

III.1. Introduction

Ce troisième chapitre est consacré à la présentation des divers aspects théoriques qui constituent les bases de nos travaux. Nous aborderons dans un premier temps les courants porteurs en ligne (CPL). Après une petite partie historique, nous étudierons le principe de fonctionnement du CPL ainsi que ses deux architectures possibles à savoir le CPL Indoor et le CPL Outdoor. Nous verrons ensuite le niveau de sécurité puis des utilisations possibles du CPL. De plus, on fait un listage des avantages et inconvénients du CPL. Enfin, nous donnons des notions sur les caractéristiques du réseau électrique.

III.2. La technologie des courants porteurs en ligne CPL

Les CPL constituent une technique qui utilise le réseau d'énergie électrique pour transmettre tous les services de télécommunication. Le CPL permet de faire passer de l'information numérique (Voix, Donnée, Image) sur le réseau électrique par différentes techniques de modulation/démodulation, sans aucune perturbation électrique. Il devient ainsi possible de réaliser simplement un réseau haut débit dans un local commercial, un bureau, un immeuble, un appartement, en utilisant le support du réseau de distribution d'énergie électrique.

III.2.1. Historique

La technique des CPL n'est pas récente dans son principe. Dès 1838, en Angleterre, *Edward Davy* a proposé une solution permettant de mesurer à distance les niveaux de batterie des sites éloignés du système télégraphique entre Londres et Liverpool. En 1897, il présentait le premier brevet (British Patent N° 24833) d'une technique de mesure à distance des compteurs du réseau électrique communiquant sur les câbles électriques [17]. Appelés ripple control, les premiers systèmes CPL ont été élaborés puis déployés sur les réseaux électriques moyenne tension et basse tension en 1950. La fréquence porteuse était alors comprise entre 100 Hz et 1 kHz. Il s'agissait d'établir des communications monodirectionnelles via des signaux de commande pour l'allumage et l'extinction à distance des éclairages publics ou encore pour des changements tarifaires [18]. L'expression " courants porteurs en ligne ", communément abrégée CPL, est apparue à la fin de la seconde guerre mondiale, en 1945. À l'époque, beaucoup de lignes téléphoniques et électriques étaient détruites, mais il restait davantage de lignes électriques d'infrastructure que de lignes téléphoniques. Pour des besoins de communication, des systèmes ont été conçus afin de transmettre des données sur les câbles haute tension ou moyenne tension.

Les premiers systèmes industriels sont apparus en France en 1960 sous le nom de Pulsadis. Ce n'est qu'ensuite qu'apparurent les premiers systèmes CPL de la bande dite Cenélec, s'étendant

de 3 à 148,5 kHz et permettant des communications bidirectionnelles sur le réseau électrique basse tension (BT) afin, par exemple, de pratiquer des relevés de compteurs (télérelève), ainsi que bon nombre d'applications relevant du domaine de la domotique (alarme d'intrusion, détection d'incendie, détection fuite de gaz, etc.).

III.2.2. Principe de fonctionnement

En effectuant la technologie CPL à haut débit qu'elle est illustrée en Figure III.1, 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 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 [17] [18].

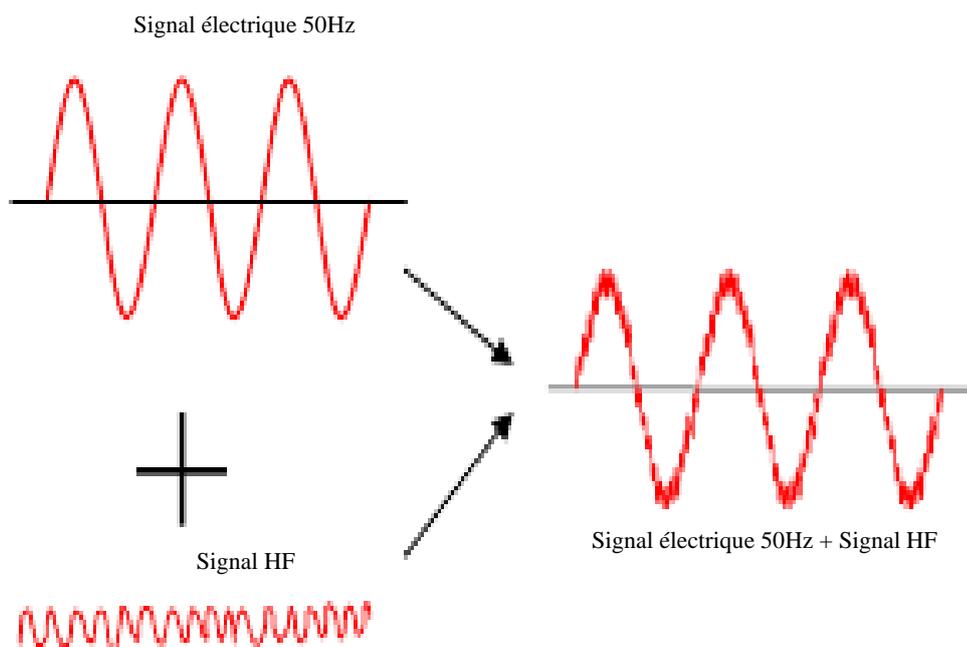


Figure.III.1. Principe de fonctionnement du CPL.

Un coupleur intégré en entrée des récepteurs CPL élimine les composantes basses fréquences avant le traitement du signal. Il existe deux architectures du réseau CPL : l'indoor et l'outdoor. Nous allons détailler chacun de ces réseaux.

III.2.3. Techniques de modulation

Comme nous l'avons signalé précédemment, 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 [19]. 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. Sur les solutions actuelles, deux types de modulation ressortent particulièrement : OFDM et Spread Spectrum.

III.2.3.1. OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing

La technique de transmission OFDM est basée sur l'émission simultanée sur n bandes de fréquence (situées entre 1 et 30 MHz) de N porteuses sur chaque bande. Le signal est réparti sur les porteuses. 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 [20] [21].

III.2.3.2. Modulation à étalement de spectre (Spread Spectrum)

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 [19]. La modulation CDMA (*Code Division Multiple Access*) est une

modulation à étalement de spectre utilisée pour certaines solutions CPL. 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.

III.2.4. Mise en œuvre

L'implémentation d'un réseau local basé sur les CPL repose sur un principe simple : il suffit d'intégrer un coupleur (passerelle) CPL entre la connexion Internet existante (modem ADSL par exemple) et le réseau électrique. Ensuite, il est possible de se connecter à Internet via n'importe quelle prise électrique du réseau électrique local en branchant un adaptateur CPL (branché sur le port Ethernet ou USB, le paramétrage informatique dépendant alors du type d'adaptateur choisi) entre ordinateur et prise électrique [19]. A noter que le coupleur CPL n'est pas indispensable : il est en effet possible d'utiliser 2 adaptateurs CPL, l'un connecté de manière permanente au modem ADSL pour faire le lien entre l'accès Internet et le réseau électrique, et l'autre permettant de relier l'ordinateur à n'importe quelle prise électrique du bâtiment.

III.2.5. Le CPL 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.

Attention tout de même à la disponibilité des drivers (pour les modèles en USB) selon le système d'exploitation.

- ◆ 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 [19].

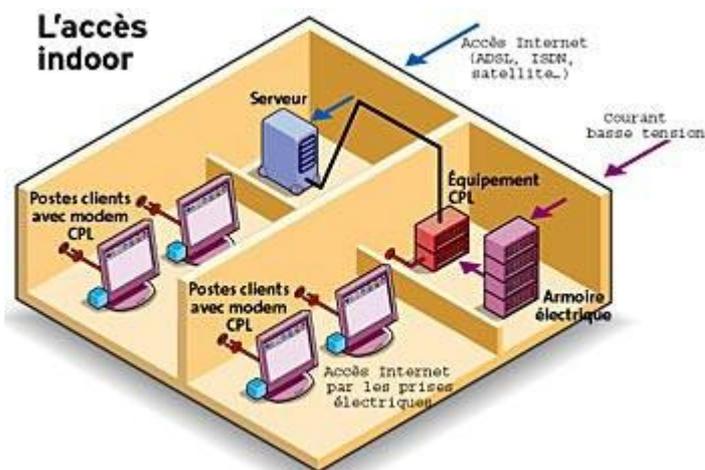


Figure III.2. Réseau Indoor.

III.2.6. Le CPL 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. En effet, pour des raisons juridiques, en France, le CPL Outdoor est encore au stade de l'expérimentation. L'activité de transport de données relève des télécommunications et nécessite une licence d'opérateur de réseaux et télécoms ce qui n'est pas le cas d'EDF. La France contrairement à l'Allemagne qui commercialise déjà des offres haut débit via CPL devra attendre la privatisation d'EDF.

L'accès Outdoor peut-il constituer une solution pour les collectivités locales ?

Dans de nombreuses parties du territoire, les opérateurs télécoms ont jugé non rentable l'ADSL et la mise en place de câblages classiques représente un investissement trop lourd.

Le réseau haut débit semble réservé aux habitants de zones urbaines relativement densément peuplées, ainsi des zones d'activité économique importantes ne peuvent accéder à cette technologie pourtant essentielle à leur développement. Une possibilité pour les collectivités locales et les entreprises concernées est d'utiliser la technologie CPL afin d'acheminer un flux haut débit depuis un point d'accès préexistant. La capillarité extrêmement fine du réseau électrique permet en effet d'atteindre virtuellement l'ensemble du territoire, et en particulier les zones rurales qui semblaient jusqu'à présent exclues de la « révolution » haut débit.

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

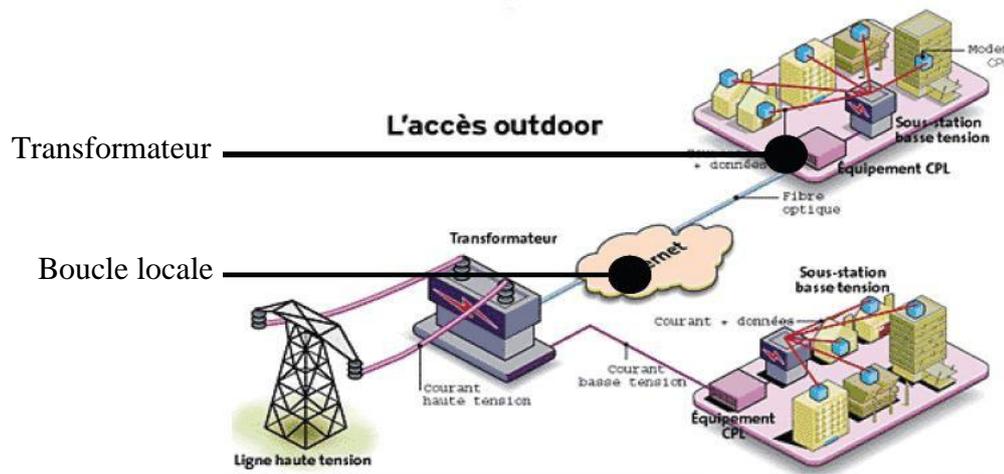


Figure.III.3. Réseau Outdoor.

III.2.7. Avantages des CPL

Comme la plupart des systèmes, les CPL présentent des avantages par rapport aux technologies concurrentes (ADSL, WIFI), mais également des inconvénients. Un des atouts majeurs des CPL est l'utilisation du réseau électrique préexistant. Aucun câblage supplémentaire n'est requis, ce qui rend cette technologie particulièrement attractive.

Les principaux avantages des CPL sont les suivants :

- ◆ Utilisation du réseau électrique existant, ce qui implique une couverture potentielle de la totalité du pays considéré,
- ◆ Déploiement rapide, pas de câblage supplémentaire,
- ◆ Facilite l'installation de l'Internet dans les régions sans réseau de télécommunication (Outdoor),
- ◆ Facilite les connexions des services de télécommunication dans les bâtiments résidentiels (Indoor),
- ◆ Les investissements et les coûts d'exploitation sont similaires à xDSL et plus faible que dans les services de câblodistribution.

Les pays qui ne disposent pas de réseau téléphonique très densifié sont très intéressés par cette technologie [19].

III.2.8. Inconvénients des CPL

Parmi les inconvénients des CPL, citons les problèmes liés :

- ◆ à l'émission de bruit électromagnétique qui peut interférer avec la radio publique,
- ◆ à l'établissement de limites pour le courant mené dans l'équipement et des champs rayonnés par le réseau,
- ◆ l'absence de définition de méthodes de mesure sur le terrain,
- ◆ le problème de l'immunité du réseau aux perturbations externes et internes,
- ◆ au partage des flux de données entre les utilisateurs desservis par le même transformateur électrique,
- ◆ à l'identification des applications distribuées,
- ◆ à la distance à couvrir qui limite le débit disponible.
- ◆ au problème des différentes phases.

La Figure III.4 ci-dessous, montre certains désavantages de cette technologie [20].

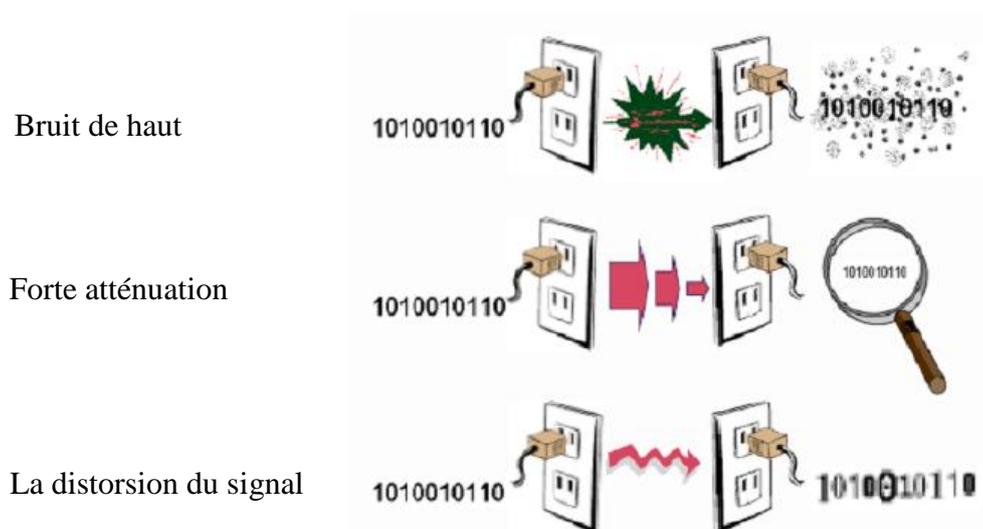


Figure III.4. Perturbation du signal, l'atténuation et la distorsion.

III.2.9. 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.

III.3. Notions sur les caractéristiques du réseau électrique

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

III.3.1. 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 230 V/50 Hz.

Un câble électrique présente une impédance complexe Z (valeur des composantes résistives, inductives et capacitives des éléments du réseau électrique). 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.

Ces caractéristiques se traduisent par une modélisation particulière de la couche physique c.à.d du câble électrique, afin d'obtenir la meilleure qualité possible du canal de transmission [22].

III.3.1.1. 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 utilisées 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 engendrent un certain nombre de perturbations sur le canal de transmission qui peuvent être sujets à la CEM (compatibilité électromagnétique). De nombreux groupes de travail du Cenelec (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. 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.

III.3.1.2. Atténuation

Le signal électrique perd de sa puissance et subit une atténuation en fonction de la distance parcourue. Il est important de prendre en compte cette caractéristique du câble électrique pour offrir les meilleures performances au réseau CPL.

Les différences d'impédances sur le réseau électrique provoquent des effets tels que les multi trajets, qui entraînent des nochers, 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 [16] [21].

III.3.2. 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 (câble électrique) de transport du signal CPL [24].

Les travaux de Downey et Sutterlin ont permis de modéliser une ligne électrique par un circuit, composé de résistances, d'inductances et de capacités et qui peut être schématisé et illustré à la Figure III.5.

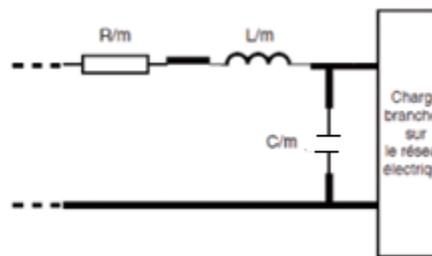


Figure III.5. Circuit schématique d'une ligne électrique selon le modèle de Downey et Sutterlin.

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

$$Z = R + p \times L \quad (\text{III.1})$$

Où R est la résistance du câble électrique, p est la variable de Laplace et L l'inductance de la ligne électrique.

$$Y = G + p \times L \quad (\text{III.2})$$

Où G est la conductance du câble électrique, p est la variable de Laplace et C la capacité de la ligne électrique. 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.

III.3.3. Topologie des réseaux BT

Un réseau électrique basse tension s'articule autour d'un poste de transformation MT/BT qui assure la liaison entre le réseau électrique BT et le réseau électrique MT 23 KV situé en amont. Le poste de transformation MT/BT doit être vu comme la racine ou le point d'alimentation du réseau électrique BT puisque cet élément est le point de départ des différentes canalisations BT reliant les multiples clients connectés [23].

En effet, un certain nombre de départ triphasés, se trouvant en aval du poste de transformation MT/BT, vont alimenter les différents clients qui y sont connectés. Dans la pratique, ces départs peuvent être au nombre de 6, voire 8. Ils constituent les pièces maîtresses d'une structure arborescente, composée, en aval, de tronçons triphasés et monophasés dont les terminaisons assurent la desserte de la clientèle. Les clients sont connectés au réseau au moyen des points de livraison, s'apparentant soit à des branchements, soit à des colonnes montantes dans un immeuble collectif. Ainsi, sur un départ donné, les branchements clients, monophasés pour la plupart, se répartissent entre une des phases et le neutre. En principe, cette répartition est réalisée de telle sorte que les courants en 50 Hz, soient de même valeur sur chacune des phases. La Figure III.6 illustre toute la variété possible d'un réseau électrique BT. La distance maximale qu'il peut y avoir entre le poste de transformation MT/BT et le client le plus éloigné n'excède pas, en pratique, 500 m sauf en zone rurale, où l'on peut aller jusqu'au kilomètre. Par ailleurs, les niveaux de tension nominale sont de 230 V entre phase et neutre et 400 V entre deux phases. Compte tenu des divers facteurs intervenant dans le réglage de la tension en amont des réseaux BT, ces prescriptions sont, en général, respectées si l'on impose de ne pas dépasser des chutes de tension supérieures de 5 à 10 % à ces valeurs de référence. Un même réseau basse tension est susceptible d'alimenter jusqu'à 500 ou 600 clients, en zone urbaine. Cependant, le plus souvent, on ne va guère au-delà de 400 clients, et l'on peut tabler sur une moyenne de l'ordre de 250 dans une telle zone. En zone rural, la situation est extrêmement contrastée. La desserte d'un client isolé peut justifier l'installation d'un petit transformateur MT/BT, monté sur un poteau, tandis que le village nécessite 400 kVA ou 630 kVA, pour 200 ou 300 clients.

III.3.4. Configurations indoor et outdoor des réseaux CPL

Le réseau électrique BT peut être vu comme l'encapsulation de deux réseaux électriques communicants. En effet, nous avons un réseau global de distribution s'étalant physiquement du poste de transformation MT/BT aux différents habitats clients. Il se trouve que les habitats clients terminaux sont eux-mêmes des réseaux électriques locaux de taille beaucoup plus modeste, en général uniquement constitués d'un conducteur de neutre et de phase. Aussi, il peut être pertinent d'envisager deux grandes classes de réseaux CPL, la première se confondant avec le réseau électrique BT de distribution qui court du poste MT/BT jusqu'au point de livraison et la deuxième restant cantonnée au niveau de l'installation électrique intérieure au bâtiment à alimenter [19] [24].

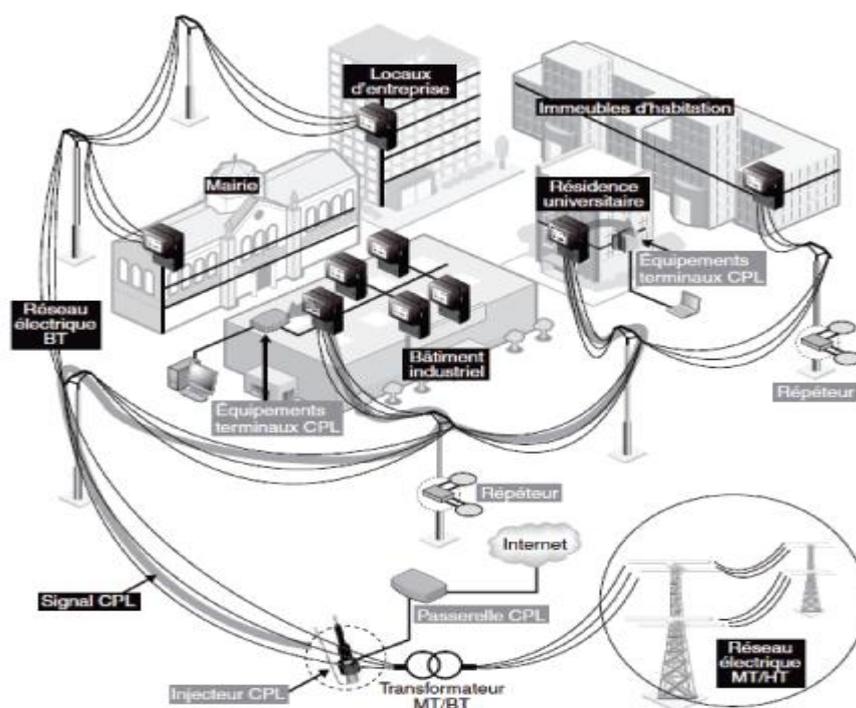


Figure III.6. Réseau électrique BT.

Ces deux configurations sont communément référencées par les termes de réseaux CPL outdoor et indoor, respectivement. Il s'agira pour les réseaux CPL de type indoor de se cantonner à un point terminal, (ce point terminal pourra s'apparenter à un immeuble collectif, un établissement public ou privé) limitant de cette façon le réseau CPL localement à ce logement. Ainsi les signaux CPL circuleront uniquement sur le réseau électrique BT du logement et seront accessibles à partir de n'importe quelle prise électrique. Sur un réseau CPL de type indoor, les

signaux CPL sont en général injectés depuis le tableau de répartition, la réception pouvant être ensuite faite à partir de n'importe quelle prise électrique. Les réseaux CPL Outdoor ne sont qu'une généralisation des réseaux CPL Indoor dans la mesure où les signaux CPL sont autorisés, ici, à véhiculer sur le réseau électrique BT dans son intégralité l'injection des signaux sera ainsi réalisée depuis le poste de transformation MT/BT.

Il vient que tous les clients connectés à ce réseau électrique BT seront à même de récupérer les informations utiles contenues dans ces signaux CPL, moyennant l'insertion, au préalable, d'un modem CPL réalisant l'interfaçage entre le réseau électrique et l'équipement terminal (ordinateur, imprimante, téléphone numérique, ...). Formellement, la frontière entre les deux domaines peut être placée près du compteur. Physiquement, elle est aisément franchissable dans les deux sens par les signaux CPL, qu'ils soient d'origine Outdoor ou d'origine indoor. En effet, il n'est pas envisageable de tabler sur une discrimination selon la phase sur laquelle est réalisée la connexion d'un modem CPL, car, la diaphonie interne à toute canalisation triphasée couple efficacement les modes de propagation entre eux [24].

III.4. Investigation du CPL dans un système de protection

Soit l'exemple suivant, le CPL est associé à un système de protection à sélectivité logique. En cas de défaut de court-circuit au niveau de la charge par exemple, le relais de la protection B émet au disjoncteur A un signal HF dit signal d'attente logique. Si la protection B fonctionne le signal HF cesse de persister dans le cas contraire et après certain temps pré-régler la protection A intervient.

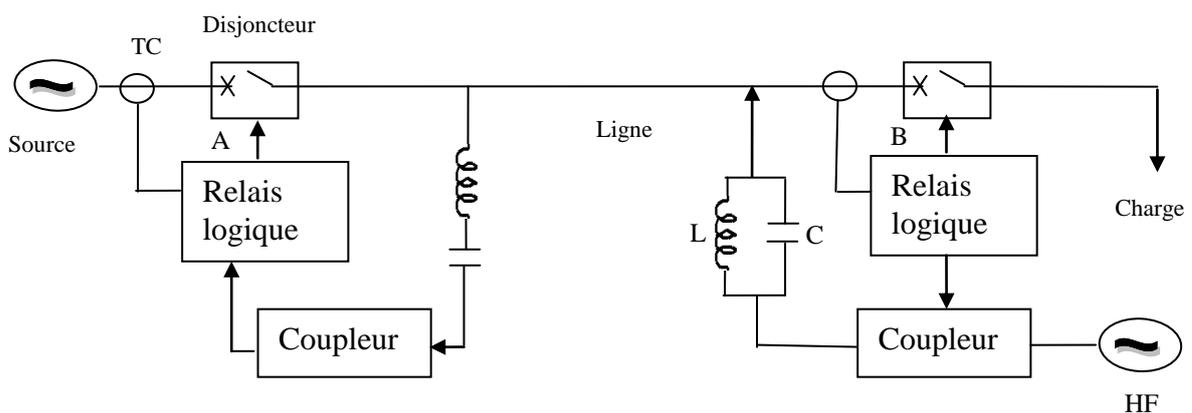


Figure.III.7. Investigation du CPL dans un système de protection.

III.5. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté la technologie CPL en donnant les différents aspects qui lui sont associés : son principe, son historique, ces avantages et ces inconvénients. Puis, nous avons expliqué les techniques de modulation en exposant la mise en œuvre de cette technologie ensuite nous avons définis le canal de transmission en fin on a donné quelques définitions sur les caractéristique de réseaux électrique afin de savoir le rôle de CPL que nous avons besoin dans la protection de réseaux électrique. Dans le chapitre qui suit, nous traitons la sélectivité logique à CPL par à l'aide du programme Simulink/Matlab.