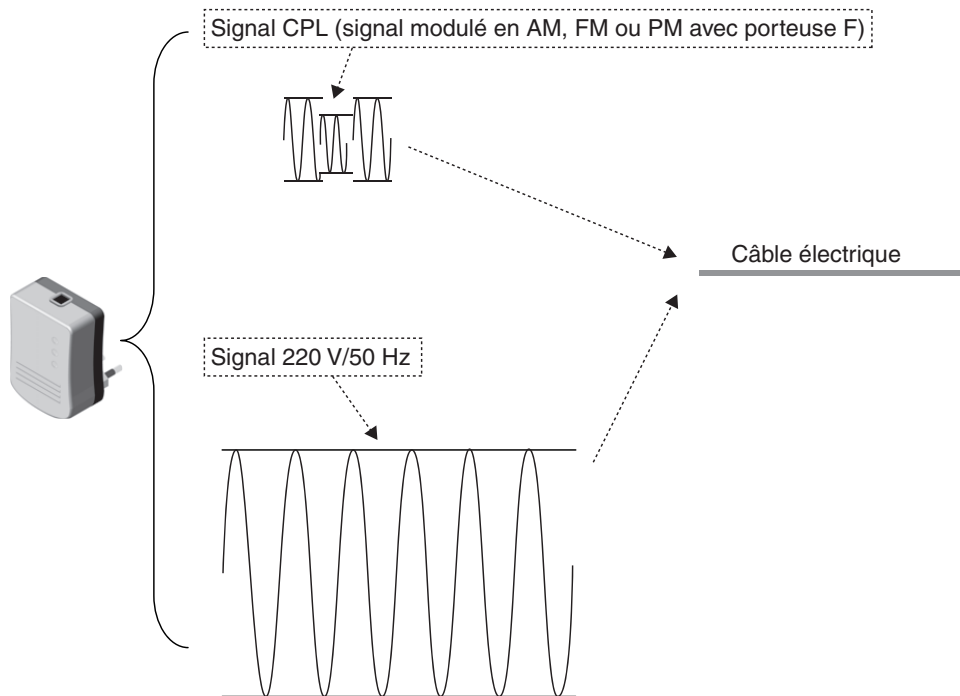


Figure 2.10

Somme du signal CPL modulé et du signal électrique 220 V/50 Hz

Les bandes de fréquences

Le signal CPL étant un signal modulé en amplitude, fréquence ou phase autour d'une fréquence porteuse F , il est nécessaire de mettre en place des règles d'utilisation de chaque bande de fréquences entre 0 et quelques dizaines de gigahertz par le biais d'organismes de régulation nationaux ou européens.

Deux bandes de fréquences sont allouées aux technologies CPL :

- 3 à 148 kHz pour les CPL dits bas débit ;
- 2 à 20 MHz pour les CPL dits haut débit.

La figure 2.11 illustre la place des fréquences CPL relativement à d'autres technologies réseau.

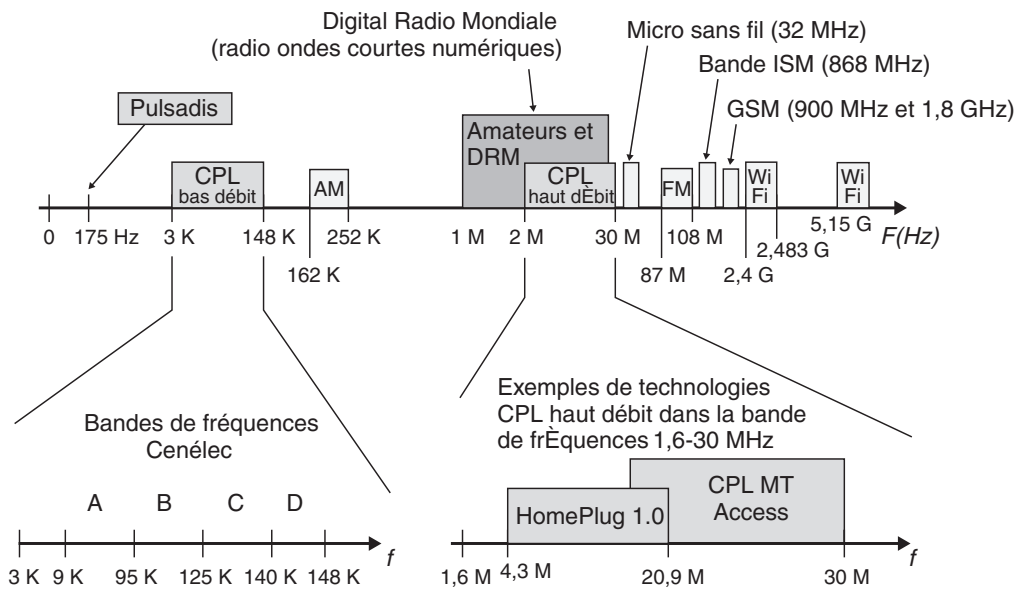


Figure 2.11

Bandes de fréquences utilisées par les réseaux CPL