

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا للتكنولوجيا

Ecole national supérieur de technologie

Département : Génie Industriel Et Maintenance

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme

D'Ingénieur d'état

Filière

Electromécanique

Spécialité

Mécatronique

Thème

**Conception et réalisation d'un système de domotique à
base du courant porteur en ligne CPL**

Réalisé par

NEZZARI Younes**DRIOUECHE Imed eddine****Les membres de Jury :**

BOUSSOUFA Ahmed	Président
CHEKIREF Fathia	Promoteur
KERROUCHI Slimane	Co- Promoteur
HABANI Lamia	Examineur

Alger, le 03 /07/2023**Année universitaire 2022 –2023**

Dédicaces

«Je dédie ce mémoire à mes parents, à ma famille et à mes proches.

À la mémoire de ma chère mère, qui a été la source d'inspiration et la personne responsable de l'homme que je suis aujourd'hui. Son amour inconditionnel, son soutien indéfectible et ses encouragements ont été les piliers de ma réussite. Je lui suis éternellement reconnaissant pour les valeurs qu'elle m'a inculquées et pour les enseignements précieux qu'elle m'a transmis. Que ce travail soit un hommage à sa mémoire et une preuve de l'impact positif qu'elle a eu sur ma vie

Je souhaite également dédier ce travail à mon cher père, qui a été mon pilier inébranlable. En lui, j'ai trouvé une source infinie de soutien et de réconfort. Ses conseils sages, sa force et son amour inconditionnel ont été une boussole dans ma vie. Je lui suis profondément reconnaissant d'avoir été là à chaque étape de mon parcours, et je lui dédie ce travail en témoignage de mon amour et de ma gratitude pour tout ce qu'il a fait pour moi.

À ma famille, mes proches et mes amis qui ont toujours cru en moi et m'ont encouragé à poursuivre mes rêves. Votre soutien, vos encouragements et votre compréhension ont été essentiels pour surmonter les moments difficiles et pour célébrer les succès. »

Dédicaces

«Je dédie ce travail à mes parents aimants, ma sœur inspirante et mes adorables petits frères, Anis et Raouf.

À mes chers parents, Aucune dédicace ne pourra véritablement exprimer ma sincère gratitude envers vous pour m'avoir donné la vie et pour tous les sacrifices que vous avez consentis pour que je puisse atteindre où je suis aujourd'hui. Je vous remercie du fond du cœur pour votre soutien indéfectible, votre aide précieuse et, surtout, pour l'éducation que vous m'avez donnée. Votre dévouement et votre amour inconditionnel ont été les piliers qui ont façonné ma vie.

À ma chère sœur, Tu as été mon modèle, mon alliée et ma confidente tout au long de ce parcours. Tes conseils avisés, ton soutien inconditionnel et ta perspicacité ont été essentiels pour surmonter les obstacles et grandir. Je t'aime de tout mon cœur, ta présence est un cadeau précieux qui illumine chaque étape de ma vie. Je serai toujours là pour toi, prêt(e) à t'accompagner dans tous tes rêves. Tu es le meilleur cadeau que la vie m'ait offert.

À mes chers petits frères, Anis et Raouf, Votre innocence, votre enthousiasme et votre curiosité sont une source constante d'inspiration pour moi. Je vous encourage de tout mon cœur dans votre vie quotidienne, car je sais que vous avez en vous le potentiel de réaliser de grandes choses. Nourrissez votre soif de connaissances, poursuivez vos rêves avec détermination et sachez que je serai toujours là pour vous soutenir. Que votre parcours soit empli de réussite, de bonheur et d'épanouissement. Je crois en vous, mes petits frères, et je suis fier de vous avoir dans ma vie.

»

NEZZARI Younes

Remerciements

«Tout d'abord, nous tenons à remercier ALLAH pour nous avoir accordé la force et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce projet . Nous souhaitons également exprimer notre gratitude envers l'unité de développement des équipements solaires (UDES) . Nous sommes reconnaissants de l'opportunité qui nous a été offerte de travailler dans cet environnement propice à l'apprentissage et à la recherche.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à notre encadrante, Dr.Fathia Chekired (Directrice de recherche), pour son soutien continu et son expertise précieuse. Nous sommes reconnaissants envers elle de nous avoir proposé un thème intéressant qui a rendu notre projet de fin d'étude pertinent et enrichissant.

Nous exprimons notre gratitude envers l'École nationale supérieure de technologie pour la formation de qualité qu'elle nous a dispensée. Nous remercions également notre encadrant, Dr. KERROUCHI Slimane pour son accompagnement et son soutien tout au long de ce projet, sans lequel nous n'aurions pas pu atteindre nos objectifs.

Nous tenons à remercier chaleureusement toute l'équipe de l'UDES, notamment M. Laldji Ali, M. Akel Fethi, M. Berkane Smain, M. Ycine Guerguour, M. Zoubeyr Belguroun et M. Aissa Meflah, pour leur contribution considérable à notre projet. Leur expertise, leurs conseils et leur collaboration ont grandement contribué à notre réussite.

Nous sommes conscients que sans le soutien de toutes les personnes mentionnées, notre projet n'aurait pas pu aboutir de la même manière. Nous sommes extrêmement reconnaissants de leur engagement et de leur contribution.

Merci infiniment à tous pour avoir rendu cette expérience de projet de fin d'étude inoubliable et enrichissante. »

Table des matières

Table des figures	2
Nomenclature	3
Introduction Générale	4
I Généralités	5
I.1 Introduction	6
I.2 Domotique	6
I.2.1 Définition	6
I.2.2 Principe de la domotique	6
I.2.3 Domaines d'application de la domotique	7
I.2.4 Domotique en Algérie	8
I.3 Maison intelligente	9
I.3.1 Définition	9
I.3.2 Les aspects de la maison intelligente	10
I.3.3 Domotique et maison intelligente	10
I.4 Courant porteur en ligne	11
I.4.1 Introduction	11
I.4.2 Historique	12
I.4.3 Principe de fonctionnement	12
I.4.4 Applications de la technologie CPL	16
I.4.5 Caractéristiques de la technologie CPL	19

I.5	Technologies de communication de données	19
I.5.1	Technologies de communication filaire.....	20
I.5.2	Technologies de communication sans fil	21
I.5.3	Etude comparative entre CPL,WI-FI et Ethernet :.....	21
I.6	Conclusion	23
II	Conception d'un système domotique à base de CPL	24
II.1	Introduction	25
II.2	Aperçu général sur le système	25
II.3	Partie matériel et logiciel	26
II.3.1	Module arduino MEGA.....	26
II.3.2	Convertisseur TTL vers RS485.....	27
II.3.3	Relais modbus RTU 8 canaux.....	27
II.3.4	PIR (Passive Infra-Red)	29
II.3.5	Modem FSK-KQ330.....	30
II.3.6	Module Bluetooth HC-05	33
II.3.7	Matlab(simulink)	34
II.4	Conception de système	35
II.5	Conclusion.....	37
III	Résultats de simulation et réalisation	38
III.1	Introduction	39
III.2	Simulation de transmission de données par CPL.....	39
III.2.1	Schéma bloc de la superposition de signaux	39
III.2.2	Résultat des schéma bloc.....	40
III.3	Essais expérimentaux.....	42
III.3.1	Transmission des données à travers les lignes électriques d'alimentation .	42
III.3.2	Analyse des résultats expérimentaux par l'oscilloscope	44

III.3.3 Commande de l'éclairage par la technologie CPL	47
III.4 Cas d'étude : maison solaire intelligente basse consommation de l'UDES	51
III.4.1 Présentation de la maison solaire intelligente de l'UDES	51
III.4.2 Tests et résultats	52
III.4.3 Commande de l'éclairage périphérique de la maison solaire intelligente ...	55
III.4.4 Analyse des coûts	56
III.5 Conclusion	57
Conclusion générale	58
Bibliographie	59

Table des figures

I.1	Maison intelligente et les différents appareils domestiques [1].	9
I.2	Schéma explicatif sur le phénomène de superposition [2].	13
I.3	Schéma explicatif sur le processus de transmission	14
I.4	Technique de modulation OFDM[3]	15
I.5	Les deux méthodes de couplage	16
I.6	les systèmes CPL Outdoor.	18
I.7	processus de transmission	19
I.8	Tableau comparatif des débits [4]	22
II.1	Architecture de système à base de CPL.	26
II.2	Module arduino MEGA.	26
II.3	Module Arduino RS485 vers TTL	27
II.4	Relais modbus RTU 8 canaux	28
II.5	Détecteur de mouvement	29
II.6	Boutons réglables de de PRI	29
II.7	Modem FSK-KQ330.	30
II.8	Circuit du module FSK-KQ330 [5].	31
II.9	circuit émetteur du module FSK-KQ330 [5].	32
II.10	Circuit récepteur du module FSK-KQ330 [5]	33
II.11	Module Bluetooth HC-05.	34
III.1	Schéma de la superposition par CPL	39
III.2	Signal de données numériques	40
III.3	Schéma de modulation de signal numérique	41
III.4	Signal modulé avec la technique de modulation FSK	41
III.5	Schéma bloc de la superposition de signal modulé	42
III.6	Superposition de signal de données sur le signal électrique d'alimentation	42
III.7	Les parties de transmission de données par CPL	43

III.8	Signal sortant de l'Arduino maître	44
III.9	Signal modulé par le modem CPL KQ-330	45
III.10	Signal électrique d'alimentation	46
III.11	Signal électrique d'alimentation et ses harmoniques	46
III.12	Système de Commande d'éclairage par la technologie CPL	47
III.13	Diagramme de fonctionnement connexion bluetooth	48
III.14	Interface de l'application mobile.	49
III.15	Partie émetteur du système de commande d'éclairage par CPL.	49
III.16	Partie récepteur du système de commande d'éclairage par CPL.	50
III.17	Système de commande d'éclairage par CPL.	50
III.18	Maison solaire basse consommation de l'UDES.	52
III.19	Appareil électroménagers moins énergivores.	52
III.20	Branchement relais dans l'armoire électrique de la maison	53
III.21	Interface de commande des charges électriques de la maison	53
III.22	Commande de l'éclairage de la chambre	54
III.23	Commande de l'éclairage de la salle de bain	54
III.24	Commande du téléviseur	54
III.25	Commande de ventilateur	55
III.26	Eclairage périphérique de la maison solaire intelligente.	55
III.27	Coût du système domotique implémenté dans la maison solaire	56

Nomenclature

BT : Basses Tension I.0

CPL : Courant Porteur en Ligne

HF : Hautes Fréquences

HT : Hautes tension

HTA : Haute Tension A

IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers

LAN : Local Area Network

MT : Moyens Tension

OFDM : Orthogonal Frequency-Division Multiplexing

RTU : Remote Terminal Unit

SS : Spread Spectrum

TTL : Transistor-Transistor Logic

Introduction générale

La domotique et les maisons intelligentes sont devenues des concepts populaires dans notre société moderne, offrant la possibilité d'automatiser et de contrôler divers aspects de notre environnement domestique pour améliorer l'efficacité, le confort et la sécurité de nos maisons[6]. Au cœur de ces maisons intelligentes se trouvent les technologies de communication, permettant la connectivité et l'échange d'informations entre les différents dispositifs et systèmes constituant le réseau domestique[4].

Dans le premier chapitre de ce mémoire de fin d'études en tant que futurs ingénieurs en mécatronique, nous explorerons le concept de la domotique et de la maison intelligente. Nous examinerons également la technologie de communication du courant porteur en ligne (CPL) et ses différences par rapport aux autres technologies de communication[4].

Dans le deuxième chapitre, nous aborderons la conception d'un système domotique basé sur le CPL. Nous explorerons les aspects clés de la conception, y compris les composants essentiels du système et les logiciels utilisés pour sa mise en place. Ce système vise à permettre le contrôle à distance des charges électriques et l'automatisation des tâches quotidiennes. Grâce à la communication CPL, il sera possible d'interagir avec le système domotique depuis n'importe quel endroit, que ce soit via une application mobile ou un ordinateur.

Dans le troisième chapitre de notre étude, nous avons réalisé des simulations et des essais expérimentaux afin de déterminer la faisabilité de la transmission de données CPL dans une maison intelligente. Nous avons ensuite procédé à l'intégration de notre système domotique dans un environnement réel et effectué des tests en temps réel. L'objectif était d'évaluer les performances et les résultats obtenus à partir de ces tests.

Ces trois chapitres constitueront un parcours complet dans l'étude de la domotique et de l'implémentation de la technologie CPL dans une maison intelligente . À travers cette recherche, nous espérons contribuer à l'avancement de la domotique et ouvrir de nouvelles perspectives pour des maisons intelligentes plus connectées et efficaces.

Chapitre I

Généralités

I.1 Introduction

La domotique et les maisons intelligentes sont des concepts de plus en plus populaires dans notre société moderne. Grâce aux avancées technologiques, il est désormais possible d'automatiser et de contrôler différents aspects de notre environnement domestique, rendant nos maisons plus efficaces, confortables et sécurisées . Les technologies de communication jouent un rôle crucial dans une maison intelligente, car elle permet la connectivité et l'échange d'informations entre les différents dispositifs et systèmes qui composent le réseau domestique. Dans ce chapitre, nous aborderons le concept de la domotique et la maison intelligente . Nous étudierons aussi la technologie de communication de courant porteur en ligne ainsi que ses principes de fonctionnement : la superposition, les techniques de modulation et les méthodes de couplage. Deux scénarios sont étudiés : le CPL en extérieur (CPL Outdoor) et le CPL en intérieur (CPL Indoor). De plus, nous mettons en évidence les points forts associés à cette technologie en fournissant ses caractéristiques essentielles et en soulignant et la différence avec les autres technologies de communication.

I.2 Domotique

I.2.1 Définition

La domotique est une technologie permettant la gestion et l'automatisation centralisées des appareils et systèmes d'un domicile ou d'un bâtiment. Elle utilise des capteurs, des actionneurs, des systèmes de communication, des logiciels et des applications pour offrir un environnement plus confortable, sûr, efficace et économique.

Le terme "domotique" vient du latin "domus", qui signifie "maison", et du suffixe "tique" qui fait référence à la technique [6] . En anglais, ce concept est généralement appelé "smart house"[7] . Il englobe diverses techniques visant à automatiser et faciliter la gestion des équipements présents dans une habitation, tels que l'éclairage, le chauffage, la climatisation, les volets roulants, la sécurité et les appareils électroménagers [6] .

I.2.2 Principe de la domotique

La domotique vise à améliorer le confort des résidents et de simplifier leur quotidien en leur permettant de contrôler facilement les équipements de la maison [8]. De plus, la domotique vise à rendre la maison plus sûre, plus économe en énergie et plus convi-

viale en offrant la possibilité de commander et de surveiller les équipements à distance à l'aide d'interfaces simples telles que des télécommandes, des smartphones ou des assistants vocaux[6] .

Les capteurs et les détecteurs sont utilisés pour collecter des informations sur l'environnement domestique, tels que la luminosité, la température, la présence des personnes, etc. Ces informations sont ensuite traitées par une unité centrale des logiciels de gestion, qui prennent des décisions en fonction des préférences et des besoins des habitants.

Les actionneurs sont responsables de l'exécution des actions requises, comme allumer ou éteindre les lumières, régler la température, ouvrir et fermer les volets, etc. Les réseaux de communication permettent aux différents dispositifs de communiquer entre eux et avec les utilisateurs, souvent via des interfaces utilisateur conviviales telles que des applications mobiles ou des assistants vocaux.

L'objectif global de la domotique est d'optimiser l'utilisation des ressources et d'améliorer l'efficacité énergétique. Par exemple, en utilisant des capteurs de luminosité et de présence, le système peut ajuster automatiquement l'éclairage en fonction des besoins réels, contribuant ainsi à économiser de l'énergie. De même, la gestion automatisée du chauffage et de la climatisation peut permettre des économies d'énergie substantielles.

I.2.3 Domaines d'application de la domotique

La domotique offre une variété de services pour la maison qui peuvent être regroupés en quatre domaines clés :la sécurité, le confort, les économies d'énergie, ainsi que la communication et le multimédia.[6]

1. **Sécurité** : La domotique permet de renforcer la sécurité des habitations en offrant des fonctionnalités telles que la surveillance vidéo, les systèmes d'alarme, la détection d'intrusion, les détecteurs de fumée, les capteurs de mouvement, etc. Ces dispositifs peuvent être contrôlés et gérés à distance, offrant une tranquillité d'esprit aux occupants en assurant la protection de leur maison
2. **Confort et simplicité** : La domotique permet d'améliorer le confort et de simplifier votre quotidien. La mise en place d'un système domotique rend possible l'obtention d'une meilleure qualité d'éclairage et de confort thermique. Elle facilite la centralisation des commandes, et le pilotage à distance des équipements(climatiseur, réfrigérateur , four électrique, cafetière..) . Un système domotique simplifie la vie de la personne en économisant du temps pour des tâches machinales qui se répètent tous

les jours . [6]

3. **Économies d'énergie** : L'augmentation des coûts de l'énergie aussi bien que l'apparition de problèmes écologiques sont des enjeux importants de notre société actuelle. La domotique propose ainsi de réduire les consommations énergétiques des maisons en adaptant ces consommations aux modes de vie des occupants et à l'environnement extérieur. Cela comprend la régulation de l'éclairage et du chauffage, le traitement de l'air, l'optimisation des ouvrants, la programmation horaire, les commandes à distance, les interrupteurs automatiques d'éclairage d'un escalier ou d'un couloir, l'ouverture ou la fermeture d'un volet selon l'ensoleillement[6], un système intelligent de contrôle d'éclairage peut réduire la consommation d'énergie à 15,88% de la consommation d'énergie liée à l'éclairage et une réduction de 2% de la consommation totale d'énergie dans la maison.[9]
4. **La communication et le multimédia** : La domotique offre la possibilité de centraliser les communications de la maison, y compris les appels téléphoniques, les messages et les notifications, ce qui contribue à une gestion plus efficace et pratique de la communication au sein du foyer.

I.2.4 Domotique en Algérie

En Algérie, la domotique connaît une adoption croissante dans les résidences haut de gamme, les bureaux et les bâtiments commerciaux. Elle est généralement intégrée dans les projets de construction neuve, où le système domotique est planifié dès la conception du bâtiment. Cependant, malgré son potentiel, la domotique en Algérie fait face à plusieurs défis. L'un des principaux obstacles est le coût élevé des équipements et de l'installation. Les systèmes domotiques sophistiqués peuvent nécessiter des investissements importants, ce qui limite leur accessibilité à un segment spécifique du marché. Cela limite la popularité de la domotique dans les foyers et les bâtiments de moyenne gamme. Un autre défi est le manque de normes et de réglementations claires. La domotique nécessite un cadre réglementaire approprié pour garantir l'interopérabilité des différents systèmes et assurer la sécurité des données personnelles. L'absence de directives claires peut freiner l'adoption et la confiance des utilisateurs.

Malgré ces défis, le concept de contrôle centralisé de la maison via un téléphone portable, le Wi-Fi ou Internet commence à gagner en popularité en Algérie. Les avantages de pouvoir gérer sa maison à distance, d'un simple bouton, à la fois de l'intérieur et de l'extérieur, suscitent l'intérêt des utilisateurs. Bien que certaines réticences puissent sub-

sister, la tendance vers une maison intelligente est en train de prendre de l'ampleur dans le pays.

I.3 Maison intelligente

I.3.1 Définition

La maison intelligente est un concept qui décrit une habitation équipée de technologies de pointe permettant de contrôler et d'automatiser différents aspects de la maison tels que l'éclairage, la température, la sécurité, les appareils électroménagers, les systèmes audiovisuels, etc. Une maison intelligente utilise des capteurs, des actionneurs et des systèmes informatiques pour collecter des données sur l'environnement de la maison, analyser ces données et prendre des décisions pour optimiser la gestion des ressources et améliorer le confort, la sécurité et l'efficacité énergétique de la maison [10] Les propriétaires peuvent également contrôler et surveiller leur maison intelligente à distance à l'aide de smartphones, de tablettes ou d'autres interfaces utilisateur [6]



FIGURE I.1 – Maison intelligente et les différents appareils domestiques [1].

I.3.2 Les aspects de la maison intelligente

Il y a plusieurs aspects qui rendent une maison intelligente et contribuent à l'efficacité énergétique :

- **L'intégration des énergies renouvelables** : Les maisons intelligentes doivent être équipées de systèmes de production d'énergie renouvelable, tels que des panneaux solaires photovoltaïques ou des éoliennes. Ces sources d'énergie propres peuvent réduire la dépendance aux combustibles fossiles et contribuer à réduire l'empreinte carbone.
- **Gestion intelligente de l'énergie** : Une maison intelligente peut être équipée d'un système de gestion de l'énergie qui optimise l'utilisation des différentes sources d'énergie disponibles. Par exemple, ils peuvent surveiller les niveaux de consommation, ajuster les paramètres de l'appareil pour les heures creuses/de pointe, stocker l'énergie excédentaire pour une utilisation ultérieure, etc.
- **Utilisation de capteurs** : les capteurs sont des éléments clés d'une maison intelligente. Ils recueillent des informations sur l'environnement domestique, telles que la luminosité, le mouvement, l'humidité, etc. Ces données peuvent être utilisées pour optimiser la consommation d'énergie en ajustant automatiquement l'éclairage, la climatisation, l'arrosage des plantes, etc. en fonction des besoins réels.
- **Automatisation et contrôle à distance** : es maisons intelligentes permettent aux occupants de contrôler et de surveiller à distance divers appareils et systèmes domestiques via des applications mobiles ou des assistants vocaux. Cela permet d'optimiser la consommation d'énergie en éteignant les appareils inutilisés. Grâce à des capteurs et des détecteurs qui collectent des informations sur l'environnement domestique, on peut ajuster les paramètres de chauffage et de refroidissement selon les besoins, et plus encore. En intégrant ces différents aspects, une maison intelligente peut devenir plus efficace sur le plan énergétique, plus respectueuse de l'environnement et offrir un meilleur confort aux habitants.

I.3.3 Domotique et maison intelligente

La domotique et la maison intelligente sont deux termes souvent utilisés de manière interchangeable, mais il existe des très petites différences entre les deux. La domotique fait référence à toutes les technologies conçues pour automatiser et faciliter la gestion des différents appareils et systèmes de la maison, tels que l'éclairage, le chauffage, la climati-

sation, les volets roulants, la sécurité, les appareils électroménagers, etc. L'objectif de la domotique est de rendre la maison plus confortable, plus sûre, plus économe en énergie et plus facile à utiliser en permettant le contrôle et la surveillance à distance de l'appareil via une interface simple et conviviale. Une maison intelligente, quant à elle, décrit une maison équipée d'une technologie de pointe capable de contrôler et d'automatiser différents aspects de la maison. Une maison intelligente utilise des capteurs, des actionneurs et des systèmes informatiques pour collecter des données sur l'environnement domestique, analyser ces données et prendre des décisions pour optimiser la gestion des ressources et améliorer le confort, la sécurité et l'efficacité énergétique. Les propriétaires peuvent également contrôler et surveiller à distance leur maison intelligente à l'aide d'un smartphone, d'une tablette ou d'une autre interface utilisateur. En résumé, la domotique se concentre sur la gestion des appareils domestiques, tandis que la maison intelligente intègre ces appareils dans un système intelligent global, en utilisant une technologie de pointe pour améliorer l'efficacité et le confort de la maison. La domotique fait partie intégrante de la maison intelligente, mais la maison intelligente est beaucoup plus large et comprend des éléments tels que la connectivité, l'intelligence artificielle et l'analyse de données.

I.4 Courant porteur en ligne

I.4.1 Introduction

Dans le monde d'aujourd'hui, les technologies de communication sont essentielles pour notre quotidien, permettant de rester connectés, de partager des informations et d'accéder à de nombreux services en ligne. Parmi les différentes options disponibles, le Courant Porteur en Ligne (CPL) ou Power line communication (PLC) émerge comme une solution prometteuse pour transmettre des données à travers les réseaux électriques existants[11]. En d'autres termes la technologie de communication CPL utilise les deux lignes d'alimentation (phase et neutre) comme un support de transmission, où les données circulent le long des câbles d'alimentation. Cette approche présente un avantage majeur : elle évite la nécessité de déployer de nouveaux câbles ou d'installer des équipements supplémentaires, ce qui permet d'économiser du temps et des coûts de déploiement. La communication se fait entre deux ou plusieurs prises électriques dans chaque une on trouve un modem CPL branchés qui est un dispositif permettant d'insérer ou récupérer les données depuis le circuit électrique.

I.4.2 Historique

L'utilisation de la technologie de communication par courant porteur en ligne a commencé dès les années 1830[12].

En 1897, Joseph Routin et Cel Brown ont déposé leur premier brevet (British patent N° 24833) pour une méthode de mesure à distance du comptage électrique.

Dans les années 1920, les fréquences porteuses comprises entre 15 et 500 kHz ont été utilisées sur les lignes hautes tension (HT) pour transmettre des commandes et surveiller les systèmes, permettant de couvrir des distances allant jusqu'à 500 km avec une puissance d'émission de seulement 10 W [13] [14].

Le CPL a été introduit pour la première fois en 1950 aux États-Unis, où il a été utilisé pour contrôler et gérer le réseau électrique public en utilisant des fréquences porteuses de 100Hz à 1kHz, sur des lignes électriques MT/BT de longue distance[12].

Ce n'est qu'à la fin des années 1990, lorsque l'Internet est devenu populaire et que la nécessité de transmettre des données volumineuses telles que des fichiers multimédias et informatiques s'est accrue, que l'idée d'utiliser le réseau électrique comme moyen de transmission pour les communications à large bande (haut débit) a émergé[15] .

À partir des années 2000, des groupes composés d'académiciens et d'industriels ont proposé des spécifications pour des débits de données de plus en plus rapides. En 2005 et en 2007, Homeplug a annoncé des débits de 85 Mbit/s et 200 Mbits/s respectivement avec ses spécifications 1.1 turbo et AV[16].

En 2010, la norme IEEEStd 1901-2010 a été ratifiée pour permettre l'utilisation d'adaptateurs CPL domestiques atteignant une vitesse théorique de 500 Mbit/s. Pendant ce temps, l'alliance G3-PLC a promu le développement de la technologie G3-PLC pour les Smart Grid ou les réseaux électriques intelligents [2]

I.4.3 Principe de fonctionnement

La technologie des courants porteurs en ligne appelé aussi PLC (Power Line Communication) permet tout équipement électrique et électronique d'utiliser les infrastructures électriques existantes (le réseau électrique) comme support de transmission des données numériques à travers le câblage électrique. [12] La transmission par CPL (courants porteurs en ligne) consiste à superposer des signaux hautes fréquences (HF) à faible puissance contenant des informations numériques à bas ou haut débit sur le signal d'alimentation électrique (50/60Hz) [16].

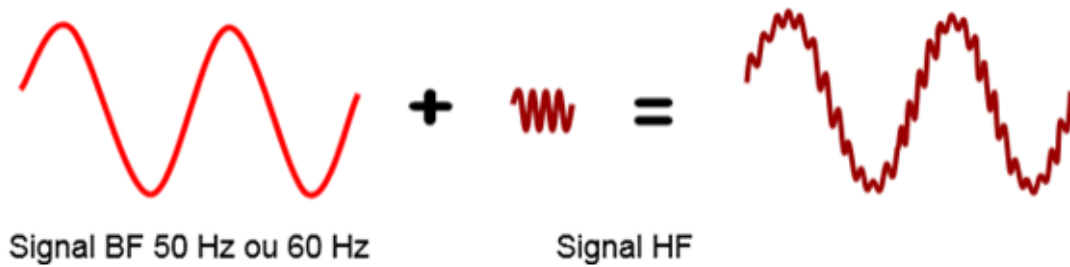


FIGURE I.2 – Schéma explicatif sur le phénomène de superposition [2].

1. Processus de transmission dans un modem CPL standard :

Le Processus de transmission des données numérique dans un modem CPL standard tel qu'illustré dans (Figure I.3), Les données numériques au niveau de CPL émetteur (Master) sont converties en signaux analogiques à l'aide d'un convertisseur numériqueanalogique (D/A). Cette conversion est nécessaire pour transformer les données binaires en signaux analogiques continus, puis passée sur L'encodeur qui prépare les signaux analogiques pour la transmission au modulateur qui intervient pour moduler le signal analogique avec une fréquence porteuse spécifique. Cela permet d'adapter le signal pour une superposition efficace avec le réseau électrique[17]. la superposition du signal CPL est réalisée grâce à un couplage inductif ou capacitif, qui permet le transfert de l'information à travers les câbles électriques .ce signal d'information se propage à travers le réseau électrique et peut être capté et décodé à distance[18]. Il est possible d'injecter ces signaux contenant des informations numériques sur les réseaux de moyenne tension MT ou sur les réseaux de basse tension BT[19]. De cette manière, tout récepteur CPL présent sur le même réseau électrique peut recevoir le signal CPL[2] . Au niveau du récepteur CPL (Slave) qui sont équipés d'un coupleur intégré à leur entrée, assurant ainsi une isolation galvanique entre les lignes électriques et les appareils de communication, le signal CPL est extrait de la ligne électrique, puis les données sont récupérées grâce aux étapes de démodulation qu'il récupère le signal analogique original en éliminant la fréquence porteuse , Le décodeur traduit les données modulées en données numériques compréhensibles. Il restaure les données dans leur format d'origine, Le signal analogique est converti en données numériques à l'aide d'un convertisseur analogiquenumérique (A/D). Cette étape est nécessaire pour rendre les données utilisables par des dispositifs électroniques numériques. Le signal résultant est ensuite soumis à un filtre pour éliminer

les bruits et les interférences. Le filtre permet de récupérer le signal d'origine de manière plus précise et de garantir la qualité de la transmission[17].

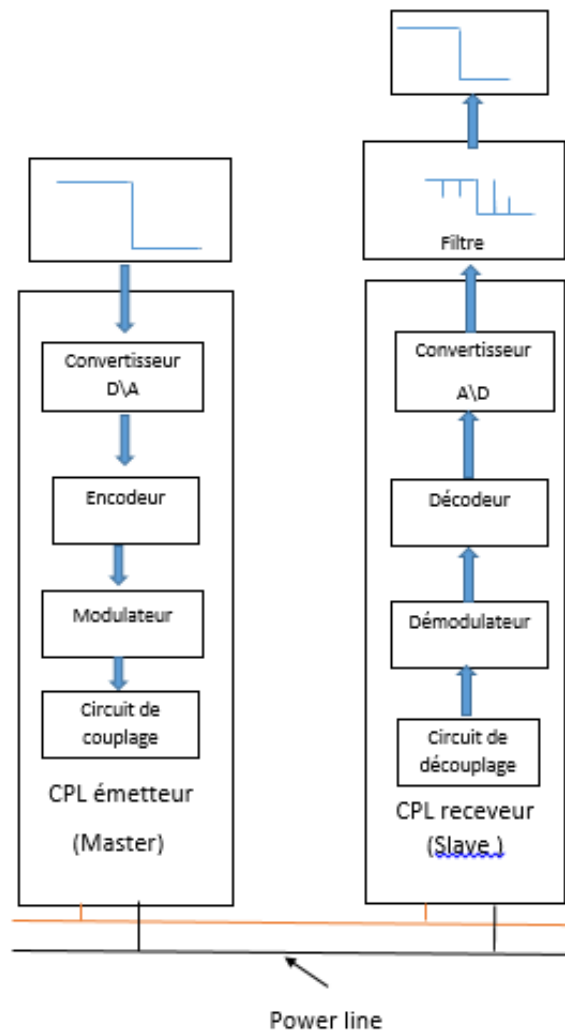


FIGURE I.3 – Schéma explicatif sur le processus de transmission .

2. Techniques de modulation :

Parmi les techniques de modulation actuelles, il existe deux méthodes qui ont démontré des performances satisfaisantes dans des environnements complexes : la modulation OFDM (multiplexage par répartition orthogonale de fréquences) et la modulation à étalement de spectre SS (étalement de spectre). La technique de modulation OFDM est largement utilisée dans les systèmes CPL. Elle utilise une modulation multi-porteuses où l'information est transmise simultanément sur plusieurs sous-porteuses qui subissent ensuite une transformation de Fourier. Cette méthode permet de récupérer l'information même dans des environnements perturbés, où le signal peut passer d'une porteuse à l'autre en cas d'obstacle, ou être reconstitué

malgré une affaiblissement grâce à une occupation optimale de la bande allouée, obtenue grâce à l'orthogonalité des sous-porteuses (Figure I.4)[3].

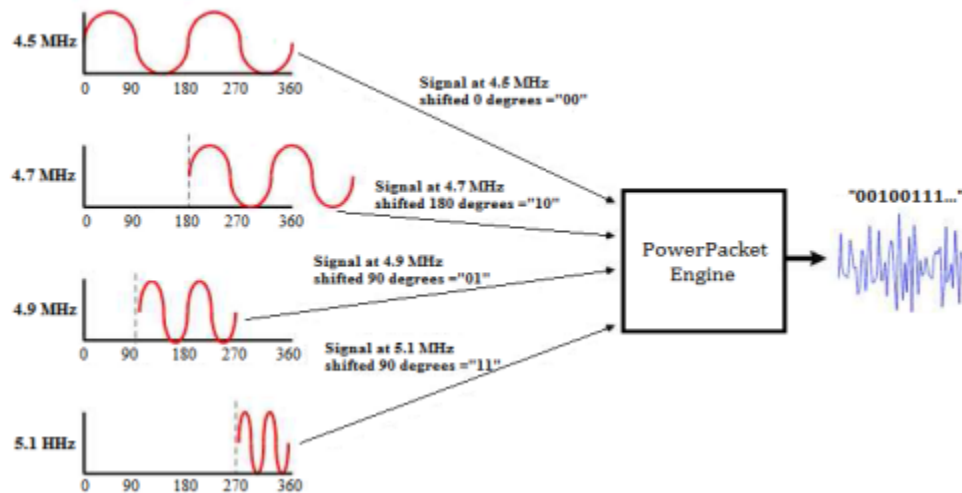


FIGURE I.4 – Technique de modulation OFDM[3] .

Le principe des techniques de modulation à étalement de spectre peut être expliqué par la relation de C. E. Shannon qui exprime la capacité d'un canal de propagation gaussien en fonction du rapport signal/bruit et de sa largeur de bande pour un canal perturbé par un bruit additif gaussien [3] .

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{P_s}{P_b} \right)$$

Où :

C : est la capacité du canal en bit/s

B : la bande occupée par le signal émis en Hz

Ps : la puissance du signal en W

Pb : la puissance du bruit en W

Selon cette relation, il est possible de garantir une transmission d'information sans erreur en utilisant soit une bande passante large avec un faible rapport signal sur bruit, soit une bande passante étroite avec un fort rapport signal sur bruit. Le rapport signal sur bruit est un indicateur de la qualité de la transmission de l'information.

Les techniques de modulation SS visent à émettre un signal sur une bande passante beaucoup plus large que celle du signal utile afin de minimiser les interférences et les distorsions qui peuvent survenir pendant la propagation du signal.

3. Méthodes de couplage :

Le signal CPL est injecté dans le réseau électrique à l'aide d'un coupleur qui assure à la fois l'injection du signal et la protection du modem. Deux approches de couplage sont disponibles pour la transmission du signal CPL. La première méthode est le couplage capacitif, où un coupleur capacitif est utilisé pour filtrer le courant alternatif de 50Hz. Ce coupleur, équipé de capacités, d'un transformateur HF et d'un circuit à diodes, est placé entre la phase et le neutre pour protéger les équipements électroniques des surtensions[19]. Il est couramment utilisé dans les réseaux intérieurs et permet une connexion pratique aux prises de courant. La deuxième méthode est le couplage inductif, où un coupleur inductif utilisant une bobine se connecte à une ou plusieurs phases du réseau électrique. Le signal est transmis magnétiquement à travers les phases du réseau, mais ce type de coupleur n'est pas adapté pour être directement connecté aux prises électriques. Généralement, le coupleur inductif est connecté au niveau du tableau électrique, car l'accès à la ligne électrique en intérieur est souvent difficile[19]. Cette méthode de couplage est principalement utilisée dans les réseaux extérieurs pour injecter un signal CPL sur un réseau triphasé et garantir une qualité de signal uniforme sur les trois phases(Figure I.5).

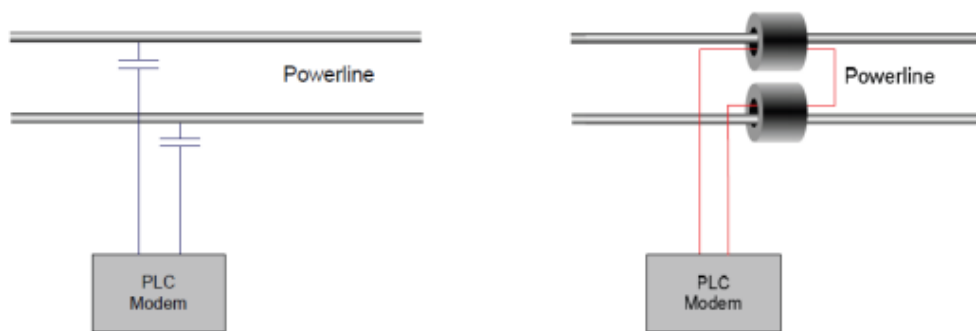


FIGURE I.5 – Les deux méthodes de couplage .

I.4.4 Applications de la technologie CPL

Les systèmes de Courants Porteurs en Ligne (CPL) peuvent être regroupés en trois catégories principales en fonction de leurs applications spécifiques, de leur capacité de débit de données et de la bande passante utilisée pour la transmission [20]. La première catégorie regroupe les applications à bas débit, inférieures à 20 Kbits/s, telles que la domotique et la relève automatique de compteur électrique. Les applications à débits moyens, allant jusqu'à quelques centaines de Kbits/s, sont utilisées pour la collecte d'informations, la ges-

tion de l'énergie, la commande d'éclairage public, ainsi que certains contrôles automobiles et industriels. Pour ces catégories, les informations sont transmises sur une seule porteuse à l'aide de techniques de modulation à bande étroite, comme la modulation d'amplitude et/ou de fréquence. Enfin, la troisième catégorie concerne les applications à hauts débits, supérieures à quelques dizaines de Mbits/s, telles que la transmission multimédia et l'accès Internet haut débit. Ces applications requièrent des bandes de fréquences larges et utilisent des techniques de modulation telles que l'étalement de spectre et les techniques multiporteuses [21].

1. les systèmes CPL Outdoor :

Les systèmes CPL Outdoor sont des systèmes à grande échelle, qui opèrent dans les bandes de fréquences inférieures à 500 kHz, sont destinés aux infrastructures électriques de basse et moyenne tension dans le cadre des applications Smart Grid. Ils permettent la transmission d'informations à faible débit sur de longues distances [16]. Le réseau CPL Outdoor est composé de trois parties distinctes [19].

Lignes >20kV : Ces technologies sont inadaptées pour les systèmes CPL haut débit, mais sont employées pour les systèmes CPL bas débit à basse fréquence (155 kb/s pour 148,5 kHz) pour le contrôle des équipements électriques.

Lignes 230V-20kV : Il s'agit d'un réseau de collecte qui requiert des répéteurs lorsque la distance moyenne entre les transformateurs de moyenne et basse tensions est comprise entre 5 et 10 km (Figure I.6).

Lignes 230V et 430V : la Boucle Locale électrique (BLE) couvre une distance moyenne de 200 m en zone urbaine et peut atteindre jusqu'à 800 m en zone rurale avec la nécessité de répéteurs. Le réseau est généralement partagé par 100 à 200 foyers. Figure I.6 illustre le principe de fonctionnement du système CPL Outdoor, où le poste HTA/BT est relié au réseau de collecte à travers une liaison haut débit (fibre optique, réception satellitaire, etc.). Chaque poste HTA/BT est équipé de deux modems CPL : un modem HTA pour la communication avec les autres postes HTA/BT, et un modem BT pour connecter le poste HTA/BT au compteur électrique du client. Des répéteurs sont placés entre le modem BT et le client pour amplifier le signal, car la distance maximale sans répéteur est estimée à environ 300 mètres.

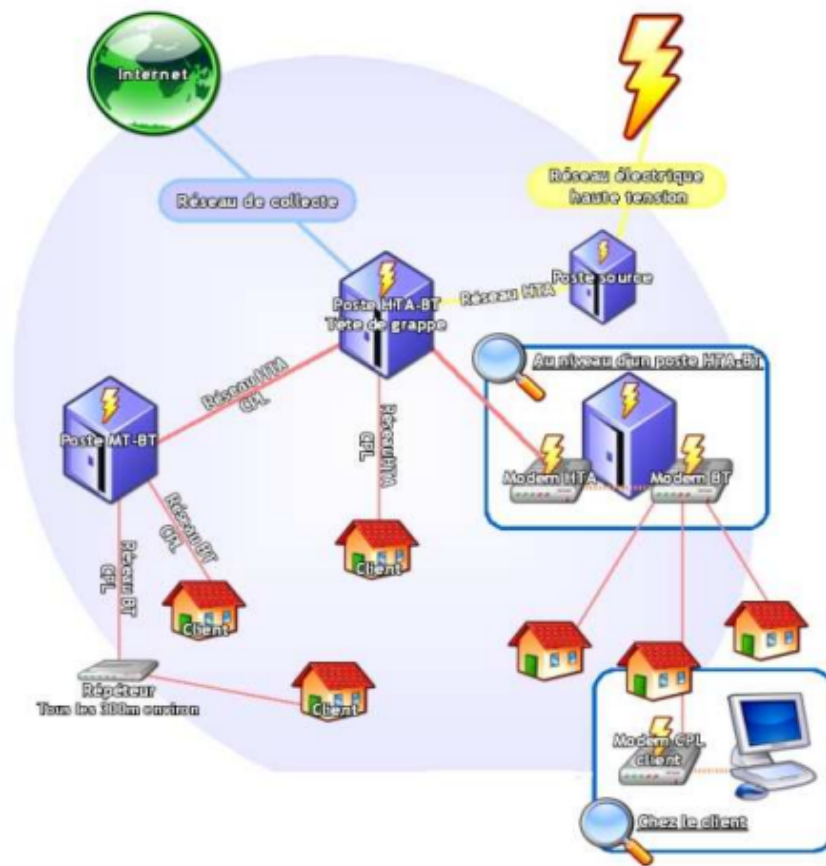


FIGURE I.6 – les systèmes CPL Outdoor.

2. les systèmes CPL Indoor :

Les systèmes CPL indoor sont des systèmes à petite échelle utilisent principalement une gamme de fréquences de 2 à 30 MHz, et parfois même de 2 à 86 MHz conformément à la norme IEEE 1901. Ils sont conçus pour créer un réseau de données entre divers équipements connectés au réseau électrique basse tension [16]. Le CPL Indoor s'étend de la borne d'entrée de l'utilisateur jusqu'à toutes les prises électriques à l'intérieur de sa maison. Pour une connexion internet via un réseau BT, un répéteur est installé avant le compteur électrique pour assurer la communication entre les systèmes Indoor et Outdoor. Ce répéteur est relié aux modems du client via un protocole Ethernet et permet à chaque prise électrique du client de se connecter à internet [22]. Les modems CPL sont équipés de deux ports ou interfaces : un port Ethernet et un port d'alimentation. Le port d'alimentation sert à la fois à alimenter le modem et à transmettre le signal CPL sur le réseau électrique. Le port Ethernet, quant à lui, permet de connecter le modem CPL aux différents appareils de

communication tels que le téléphone, le décodeur TV ou le PC

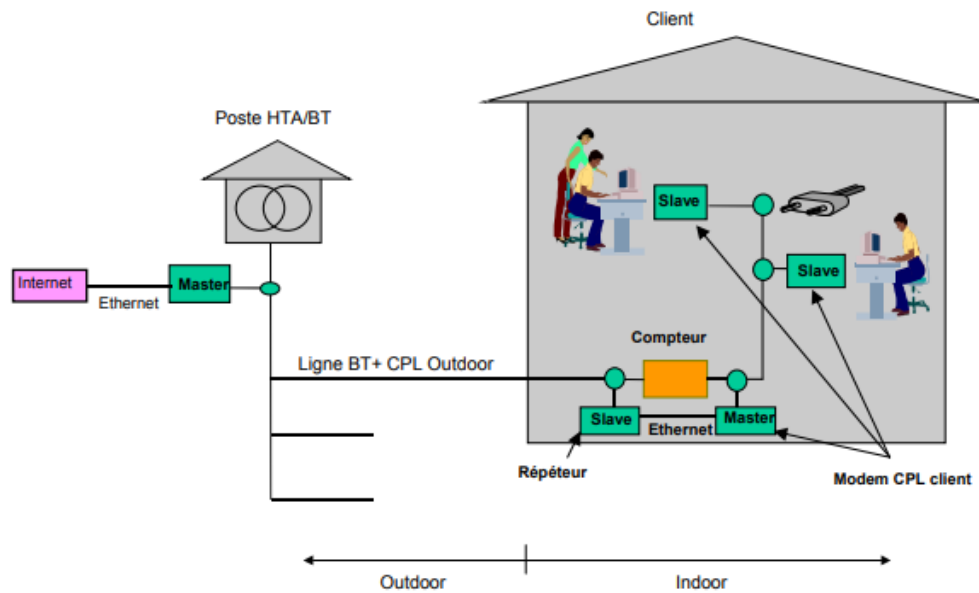


FIGURE I.7 – processus de transmission .

I.4.5 Caractéristiques de la technologie CPL

- Le débit peut aller jusqu'à 200 Mbps théoriquement pour certains adaptateurs CPL. et des performances optimales, atteint 200 m point-à-point.
- CPL consomme peu d'électricité environ 3 à 5 watts par heure selon les modèles si on a 10 modem CPL dans une maison , le coût d'électricité est environ 400 da par trimestre avec une consommation mensuel de (29 kWh,130 da) et un prix de 4,472 DA/kWh (tarifs d'après sonalgaz algérie)
- Indépendant des systèmes d'exploitation.
- Les adaptateurs CPL fonctionnent sur les rallonges et les multiprises.
- Fonctionne dans un environnement électrique triphasé s'il existe un coupleur de phase et le mono phasé également .
- Support le triple play (application données, voix et vidéo simultanément).

I.5 Technologies de communication de données

La technologie des communications a considérablement évolué au fil des années, offrant des moyens plus efficaces et plus rapides pour le transfert d'informations. Les technologies de communication jouent un rôle central dans la communication entre les équipe-

ments d'un système domotique. Elles permettent aux différents appareils et composants d'échanger des informations et de coopérer pour offrir une automatisation et une gestion centralisée de la maison. Il existe plusieurs technologies de communication de données, ils peuvent être regroupées en deux grandes familles : filaire et sans fil.

I.5.1 Technologies de communication filaire

Les technologies de communication filaire utilisent des câbles physiques pour la transmission de données, d'informations et des signaux entre des équipements ou des systèmes de communication. Les technologies filaires plus couramment utilisées dans les maisons intelligentes sont :

- **Courant porteur en ligne (CPL) :**

CPL est une technologie de communication filaire qui utilise la même infrastructure de câble que l'alimentation électrique. Il s'agit d'une technologie de transmission de données qui vous permet de créer un réseau local à haut débit en utilisant la prise électrique domestique comme des points d'accès.

- **Communication Ethernet :**

Ethernet est une technologie de réseau de données filaire qui connecte des éléments logiciels et/ou matériels entre eux. Cela se fait généralement via un câble LAN, c'est pourquoi Ethernet est souvent appelé une technologie LAN. Par conséquent, Ethernet permet l'échange de données entre les terminaux. Il peut s'agir d'ordinateurs, d'imprimantes, de serveurs, de distributeurs automatiques, etc. Lorsqu'ils sont combinés dans un réseau local, ces appareils sont connectés via le protocole Ethernet et peuvent échanger des paquets de données entre eux. Actuellement, le protocole le plus utilisé est IEEE 802.3 .

- **Communication fibre optique :**

La fibre optique est une technologie de communication filaire qui utilise des fils en verre ou en plastique pour transmettre des signaux optiques. La fibre optique permet la transmission de données à des vitesses extrêmement élevées en utilisant des signaux lumineux. Les informations sont converties en signaux lumineux qui sont ensuite envoyés à travers les fibres optiques à des distances considérables sans perte de qualité du signal. Cette technologie présente de nombreux avantages mais le principal inconvénient est le coût élevé de déploiement.

I.5.2 Technologies de communication sans fil

Les technologies de communication sans fil permettent la transmission de données ou de signaux basés sur l'utilisation des ondes radioélectriques (radio et infrarouges) , aussi les technologies sans fil permettent de relier facilement les équipements distants et les systèmes de communication . Les technologies sans fil les plus utilisées dans les maisons intelligentes sont [4] :

- **Communication WI-FI :**

Le Wi-Fi est une technologie de réseau sans fil. C'est également le nom commercial de la norme Ethernet sans fil IEEE 802.11. Le Wi-Fi utilise des fréquences radio pour échanger des données entre des équipements et des systèmes à Internet. Les utilisateurs utilisant des ordinateurs avec accès Wi-Fi (modem, routeur, etc.) Avoir une carte Wi-Fi permet de se connecter au réseau en étant dans une certaine plage. Ce périmètre change en fonction des perturbations et des obstacles tels que les murs[4].

- **Communication Bluetooth :**

Le Bluetooth est une technologie de communication sans fil qui permet l'échange de données et de fichiers entre plusieurs périphériques sur une courte distance. Son principal avantage est qu'il permet une connexion sans fil entre les appareils, sans avoir besoin de câbles. Le Bluetooth est largement utilisé dans le monde de la téléphonie mobile et de l'informatique.[4]

- **Protocole ZigBee :**

Zigbee est un protocole de communication sans fil à haut niveau spécialement conçu pour les systèmes domotiques. Il offre une faible consommation d'énergie, une portée étendue et une connectivité fiable entre les appareils domotiques. Zigbee est souvent utilisé pour relier des capteurs, des actionneurs et des dispositifs de contrôle, permettant ainsi une automatisation avancée et une gestion efficace de la maison.[23]

I.5.3 Etude comparative entre CPL,WI-FI et Ethernet :

1. **Installation :**

Pour un réseau domestique d'appareils situés dans différentes pièces dans la maison , les technologies Wi-Fi et Cpl ne nécessitent aucun câblage, malgré que les boîtiers

Cpl branchés sur les prises secteur et liées par un câble ethernet aux périphériques réseau (ordinateur, téléviseur etc ..), sauf que l'on considère comme une technologie sans fil comme le Wi-Fi . Contrairement à l'Ethernet utilise des liaisons câblées entres tous les appareils dans le réseau domestique .

2. Portée :

En ce qui concerne la portée et la stabilité des signaux , c'est l'Ethernet la technologie qui prend le dessus . En effet, un câble ethernet de 90 mètres de long peut transmettre des informations sans aucune perte . Le Wi-Fi propose une portée théorique d'environ 100 mètres , mais les obstacles comme les murs peut réduire considérablement cette portée, pour le CPL dépend essentiellement de la vétusté de l'installation électrique et sa portée va jusqu'à 300 mètres [4]

3. Sécurité :

L'Ethernet et le CPL fonctionnent sur des réseaux filaires "fermés" aucun des problèmes de sécurité majeurs , contrairement au Wi-Fi qui est exposé au voisins à proximité , c'est la technologie la plus vulnérable, on peut garantir une sécurité contre les attaques avec un cryptage de données et d'accès au réseau par un mot de passe .

3. Performances :

Interface	débit théorique maximum	débit réel moyen	Temps de sauvegarde d'un fichier de 1 Go	Remarques
Wi-Fi G 54 Mb/s	7 Mo/s	2 Mo/s	8 min 32 sec	Connexion sans fil utilisée par les box internet et la majorité des ordinateurs portables
CPL(courant porteur) 200Mb/s	25 Mo/s	4 Mo/s	4 min 16 sec	Connexion "sans fil" via les adaptateurs qui se branchent sur les prises secteurs
Wi-Fi II 300Mb/s	38Mo/s	5 Mo/s	3 min 24 sec	Connexion sans fil à haut débit Nécessite l'achat d'un routeur ADSL compatible Wi-Fi N
Fast Ethernet 100Mb/s	12 Mo/s	9 Mo/s	1 min 53 sec	Connexion filaire proposée sur les box internet et la majorité des appareils dits "connecté"
Ethernet Gigabit 1000Mb/s	120 Mo/s	20 Mo/s	51 sec	Connexion filaire à haut débit , nécessite des câbles Rj45 ainsi que des périphériques compatibles (switch, routeur, carte réseau.)
CPL(courant porteur) 1200Mb/s	425 Mo/s	120 Mo/s	20 sec	Connexion filaire via des adaptateurs qui se branchent sur les prises secteurs

FIGURE I.8 – Tableau comparatif des débits [4] .

- **Conclusion de cette étude :** Pour le choix d'une technologie de communication , il est nécessaire de bien déterminer les besoins personnels et les contraintes de projet à réaliser.

Le CPL peut être utilisé en complément d'une communication sans fil et joue le rôle de dorsale pour ce réseau .

I.6 Conclusion

Les technologies de communication jouent un rôle essentiel dans le fonctionnement d'une maison intelligente, en permettant la connectivité et l'échange d'informations entre les dispositifs et systèmes du réseau domestique. Parmi ces technologies, nous avons examiné plus particulièrement la communication de courant porteur en ligne, qui présente des avantages distincts par rapport aux autres technologies de communication. et nous avons constaté que Le Courant Porteur en Ligne (CPL) peut être utilisé en combinaison avec les communications sans fil pour étendre la portée du réseau en connectant les points d'accès bluetooth au réseau électrique. De cette manière, le réseau CPL local agit comme une infrastructure dorsale pour le réseau bluetooth.

Chapitre II

Conception d'un système domotique à base de CPL

II.1 Introduction

La domotique est un domaine en plein essor qui vise à améliorer le confort, la sécurité et l'efficacité énergétique. Parmi les nombreuses technologies de communication utilisées en domotique, le Courant Porteur en Ligne (CPL) est devenu une solution populaire en raison de sa facilité d'installation et de sa capacité à utiliser le réseau électrique existant comme support de communication comme on vu déjà dans le premier chapitre. Dans ce chapitre, nous aborderons la conception d'un système domotique à base de CPL. Nous explorerons les principaux aspects de la conception, y compris les composants essentiels du système et les logiciels utilisés pour l'élaborer. Ce système est conçu afin de commander à distance des charges électriques et automatiser des tâches quotidiennes. Grâce à la communication CPL, on pourrait interagir avec le système domotique à partir de n'importe quel endroit, que ce soit via une application mobile ou un ordinateur.

II.2 Aperçu général sur le système

Le système domotique à base de CPL (Courant Porteur en Ligne) est une solution pratique pour automatiser et contrôler des appareils électriques dans une maison. Notre système utilise deux Arduino : Le premier Arduino est utilisé comme émetteur pour envoyer les commandes de contrôle aux charges électriques, tandis que le deuxième Arduino est utilisé comme récepteur pour recevoir les commandes et les transmettre aux relais connectés. La communication entre les deux Arduino se fait via le réseau électrique à l'aide des modems CPL, ils agissent comme un convertisseur de signaux, le modem CPL émetteur transforme les commandes transmises par l'Arduino "envoyeur de données" en signaux électriques adaptés à la transmission sur le réseau électrique. Le modem CPL récepteur reçoit ensuite ces signaux et récupère les données pour transmettre les commandes au Arduino "récepteur de données", qui à son tour le contrôle des relais qui jouent le rôle de commutateurs pour activer ou désactiver les charges électriques connectées, telles que des lumières, appareils électroménagers, ventilateurs, systèmes de chauffage, etc.

Le diagramme proposé dans la figure II.1 présente une architecture générale d'un système domotique à base de CPL où on trouve trois parties principales : partie émetteur, la communication par courant porteur, partie récepteur.

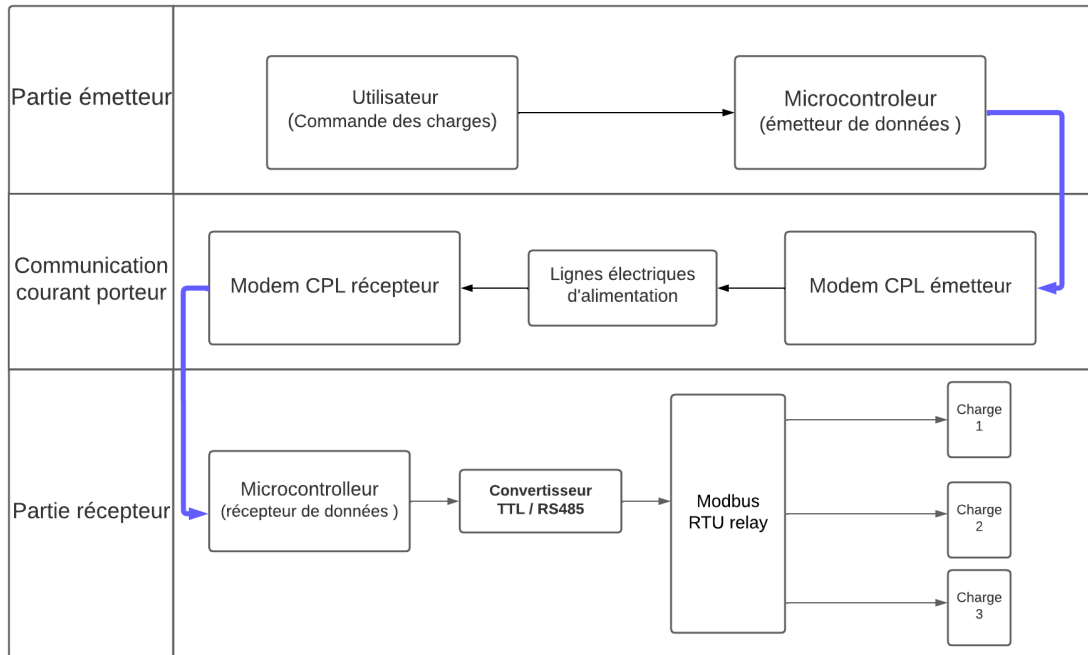


FIGURE II.1 – Architecture de système à base de CPL.

II.3 Partie matériel et logiciel

II.3.1 Module arduino MEGA

La carte Arduino Mega est une carte de développement open-source très populaire, basée sur le microcontrôleur ATmega2560. Elle offre des fonctionnalités étendues par rapport à la carte Arduino Uno, notamment plus de broches d'entrée/sortie, plus de mémoire et une plus grande puissance de traitement. La carte Arduino Mega est compatible avec l'environnement de développement Arduino, ce qui signifie qu'elle peut être programmée à l'aide du langage de programmation Arduino et de l'IDE (Integrated Development Environment) Arduino. Cela facilite le développement rapide et la mise en œuvre de projets.



FIGURE II.2 – Module arduino MEGA.

La carte Arduino Mega, basée sur le microcontrôleur ATmega2560 . Elle offre une grande capacité de traitement et de mémoire, avec 256 ko de mémoire flash, 54 broches d'E/S numériques et 16 entrées analogiques. De plus, elle dispose de 4 ports série matériels pour la communication. La carte fonctionne avec une tension de 5V et peut être alimentée avec une tension recommandée de 7 à 12V. Elle possède une mémoire flash de 256 KB, une SRAM (Static Random-Access Memory) de 8 KB et une EEPROM (Erasable Programmable Read-Only Memory) de 4 KB. Avec une fréquence d'horloge de 16 MHz, elle garantit des performances rapides et fiables pour le développement de projets électroniques.

II.3.2 Convertisseur TTL vers RS485

Le module présenté permet de convertir un signal TTL (Transistor-Transistor Logic) provenant d'un microcontrôleur arduino en un signal RS485 (Recommended Standard 485) avec lequel on peut utiliser le protocole software ModBUS , pour bénéficier des avantages d'un réseau BUS (longue distance, rapidité, simplification du câblage). Ce module est équipé d'un circuit intégré MAX485 qui convertit un signal série standard TTL en un signal RS485 qui sont deux protocoles de communication hardware. On retrouve les broches du signal TTL suivantes : DI(Data In) , RO (Receive Out), DE (Data Enable) et RE (Receive Enable) L'autre partie du module comprend les broches VCC (5V) et GND (terre) pour l'alimentation et la référence de tension. Les broches A et B sont utilisés pour la connexion du signal de communication RS485.



FIGURE II.3 – Module Arduino RS485 vers TTL

II.3.3 Relais modbus RTU 8 canaux

Le relais Modbus RTU (Remote Terminal Unit) dispose de 8 relais indépendants qui nous permet de commuter au minimum huit charges électriques dans notre système . Ce dispositif est contrôlé via le bus RS485, qui adopte le protocole de communication RS485

au format MODBUS RTU standard. Il comporte des circuits de protection intégrés tels que l'isolation de l'alimentation, ADI (Analog Devices, Inc.) l'isolation magnétique des signaux et des circuits électriques pour réduire les interférences et la diode TVS(Transient Voltage Suppressor) pour la protection des circuits électroniques contre les surtensions transitoires. Ce relais nous permet d'activer ou de désactiver les charges connectées aux relais depuis un système de supervision ou un automate programmable distant

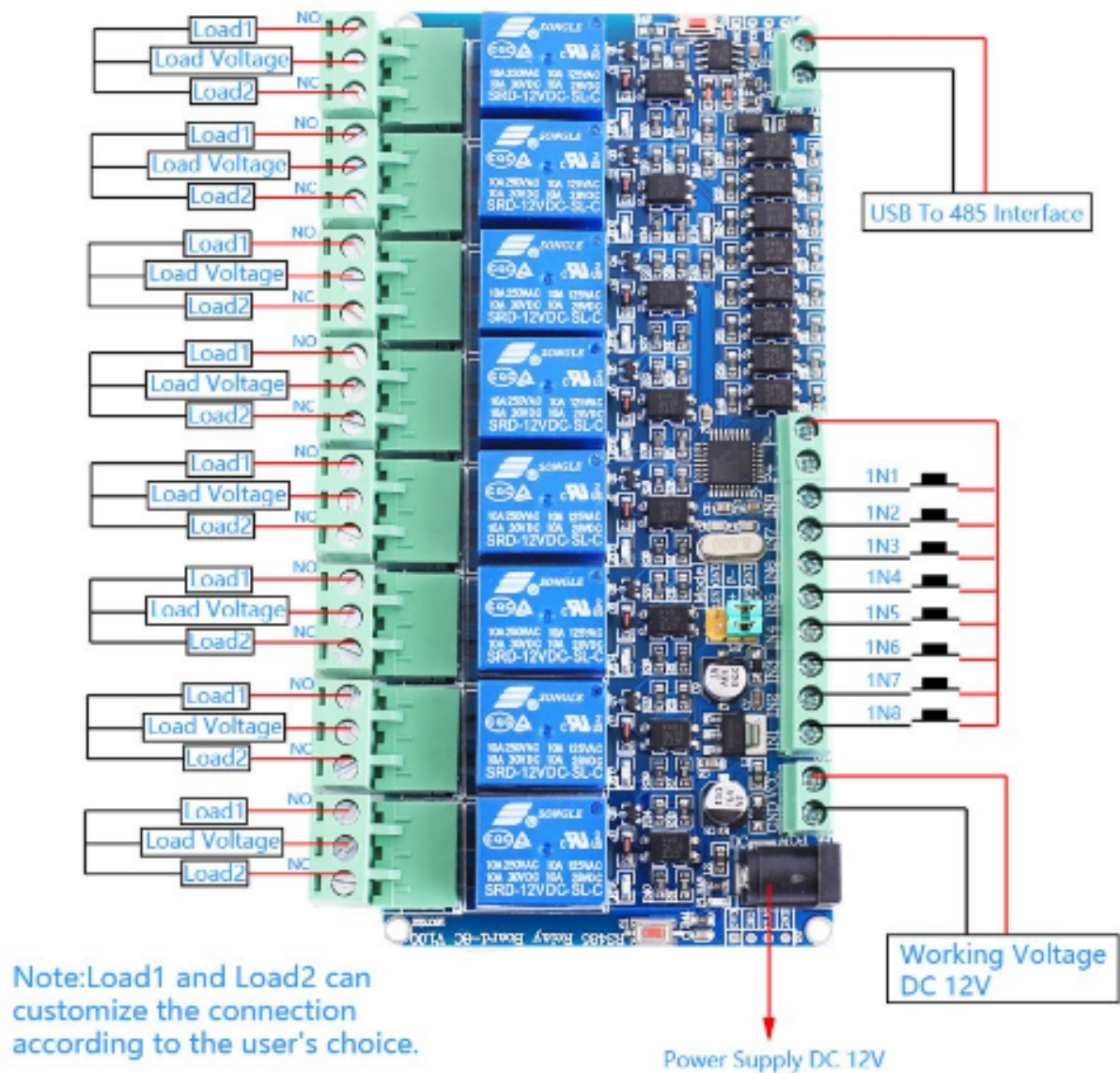


FIGURE II.4 – Relais modbus RTU 8 canaux .

II.3.4 PIR (Passive Infra-Red)

Le capteur PIR nous permet de détecter la présence de l'utilisateur dans une pièce, il détermine si un corps est entré ou sorti de la portée du capteur. Les PIR consistent essentiellement en un capteur pyroélectrique (que vous pouvez voir ci-dessous à la figure divisé en deux parties), le but est de détecter les mouvements (changements) de la lumière infrarouge sur une certaine distance et émet un signal électrique à sa sortie en réponse à un signal IR détecté

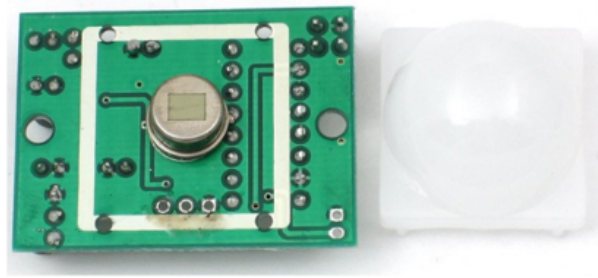


FIGURE II.5 – Détecteur de mouvement .

Les capteurs PIR ont trois broches : Entrée (5V), Sortie numérique et Terre (0V). La sortie est soit niveau Haut ou BAS tension . Il est activé quand il détecte tout mouvement du corps, puis la sortie est devenue 5V (numérique HAUT), quand aucun mouvement il reste à BAS. Il y a deux boutons réglables de sensibilité(Sx)et de délai.

- Sx : Ajustement de la Sensibilité du capteur de 3-7m, visser pour augmenter
- Tx : Ajustement du délai (Time) pendant lequel la sortie reste verrouillée sur HIGH après une détection de mouvement (Tx). Visser pour augmenter la durée, jusqu'à 300 sec.

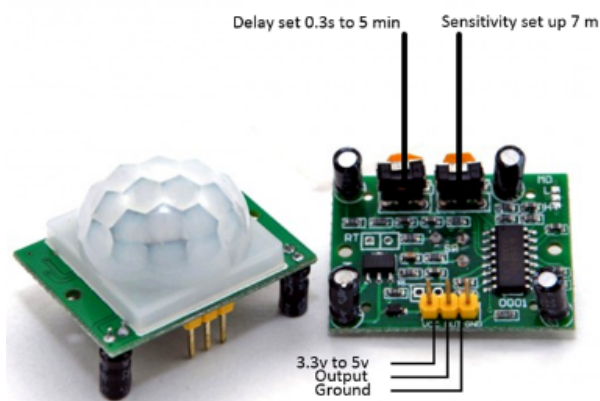


FIGURE II.6 – Boutons réglables de de PRI .

II.3.5 Modem FSK-KQ330

Le module de communication FSK-KQ330 permet la transmission de données à large bande passante via les lignes électriques. Il est adapté aux applications résidentielles et commerciales qui utilisent les lignes électriques comme moyen de transmission. Dans notre système, ce module agit à la fois en tant qu'émetteur et récepteur. En tant qu'émetteur, il injecte les données et l'information sur les lignes électriques. En tant que récepteur, il récupère les informations transmises sur les lignes électriques.

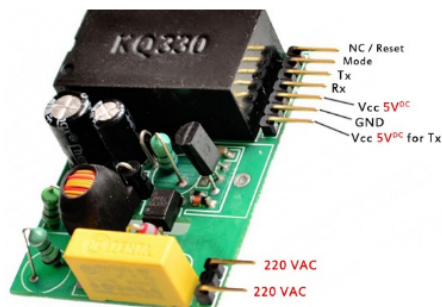


FIGURE II.7 – Modem FSK-KQ330.

Le modem FSK-KQ330 est conçu pour fonctionner avec une tension d'alimentation flexible, allant de 5 V à 12 V avec une fréquence de fonctionnement de 50 jusqu'à 350KHZ. Il prend en charge deux interfaces de communication, à savoir RS232 et TTL, permettant une connectivité avec différents périphériques. De plus, il est conçu pour être compatible avec une alimentation universelle, ce qui lui permet de fonctionner sur une large plage de tension de ligne électrique, allant de 85 V à 265 V AC, avec une fréquence de 50 à 60 Hz.

Le modem FSK-KQ330 se démarque par sa faible consommation d'énergie, ce qui en fait une solution économe en termes de consommation électrique. De plus, il offre une large bande passante de 10 kHz, ce qui lui permet de traiter efficacement les signaux sur une plage de fréquence étendue. Pour son fonctionnement, le modem nécessite une alimentation de courant continu de +5V.

Concernant la transmission des données, le modem FSK-KQ330 utilise la modulation FSK (Frequency Shift Keying). Il se distingue par une vitesse de transmission élevée pouvant atteindre jusqu'à 85 Mbps sur la ligne électrique, garantissant ainsi un transfert rapide et efficace des données. Pour assurer la sécurité des données, le modem intègre un cryptage DES Link 56 bits avec une gestion des clés, assurant ainsi une protection adéquate des informations échangées.

Conception matérielle du module FSK-KQ330

Le module utilise une ligne électrique basse tension pour transmettre un signal modulé dont la fréquence se situe entre 50 kHz et 350 kHz. Ce signal haute fréquence peut être transmis à distance via la ligne électrique basse tension. Le schéma des broches du module est représenté dans la figure II.8, où la broche 1 correspond à l'entrée des données et la broche 9 correspond à la sortie des données. Le module fonctionne avec une tension de +5V [5].

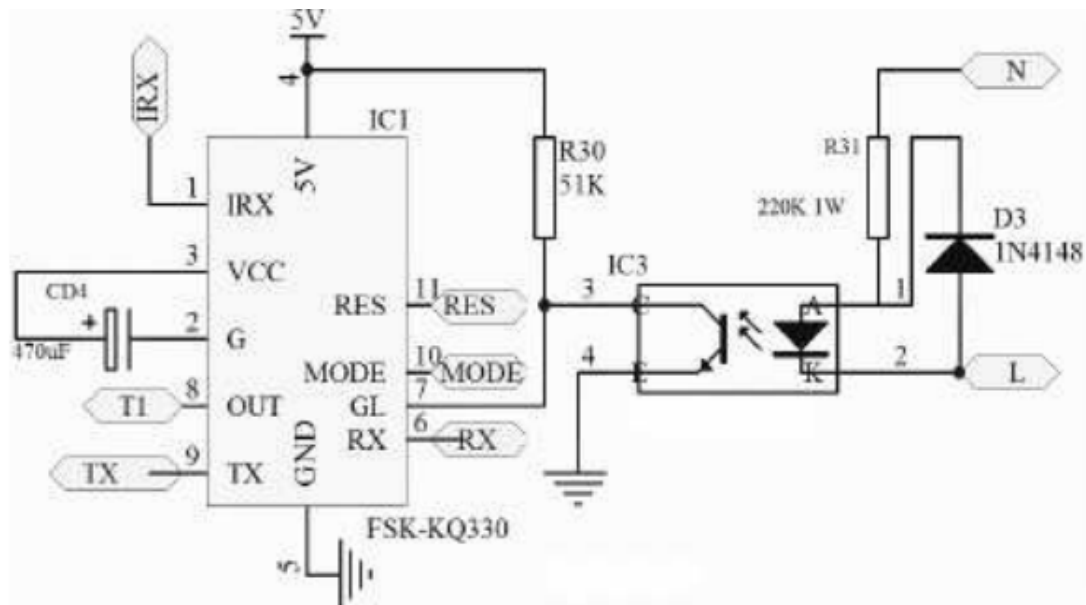


FIGURE II.8 – Circuit du module FSK-KQ330 [5].

Le principe de fonctionnement du circuit émetteur FSK-KQ330

Le circuit se compose principalement d'un circuit amplificateur utilisant des triodes, d'un circuit résonant et d'un circuit d'isolation du transformateur. Le circuit résonant est crucial car il garantit la stabilité du signal et élimine les bruits indésirables, ce qui se traduit par une forme d'onde plus stable [24].

Les 8 broches du module FSK-KQ330 jouent différents rôles dans le circuit. Initialement, le signal d'onde carrée est généré, puis il est amplifié et détecté avant d'être couplé à la ligne électrique. Les composants R1 et C1 limitent le courant, tandis que le transistor Q1 amplifie le signal. Le circuit formé par L1 et C2 permet de transformer le signal carré en une onde sinusoïdale. Ensuite, le signal est à nouveau amplifié par le transistor Q1. Le transformateur a pour rôle d'isoler les interférences et d'amplifier le courant, ce qui le rend plus puissant.

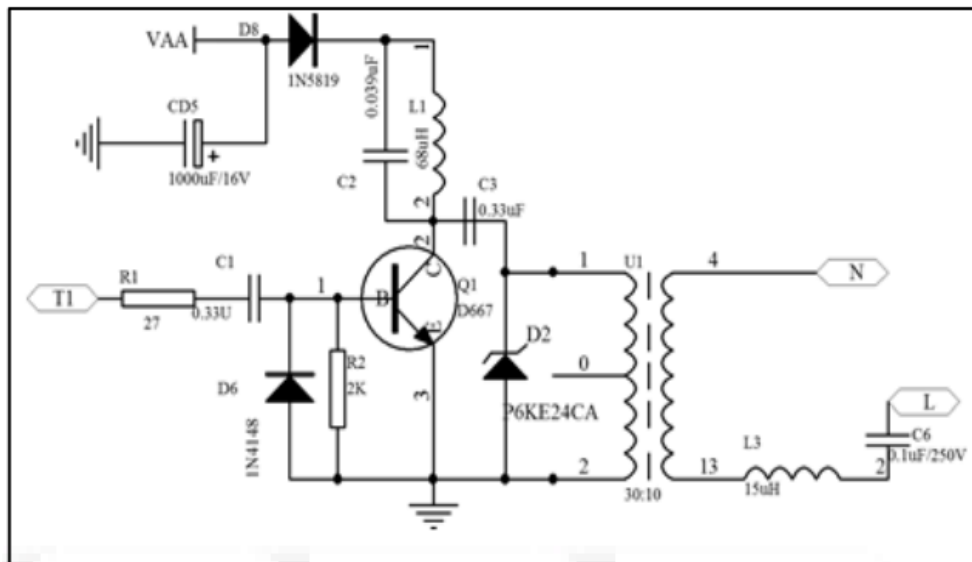


FIGURE II.9 – circuit émetteur du module FSK-KQ330 [5].

Le principe de fonctionnement du circuit récepteur FSK-KQ330

Ce circuit est principalement composé d'un circuit amplificateur utilisant des triodes, d'un circuit de résonance et de détection [25], d'un circuit d'isolation du transformateur et d'un circuit de détection du passage à zéro.

Le circuit de réception est alimenté et il reçoit le signal de données provenant du module. Sa principale fonction est la détection. Lorsque la forme d'onde du signal est détectée et amplifiée, le module FSK-KQ330 est capable d'identifier l'état normal [26] .

Le flux de travail du circuit de réception peut être décrit de la manière suivante :

Premièrement, le signal provenant de la ligne électrique entre dans la broche de réception (1 broche) du module FSK-KQ330 et traverse les circuits périphériques. Le circuit de réception, qui comprend notamment le circuit résonant, joue un rôle essentiel dans la sélection de la fréquence du signal. Cela permet à FSK-KQ330 d'identifier la fréquence du signal. Ensuite, après l'isolement du signal par le transformateur et le circuit résonant, le signal est amplifié et sa fréquence est renforcée. Deux diodes inverses sont utilisées pour filtrer les signaux d'amplitude trop élevée afin de protéger efficacement le module FSK-KQ330 [5] . (voir la figure II.9)

Deuxièmement, le circuit de résonance constitué de L3 et C6 permet au signal souhaité de générer une résonance. Son rôle est d'amplifier et de détecter le signal. De même, le circuit de résonance formé par L2 et C5 joue un rôle dans l'amplification et la détection du signal, en filtrant les formes d'onde non utilisées . Les deux diodes inverses (1N4148)

limitent l'amplitude de la forme d'onde et veillent à ce que la tension soit inférieure à 0,7V. Cela permet au circuit d'identifier la forme d'onde utile et de protéger efficacement le module FSK-KQ330 [5] . (voir la figure II.10)

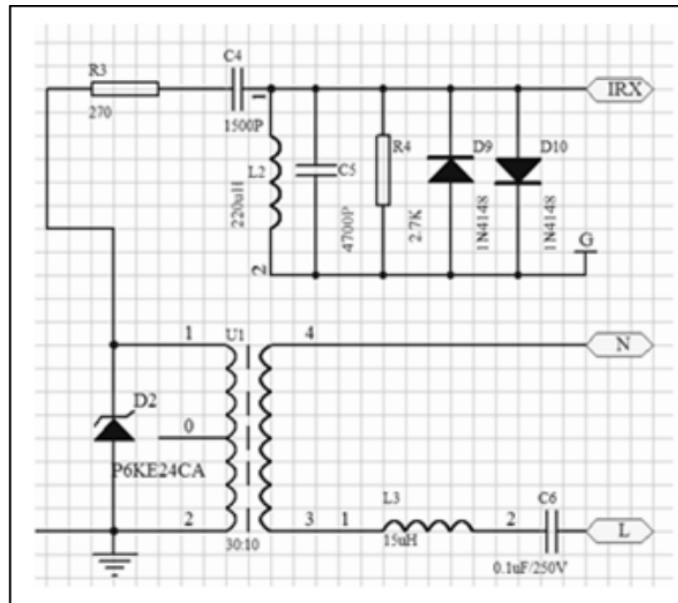


FIGURE II.10 – Circuit récepteur du module FSK-KQ330 [5] .

Circuit de détection de passage à zéro

Le circuit de détection des passages à zéro est essentiellement chargé de détecter les instants où l'onde sinusoïdale traversant la ligne électrique atteint le point zéro. Ce repère est crucial car il permet d'assurer une transmission stable des signaux de données, sans altération significative de l'amplitude de l'onde[5] .

II.3.6 Module Bluetooth HC-05

Le module Bluetooth HC-05 est utilisé comme moyen de communication sans fil pour la télécommande. Ce module a été sélectionné en raison de la disponibilité de la technologie Bluetooth par rapport à d'autres options. La figure II.11 illustre un module Bluetooth HC-05 couramment utilisé. Le HC-05 ajoute une fonctionnalité sans fil bidirectionnelle (full-duplex) à notre système. Il peut communiquer avec n'importe quel appareil avec des fonctionnalités Bluetooth comme un téléphone ou un ordinateur portable. Le module communique avec l'aide de USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter) à 9600 bauds de débit, il est donc facile d'interfacer avec n'importe quel microcontrôleur qui prend en charge USART .

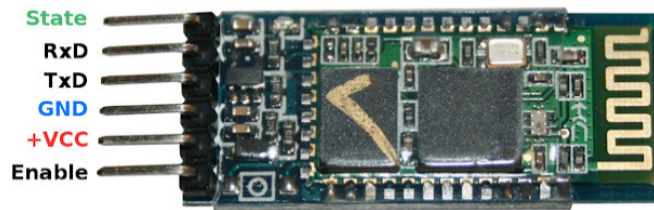


FIGURE II.11 – Module Bluetooth HC-05.

Le module Bluetooth HC-05 dispose de plusieurs broches qui ont des fonctions spécifiques. La broche VCC est utilisée pour l'alimentation du module et est généralement connectée à une source de tension de 3,3V à 5V. La broche GND est la broche de mise à la terre qui est connectée à la référence de tension commune (0V). La broche TXD est dédiée à la transmission des données depuis le module vers un autre périphérique, tandis que la broche RXD est utilisée pour recevoir les données provenant d'un autre périphérique. La broche EN (ou KEY) a pour fonction d'activer le module Bluetooth, permettant ainsi de le mettre en mode de configuration ou de communication. Enfin, la broche STATE (ou LED) sert d'indicateur d'état du module, affichant des informations telles que l'état de connexion (voir la figure II.11) .

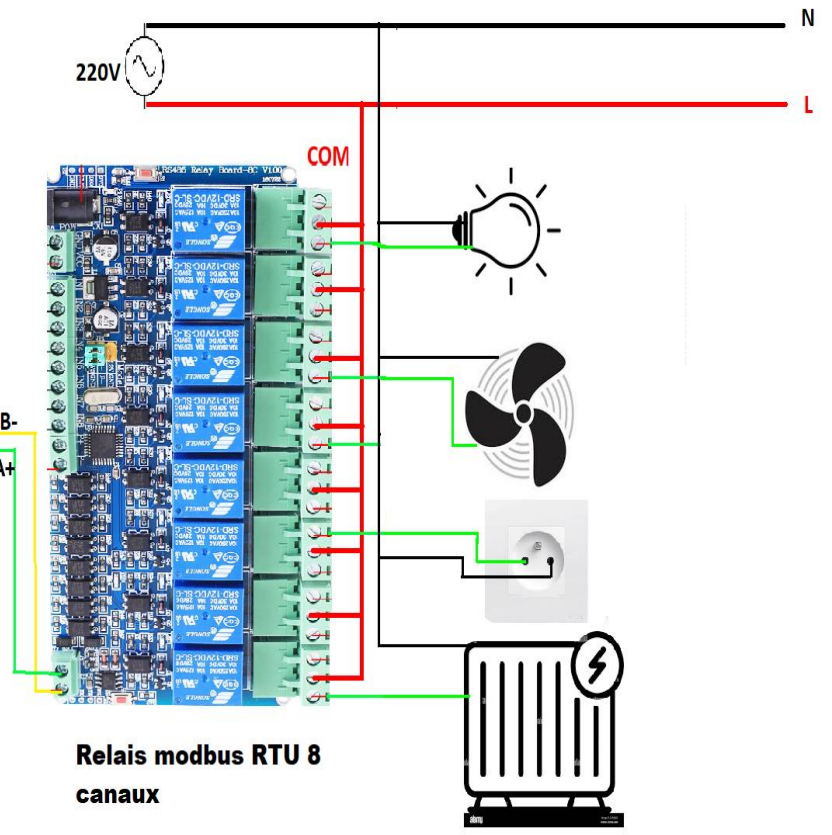
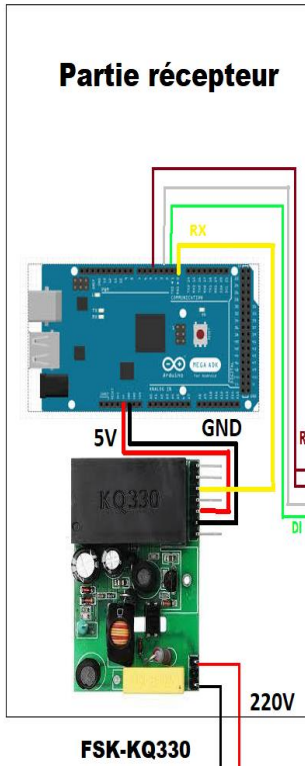
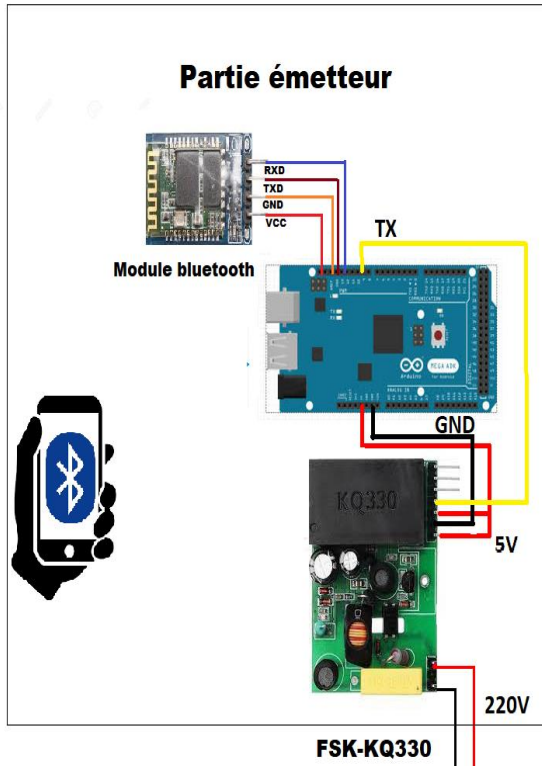
II.3.7 Matlab(simulink)

MATLAB est un environnement de programmation et de simulation numérique largement utilisé dans les domaines de l'ingénierie, des mathématiques et des sciences. Il offre un large éventail de fonctionnalités pour l'analyse, la modélisation, la simulation et la visualisation de données.

Nous avons choisi le logiciel Matlab Et son extension simulink pour modéliser et simuler la communication par courant porteur car Ils offrent des blocs de traitement du signal et de communication pour générer, moduler, transmettre et démoduler les signaux. Ces outils permettent de simuler les effets du canal de communication, d'ajouter du bruit et d'analyser les performances du système. En utilisant les fonctionnalités de MATLAB et Simulink, on peut construire un modèle complet de communication par courant porteur et évaluer ses performances.

II.4 Conception de système

Nous avons proposée dans la page suivante un système qui offre la possibilité de commander à distance des charges électriques. Ce système a été développé dans le but de permettre un contrôle à distance efficace des dispositifs électriques. Dans la partie émetteur, le téléphone portable est utilisé comme dispositif de commande pour envoyer des données de commande via Bluetooth à la carte Arduino. Ce dernier est équipé d'un module Bluetooth HC-05 qui lui permet de recevoir les données provenant du téléphone portable. Grâce à un code Arduino approprié, l'Arduino transmet ces données au modem CPL (FSK-KQ330) émetteur qui est à son rôle de convertir ces données en signaux compatibles pour les injecter sur les lignes électriques. Ces signaux peuvent être captés par tous les récepteurs CPL (FSK-KQ330) présents sur le même réseau électrique. Dans la partie récepteur, le modem CPL (FSK-KQ330) reçoit les signaux transmises sur les lignes électriques et récupère les données de commande envoyées avant de les transmettre à l'Arduino. Le Convertisseur TTL vers RS485 fait la liaison entre l'Arduino et les Relais modbus RTU. En fonction des commandes reçues, l'Arduino active ou désactive les Relais pour commuter les charges électriques connectées.



II.5 Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la présentation de notre conception d'un système domotique à base de CPL et la partie matériel et logiciel essentiel utilisé , on a vu que l'utilisation de relais permet de contrôler facilement les charges électriques :lumières, appareils électroménagers, ventilateur et systèmes de chauffage. Grâce à la communication par courant porteur en utilisant des modems CPL, il est possible de recevoir des commandes à distance à l'aide d'un un téléphone portable , offrant ainsi une gestion pratique et efficace des appareils électriques Ce système permet une gestion avancée des appareils électriques, offrant aux utilisateurs un contrôle précis et une optimisation de la consommation d'énergie. Ce système peut améliorer le confort, la sécurité et l'efficacité énergétique d'une habitation.

Chapitre III

Résultats de simulation et réalisation

III.1 Introduction

Dans le dernier chapitre de notre projet, nous avons réalisé des simulations et des essais expérimentaux pour évaluer la faisabilité de la transmission de données CPL dans une maison intelligente. La technologie CPL permet d'utiliser le réseau électrique existant pour transmettre des signaux de commande et d'information entre différents appareils et dispositifs connectés. Après des simulations prometteuses, nous avons effectué deux essais en laboratoire : Transmission des données à travers les lignes électrique d'alimentation et la Commande d'éclairage basée sur la technologie CPL . Ensuite nous avons intégré le système CPL à la maison intelligente de l'unité de développement des équipements solaire (UDES) à Bou-Ismaïl , W.Tipaza . Cette implémentation nous a permis de tester le système dans des conditions réelles, en contrôlant à distance diverses charges de la maison étudiée .

III.2 Simulation de transmission de données par CPL

Nous avons choisi d'utiliser l'extension Simulink de MATLAB pour créer un modèle de transmission par courant porteur. Ce modèle inclut des blocs de modulation et de superposition des signaux à l'aide de Simulink, nous pourrions visualiser et analyser le comportement de ces signaux ainsi que les résultats obtenus à partir de la modulation et de la superposition dans le contexte de la transmission par courant porteur.

III.2.1 Schéma bloc de la superposition de signaux

Dans cette partie, nous identifions trois blocs principaux : le bloc de données numériques, le bloc de modulation des données numériques et le bloc de superposition des données modulées sur le réseau électrique d'alimentation 50 Hz .

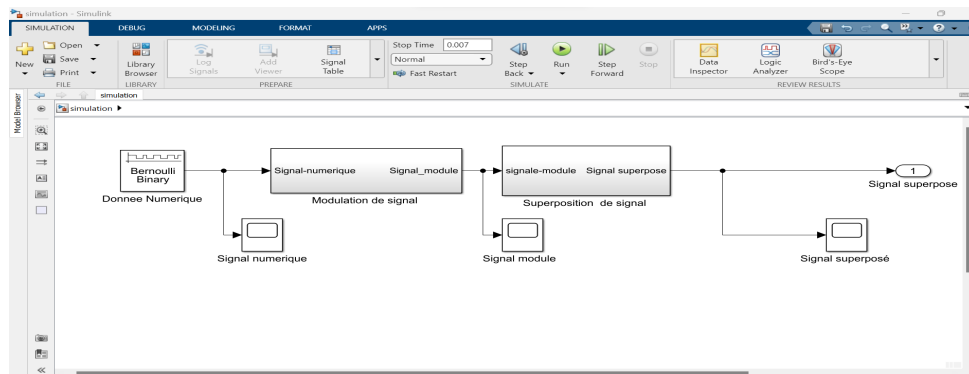


FIGURE III.1 – Schéma de la superposition par CPL

III.2.2 Résultat des schéma bloc

1. **Bloc de signal numériques** Le bloc de données numériques représente les données à transmettre, telles qu'une séquence binaire ou toute autre forme de données numériques. Dans notre cas les données consistent en des niveaux de tension de 5V et 0V comme illustre la figure III.2 .

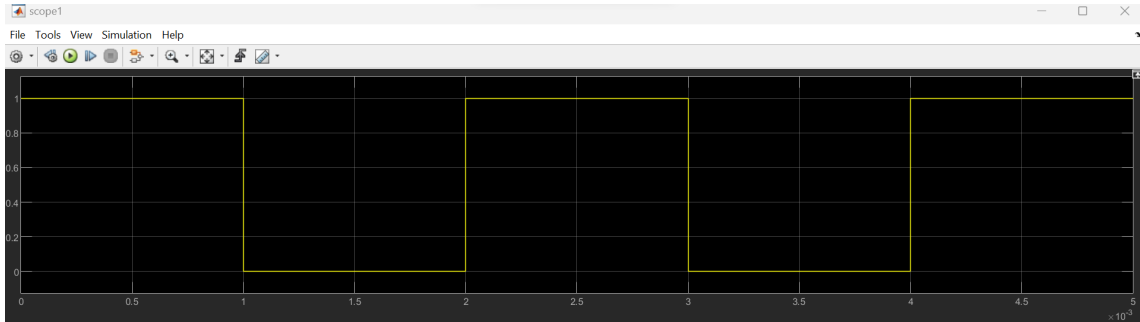


FIGURE III.2 – Signal de données numériques

2. **Bloc de modulation de signal numérique**

Le bloc de modulation des données numériques transforme les données numériques en un signal approprié pour la transmission par courant porteur. Dans notre cas, nous avons utilisé la technique de modulation FSK pour obtenir un signal porteur haute fréquence de 131 kHz, comme le montre la figure III.4. Pour cela, nous avons attribué la fréquence de 100 kHz au "0" et la fréquence de 150 kHz au "1". Ainsi, pour la donnée "10", la séquence de fréquences est définie de la manière suivante : la fréquence de 150 kHz est utilisée pour représenter le "1" pendant une période de temps, puis la fréquence de 100 kHz est utilisée pour représenter le "0" suivant pendant une période de temps. Par conséquent, la donnée "10" est représentée par une alternance entre les fréquences de 150 kHz (pour le "1") et 100 kHz (pour le "0").

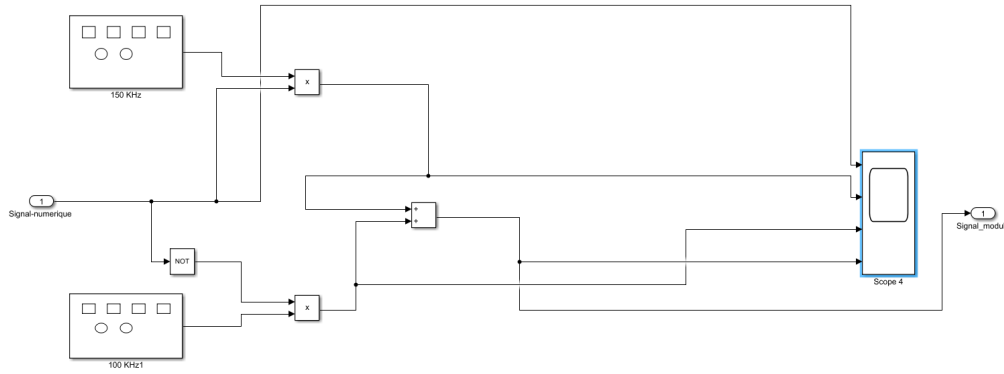


FIGURE III.3 – Schéma de modulation de signal numérique

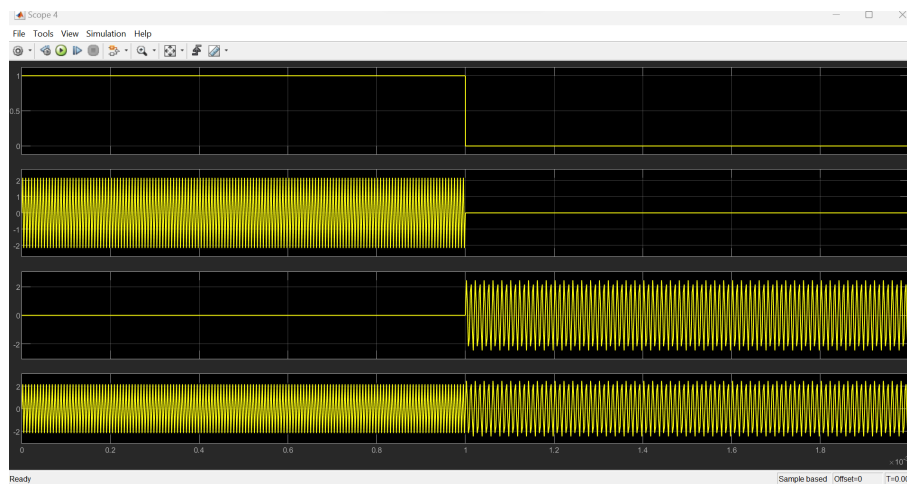


FIGURE III.4 – Signal modulé avec la technique de modulation FSK

3. Bloc de la superposition de signal module avec le réseau électrique

Le bloc de superposition des données modulées sur le réseau électrique d'alimentation, combine le signal modulé 131 KHz avec le signal d'alimentation électrique 50 Hz existant . Nous avons ajouté un bloc de bruit quelconque car le signale d'alimentation et le signal modulé peuvent être soumis à des bruits imprévisibles . L'ajout de bruit aléatoire à ces signaux permet de modéliser ces variations, ce qui rend la simulation plus réaliste et plus proche des conditions réelles. . Les figure III.5 et III.6 présentent le schéma bloc de la superposition de signal modulé et le schéma explicative de la superposition de signal de données sur le signal d'alimentation électrique respectivement .

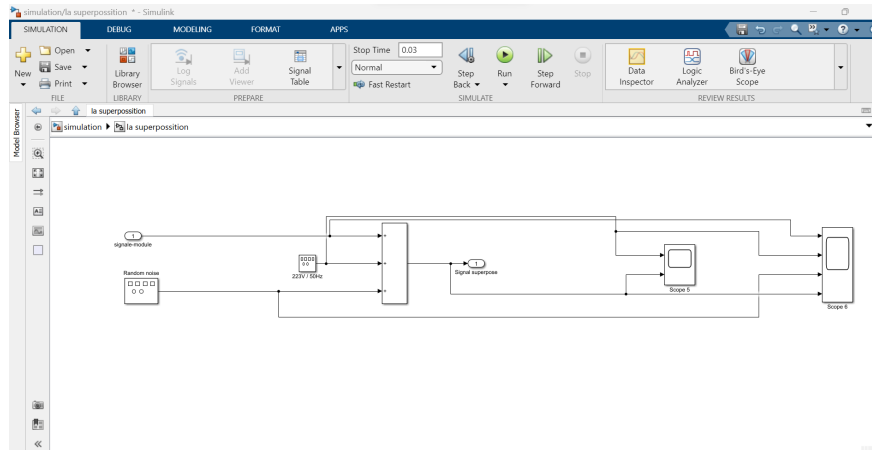


FIGURE III.5 – Schéma bloc de la superposition de signal modulé

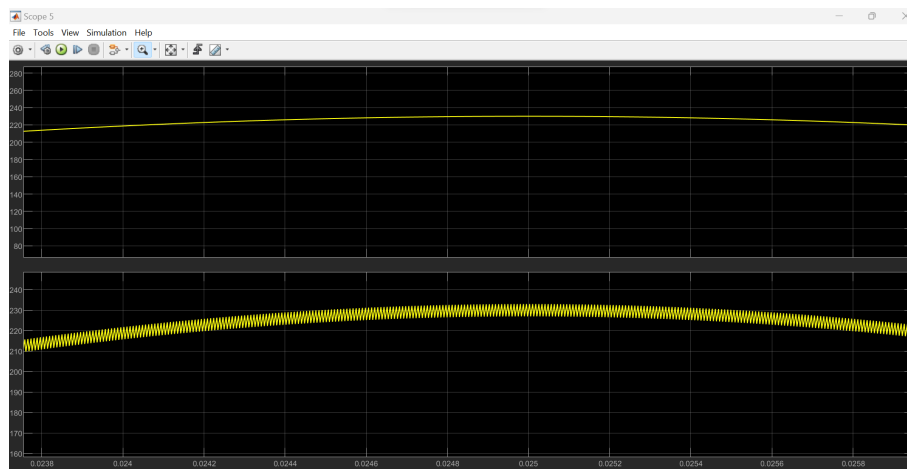


FIGURE III.6 – Superposition de signal de données sur le signal électrique d'alimentation

III.3 Essais expérimentaux

III.3.1 Transmission des données à travers les lignes électriques d'alimentation

Pour notre expérimentation initiale, nous avons exploré la transmission de caractères et de mots à travers le réseau d'alimentation. Le système de transmission comprend un émetteur qui envoie les données et un récepteur qui les reçoit et les affiche.

Dans la partie émetteur, nous utilisons le microcontrôleur Arduino Mega 2056. À l'aide de l'IDE (Environnement de Développement Intégré) Arduino, nous pouvons saisir les données que nous souhaitons envoyer. Un modem CPL (Courant Porteur en Ligne) de type KQ-330 est directement connecté à l'Arduino via une communication série. Le rôle principal du modem est d'injecter les données sur le réseau électrique, celles-ci étant fournies par l'Arduino.

Dans la partie récepteur, nous avons un autre modem CPL connecté au même réseau électrique. Pour garantir qu'ils sont sur la même phase, nous avons branché les modems CPL sur une multiprise lors de notre essai. Le modem CPL du récepteur capte les données envoyées par l'émetteur à travers le réseau électrique. Ensuite, il transmet ces données à l'Arduino Uno récepteur, Ce dernier affiche ensuite les résultats reçus.

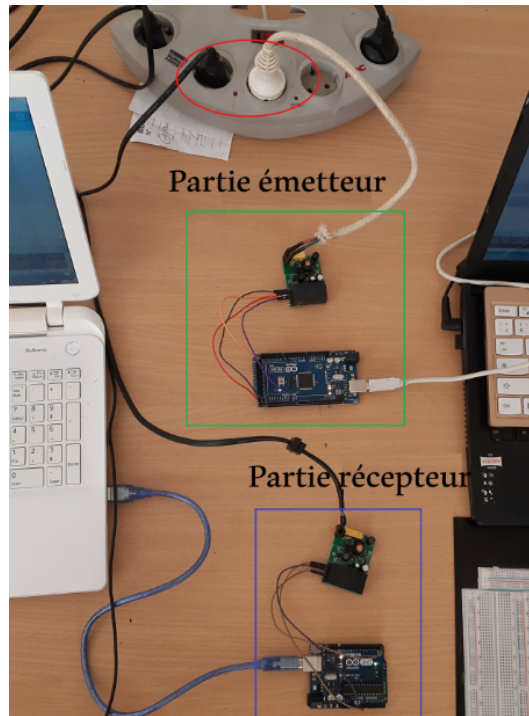


FIGURE III.7 – Les parties de transmission de données par CPL

III.3.2 Analyse des résultats expérimentaux par l'oscilloscope

Dans notre système de transmission de données à travers les lignes d'alimentation, les signaux se propagent avec diverses formes d'ondes. L'utilisation de l'oscilloscope nous a permis de visualiser ces signaux électriques sous forme de formes d'ondes graphiques, nous permettant ainsi d'observer leur propagation et de détecter les distorsions, les interférences .

En plus de la visualisation, nous avons utilisé l'oscilloscope pour mesurer les différentes caractéristiques des signaux présents dans le système. Nous avons pu effectuer des mesures telles que l'amplitude, la fréquence et la période. Ces mesures nous ont fourni des informations quantitatives pour évaluer et analyser les propriétés du signal de données transmis.

Nous avons visualisé le premier signal généré par l'arduino maître Lorsqu'il n'y a pas de données à transmettre, le signal dans la broche de transmission est une ligne droite. Lorsque des données sont transmises, le signal dans la broche de transmission est un signal d'onde discret. La Figure III.8 présente le signal de sortie :

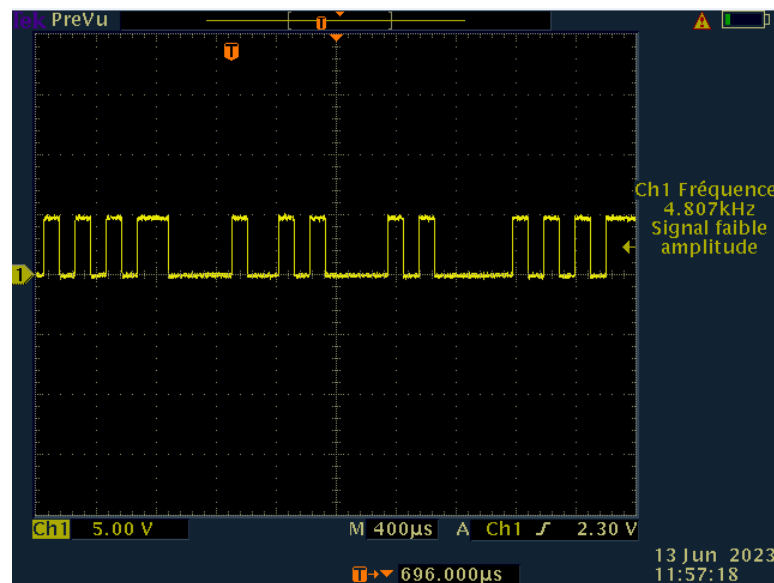


FIGURE III.8 – Signal sortant de l'Arduino maître

Le signal généré par l'Arduino est un signal numérique TTL, qui représente les données (caractères) sous forme d'une séquence de bits. Le signal discret est de fréquence 4.807 KHZ et d'amplitude de 5v .

Ensuite le signal est reçu par le modem CPL KQ-330 et le convertie à un signal comme présenté dans figure III.9 :

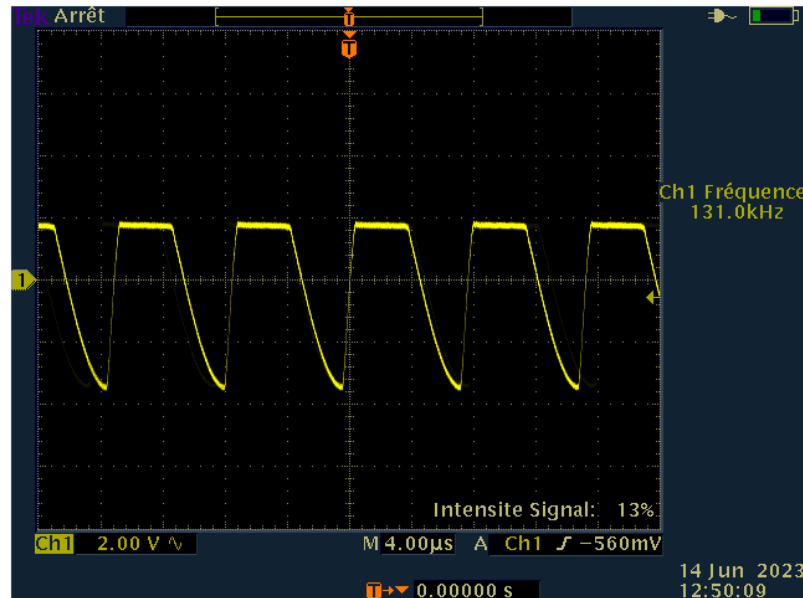


FIGURE III.9 – Signal modulé par le modem CPL KQ-330

Le signal numérique est modulé par le modem CPL de 4.807 KHZ à un signal analogique à une fréquence de 131 kHz avec un amplitude de 5V . Cette modulation permet de convertir les bits de données en variations de fréquence du signal .

Une fois le signal de données modulé par le modem CPL, il est prêt à être couplé avec le signal électrique d'alimentation qui se présente dans la figure III.10 :

Le signal électrique d'alimentation, représenté en jaune, a une fréquence de 50 Hz et une valeur de 156 V par unité donc la valeur efficace de signal est de 234 V. Il s'agit du signal principal d'alimentation.

Lorsqu'on examine de plus près le signal électrique d'alimentation, représenté en rouge dans la figure III.11, on peut le décomposer en un signal fondamental qui possède les mêmes caractéristiques que le signal principal (fréquence de 50 Hz, amplitude de 234 V), ainsi que des harmoniques. Nous avons utilisé la technique de FFT (Fast Fourier Transform) pour analyser et identifier les harmoniques présentes dans notre signal d'alimentation , Les harmoniques sont des signaux supplémentaires qui sont couplés avec le signal électrique d'alimentation et qui ont des fréquences et des amplitudes différentes.

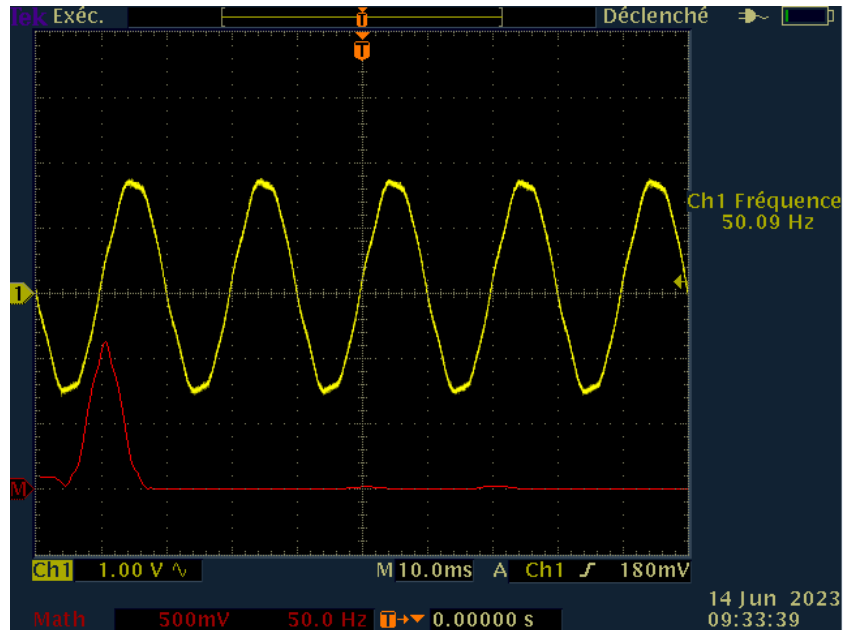


FIGURE III.10 – Signal électrique d'alimentation

C'est à cet endroit que se trouve notre signal de données, modulé par le modem CPL émetteur. Il est combiné avec le signal électrique d'alimentation, parmi d'autres signaux présents dans le système. Par la suite, le signal d'alimentation porteur de données est capté par le modem CPL récepteur, qui se charge de le découpler du signal électrique d'alimentation. Cela permet d'isoler et de récupérer notre signal de données.

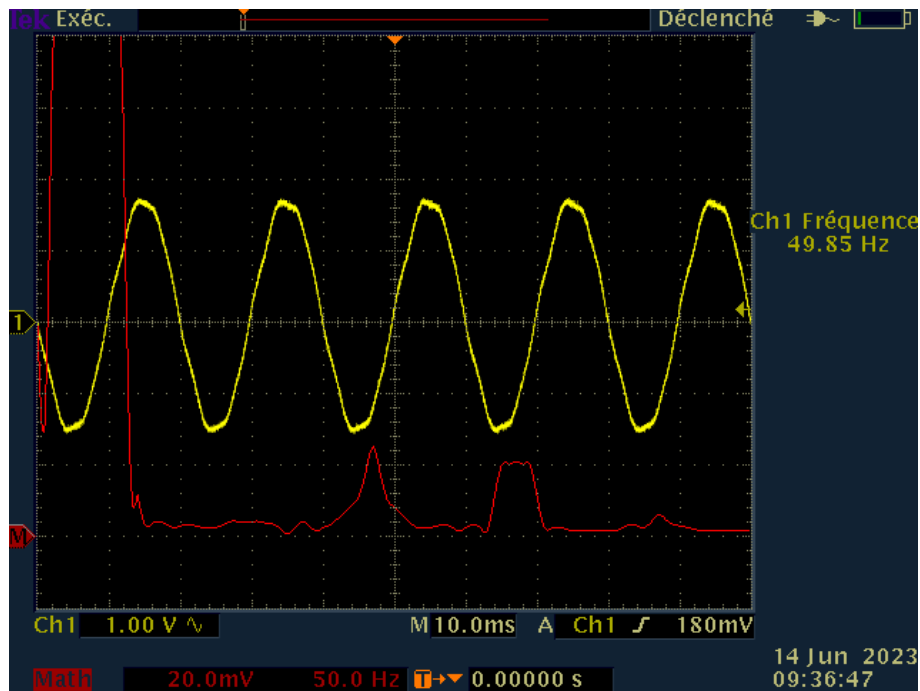


FIGURE III.11 – Signal électrique d'alimentation et ses harmoniques

III.3.3 Commande de l'éclairage par la technologie CPL

Nous avons mis en place un prototype expérimental à l'échelle laboratoire qui utilise la technologie CPL comme moyen de communication des données pour contrôler à distance des lampes .

Le système comprend une partie émetteur qui a une fonctionnalité de commande par téléphone via Bluetooth.

Pour ce système, nous avons opté pour l'utilisation d'une application préinstallée sur un téléphone mobile nommée "Arduino Bluetooth" qui permet d'envoyer des commandes à l'émetteur Arduino. L'émetteur est la partie responsable pour l'envoi des données de commande à travers le réseau électrique , tandis que le récepteur les reçoit afin de contrôler l'activation ou la désactivation des relais correspondants. Cela permet d'allumer ou d'éteindre les lampes. Vous trouverez ci-dessous un schéma explicatif démontrant la réalisation de ce système .

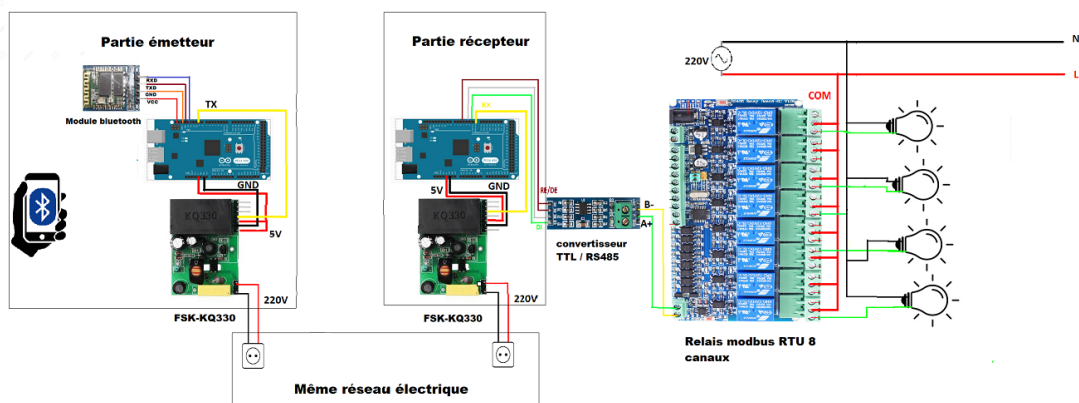


FIGURE III.12 – Système de Commande d'éclairage par la technologie CPL

Ce système se compose de trois parties :

1. La commande par téléphone portable via bluetooth

Une application utilise la connectivité Bluetooth du téléphone pour établir une communication sans fil avec l'Arduino. Une fois connecté, l'utilisateur peut utiliser l'interface de l'application pour envoyer des commandes spécifiques à l'Arduino. La figure II.13 et II.14 présentent le diagramme de fonctionnement d'une connexion bluetooth et l'interface de l'application mobile respectivement .

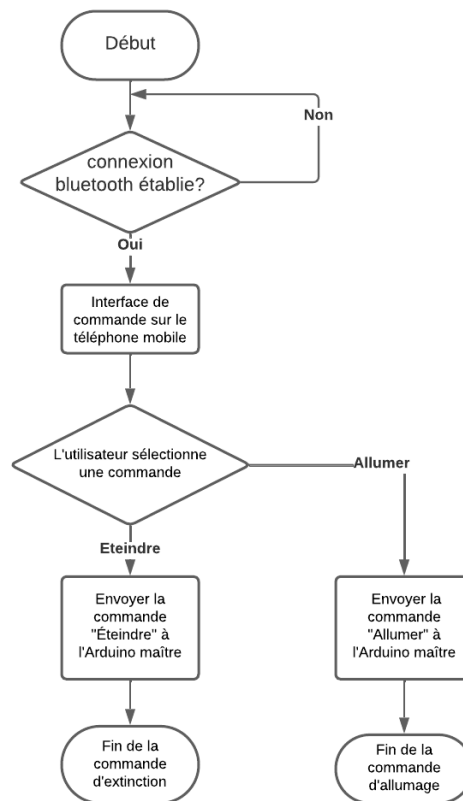


FIGURE III.13 – Diagramme de fonctionnement connexion bluetooth .



FIGURE III.14 – Interface de l'application mobile.

2. Partie émetteur

Dans la partie émetteur on trouve le module bluetooth et le modem CPL KQ330 branché à l'arduino maître. les deux dispositifs communiquent avec l'arduino par une communication série

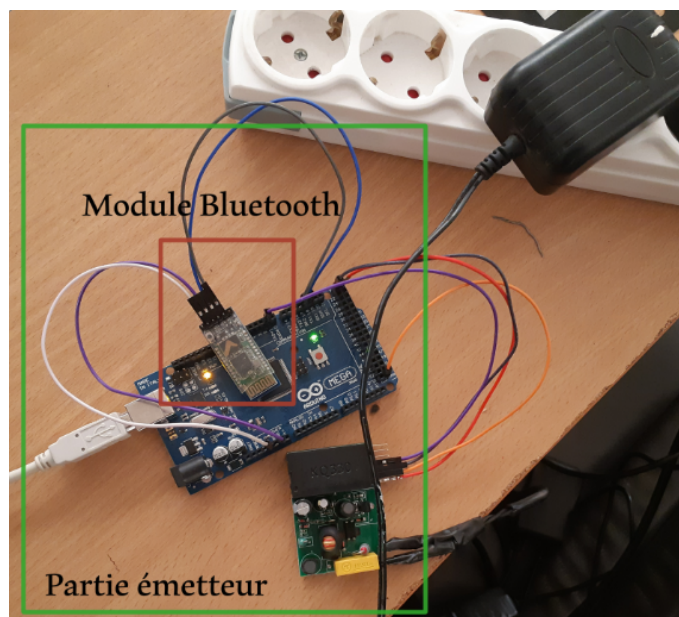


FIGURE III.15 – Partie émetteur du système de commande d'éclairage par CPL.

3. Partie récepteur

Dans cette partie du système, le modem CPL KQ-330 joue un rôle essentiel. Il est chargé de recevoir les signaux transmis sur les lignes électriques et de récupérer les données de commande qui y sont envoyées. Ensuite, ces données sont transmises à l'Arduino UNO. Pour établir la communication entre l'Arduino et les Relais modbus RTU, un convertisseur TTL vers RS485 a été utilisé. L'Arduino UNO, en fonction des commandes qu'il reçoit, est responsable d'activer ou de désactiver les Relais afin de contrôler l'allumage ou l'extinction des lampes selon les besoins spécifiques.

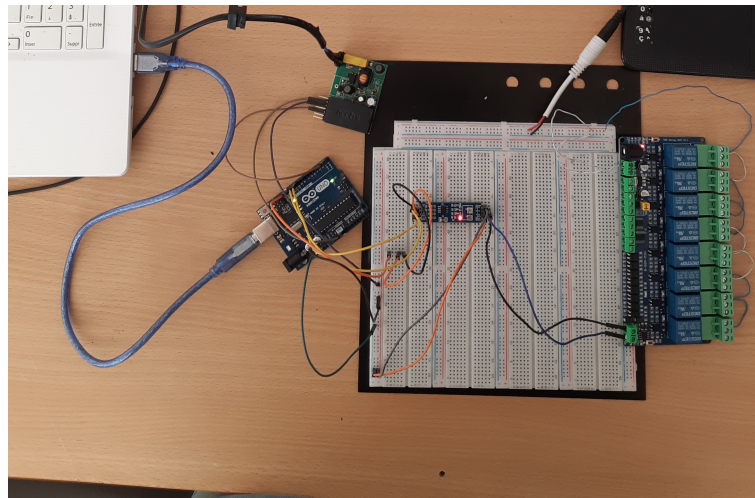


FIGURE III.16 – Partie récepteur du système de commande d'éclairage par CPL. .

La figure II.17 présente le système de commande d'éclairage complet où se trouve les lampes à commander .



FIGURE III.17 – Système de commande d'éclairage par CPL. .

III.4 Cas d'étude : maison solaire intelligente basse consommation de l'UDES

III.4.1 Présentation de la maison solaire intelligente de l'UDES

Le cas d'étude choisi dans le présent travail est le démonstrateur « maison solaire basse consommation ». Ce démonstrateur est installée sur le site de l'UDES à l'Unité de Développement des Equipements Solaires (UDES), Bou Ismaïl , W. Tipaza (Latitude : 36°38'33" North and Longitude : 2°41'24" East) [9][27] . La maison est de type F2 et occupe une superficie de 57m². Son implantation plein sud a été adoptée afin de réduire sa consommation d'énergie pour le chauffage et optimiser sa production d'énergie électrique photovoltaïque. Elle a été conçue de telle sorte que les pièces à vivre sont situées côté sud avec de larges ouvertures permettant l'entrée de la chaleur et de la lumière du soleil . Par ailleurs, les matériaux utilisés pour la construction de cette maison ont été choisis de telle sorte à avoir une bonne isolation thermique. Elle est dotée d'un système photovoltaïque connecté au réseau électrique avec stockage d'énergie (3.2 kWp capacity, 12 kWh de Plomb-acid battery storage capacity and a 4 kW grid-connected inverter) [28][29]. Les besoins électriques de l'habitation sont assurés en priorité par cette installation photovoltaïque et en cas de besoin il est fait appel au réseau électrique. Afin de réduire la demande énergétique, le chauffage de l'eau sanitaire est assuré par un chauffe-eau solaire, le chauffage ambiant est en partie satisfait par un module hybride PV/T et la climatisation par un climatiseur hybride solaire. Par ailleurs, les eaux usées de l'habitation seront en partie traitées par une micro station d'épuration et seront recyclées pour être réutilisées. Cette habitation est dotée d'un système de gestion d'énergie intelligent qui se charge de gérer les flux d'énergie et les charges en arbitrant l'autoconsommation, le stockage ou l'injection dans le réseau du surplus de production d'électricité de manière automatique.

La maison intelligente est équipée de divers appareils électroménagers tels que le climatiseur, le micro-ondes, le four électrique, le lave-vaisselle, la machine à laver, le réfrigérateur, ainsi que la télévision et le ventilateur. Tous ces appareils sont automatisés et peuvent être contrôlés à distance, comme le montre la figure II.19 .

Cette maison se distingue d'une maison ordinaire car elle est conçue pour être basse consommation. Les équipements électroménagers utilisés sont donc moins énergivores et sont classés en catégorie A, A++, etc.



FIGURE III.18 – Maison solaire basse consommation de l’UDES.



FIGURE III.19 – Appareil électroménagers moins énergivores.

III.4.2 Tests et résultats

Nous avons implémenté le système domotique basé sur la technologie CPL dans la maison intelligente à l’UDES. Notre système est constitué de deux parties : un émetteur et un récepteur.

L’émetteur est constitué d’un Arduino maître qui est connecté à une application mobile via Bluetooth. Il est situé à l’intérieur de la maison et est branché dans le réseau électrique commun. Son rôle principal est d’envoyer des commandes à la partie «récepteur» en utilisant le réseau électrique commun qui relie les deux parties.

La partie «récepteur» du système est composée d’un Arduino esclave ,selon les commandes qu’il reçoit,il active ou désactive les Relais afin de contrôler les appareils électroménagers de la maison selon les besoins spécifiques.le système est installée dans la salle de

contrôle où se trouve l'armoire électrique regroupant tous les appareils électroménagers de la maison. Cette partie réceptrice est également connectée au réseau électrique commun de la maison. Son rôle est de recevoir les commandes et les informations provenant de l'émetteur, puis de les transmettre aux appareils électroménagers correspondants.

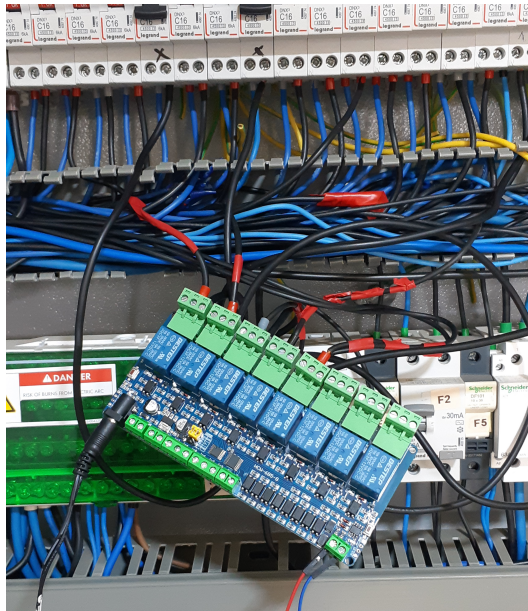


FIGURE III.20 – Branchement relais dans l'armoire électrique de la maison

Grâce à cette configuration, Nous avons pu commander le téléviseur, l'éclairage et le ventilateur par un contrôle centralisé en utilisant l'application mobile.

La figure II.21 présente l'interface de commande des charges électriques de la maison

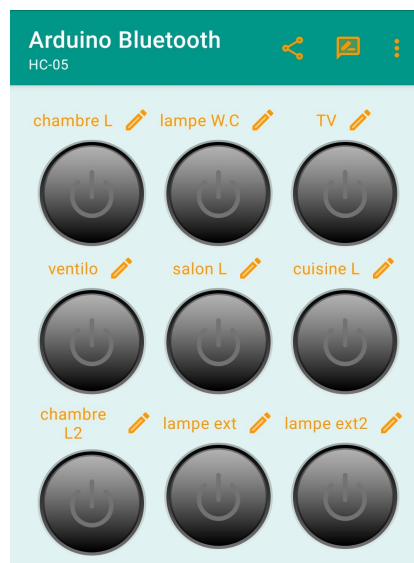


FIGURE III.21 – Interface de commande des charges électriques de la maison

les figures (III.22,III.23,III.24et III.25) montre la commande des appareils présent dans la maison.



FIGURE III.22 – Commande de l'éclairage de la chambre

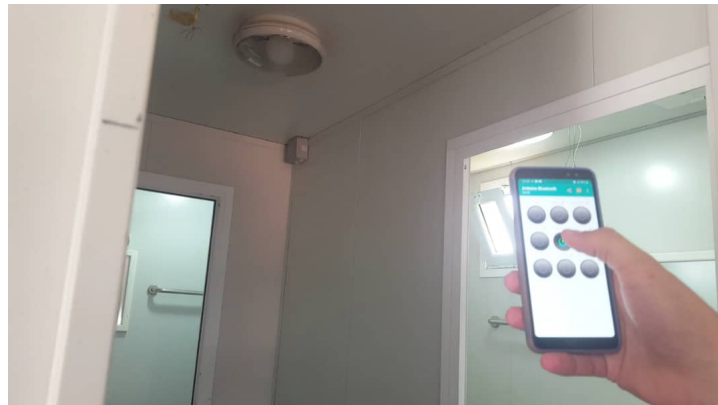


FIGURE III.23 – Commande de l'éclairage de la salle de bain

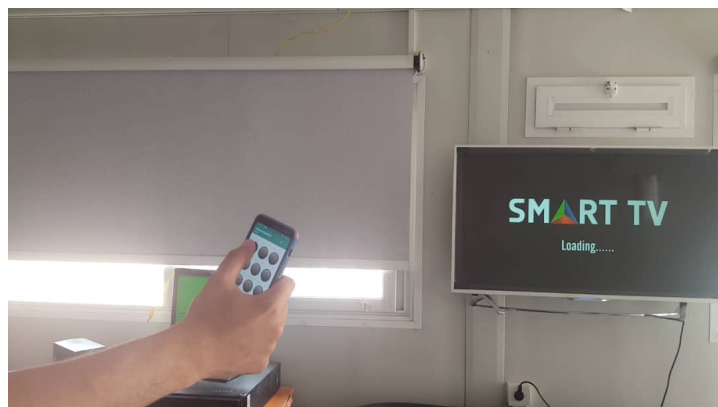


FIGURE III.24 – Commande du téléviseur



FIGURE III.25 – Commande de ventilateur

III.4.3 Commande de l'éclairage périphérique de la maison solaire intelligente

Le système domotique basé sur la technologie CPL dans la maison intelligente à l'UDES peut également être utilisé pour commander l'éclairage périphérique de la maison. Nous pouvons contrôler à distance l'éclairage de différents endroits autour de la maison à partir de l'application mobile qui nous permet de gérer l'éclairage de manière flexible et adaptée à vos besoins.



FIGURE III.26 – Eclairage périphérique de la maison solaire intelligente.

III.4.4 Analyse des coûts

Le coût du système domotique conçu et implémenté dans la maison solaire intelligente à basse consommation utilisée dans cette étude a été évalué en se référant aux prix sur le site d'AliExpress, une plateforme de vente en ligne proposant divers produits, y compris des équipements électroniques. Étant donné que les prix sur ce site peuvent varier, nous avons pris en compte les prix moyens. Le coût matériel pour le circuit présenté est considérablement inférieur à celui des solutions de prises intelligentes "commerciales" disponibles sur le marché. Le coût total du matériel nécessaire pour mettre en place le système décrit dans cette étude est indiqué dans la Figure II.27 (Nous pouvons réduire le coût en utilisant des microcontrôleurs qui jouent le rôle de l'arduino MÉGA et UNO). En comparaison, le coût de ce système est environ la moitié de celui des prises intelligentes Wi-Fi vendues à 2 500 DA par unité. Ainsi, pour obtenir huit prises, il faudrait déboursier environ 20 000 DA. Cette différence de coût substantielle souligne l'avantage économique de notre solution proposée. En choisissant notre système, vous pouvez réaliser des économies significatives tout en bénéficiant d'un contrôle efficace et pratique de vos charges électriques. Par conséquent, nous pouvons conclure que notre solution présente une rentabilité économique évidente.

Nom du produit	Prix d'unité en dinars	Quantités	Total en dinars
Module Arduino MEGA	3,846.00	1	3,846.00
Module Arduino UNO	1,207.81	1	1,207.81
Convertisseur TTL vers RS485	200.00	1	200.00
Relais modbus RTU 8 canaux	2,849.89	1	2,849.89
Modem FSK-KQ330	500.00	2	1000.00
Module Bluetooth HC-05	424.77	1	424.77
Autres	500.00		500.00
Total=10,000.00 da			☑

FIGURE III.27 – Coût du système domotique implémenté dans la maison solaire

III.5 Conclusion

Notre projet de mise en place d'un système domotique basé sur le courant porteur en ligne (CPL) et son intégration dans une maison intelligente a été couronné de succès. Les simulations de transmission de données et les essais expérimentaux réalisés en laboratoire ont confirmé la faisabilité et la fiabilité de cette technologie. En déployant le système de CPL dans une véritable maison intelligente, nous avons pu démontrer son efficacité dans des conditions d'utilisation réelles.

L'utilisation du réseau électrique existant comme canal de transmission des signaux de commande et d'information a ouvert de nouvelles perspectives pour le contrôle à distance des appareils électroménagers, y compris l'éclairage périphérique. Notre solution a permis une gestion centralisée et pratique des dispositifs connectés, facilitée par une application mobile connectée.

Conclusion générale

Notre étude a souligné l'importance des technologies de communication dans le fonctionnement d'une maison intelligente, en favorisant la connectivité et l'échange d'informations entre les dispositifs du réseau domestique. Parmi ces technologies, la communication de courant porteur en ligne (CPL) a été examinée en détail, révélant ses avantages distincts par rapport aux autres méthodes de communication.

Nous avons constaté que le CPL peut être combiné avec les communications sans fil pour étendre la portée du réseau, en utilisant le réseau électrique comme infrastructure dorsale pour le réseau sans fil .

Dans le cadre de notre conception d'un système domotique basé sur le CPL, nous avons identifié les composants matériels et logiciels essentiels. Nous avons soigneusement sélectionné des composants et des dispositifs fiables et efficaces. Ces choix ont été déterminants pour garantir le bon fonctionnement du système, ainsi que sa capacité à contrôler à distance les charges électriques et à automatiser les tâches quotidiennes.

En intégrant notre système CPL dans une maison intelligente réelle, nous avons confirmé la faisabilité et la fiabilité de cette technologie grâce à des simulations et des essais expérimentaux en laboratoire. La transmission de données a été réussie, et nous avons pu contrôler à distance divers appareils électroménagers, y compris l'éclairage périphérique dans la maison solaire intelligente basse consommation de l'UDES. Cette intégration a ouvert de nouvelles perspectives pour le contrôle à distance et la gestion centralisée des dispositifs connectés.

Pour tirer pleinement parti de la technologie CPL et en maximiser les avantages, il est recommandé d'installer des systèmes de commande à base de CPL dans des endroits où la distance entre l'émetteur(salle de contrôle)et les récepteurs (les charges commandables) est importante. Ces applications dans des environnements tels que les immeubles, bâtiments commerciaux, entreprises, aéroports, mosquées, théâtres et bien d'autres, permettent d'optimiser l'utilisation de la technologie CPL et d'offrir une expérience domotique avancée et performante.

En conclusion, notre projet a démontré que le CPL est une technologie prometteuse pour la domotique et les maisons intelligentes. Son utilisation du réseau électrique existant facilite l'implémentation et offre une solution efficace pour la transmission de données et le contrôle des appareils, seulement la technologie CPL présente des limites en termes de débit de transmission des données et de sensibilité aux perturbations électrique, mais grâce aux efforts de recherche et développement ; Des progrès sont réalisés pour augmenter le débit de transmission et réduire la sensibilité aux perturbations électriques.

Les résultats obtenus de ce projet ouvrent la voie à de nouvelles opportunités pour le développement de systèmes domotiques avancés et efficaces, contribuant ainsi à améliorer notre quotidien dans les maisons intelligentes de demain.

Bibliographie

- [1] Anouar ACHOUR. Contribution à l'évaluation des technologies cpl bas débit dans l'environnement domestique, 2015.
- [2] Saad Bennani, Jamal Belkadid, Ali Benbassou, and Moulhime Bekkali. ModÉlisation et analyse de l'effet des impÉdances de charge sur le rÉseau plc. 03 2009.
- [3] Achraf Liakouti. *Analyse et modélisation de rayonnement électromagnétique des réseaux CPL*. PhD thesis, 12 2017.
- [4] C. Pham. Université de pau et des pays de l'adour département informatique. In *Les réseaux sans-fils*.
- [5] QUN Yin and Zhang Jianbo. Design of power line carrier communication system based on fsk-kq330 module. *Electrotehnica, Electronica, Automatica*, 62(3), 2014.
- [6] SIRLAN Technologies. Les automatismes du bâtiment la domotique le maintien à domicile, 2019.
- [7] Sebastian Gutierrez, Carlos Acero, and Pedro M. Rodrigo. Domotic control system for blinds with zigbee communication mobile device. In *2018 International Conference on Research in Intelligent and Computing in Engineering (RICE)*, pages 1–4, 2018.
- [8] Bogdan-Vasile Cioruța, Alexandru Lauran, Mirela Coman, and Andrei-Alin Cioruta. Ecological intelligent house between mit and reality. automatic vs. domotic houses. 20 :131–138, 06 2018.
- [9] Fathia Chekired, Oussama Taabli, Zakaria Mehdi Khellili, Amar Tilmatine, Aníbal T. de Almeida, and Laurent Canale. Near-zero-energy building management based on arduino microcontrollermdash ;on-site lighting management application. *Energies*, 15(23), 2022.
- [10] Yahi Amina and Kouri Loubna. Contrôle et suivi d'une maison intelligente via internet. Master's thesis, Université Akli Mohand Oulhadj - Bouira, 2018.

- [11] Wenhui Xiao, Liang Bo, and Ramanpreet Kaur. Design of led lighting system based on power line communication. In *2020 5th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS)*, pages 835–839. IEEE, 2020.
- [12] Anouar Achouri. *Contribution à l'évaluation des technologies CPL bas débit dans l'environnement domestique*. PhD thesis, Tours, 2015.
- [13] Télécommunications sur le réseau de distribution d'électricité—possibilités et limitations. *IIR-CPL*, 6.
- [14] Klaus Dostert. Powerline communications. (*No Title*), 2001.
- [15] Achraf Liakouti. *Analyse et modélisation de rayonnement électromagnétique des réseaux CPL*. PhD thesis, Université Clermont Auvergne [2017-2020] ; Université Sidi Mohamed ben ..., 2017.
- [16] Hamid Bouassam. *Analyse et modélisation de l'effet des impédances de charge sur les performances d'une liaison CPL sur le réseau électrique domestique*. PhD thesis, Lille 1, 2017.
- [17] Technologie de communication par courants porteurs en ligne basée sur le filtrage morphologique pour les applications machine-to-machine. *Informatique & Génie électrique*, 93.
- [18] AJ Han et Yazdani Javad et Honary Bahram Pavlidou, Niovi et Vinck. Courant porteur en ligne : état de l'art et tendances futures. *magazine des communications IEEE*, 41 :34–40.
- [19] Dhia Elhak Chariag. *Elaboration d'un outil d'analyse du réseau électrique domestique dans la bande CPL*. PhD thesis, Université François Rabelais-Tours, 2013.
- [20] Abdelfatteh et Lehnert Ralf Hrasnica, Halid et Haidine. *Communications CPL haut débit : conception de réseau*.
- [21] Marc-Anthony Mannah. *Transmission de données par Courants Porteurs en Ligne sur un réseau Modulé en Largeur d'Impulsion*. Nantes, 2010.
- [22] A. Majumder and James Caffery. Power line communication : An overview. *Potentials, IEEE*, 23 :4 – 8, 11 2004.
- [23] Ait Issad Hassina Terki Lilia. Déploiement d'un réseau de capteurs sans fil pour la gestion de l'éclairage public. Master's thesis, UMMTO, 2016.
- [24] Loi de transmission du signal porteur d'une ligne électrique aérienne triphasée. *Dianli Xitong Zidonghua (automatisation des systèmes d'alimentation électrique)*, 36 :57–60.

- [25] Influence des erreurs de synchronisation sur le système de communication basé sur ofdm pour les lignes électriques basse tension. *Dianli Xitong Zidonghua/Automatisation des systèmes d'alimentation électrique*, 28 :36–40.
- [26] Conception et mise en œuvre d'un système de gestion de mesure, de surveillance et de contrôle de la résistance d'isolement des lignes électriques étendues. *Journal of Taiwan Society of Naval Architects and Marine Engineers*, 26 :19–27.
- [27] Aissa Meflah, Fathia Chekired, Fethi Akel, and Yousria Yasmine. Indoor lighting study : case of udes'solar smart house bou-ismail-algeria. *Journal of Renewable Energies*, pages 103–113, 2023.
- [28] Fathia Chekired, Smail Houtti, Constantinos A Bouroussis, Abdellah Rahmani, Amar Tilmatine, and Laurent Canale. Low cost automation system for smart houses based on pic microcontrollers. In *2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2020 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC/I&CPS Europe)*, pages 1–5. IEEE, 2020.
- [29] Fathia Chekired, Zoubeyr Smara, Achour Mahrane, Madjid Chikh, and Smail Berkane. An energy flow management algorithm for a photovoltaic solar home. *Energy Procedia*, 111 :934–943, 2017.

Résumé

L'objectif de ce travail était de concevoir et réaliser un système de domotique basé sur la technologie de communication du courant porteur en ligne (CPL). Ce système exploitait le réseau électrique existant comme canal de transmission des signaux de commande et d'information pour permettre la commande à distance des prises électriques, des charges électriques (éclairage, ventilation, équipements électroménagers, etc.) ainsi que l'éclairage périphérique d'une maison. Le système CPL proposé a été déployé et testé dans un démonstrateur réel, à savoir une maison solaire intelligente (UDES-Bou-Ismaïl). Les résultats obtenus ont démontré son efficacité dans des conditions d'utilisation réelles. L'installation du système CPL conçu nous a permis de bénéficier d'une gestion centralisée et pratique des dispositifs connectés, facilitée par une application mobile.

Mots clés : Domotique, courant porteur en ligne, commande des charges électriques, maison intelligente, connexion Bluetooth

Abstract

The objective of this work was to design and implement a home automation system based on the Online Carrier Current Communication (PLC) technology. This system used the existing electrical network as a channel for transmitting control and information signals to allow remote control of electrical outlets, electrical loads (lighting, ventilation, household appliances, etc.) as well as the peripheral lighting of a house. The proposed PLC system was deployed and tested in a real demonstrator, namely a smart solar house (UDES-Bou-Ismaïl). The results obtained demonstrated its effectiveness under real-life conditions. The installation of the Power line system enabled us to benefit from a centralized and convenient management of connected devices, facilitated by a mobile application.

Keywords: Home automation, Power Line Communication, electrical load control, smart home, Bluetooth connection

ملخص

الهدف من هذا العمل هو تصميم وتنفيذ نظام التشغيل الآلي للمنزل بناءً على تقنية الاتصالات عبر خط الطاقة. يستخدم هذا النظام الشبكة الكهربائية الموجودة في المنزل كقناة لنقل إشارات التحكم والمعلومات للسماح بالتحكم عن بعد في المنافذ والأحمال الكهربائية (الإضاءة والتهوية والأجهزة المنزلية وما إلى ذلك) بالإضافة إلى الإضاءة المحيطة بالمنزل. تم نشر تقنية الاتصالات عبر خط الطاقة المقترح واختباره في منزل حقيقي، وهو منزل شمسي ذكي موجود على مستوى مركز تنمية العلاقات المتجددة وحدة تنمية الأجهزة الشمسية-بوسماعيل ولاية تيبازة. وأظهرت النتائج التي تم الحصول عليها فعاليتها في ظل ظروف الحياة الواقعية. مكنتنا تركيب تقنية الاتصالات عبر خط الطاقة من الاستفادة من الإدارة المركزية والمريحة للأجهزة المتصلة، والتي يسهلها تطبيق الهاتف المحمول.

الكلمات المفتاحية

التشغيل الآلي للمنزل، منزل ذكي، اتصال Bluetooth، منزل للطاقة الشمسية منخفضة الاستهلاك، تقنية الاتصالات عبر خط الطاقة، التحكم عن بعد