

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université 8 Mai 1945 – Guelma
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Electrotechnique et Automatique

Réf:.....gldp...../2018



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER Académique**

Domaine: Sciences et Technologie

Filière: Automatique

Spécialité: Automatique et Informatique Industrielle

Par: KRIM Abdelkarim et HASSANE GARBA Hafissou

Thème

Communication et commande avec VLC

Soutenue publiquement, le 24/06 /2018 , devant le jury composé par:

Mr. BABOURI Abdesselam	Professeur	Université 8 mai 1945	Président- Encadreur
Mr. MENDACI Soufiane	MCA	Université 8 mai 1945	Examineur
Mr. SEBBAGH Abdennour	MCB	Université 8 mai 1945	Examineur
Mme. BOUBIDI Assia	MAA	Université 8 mai 1945	Examineur
Mr. CHAABNA Ameur	Doctorant	Université 8 mai 1945	Co-Encadreur

Année Universitaire: 2017/2018

19/3785



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah, le tout puissant, de nous avoir donné la santé, la volonté, le courage et la patience pour mener à terme ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde reconnaissance en premier lieu à **Professeur BABOURI Abdesselam** notre directeur de mémoire, que nous remercions vivement de nous avoir accompagné, soutenu et encouragé tout au long de ce mémoire et de nos études.

Votre rigueur et votre savoir nous ont guidés au fil de l'avancement de ce travail. Nous vous serions infiniment reconnaissant de votre extrême gentillesse, du temps que vous nous avez consacré, de votre patience et de vos Conseils toujours avisés, que vous nous avez donnés.

Il serait ingrat de notre part d'oublier **l'ensemble du corps professoral** ainsi que **l'ensemble du personnel de l'université 8 MAI 1945**, pour l'aide qu'ils nous ont apporté durant notre cursus, en particulier à **Monsieur CHAABNA Ameur** Co-encadreur, nous les Remercions chaleureusement.

Nous exprimons notre sincère gratitude à **Messieurs les jurys** qui nous ont fait honneur de juger ce Travail.

Nous exprimons également notre reconnaissance à tout ceux et toutes celles qui nous ont entouré et soutenu tout au long de nos études et pendant l'élaboration de ce mémoire notamment **l'ensemble des étudiants de Automatique** votre aide tant précieuse que nécessaire nous a permis de mener à bien ce travail.

Dédicaces

Que ce travail témoigne de mes respects :

a mes parents

Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études. Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux. Ma très chère Mama qui m'a laissé très tôt, que la terre lui soit légère Insha Allah. Que dieu me procure mon père de bonne santé et longue vie Insha Allah.

a ma soeur et mes freres et ma fiance

ma jolie soeur Amira, mon meilleur frère Hossine qui m'a aidé beaucoup à terminer mes études,
Ma jolie fiancée Narimane qui m'a encouragé de travailler à ci dure dans ce projet
Mon Petit Frère Chouaïb Merveilleux, Ma petite soeur Linaqui a u le B.E.M avec mention je la félicite.

mes adorables cousins

Chawki, Karim, Ramzi, Adel, Poupei, Samir

mes ma g rand meres

Azouza Que dieu la garde pour nous.
Et ma jolie Mima que la terre soit légère pour elle Insha Allah

a tous mes amis

Walid, Marwan, Chamsou, Mustafa, Adnan, Abdelbasset, Hmed, Abdou, Isam, Amin, Amin, Amin, Amin,
Aimen, Akram

Sans oublier mon binôme Hassane Hafissou Garba.

....

Et tant d'autres,

Merci pour tous les bons moments passés ensemble.

aux tout les profs de la promo

M Melle Dr Keshida, Mr Pr Babouri, Dr sebbagh, Dr Mendaci, Dr Mokdad Mme Loucife, Mme Bpubidi, Mr Ficili, Mr Boudjahem, Mme Bouseredj, ...

• Krim Abdelkarim •



Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

- ❖ *A mon père **HASSANE GARBA** qui a toujours cru en moi et a mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour que je réussisse dans mes études. Mon modèle de labeur et de persévérance. Q'ALLAH le garde en bonne santé.*
- ❖ *A ma chère maman **HALIMATOU DAOUA** qui est pour moi une source de réconfort,*
- ❖ *A tous **mes oncles et tantes** Merci pour votre soutien et encouragement*
- ❖ *A ma fiancé **AMADOU MOUNKAILA Nafissa** la future mère de mes enfants*
- ❖ *A mon binôme **Krim Abdelkarim***
- ❖ *A toute la communauté estudiantine en Algérie et en particulier à Guelma.*

HASSANE GARBA HAFISSOU

LISTE DES FIGURES	4
LISTE DES TABLEAUX	5
INTRODUCTION GENERALE	6
Chapitre I Généralité et état de l'art	7
I.1. Introduction	7
I.1.1. Définition des réseaux sans fil	7
I.1.2. LES TECHNOLOGIES SANS FIL	7
I.1.3. Intérêt du «sans fil»	8
I.2. Introduction sur le Wi-Fi	9
I.2.1. Capacité	9
I.2.1.1. Quelle vitesse chez soi et en laboratoire	9
I.2.1.2. Efficience	10
I.2.1.3. Intégrations actuelles et leurs problèmes	11
I.3. Introduction sur le Bluetooth	12
I.3.1. Le principe de l'interface Bluetooth	13
I.3.2. Les applications de Bluetooth	13
I.3.3. Les normes concurrentes	14
I.3.4. La portée d'une liaison Bluetooth	15
I.4. Introduction de Zigbee	16
I.4.1. Informations de base sur la technologie ZigBee	16
I.4.2. La pile protocolaire	16
I.4.3. Les topologies réseau avec le protocole ZigBee	17
I.5. Communication par la lumière visible (VLC)	18
I.5.1. L'architecture d'un système VLC	18
I.5.1.1. L'émetteur de VLC	19
I.5.1.2. Le récepteur VLC	20
I.5.2. Fonctionnement du VLC	21
I.5.2.1. Principe	21
I.5.2.1.a. Technologies de la lumière visible	21
I.5.2.1.b. Avantages de la lumière visible	21
I.5.3. Les LED : enjeu majeur	22
I.5.4. Sécurité & VLC	23
I.5.5. Applications VLC	23
I.5.5.1. Localisation intérieur (indoor)	24
I.5.5.2. Transports	24
I.6. L'état de l'art de VLC	25
I.6.1. Recherche VLC en Asie	25
I.6.1.1. Université de Yonsei (Corée du Sud)	26
I.6.2. Recherche VLC en Europe	26
I.6.2.1. Université d'Oxford	26
I.6.3. Recherche VLC AUX USA	27
I.7. Comparaison entre la technologie VLC et RF:	28
I.8. conclusion	29
Chapitre II Matériels et logiciel	30

II.2. Matériels	30
II.2.1. Microcontrôleurs	30
II.2.1.1. Modèles	30
II.2.1.2. Domaine d'utilisation	31
II.2.1.3. Langage de programmation d'un microcontrôleur	32
A) Le C	32
B) Le C++	33
C) Le Java	33
D) L'assembleur	33
II.2.2. Diode Electroluminescente (LED)	34
II.2.2.1. Caractéristiques électriques principales d'une LED	34
II.2.2.2. Caractéristiques optiques d'une LED	34
II.2.3. Photodiodes PIN série BPW34	35
II.2.3.1. Caractéristiques des photodiodes BPW34	35
II.2.3.2. Caractéristiques techniques	36
II.2.4. CARTES ARDUINO	37
II.2.4.1. Les gammes de la carte Arduino	37
II.2.4.2. Matériel Arduino	39
II.3. LOGICIELS	40
II.3.1. ARDUINO	40
II.3.1.1. Structure générale du programme (IDE Arduino)	40
A) l'interface	41
B) Correspondance de l'interface	41
C) Les boutons	41
D) Correspondance des boutons	42
II.3.1.2. Les étapes de téléchargement du programme	42
II.3.1.3. Les avantages de l'Arduino	43
II.4. CONCLUSION	44
Chapitre III Application	45
III.1. Introduction	45
III.2. Proposition d'un protocole de communication VLC	47
III.2.1. Applications Indoor	47
III.2.1.1. Simulation de la communication indoor	47
III.2.1.2. Résultat de simulation	47
III.2.1.2.a. Etude de l'énergie reçue en fonction de l'angle semi-puissance	47
III.2.1.2.b. Etude du SNR qualité de transmission	48
III.2.1.2.c. Etude du BER de la modulation OOK	49
III.2.1.3. Test de validation Indoor	50
III.2.2. Application Outdoor	52
III.2.2.1. Transmission des données textuelles en simplex	52
III.2.2.1.a. Émetteur	53
III.2.2.1.b. Récepteur	54
III.2.2.1.c. Format de porteur d'information (frame)	54
III.2.2.1.d. Le montage	55
III.2.2.1.e. Teste du prototype	56
A) Test de l'émission continue	56
B) Test de l'émission manuel	57
C) Résultats obtenues	57
III.2.2.2. Freinage automatique	58
III.2.2.2.a. Principe de fonctionnement	59

III.2.2.1.e. Teste du prototype	56
A) Test de l'émission continue	56
B) Test de l'émission manuel	57
C) Résultats obtenues	57
III.2.2.2. Freinage automatique	58
III.2.2.2.a. Principe de fonctionnement	59
III.2.2.2.b. Méthodologie et système proposé	60
III.2.2.2.c. Réalisation	62
III.2.2.2.d. Equipement et mise ajoure du programme	63
III.2.2.2.e. Résultats obtenue	64
III.2.2.3. Conclusion	65
CONCLUSION GENERALE	66
ANNEXE	67
BIBLIOGRAPHIE	78

LISTE DES FIGURES

FIGURE I. 2 LOGO ZONE WI-FI	12
FIGURE I. 3 LE PRINCIPE DE L'INTERFACE BLUETOOTH	13
FIGURE I. 4 LES APPLICATIONS DE BLUETOOTH	14
FIGURE I. 5 PORTEE EN METRE EN FONCTION DE DEBIT EN MBITS/S	15
FIGURE I. 6 LOGO DE BLUETOOTH	16
FIGURE I. 7 LOGO ZIGBEE	16
FIGURE I. 8 PILE DE PROTOCOLES ZIGBEE	17
FIGURE I. 9 TOPOLOGIES DES RESEAUX ZIGBEE	18
FIGURE I. 10 ARCHITECTURE D'UN SYSTEME VLC : A. ÉMETTEUR ; B. RECEPTEUR	19
FIGURE I. 11 LE SPECTRE ELECTROMAGNETIQUE	22
FIGURE I. 12 LOCALISATION INDOOR AVEC LA COMMUNICATION VLC	24
FIGURE I. 14 DES PROTOTYPES DE VLC DEVELOPPES A L'UNIVERSITE D'OXFORD	27
FIGURE I. 15 PROTOTYPE DE VLC DEVELOPPE A L'UNIVERSITE DE BOSTON	28
FIGURE II. 1 SCHEMA DES ELEMENTS PRINCIPAUX D'UN MICROCONTROLEUR	30
FIGURE II. 2 LES APPAREILS INDUSTRIELS	31
FIGURE II. 3 LES APPAREILS DE COMMUNICATION	31
FIGURE II. 4 APPAREIL MEDICAL	31
FIGURE II. 5 TV, VIDEO, HIFI	32
FIGURE II. 7 PHOTODIODES BPW34	37
FIGURE II. 10 L'INTERFACE DE L'IDE ARDUINO EN DETAIL	41
FIGURE II. 11 LA BARRE D'OUTILS	41
FIGURE III.1 CHAMBRE DE SIMULATION VLC INDOOR	47
FIGURE III.2 SIMULATION DU CANAL "LINE OF SIGHT" LOS ET L'ENERGIE REÇUE	48
FIGURE III.3 SIGNAL SANS ET AVEC BRUIT	48
FIGURE III.4 DISTRIBUTION DU SNR DANS LA CHAMBRE	49
FIGURE III.5 TAUX D'ERREUR DE L'ENCODAGE OOK	50
FIGURE III.6 LE PROTOTYPE PROPOSE POUR LA TRANSMISSION AUDIO	51
FIGURE III.7 ARCHITECTURE ELECTRONIQUE DU SYSTEME	52
FIGURE III.8 PROTOTYPE REALISE DE L'EMETTEUR VLC	53
FIGURE III.9 PROTOTYPE REALISE DU RECEPTEUR VLC	54
FIGURE III.10 STRUCTURE DE FRAME NUMERIQUE	55
FIGURE III.11 PROTOTYPE VLC DEVELOPPEE A L'UNIVERSITE DE BOSTON	55
FIGURE III.12 SCHEMA REALISE ET LES DETAILLE	55
FIGURE III.13 CODE EMETTEUR FAIT L'ENVOIE AUTOMATIQUEMENT	56
FIGURE III.14 LE CODE FAIT L'ENVOIE MANUELLEMENT	57
FIGURE III.15 PROTOTYPE V2V POUR TRANSMISSION DE DONNEES PAR VLC	58
FIGURE III.16 UTILISATION DE LA LUMIERE VISIBLE POUR L'ENVOIE D'UN MESSAGE DE SECURITE	59
FIGURE III.17 L'ENSEMBLE PEDALES FREIN-ACCELERATEUR	59
FIGURE III.18 SCHEMA BLOCK ET DIAGRAMME DE FLUX DU PROTOTYPE PROPOSE	60
FIGURE III.19 DISTRIBUTION DE LA PUISSANCE LUMINEUSE DU FEU ARRIERE	61
FIGURE III.20 TEMPS DE REPONSE AVEC ET SANS LE SYSTEME D'AUTOFREINAGE	62
FIGURE III.21 RECEPTEUR DU PROTOTYPE PROPOSE POUR L'AUTOFREINAGE	62
FIGURE III.22 RECEPTEUR DU PROTOTYPE PROPOSE POUR L'AUTOFREINAGE	63
FIGURE III.23 MONTAGE ET EXPLICATION DU FREINAGE AUTOMATIQUE VLC	63

LISTE DES TABLEAUX:

TABLEAU I. 1 DIFFERENTES NORMES WI-FI	10
TABLEAU I. 2 TABLEAU COMPARATIF DES DIFFERENTES AMPOULES EXISTANTES	23
TABLEAU I. 3 COMPARAISON ENTRE LA TECHNOLOGIE VLC ET RF	28
TABLEAU III.1 TABLEAU DE VERITE DU CODAGE MANCHESTER	53

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Les réseaux sans fil permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres. De plus l'installation de tels réseaux ne demande pas de lourds aménagements des infrastructures existantes comme c'est le cas avec les réseaux filaires (creusement de tranchées pour acheminer les câbles, équipements des bâtiments en câblage, goulottes et connecteurs), ce qui a valu un développement rapide de ce type de technologies.

La communication avec la lumière visible (VLC) est une technologie de communication sans fil émergente qui utilise la lumière visible non seulement pour l'éclairage ou de signalisation, mais aussi comme support de transmission numérique.

Un avantage principal de VLC est l'utilisation des systèmes d'éclairage à LEDs qui le rend omniprésent et réduit considérablement ses coûts de mise en œuvre. La technologie VLC est en train de se développer dans le contexte d'une augmentation de la demande de communications sans fil dans de plus en plus de domaines. En outre, la fréquence des communications radio en fonction commencent à montrer leurs limites. La disponibilité limitée de l'éventail et de l'augmentation du nombre de nœuds ont une incidence sur les performances et la fiabilité de la liaison. Dans ces circonstances, il est évident qu'une nouvelle technologie de communication sans fil est requise. En plus de son caractère ubiquitaire, VLC propose une grande bande passante disponible gratuitement, ce qui permet des communications à haut débit.

Ce manuscrit est organisé en trois chapitres suivis d'une conclusion générale. Le positionnement de notre travail est présenté sur les deux premiers chapitres et notre contribution est détaillée dans le dernier :

Le premier chapitre présente des généralités et état de l'art sur les réseaux sans fil, il définit les concepts de base pour plusieurs types de ces réseaux et passe en revue leurs principales caractéristiques, et les différents domaines d'applications.

Le second chapitre concerne les matériels et logiciels utilisés, en présentant leurs architectures, caractéristiques, et leurs applications dans les différents domaines.

Le dernier chapitre est consacré à la conception et la mise en œuvre l'implémentation de la technique de communication par lumière visible dans le système de trafic intelligent (ITS)

CHAPITRE I

GENERALITES ET ETAT DE L'ART

Chapitre I Généralité et état de l'art

I.1. Introduction:

La communication était depuis longtemps un des soucis majeurs de l'homme. On peut classer les techniques de communications en deux grandes familles : les techniques filaires et les techniques sans fils.

Les réseaux sans fil ont été créés pour permettre aux utilisateurs d'effectuer des communications de tel sorte à garder la connectivité des équipements, tout en ayant gain de mobilité et sans avoir recours aux 'fils' utilisés dans les réseaux traditionnels et qui encombrant ces derniers.

Il existe plusieurs technologies pour les réseaux sans fil se distinguant d'une part par la fréquence d'émission utilisée ainsi que le débit et la portée des transmissions (Bluetooth, Zigbee, Wi-Fi, VLC qui est l'objet de notre mémoire),

I.1.1. Définition des réseaux sans fil:

Un réseau sans fil est un réseau informatique ou numérisé qui connecte différents postes ou systèmes entre eux par ondes radios.

Le réseau sans fil peut associer à un réseau de télécommunication pour réaliser des interconnexions entre nœuds. La norme la plus utilisée actuellement pour les réseaux sans fil est la norme IEEE802.11. [1]

Les réseaux sans fil permettent de relier très facilement des équipements distants d'une dizaine de mètres à quelques kilomètres. De plus l'installation de tels réseaux ne demande pas de lourds aménagements des infrastructures existantes comme c'est le cas avec les réseaux filaires (creusement de tranchées pour acheminer les câbles, équipements des bâtiments en câblage, goulottes et connecteurs), ce qui a valu un développement rapide de ce type de technologies.

I.1.2. LES TECHNOLOGIES SANS FIL

Les technologies dites « sans fil » [1], la norme 802.11 en particulier, facilitent et réduisent le coût de connexion pour les réseaux de grande taille. Avec peu de matériel et un peu d'organisation, de grandes quantités d'informations peuvent maintenant circuler sur plusieurs centaines de mètres, sans avoir recours à une compagnie de téléphone ou de câblage. Ces technologies peuvent être classées en quatre parties :

- Les réseaux personnels sans fil : WPAN (Wireless Personal Area Network)

- Les réseaux locaux sans fil : WLAN (Wireless Local Area Network) ;
- Les réseaux métropolitains sans fil : WMAN (Wireless Métropolitain Area Network) ;
- Les larges réseaux sans fil : WWAN (Wireless Wide Area Network)

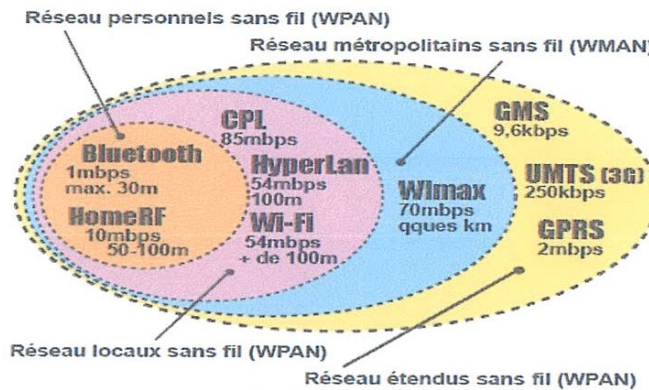


Figure I. 1 Les différentes technologies sans fil.[2]

I.1.3. Intérêt du «sans fil»

Un réseau sans fil peut servir plusieurs buts distincts[1] :

- Utilisation croissante des terminaux portables en milieu industriel et logistique
- Besoin d'un accès permanent des populations nomades au système d'information de l'entreprise.
- Pour transmettre des messages courts: bips, numériques, alphanumériques, La voix, des données informatiques (fax, fichiers, textes, images).
- Réaliser des installations temporaires.
- Mettre en place des réseaux en un temps très court.
- Eviter le câblage de locaux, de liaisons inter-bâtiments.
- Créer une infrastructure dans des bâtiments classés.
- Maturité des technologies sans fil:
 - maîtrise de la téléphonie cellulaire sur une large échelle
 - numérisation des communications, miniaturisation des interfaces
- Assouplissement des réglementations: disponibilité de nouvelles fréquences
- Mise en place d'une standardisation européenne:
 - Au niveau des infrastructures (norme ETS300/328)
 - Pour l'attribution des bandes de fréquences (2.4 GHz pour le WIFI)
- Normalisation IEEE802.11
- Technologies:

- spectre radio
- infrarouge
- optique (laser)

I.2. Introduction sur le Wi-Fi

Le Wi-Fi est avant tout un moyen de communication sans fil entre appareils, régi par des protocoles et une norme IEEE 802.11 (ISO/CEI 8802-11). La communication est réalisée par des ondes radio d'un appareil du réseau à un autre (ordinateur, tablette, Smartphone, box internet,..etc.). Le nom Wi-Fi vient en fait d'une marque déposée, il correspond à un certificat délivré par « *Wireless Ethernet Compatibility Alliance* », organisme certifiant l'interconnectivité d'appareils sous la norme 802.11 et ainsi délivrer le label « Wi-Fi ». Dans certains pays, comme en France, la norme Wi-Fi se confond avec le label, un réseau Wi-Fi n'est qu'un réseau sans fil répondant à la norme 802.11. Le terme approprié serait WLAN pour Wireless LAN (réseau local sans fil).

I.2.1. Capacité:

I.2.1.1. Quelle vitesse chez soi et en laboratoire :

Dans un réseau sans fil, ce que l'on cherche souvent à obtenir, c'est le débit le plus élevé possible. Il existe plusieurs catégories dans la norme 802.11 qui ont été créées au fur et à mesure que les technologies se sont développées. Ainsi, on trouve des appareils certifiés « Wi-Fi » 802.11b (infra rouge) 802.11a, 802.11g 802.11n, 802.11ac... Jusqu'au 802.11ac.

Chacune de ces normes apporte son lot de nouveautés souvent liées à la bande fréquence qu'elle utilise ainsi qu'au débit. On peut dresser un tableau des nouveautés entre les différentes normes:

tableau I. 1 différentes normes Wi-Fi [8]

Norme IEE	Débit théorique	Débit réel	Nouveauté
802.11a	54 Mbits/s	27 Mbits/s	Portée de 10 m
802.11 b	11 Mbits/s	6 Mbits/s	Portée de 300 m
802.11d	-	-	Internationalisation de la norme
802.11e	-	-	Amélioration du transfert pour l'audio et la vidéo
802.11f	Mise en place de l'itinérance permettant à un utilisateur itinérant de changer de point d'accès de façon transparente lors d'un déplacement		
802.11 g	54 Mbit/s	25 Mbit/s	Bande de fréquence de 2.4 GHz tout en gardant la compatibilité avec les anciens équipements
802.11 h	-	-	Mise aux normes européennes
802.11i	-	-	Mise en place du WPA (voir partie sur la sécurité)
802.11n	300 Mbits/s	100 Mbits/s	Portée de 100 m
802.11ac	1300 Mbits/s	-	Norme ratifiée en janvier 2014 pour améliorer le débit et la couverture

Toutes ces normes sont développées dans l'unique but d'obtenir plus de performance et de confort pour l'utilisateur tout en respectant les normes en termes d'émission d'ondes. (Au contact d'un équipement Wi-Fi, l'exposition aux ondes radio doit toujours être inférieure à la limite réglementaire de 2 W/kg). Une étude de l'école Supélec montre que, dans des conditions d'utilisation normales (matériel posé sur les genoux de l'utilisateur par exemple), les mesures de DAS effectuées sur huit modèles différents de cartes Wi-Fi, donnent des valeurs inférieures à 0,2 W/kg (DAS maximum sur 10 g), soit 10 fois moins que la valeur limite réglementaire.

L'avantage du sans-fil est qu'aucun câble n'est plus nécessaire entre la box (ou point d'accès) et l'appareil. Seul un réseau filaire entre le fournisseur et le point d'accès est nécessaire. Ainsi, de plus en plus d'appareils connectés possèdent une compatibilité avec le Wi-Fi (Smartphone, tablette, caméras, etc.). Mais si dans chaque foyer une box permet une connexion et une qualité de réseau corrects, il est difficile d'installer un point d'accès tous les 10 mètres dans une ville. Si l'on considère que pour maintenir une bonne qualité de service, un réseau doit se limiter à 5 utilisateurs, pour 100 personnes cela fait environ une vingtaine de points d'accès à installer. Chaque point devant être relié à une prise de courant 220V, ainsi qu'à un port Ethernet[1].

I.2.1.2. Efficience [5]

Le coût d'une infrastructure dépend donc du type d'utilisation que l'on veut en faire. En effet, un modem ne doit pas remplir les mêmes conditions qu'un spot Wi-Fi gratuit, le prix de revient ne sera pas le même.

Pour le routeur d'un particulier, l'infrastructure doit privilégier la vitesse et la stabilité du réseau par rapport au nombre d'utilisateurs.

On pourrait donc se poser la question d'augmenter la portée d'un émetteur plutôt que d'augmenter le nombre de ceux-ci. Augmenter la portée d'un émetteur est d'ores et déjà possible, mais cette option apporte son lot d'inconvénients :

- ❖ Pénétration du signal faible. En effet, les connexions 2.4 GHz sont limitées à leur « Vision » ou aux obstacles faibles.
- ❖ Beaucoup moins de portée, définis par l'accès multiple par division de temps (norme permettant l'accès à la borne par plusieurs personnes).
- ❖ Peu de support commercial.

D'autres technologies peuvent être utilisées, par exemple de nouvelles fréquences 5 et 10 MHz, ainsi qu'augmenter le nombre d'antennes par routeur. On appelle cela le MIMO (Multiple Input Multiple Output). Mais cette technologie est problématique car elle ne permet réellement une augmentation de débit que sur les courtes distances plutôt qu'une augmentation de portée. Un dernier exemple d'augmentation de la distance, est l'augmentation de la puissance de l'antenne grâce à un amplificateur (range extender amplifiers).

Le Wi-Fi longue portée est donc difficile à mettre en place, et ceci est dû à plusieurs facteurs:

- ❖ Interférences liées au terrain : les collines, bâtiments (etc.) sont les principales causes de difficultés dans l'installation de Wi-Fi longue distance.
- ❖ Les interférences dues à toutes les réflexions possibles du signal (eau calme, surface lisse).
- ❖ Interférences 2.4 GHz : Il y a beaucoup d'appareils fonctionnant sur la fréquence 2.4 GHz tels que les téléphones portables, les baby-phones, caméras sans fil et même certains appareils Bluetooth émettant dans la bande de 2.4 GHz.

I.2.1.3. Intégrations actuelles et leurs problèmes:

L'intégration Wi-Fi chez un particulier est plutôt simple[1] : l'opérateur internet fournit, souvent en location, un modem intégrant un émetteur Wi-Fi préconfiguré. L'utilisateur a juste besoin à brancher le modem et à rentrer le mot de passe dans les appareils

utilisant le Wi-Fi. L'installation peut être compliquée, lorsqu'il s'agit d'une maison ou d'un appartement plus grand ou possédant des murs diminuant fortement la portée du Wi-Fi.

Nous avons déjà parlé de l'intégration dans les villes de petits routeurs, ce qui est impossible. Mais, de plus en plus de magasins, restaurants, collectivités mettent en place du Wi-Fi gratuit en plus des spots installés par les villes.



Figure I. 2 Logo Zone Wi-Fi [1]

Le Wi-Fi peut poser un problème dans certains cas, en effet, l'utilisation d'ondes peut perturber l'activité principale du site. C'est pourquoi, dans les hôpitaux et les avions, le Wi-Fi est interdit afin d'empêcher toutes perturbations qui pourraient aboutir à de graves conséquences. Dans un hôpital, le Wi-Fi peut causer des interférences avec les appareils de radiographie, même si les lieux de radiographie sont eux-mêmes équipés de portes de protection contre la diffusion d'ondes et de radioactivité, et sont le plus souvent localisés dans les sous-sols loin des chambres réservées aux patients.

L'utilisation du Wi-Fi en avion est soumise à certaines règles définies par les compagnies sous le contrôle de l'aviation civile. Durant les phases de décollage ainsi que d'atterrissage, l'utilisation du Wi-Fi est interdite afin d'éviter toutes interférences avec l'électronique embarquée. Une fois au-dessus de 10.000 pieds, les utilisateurs ne peuvent avoir accès au Wi-Fi que si la compagnie le permet, en payant bien sûr. De plus, la sécurité des données est limitée puisque chaque utilisateur est connecté sur un seul routeur Wi-Fi rendant l'accès aux données privées (mot de passe, code de carte bancaire) plus « simple » qu'en temps normal.

I.3. Introduction sur le Bluetooth:

La norme Bluetooth (pris en charge par IEEE 802.15.1) est une technologie de moyen débit, elle permet d'atteindre un débit maximal théorique de 1 Mbps (environ 720 Kbps

effectif) à basse consommation énergétique. Bluetooth utilise la bande de fréquence 2.4 GHz avec une couverture entre 10 et 30 mètres.

Cette technologie permet de créer un réseau de 8 appareils en communication simultanée. La petite taille des composants Bluetooth lui permet d'être inséré dans des équipements tels que les claviers et les souris sans fil, les kits main libre ou écouteur et le transfert de données entre un PC et les PDA (Personal digital assistant) ou téléphones mobiles...etc. [4].

I.3.1. Le principe de l'interface Bluetooth

Le nom «Bluetooth» a été choisi en l'honneur du roi danois Harald Blaatand qui signifie en français Harald à la dent bleue. Il a vécu en Scandinavie de 910 à 986 et a christianisé et uni la plus grande partie de cette région[4].

Une interface Bluetooth est constituée d'une interface radio, d'un contrôleur et d'une interface avec le système hôte.

Chaque système (téléphone, PC...) compatible «Bluetooth» est équipé d'une interface identique grâce à laquelle il pourra communiquer avec les autres systèmes compatibles situés dans un rayon d'une dizaine de mètres.

La liaison radio fonctionne dans une bande de fréquence située autour de 2,45 GHz libre dans la plupart des pays, ce qui permet d'utiliser les équipements Bluetooth partout dans le monde.

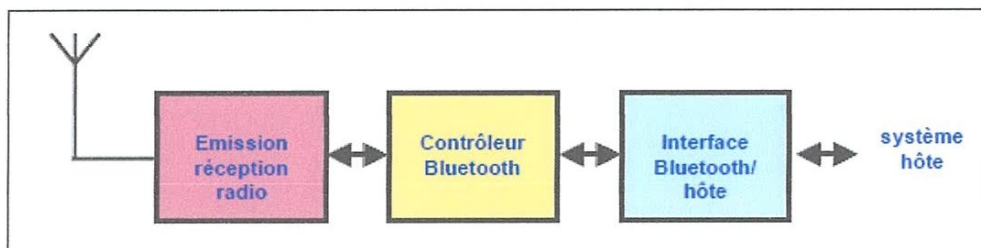


Figure I. 3 Le principe de l'interface Bluetooth[3]

I.3.2. Les applications de Bluetooth

- liaisons sans fil entre PC, clavier, joystick, imprimante
- mise à jour des assistants personnels
- transfert de fichiers d'un appareil photo numérique ou d'un caméscope vers un PC
- accès à Internet à travers un téléphone portable
- Liaison «main libre» entre un téléphone portable et un autoradio ou une oreillette
- contrôle à distance de l'autoradio, de la chaîne Hi-fi, du chauffage, d'un distributeur de boisson ...via un téléphone
- messages d'avertissement en cas de panne d'un appareil domestique

- ajout d'intelligence dans les appareils domestiques[4]



Figure I. 4 Les applications de Bluetooth[4]

I.3.3. Les normes concurrentes

Bluetooth est en concurrence avec[4]:

- la liaison infrarouge IrDA (Infrared Data Association) avec une portée de quelques mètres et un débit offert élevé
- la norme radio «Home RF» similaire à Bluetooth, 127 appareils par réseau, portée de 50 mètres, droits d'utilisation à payer
- la norme DECT à 1,8 GHz, portée de 500 mètres grâce à une puissance d'émission plus élevée, mais débit inférieur à Bluetooth
- la norme Wifi se développe rapidement depuis 1999 et devient le standard pour les réseaux locaux sans fil.

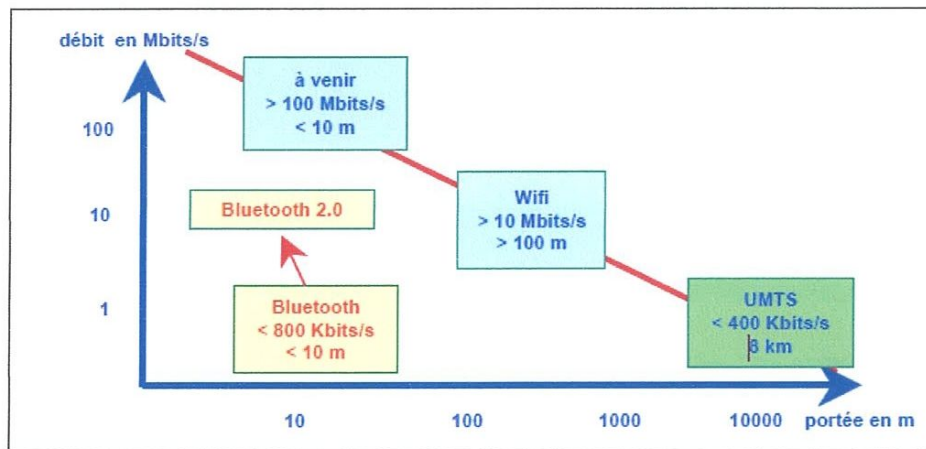


Figure I. 5 Portée en mètre en fonction de débit en Mbits/s[4]

Le standard Wifi utilise des interfaces du même type que Bluetooth, avec une puissance d'émission plus élevée, une portée plus importante qui peut atteindre 100 mètres, ainsi qu'un mode de modulation différent. Le débit offert théorique est de 11 Mbits/s soit 3 à 4 Mbits/s en réalité.

I.3.4. La portée d'une liaison Bluetooth

La portée d'une liaison RF à 2,45 GHz dépend [4]:

- de la puissance émise: 3 classes d'émission, possibilité de mettre en œuvre un contrôle de la puissance pour réduire le taux d'erreurs à un niveau acceptable, avec une consommation minimale
- du gain des antennes: une antenne de bonne qualité permet d'augmenter la portée, mais difficile de l'installer à l'intérieur d'un téléphone ou d'un PC portables.
- de l'environnement : l'onde radio doit contourner ou traverser plusieurs obstacles (corps humain, cloisons ...) qui absorberont une partie de l'énergie émise. Elle peut aussi être diffractée par un obstacle conducteur et renvoyée dans toutes les directions. Enfin l'arrivée sur l'antenne du récepteur d'ondes ayant suivi des trajets différents peut aussi conduire à des interférences destructives.

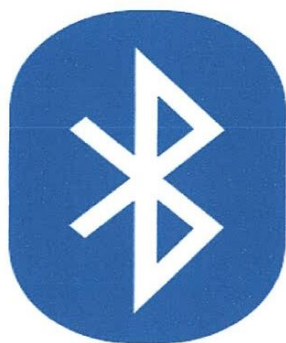


Figure I. 6 logo de Bluetooth

I.4. Introduction de Zigbee

Le standard IEEE 802.15.4 propose une norme pour les couches physique et liaison de données, orientée à très faible consommation énergétique, qui rend cette technologie bien adaptée aux petits appareils électroniques (appareils électroménagers, hifi, jouets,...etc.), et plus particulièrement aux réseaux de capteurs. La pile proposée par l'IEEE et la Zigbee qui a pour objectif de promouvoir une puce offrant un débit relativement faible (100Kbps environ) mais à un coût très bas, et une consommation électrique extrêmement réduite [2] ;[4].



Figure I. 7 LOGO ZIGBEE

I.4.1. Informations de base sur la technologie ZigBee

ZigBee désigne une technologie pour la communication sans fil robuste de type WPAN (*Wireless Personal Area Network*) [6]. Ses caractéristiques en font une technologie à part qui vient compléter et non pas remplacer les offres des standards de communication bien connus tels que le WLAN (*Wireless Local Area Network*) Wifi et le WPAN Bluetooth.

I.4.2. La pile protocolaire

ZigBee regroupe un ensemble de protocoles de hauts niveaux (Fig. 1) utilisés sur une structure matérielle[6], communiquant sans fil, de petite taille, très économique en terme d'énergie. ZigBee appartenant plus particulièrement à la famille des réseaux personnels sans fil désignée en anglais par l'acronyme LP-WPAN (*Low Power - WPAN*), est basé sur le standard *IEEE 802.15.4*. Les spécifications de ce standard sont accessibles sur le Web et

sont régulièrement mises à jour depuis 2005, sur le site Internet de l'IEEE [2]. La majorité des ressources que vous retrouvez sur le Web sont des émanations de ces documents ; il ne faut donc pas hésiter à s'emparer de ces documents précieux.

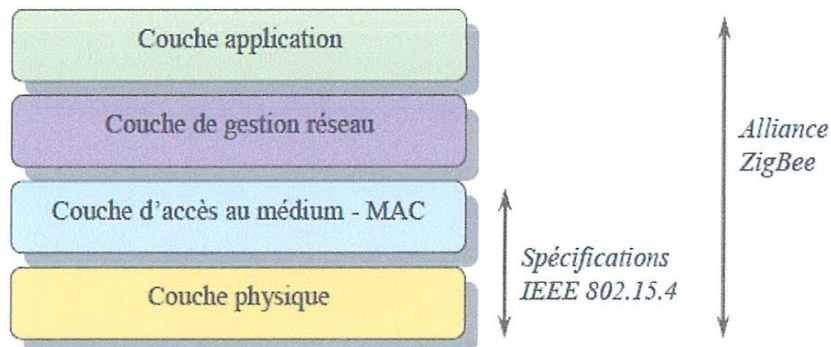


Figure I. 8 Pile de protocoles ZigBee[6]

- **La couche physique** supporte la gestion des fréquences d'émission et de réception, le débit des données envoyées ou reçues, le type de modulation et le codage numérique des informations. La couche physique supporte la gestion des fréquences d'émission et de réception, le débit des données envoyées ou reçues, le type de modulation et le codage numérique des informations[6].
- **La couche d'accès au médium ou MAC** (Medium Access Control) s'appuie sur les ressources de la couche physique. C'est la couche principale pour les aspects logiciels qui définit la façon dont un nœud du réseau pourra dialoguer (transmettre ou recevoir). Ces mécanismes sont tous détaillés dans la spécification du standard IEEE 802.15.4 [6].
- **La couche réseau** assure principalement les règles d'établissement d'un réseau, l'association et l'interconnexion de tous les nœuds dans le réseau, le transfert des informations entre les entités de ce réseau via une route, ainsi que la structure des messages (trames) qui seront échangés.
- **La couche application** utilise les couches inférieures pour une application communicante donnée. Elle donne entre autres une signification aux informations échangées dans le réseau.[6]

I.4.3. Les topologies réseau avec le protocole ZigBee

Le protocole IEEE 802.15.4 supporte les topologies réseau étoile (Figure I.9 a) et maillé (Figure I.9) [6]. La topologie indique la façon dont est associé un nœud dans le réseau et la forme géométrique de l'architecture globale des liens ; le nœud capteur peut être dépendant

d'un nœud principal dans le réseau que l'on nomme coordinateur. Dans la topologie étoile, toutes les communications passent par le nœud coordinateur qui assure le rôle de relais entre les nœuds terminaux. Dans la topologie maillée, certains nœuds assurent le relais au même titre que le nœud coordinateur ; ces nœuds se nomment routeurs. Dans ce dernier cas, certaines

communications doivent donc réaliser plusieurs sauts avant de pouvoir atteindre leur destination. Les flux de communication sont dépendants de la distance entre les nœuds, du mode d'association des nœuds dans le réseau et de la qualité du signal au voisinage des nœuds.

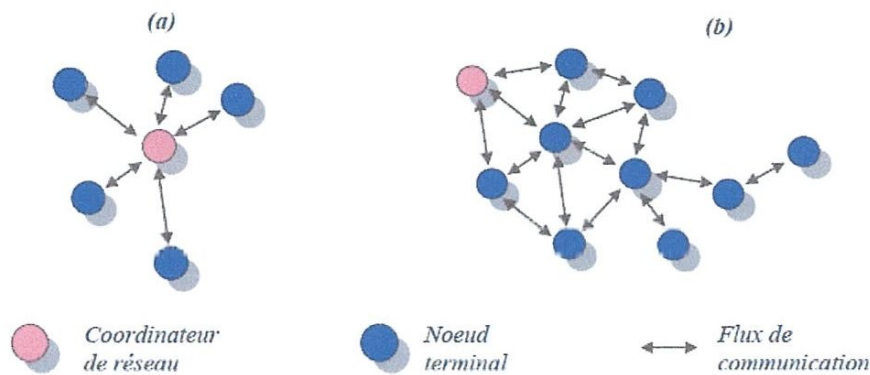


Figure I. 9 Topologies des réseaux ZigBee [6]

I.5. Communication par la lumière visible (VLC)

La communication par la lumière visible est utilisée par l'Homme depuis plusieurs millénaires. Depuis les débuts de la recherche scientifique, les avancées de la science ont permis d'émettre de la lumière grâce à différents moyens, ainsi que de la diffuser dans différents canaux [2].

I.5.1. L'architecture d'un système VLC

Système VLC se compose essentiellement d'un émetteur qui permet de moduler la lumière produite par les LED et un récepteur VLC basé sur un élément photosensible de la photodiode qui est utilisée pour extraire le signal modulé à partir de la lumière. L'émetteur et le récepteur sont physiquement séparés les uns des autres, mais connecté via le canal de VLC. Dans un système VLC, la ligne de vue est une condition obligatoire. La figure ci-dessous est illustre le principe de fonctionnement d'un système VLC.

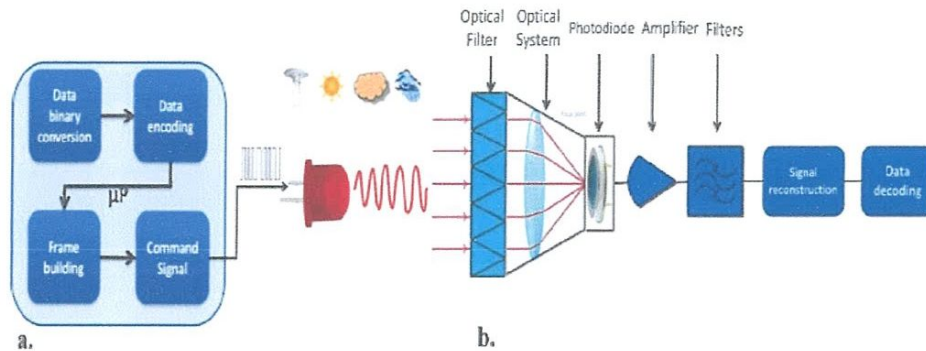


Figure I. 10 Architecture d'un système VLC : a. Émetteur ; b. Récepteur [2]

I.5.1.1. L'émetteur de VLC

Un émetteur VLC est un dispositif qui transforme les données en messages qui peuvent être envoyés sur le support optique d'espace libre en utilisant la lumière visible. Le but de l'émetteur VLC est d'émettre de la lumière et de transmettre des données en même temps. Cependant, la transmission de données ne doit pas affecter de quelque façon que ce soit l'objectif principal de l'appareil qui est l'illumination ou la signalisation. De ce souci, l'émetteur VLC doit pouvoir s'adapter aux exigences d'éclairage. Cela signifie qu'il est supposé utiliser la même puissance optique ou si l'application l'exige, pour permettre la gradation[2].

Le composant de base de l'émetteur VLC est le codeur qui convertit les données en un message modulé. Le codeur commande la commutation des LED selon le code binaire données et au débit de données imposé. Les données binaires sont ainsi converties en un faisceau lumineux modulé en amplitude. Généralement, la lumière produite par les LEDs est modulée en courant avec modulation d'amplitude On-Off Keying (OOK), mais d'autres techniques de modulation, comme OFDM à modulation par différence de fréquence orthogonale, DMT ou Direct Séquence Spread Spectrum (DSSS) peut être utilisé. Une solution rentable pour le codeur est représentée par l'utilisation de microcontrôleurs. Dans la plupart des cas, leurs performances sont assez élevées pour assurer des performances relativement bonnes. Les paramètres de l'émetteur VLC sont principalement limités par les caractéristiques des LED. Le débit (fréquence de transmission) dépend des capacités de commutation des LED tandis que la zone de service de l'émetteur dépend de la puissance d'émission et du diagramme d'illumination (angle d'émission). Actuellement, l'industrie SSL (Solid State Lighting) est capable de produire des LED pouvant offrir des fréquences de commutation de quelques dizaines de mégahertz.

I.5.1.2. Le récepteur VLC

Le récepteur VLC est utilisé pour extraire les données du faisceau lumineux modulé. Il transforme la lumière en un signal électrique qui sera démodulé et décodé par le module du décodeur intégré. En fonction des performances requises et des contraintes de coût, le décodeur peut être à base d'un microcontrôleur, un FPGA ou une carte arduino. La conception soignée du récepteur VLC représente un problème sérieux parce que dans la plupart des applications, les performances du récepteur VLC ont la plus grande influence sur les performances du système VLC, déterminant la plage de communication et la résilience contre les interférences. Généralement, les récepteurs VLC sont basés sur des éléments photosensibles qui ont une bande passante élevée et offrent la possibilité de communications à haut débit. Cependant, depuis l'incident la lumière n'est pas seulement due à l'émetteur mais aussi à d'autres sources lumineuses (artificielles ou naturelles). Les performances du récepteur VLC peuvent être améliorées à l'aide d'un filtre optique qui rejette les composants spectraux indésirables, tels que le composant IR. De plus, dans les applications haute vitesse utilisant des LED blanches, le filtre optique permet uniquement le passage d'un rayonnement à bande étroite, correspondant à la couleur bleue. La raison de ce choix est que la lumière blanche est obtenue à partir de LED bleue et de phosphore jaune, et que le temps de commutation des LED bleues est plus court, des débits de données plus élevés sont activés[2].

L'effet des interférences peut également être réduit en rétrécissant le champ de vision du récepteur (FOV), ce qui influence la zone de service. Un FOV plus large permet une zone de service plus large, mais présente l'inconvénient de capturer plus de bruit, conduisant à une dégradation SNR. Cependant, les applications à courte portée en intérieur nécessitent une mobilité accrue et la possibilité de rétrécir le FOV n'est pas considérée dans la plupart des cas. D'autre part, pour les applications à longue portée en extérieur, où la plage induit de petits angles, le champ de vision étroit est une solution efficace. Des études théoriques et expérimentales ont montré qu'un champ de vision étroit aide les systèmes VLC à améliorer leur robustesse au bruit dû à la lumière du jour ou à d'autres émetteurs VLC.

Le champ de vision du récepteur est déterminé par le champ de vision du système optique, qui concentre également la lumière sur la photo détectrice en utilisant une lentille. La photo détectrice est généralement basé sur une polarisation inverse une photodiode au silicium fonctionnant en mode photoconducteur qui génère un courant proportionnel à la lumière incidente. La valeur de la photo courant dépend aussi des photodiodes spectrales sensibilité. De ce fait, l'augmentation de la surface de la photo détectrice peut améliorer les performances du système. Cependant, la surface de la photo détectrice influence fortement

capacitance, qui à son tour influe sur la bande passante réalisable. Dans ces circonstances, le choix de la zone des photos détectrices représente un compromis entre le SNR et la bande passante. Ensuite, en raison des petites valeurs de la photo courant générer, un circuit de transimpédance est utilisé pour transformer le petit courant en une tension. La solution transimpédance offre un commerce équitable entre le produit gain-bande passante (GBP) et le bruit. La tension fournie par le circuit de transimpédance est amplifiée et filtrée pour éliminer le bruit de haute et basse fréquence, ainsi que le composant continu. Après tout cela opérations, le signal doit correspondre au signal émis contenant les données. L'unité de traitement de données décode les informations du signal reconstruit obtenant le binaire message.

I.5.2. Fonctionnement du VLC

I.5.2.1. Principe

Le fonctionnement de la VLC repose sur deux axes majeurs : utiliser les composantes déjà présentés et utiliser les avantages de la lumière visible.

I.5.2.1.a. Technologies de la lumière visible

Tout d'abord, la VLC repose sur la lumière déjà existante partout autour de nous, la lumière telle que nous l'utilisons tous chez nous pour pouvoir nous éclairer. Le but de cette technologie VLC est d'exploité cette utilisation afin de transmettre également des informations de façon numérique à très haut débit. Les informations communicantes étant très rapides, l'œil humain ne peut pas remarquer les fluctuations de la lumière, ce qui permet une utilisation invisible pour l'utilisateur. En effet, dans notre cas, la variation de la lumière visible est totalement visible pour l'œil humain dans le sens où la lumière variée très faiblement et les vitesses de transmissions de données sont de l'ordre du MHz. Alors que la persistance rétinienne de notre œil est de seulement de l'ordre de la dizaine d'images par seconde. Pour ces importantes vitesses de communication, le VLC utilise des LED, pour leur très grande capacité de commutation, leur robustesse et leur faible consommation. De plus, leur très grande durée de vie est un avantage indéniable. En effet, la durée de vie des LED est très largement supérieure à celle des lampes traditionnelles à incandescence. Ces dernières étant vouées à disparaître dans les prochaines années. [5]

I.5.2.1.b. Avantages de la lumière visible

La technologie VLC, pour visible light communication en anglais, regroupe toutes les technologies utilisant la lumière visible pour communiquer. Dans notre cas, l'utilisation de la

lumière visible est très importante. En effet, le spectre du visible est aujourd'hui quasiment inutilisé en termes de communication, contrairement au spectre électromagnétique des ondes radios.

De nombreux systèmes utilisent déjà de très larges bandes passantes que ce soit pour la radio, la télévision, la téléphonie mobile...etc. Le spectre du visible est également près de 10 000 fois plus grand que le spectre électromagnétique des ondes radios. De plus cette technologie présente d'importants avantages en termes de sécurité. En effet, la lumière ne traversant pas les murs, les informations envoyées sont donc très sécurisées. Elles sont donc inaccessibles pour une personne à l'extérieur de la pièce où il y a l'utilisation du système de communication VLC. Enfin la technologie utilisée pour travailler avec des longueurs d'ondes du domaine visible est la technologie CMOS, une technologie déjà très largement maîtrisée aujourd'hui [2].

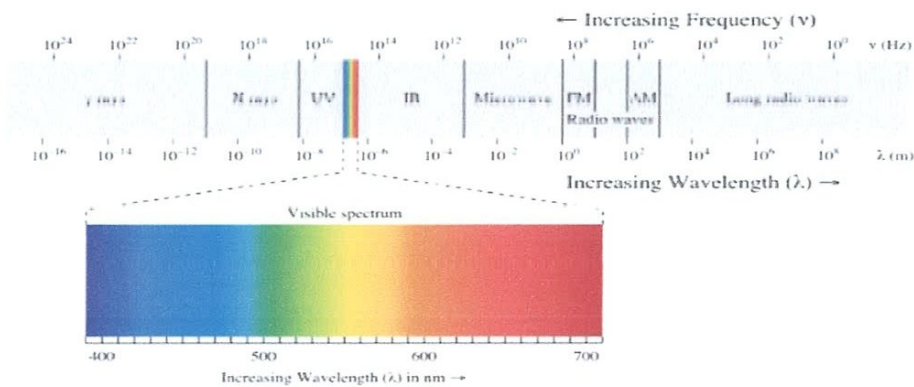


Figure I. 11 Le spectre électromagnétique [2]

1.5.3. Les LED : enjeu majeur

Le VLC n'aurait pas pu se développer, ni même voir le jour si les lampes à LED n'avaient pas été inventées. Certes, cela fait maintenant plus d'un siècle que H.J. Round a mis au point son fonctionnement mais ce n'est que dans les années 90 que les travaux de deux japonais Shuji Nakamura et Takashi Mukai de Nichia ont permis de rendre cette invention fonctionnelle et donc de la commercialiser.

Aujourd'hui les ventes ne cessent de croître et ses applications sont diverses : éclairage ou encore tous types d'écrans (Smartphones, télévisions, ordinateur...etc.). Elles remplacent petit à petit les autres lampes, qu'elles soient à incandescence, halogènes ou encore fluorescentes. Depuis une dizaine d'années, leurs performances ne cessent d'être améliorées et les différents petits défauts qu'elles pouvaient présenter il y a quelques années sont en

passé d'être résolu. C'est par exemple le cas de l'indice de rendu des couleurs qui n'était que de 80% et qui frôle désormais les 100%.

tableau I. 2 Tableau comparatif des différentes ampoules existantes [1]



Technologie	Lampe incandescent	Lampe halogène	Lampe fluorescente	Lampe à LED
Rendement (Lumen/watt)	10 - 20	15 - 20	40 - 70	40 - 100
durée de vie moyenne (heures)	1 000 - 2 000	2 000 - 3 000	6 000 - 15 000	15 000 - 50 000
temps d'allumage	Lent	Lent	très lent	Immédiate
cycles de commutation	6 000	8 000	30 000	50 000
Indice de rendu des couleurs (IRC de 0 à 100)	100	80	100	80-100
Température de fonctionnement (°C)	600	725	60	35
Recyclage	Pas recyclable peu polluant	Pas recyclable peu polluant	recyclable polluant	Recyclable très peu polluant

On voit immédiatement grâce au tableau que les lampes à LED sont très performantes à moindre consommation énergétique. Néanmoins, leur rendement est un peu plus faible si l'on prend en compte leur fabrication qui est plus énergivore que pour les autres lampes. Le point négatif des LED, étant donné que c'est encore une technologie récente, est évidemment son prix encore très élevé sur le marché. Ce dernier est tout de même en constante baisse

I.5.4. Sécurité & VLC

La communication RF peut entraîner des dysfonctionnements de l'équipement électronique de haute précision que l'on trouve dans les hôpitaux ou en avion et pour cette raison, ces lieux sont RF restreint. D'autre part, en plus d'être sans danger pour le corps humain, VLC est sûr aussi pour les équipements électroniques de haute précision, ce qui permet son utilisation dans de tels endroits [2].

I.5.5. Applications VLC

En prenant avantage de la partie supérieure, les avantages susmentionnés de la technologie VLC a de nombreuses applications dans lesquelles il pourrait s'intégrer. Dans certains des applications VLC semble être le seul choix, alors que dans d'autres, il peut être une solution complémentaire pour les communications RF, amélioration de l'ensemble de

représentations. Ci-après, certaines des applications les plus significatives envisagées pour VLC sont discutées.

I.5.5.1. Localisation intérieur (indoor)

En plus de Li-Fi, le VLC peut fournir une localisation indoor très efficace. En déterminant la force du signal reçu ou le temps de parcours et en utilisant la technique de triangulation, VLC est capable de fournir à la localisation la précision centimétrique. Dans ce type d'applications VLC est très pratique, puisque le GPS classique n'est pas en mesure de travailler à l'intérieur des bâtiments. Un tel scénario, où VLC est utilisé pour l'intérieur, la localisation est proposé dans [8] et illustré dans la Figure 1.4. La localisation est également possible en fournissant l'ID de la lampe, qui inclut ses coordonnées[2].

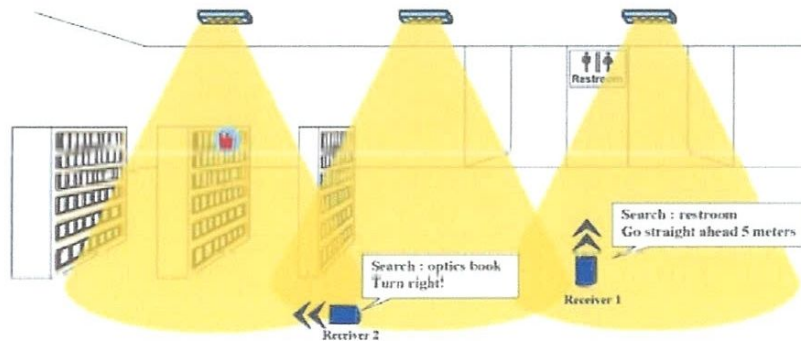


Figure I. 12 Localisation indoor avec la communication VLC [1]

I.5.5.2. Transports

Le système de transport intelligent (STI) est un domaine particulier où VLC pourrait être très utile. Un segment important du milieu universitaire et de l'industrie considère que VLC pourrait être utilisé dans les STI pour permettre la communication de véhicule à véhicule (V2V) et / ou d'infrastructure à véhicule (I2V). Même si VLC ne peut pas rivaliser avec RF en termes de gamme pour le moment, VLC semble être la solution dans le cas de scénario à forte densité de trafic, où RF est le plus susceptible de présenter des problèmes graves qui remettent en question la fiabilité de la communication. La capacité des communications RF à soutenir l'application véhiculaire envisagée sera étudiée dans le chapitre suivant, où de nombreux arguments seront fournis.

En ITS, VLC a l'avantage que les systèmes d'éclairage à LED ont déjà commencé à être intégrés dans les infrastructures de trafic et dans les systèmes d'éclairage des véhicules. Un scénario d'utilisation de VLC pour le trafic.

Les applications sont illustrées à la figure I.14, un véhicule de sécurité peut procéder sur une voiture endommagée et communiquer sur la situation autour de la zone de l'accident. Une voiture reçoit les données et les relais d'information sur sa ligne. Cette information peut être transmise à la voiture avant avec les phares et également aux suiveurs avec les contre-feux rouges. Les données sont ainsi propagées sur l'autoroute. En outre, les voitures sur la même ligne peuvent également communiquer entre elles sur leur état mécanique, comme la vitesse, l'accélération, l'action de freinage ou d'autres données pour améliorer le trafic et sa sécurité.

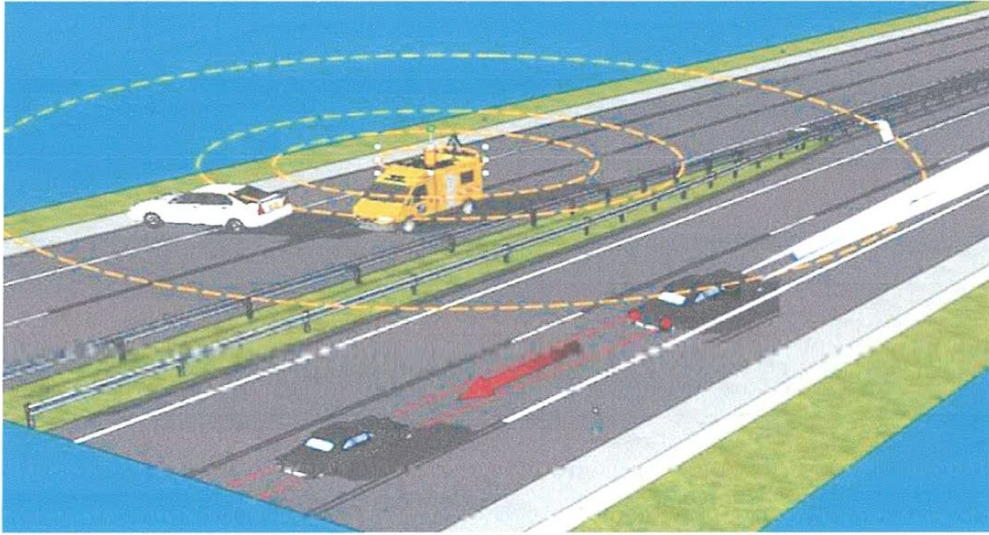


Figure I. 13 Illustrations de l'utilisation de VLC pour l'échange de données dans les applications automobiles [2].

I.6. L'état de l'art de VLC

Les avantages potentiels de la technologie VLC ont convaincu des groupes de recherche de différentes parties du monde de mettre leurs efforts dans le développement de cette technologie. Cependant, dans les premières années, la recherche VLC a été principalement considérée dans les pays asiatiques. Comme l'énorme potentiel de VLC a commencé à être révélé, les laboratoires de recherche européens et américains ont commencé à travailler dans ce domaine et a ajouté des contributions significatives aux progrès VLC. La section suivante présente certaines des directions les plus représentatives de la recherche VLC avec le plus centres de recherche représentatifs travaillant dans des domaines spécifiques. Certains des résultats les plus représentatifs pour chaque direction sont également illustrés.

I.6.1. Recherche VLC en Asie

L'utilisation de la lumière LED à des fins de communication a d'abord été envisagée et développée en Asie. Parmi les pays asiatiques, le Japon était le plus actif dans la recherche VLC, étant un pionnier dans ce domaine. L'intérêt pour cette technologie a été confirmé en

novembre 2003 avec la création du consortium Visible Light Communication (VLCC). VLCC a réuni les grandes entreprises du Japon et une partie du monde académique, dans le but de développer, publiciser et standardiser la technologie VLC. Ils ont estimé que VLC peut ajouter de la valeur à de nombreux domaines industriels en tirant parti de sa simplicité et de caractéristique omniprésente. L'activité du VLCC a contribué de manière significative au développement de VLC et à son extension dans le monde entier[2].

I.6.1.1. Université de Yonsei (Corée du Sud)

Les chercheurs de l'Université de Yonsei sont également très actifs dans le développement de VLC, leurs efforts de recherche étant axés sur l'utilisation de VLC pour le positionnement à l'intérieur. En 2011, ils ont proposé une méthode de positionnement basée sur les allocations des opérateurs. L'emplacement du récepteur est déterminé avec une précision de 6 cm, en utilisant les informations fournies par trois émetteurs VLC. Le récepteur détermine sa position relative en fonction de la force du signal reçu (RSS) et en utilisant la méthode de trilatération. Ces résultats ont été obtenus pour les émetteurs - distance du récepteur de 60 cm. Un système encore plus précis est proposé en 2012, où les codes de localisation sont utilisés. Pour atténuer les interférences entre les trois émetteurs, les codes d'emplacement sont envoyés en utilisant le multiplexage par répartition dans le temps. Les résultats expérimentaux montrent la grande précision de la méthode proposée, avec des erreurs de localisation inférieures à 2 cm pour une distance émetteur - récepteur de 150 cm. Le groupe a poursuivi ses recherches et développé un système de localisation 3D. Dans ce cas, l'erreur de localisation est inférieure à 4 cm pour les émetteurs - distances de réception de 90-160 cm[2].

I.6.2. Recherche VLC en Europe

Même si en Europe la recherche VLC avait commencé plus tard par rapport aux pays asiatiques, les laboratoires de recherche européens ont très bien performé dans ce domaine au cours des dernières années. Certains des groupes européens les plus performants sont présentés ci-après avec leurs plus grands succès des résultats représentatifs[2].

I.6.2.1. Université d'Oxford

À l'Université d'Oxford, O'Brien et al., a adopté une approche différente dans le développement de systèmes VLC à haut débit. Afin d'améliorer les performances du débit de données, ils ont considéré l'utilisation des systèmes MIMO. Leurs premiers résultats expérimentaux ont été publiés en 2008. À cette époque, le système proposé atteignait un débit

de 40 Mb/s en utilisant 16 canaux parallèles. Dans la même année, ils ont atteint un débit de 80 Mb/s en utilisant un seul lien. Le débit de données de 80 Mb/s a été atteint en utilisant une LED bleue avec une bande passante de 45 MHz et la technique de pré-égalisation. En 2009, ils ont amélioré les performances du système jusqu'à un débit de 100 Mb/s, à une distance de 0,1 m. Ces résultats ont été obtenus en utilisant OOK - NRZ. En 2010, ils ont signalé 220 Mb/s à 1 m atteint en utilisant une configuration MIMO à 9 canaux et OFDM. En 2013, les chercheurs de l'Université d'Oxford ont rapporté un débit de 1 Go/s en utilisant OFDM. Ce taux de date a été atteint dans des 4 canaux en configuration MIMO, chacun ayant un débit de 250 Mb/s. Dans le cas de ces expériences, la portée de communication était de 1 m.

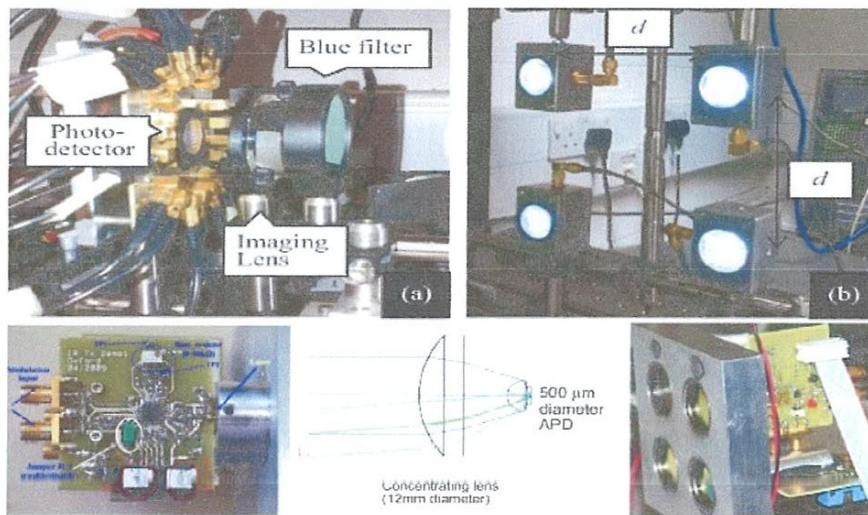


Figure I. 14 des prototypes de VLC développés à l'Université d'Oxford [2]

Comme il ressort des résultats, les mérites de ce groupe de recherche sont le développement de systèmes VLC MIMO à haut débit. En 2014, les chercheurs de l'Université d'Oxford, cette temps en partenariat avec l'Université d'Edinburg et avec l'Université de Glasgow, ont réalisé le lien VLC monocanal le plus rapide, avec un débit de données de 3 Gb/s sur une distance de 5 cm

I.6.3. Recherche VLC AUX USA

Fondé en 2008, le Smart Lighting Engineering Research Center de l'Université de Boston est le résultat d'un partenariat entre l'Université de Boston[2], l'Institut Polytechnique Rensselaer et l'Université du Nouveau-Mexique, dans le but de développer des technologies d'éclairage intelligentes. Leur but était de développer des solutions VLC simples et économiques pour l'éclairage intérieur et la communication. Dans ces conditions, ils ont développé plusieurs systèmes capables de fournir une communication sans fil pour des

distances de quelques mètres et des débits de 1 à 4 Mb / s. Leur travail s'est également étendu aux protocoles de routage intérieur qui devraient accroître la mobilité et atténuer les problèmes de LOS. Un autre problème abordé par ce centre de recherche était l'utilisation de réseaux hétérogènes combinant VLC et RF, et offrant des avantages accrus. Dans ce but, ils ont travaillé sur le développement de protocoles qui optimisent les performances de tels réseaux et facilitent le transfert entre les deux.

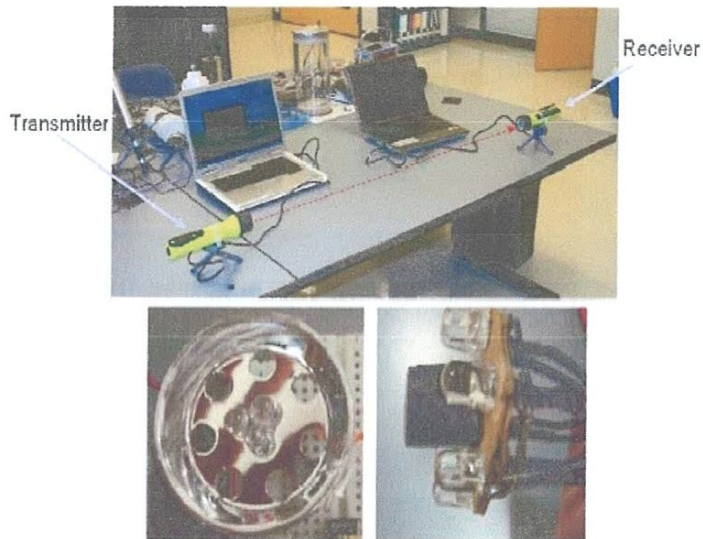


Figure I. 15 Prototype De VLC Développé A l'Université De Boston[2]

I.7. Comparaison entre la technologie VLC et RF:

tableau I. 3 Comparaison entre la technologie VLC et RF

Property	VLC	RF
Bandwidth	Unlimited	Regulated and limited
Electromagnetic Interference	No	Yes
Hazard	No	Yes
Line of Sight	Yes	NO
Security	Good	Poor
Standards	IEEE802.15.7 in progress	IEEE802.11p Matured
Services	Illumination/Communication	Communication
Noise sources	Sun light/ambient lights	All electrical electronic
Power consumption	Low	Medium
Mobility	Limited	Good
FOV	Limited	Omni-directional
Communication range	Short	Short to long

En note que la technique VLC est meilleur par rapport aux radio fréquence dans les propriétés suivantes: Bande passante, interférence magnétique, sécurité, éclairage et communication en même temps, consommation d'énergie électrique minimale.

Donc la technique VLC est la nouvelle génération du communication sans fil.

I.8. conclusion

Dans une société de plus en plus connectée, de nouvelles technologies de communication sont développées. Cependant, les différentes technologies existantes ont quelques défauts. Par exemple, le Wifi est souvent limité en débit et peut poser des problèmes de sécurité ou d'interférences.

D'autre part, cette technologie de communication par lumière visible, peut créer de nouvelles opportunités et permettra de bonnes performances techniques et énergétiques ainsi qu'un coût de déploiement très réduit. De nombreuses applications sont possibles : de la communication entre ordinateur à la géo localisation en passant par la communication entre voitures.

Elle ne sera sans doute pas dans tous les foyers demain, mais elle a certainement un avenir prometteur. De nombreuses entreprises ont compris l'intérêt de la VLC et nul doute qu'on en entendra parler dans un futur proche.

CHAPITRE II

MATERIELS ET LOGICIELS

Chapitre II Matériels et logiciel:

II.1. Introduction

La réalisation d'un système électronique pour l'acquisition et la transmission des données comporte deux parties principales, une partie Hard et une partie Soft.

Dans ce chapitre nous présentons les différents outils matériels (microcontrôleur ,cartes Arduino, LEDs et Photodiodes PIN série BPW34) et logiciels (Matlab, logiciel Arduino) permettant de la réalisation du système.[8]

II.2. Matériels

II.2.1. Microcontrôleurs

Un microcontrôleur est un circuit hautement intégré qui rassemble, sur une puce, la plus part ou toutes les parties nécessaires d'un ordinateur. Le microcontrôleur comprend généralement: CPU (Central Processing Unit), la mémoire RAM (Random Access Memory), EPROM / PROM / ROM (programmable effaçable Read Only Memory), I / O (entrée / sortie), des timers.[1]

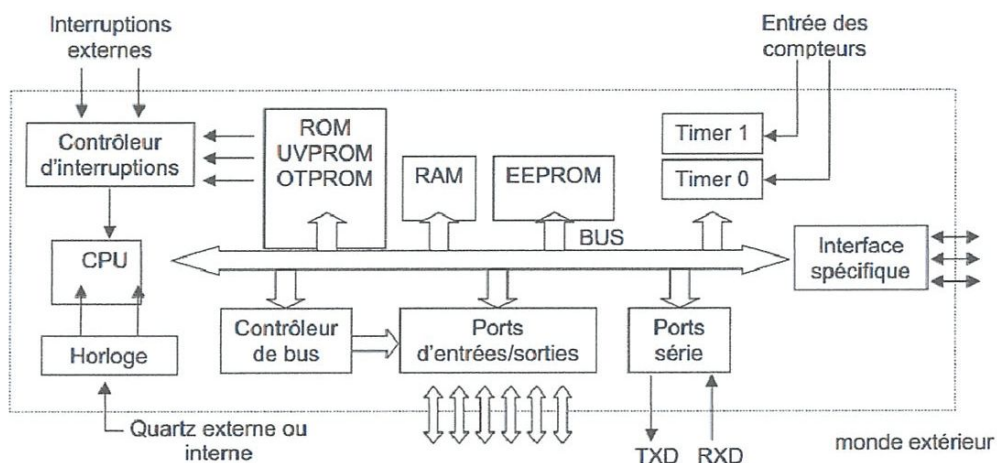


figure II. 1 Schéma des éléments principaux d'un microcontrôleur

II.2.1.1. Modèles

Il existe une multitude de modèles de microcontrôleurs. ce vaste choix permet de trouver le type de modèle le plus adapté a ce que l'on veut faire. Les microcontrôleurs ne sont généralement pas très cher[8].

Quelques microcontrôleurs disponibles sur le marché sont:

- ATMEL:AT90S851.....
- MICROCHIP:16CXX,16FXXX....

- MOTOROLA:68HCS,68HC11,68HC16...
- SAGATE-THAMSOM:ST9..
- INTEL:8031,8051....

II.2.1.2. Domaine d'utilisation

Les systèmes intelligents automatique intégrant une technologie a base de microcontrôleur sont dans tout domaines de la vie quotidienne[9]:

- **Industriels:** automate programmable, contrôle/régulation de processus de supervision...etc.



figure II. 2 Les Appareils Industriels[1]

- **Télécommunication :** carte Faxe/MODEM, minitel, téléphone portable, interfaces Homme machine, gestion d'écrans graphiques..



figure II. 3 Les Appareils De Communication[1]

- **Biomédical:** system d'acquisition des paramètres physiologique, les alarme



figure II. 4 APPAREIL MEDICAL[1]

➤ **Commercial:** électroménager, domotique....



figure II. 5 Tv, Video, Hifi[5]

Le microcontrôleur est dimensionné pour <<l'embarqué>>.Il est beaucoup plus facile a mètre en œuvre qu'un microprocesseur, il est conçu pour se suffire a lui même; un microprocesseur a besoin de périphérique pour pouvoir fonctionner contrairement au microcontrôleur qui lui possède sa propre mémoire et le programme pour exécuter les taches de part le nombre important d'entrées et sorties; le microcontrôleur trouve également son rôle dans le contrôle commande du processeur[5]

II.2.1.3. Langage de programmation d'un microcontrôleur

A) Le C :

le c est un langage de programmation impératif conçu pour la programmation système. Inventé au début des années 1970 avec UNIX, le C est devenu un des langages les plus utilisés. De nombreux langage plus modernes comme C++, Java et PHP reprennent des aspects de C[1].

Toutefois, les professionnels placent le langage C en tête de liste pour plusieurs raisons :

- Il est souple et puissant.
- Lorsqu'une nouvelle architecture (nouveau processeur, nouveau système d'exploitation...) apparait, le premier langage disponible est généralement le C car contrairement à d'autres, il est facile porter. De plus, un compilateur est souvent disponible sur les ordinateurs.
- Avec la norme ANSI, le C est devenu un langage portable. Cela signifie qu'un programme C écrit pour un type d'ordinateur (un PC IBM, par exemple) peut être compilé pour tourner sur un autre système.
- Le langage C contient peu de mots.

- Le langage C est modulaire. Son code peut être écrit sous forme de sous programme appelés fonctions

B) Le C++ :

dans les années 80 B. Stroustrup propose d'appeler C++ un nouveau langage, conçu non pas comme un remplaçant mais comme une amélioration du langage C.

Comme le C, C++ adopte une vision très proche de la machine. Il à été destiné en premier lieu à l'écriture de systèmes d'exploitation mais ses caractéristiques lui ont ouvert d'autres perspectives.

Il est formé d'instructions très explicites, courtes, dont la durée d'exécution peut être prévue à l'avance, au moment de l'écriture du programme.

Son nombre d'instructions et de notations étant volontairement limité les interprétations des constructions sémantiques sont multiples et c'est sans doute ce que le concepteur du langage C++ désigne sous le terme d'expressivité.

C) Le Java :

Java est un langage de programmation informatique de haut niveau. Les langages de haut niveau, comme Java, permettent aux programmeurs d'écrire des instructions en utilisant des commandes en anglais. Chaque instruction dans un langage de haut niveau correspond à de nombreuses instructions dans la langue de la machine. Java a été crée au début des années 1990 par une équipe de Sun Microsystems dirigée par James Gosling. Les concepteurs de Java ont commencé avec la syntaxe de base des langages comme C, C ++ et Smalltalk. Java a été initialement conçu pour une utilisation dans des dispositifs tels que les téléphones cellulaires, cependant, dans quelques années, Sun Microsystems a utilisé Java pour fournir l'animation et de l'interactivité sur le Web. IBM a adopté Java comme son principal langage de développement. De nombreuses interfaces de réseau et des serveurs Web sont maintenant basés sur Java.

D) L'assembleur :

Le langage assembleur est très proche du langage machine (c'est-à-dire le langage qu'utilise l'ordinateur : des informations en binaire, soit des 0 et des 1). Il dépend donc fortement du type de processeur. Ainsi il n'existe pas un langage assembleur, mais un langage assembleur par type de processeur.

II.2.2. Diode Electroluminescente (LED)

Depuis une quinzaine d'années, la spectaculaire progression des performances des technologies semi-conductrices à base de nitrures, mises au service des composants optoélectroniques dans de multiples domaines d'application (médical, énergie, techniques d'informations et de la communication...), a permis une augmentation significative du marché des Diodes Electroluminescentes (LEDs pour *Light Emitting Diode*).

II.2.2.1. Caractéristiques électriques principales d'une LED.

La LED possède un comportement électrique sensiblement identique à celui d'une jonction PN. Son seuil de conduction V_{d0} est cependant plus élevé et dépend de la longueur d'onde lumineuse dominante.

Les autres caractéristiques électriques importantes sont :

- Le courant direct moyen qu'elle peut supporter en permanence. Il est compris entre 5 et 20 mA pour une LED à usage générale.
- Le courant direct crête qu'elle peut supporter en régime impulsionnel.
- La tension inverse maximale V_{Rmax} admissible sans dommage. Vis à vis de la tension inverse ; la LED est plus fragile qu'une jonction PN et la limite courante de V_{Rmax} est de 5 volts[11]

II.2.2.2. Caractéristiques optiques d'une LED

En pratique, les caractéristiques optiques que l'on doit prendre en compte pour choisir une LED sont :

- Correspondance couleurs, longueurs d'onde et énergie des photons : La couleur liée à la longueur d'onde dominante du spectre d'émission lumineuse ; On trouve des LEDs à usage générale dans les teintes bleues, verte, jaune, orange, rouge et proche infrarouge. On construit actuellement des LEDs à émission lumineuse.
- Longueur d'onde du pic d'émission : Cette valeur nous indique la longueur d'onde (λ), en nanomètre, à laquelle est émis la plus importante partie du rayonnement (wavelength).
- Spectre ou largeur spectrale à mi-intensité: Le spectre d'émission d'une diode LED est relativement étroit. Il existe actuellement plusieurs types de LEDs donnant chacun des spectres différents. Cela est obtenu par la variété des semi-conducteurs utilisés pour fabriquer les jonctions PN.

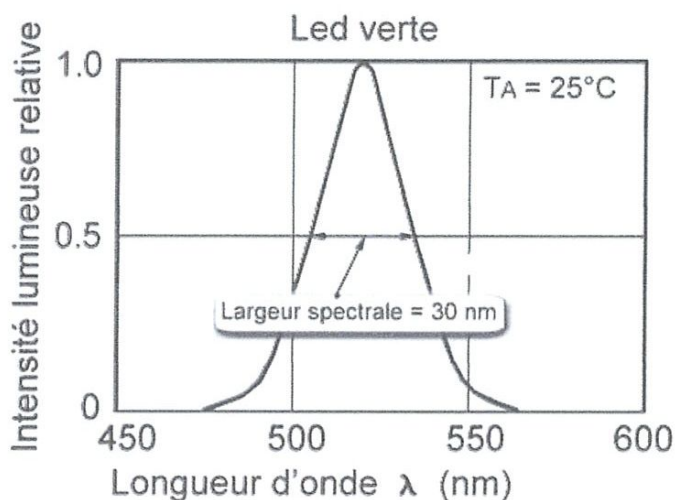


figure II. 6 La Longueur D'onde Du Spectre[11]

- Diagramme de rayonnement: Le flux lumineux n'est pas homogène tout autour de la LED. La répartition spatiale de la puissance émise dépend de la forme de la diode LED.
- Angle d'émission à mi- intensité: Les fabricants précisent souvent l'angle pour lequel l'intensité lumineuse a été réduite de moitié.
- Intensité lumineuse: L'intensité lumineuse (mesurée en candelas) est la quantité de lumière émise dans une certaine direction à 1 mètre de distance[11]

II.2.3. Photodiodes PIN série BPW34

La série BPW34 de Vishay Semi-conducteur est composée de photodiodes PIN au silicium est utilisé dans ce travail comme récepteur. Les photodiodes BPW34 sont sensibles aux rayonnements de la lumière visibles et IR proches. Elles sont adaptées aux applications de détecteur de photo haute vitesse

II.2.3.1. Caractéristiques des photodiodes BPW34 :

- Dimensions : 5,4 x 4,3 x 3,2 mm
- Surface de détection : 7,5 mm²
- Haute photosensibilité.
- Forte sensibilité rayonnante
- Temps de réponse rapides
- Angle de diffusion : 65 °
- Photodiodes : Lumière visible + IR, Vishay Semi-conducteur

II.2.3.2. Caractéristiques techniques

Attribut	Valeur
Spectres détectés	Infrarouge, Lumière visible
Pic de sensibilité de longueur d'onde	900nm
Type de montage	Traversant
Nombre de broches	2
Matériau de la diode	Si
Longueur d'onde minimum détectée	430nm
Longueur d'onde maximum détectée	1100nm
Longueur	4.5mm
Largeur	4.3mm
Taille	2mm
Polarité	Avant
Angle de sensibilité moyenne	65 °

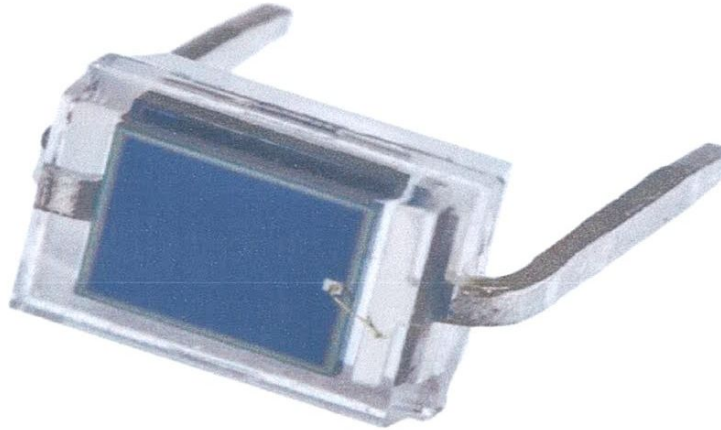


figure II. 7 Photodiodes Bpw34

II.2.4. CARTES ARDUINO

Le module Arduino est un circuit imprimé en matériel libre (plateforme de contrôle) dont les plans de la carte elle-même sont publiés en licence libre dont certains composants de la carte : comme le microcontrôleur et les composants complémentaires qui ne sont pas en licence libre. Un microcontrôleur programmé peut analyser et produire des signaux électriques de manière à effectuer des tâches très diverses. Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée ; le modélisme, la domotique mais aussi dans des domaines différents comme l'art contemporain et le pilotage d'un robot, commande des moteurs et faire des jeux de lumières, communiquer avec l'ordinateur, commander des appareils mobiles (modélisme). Chaque module d'Arduino possède un régulateur de tension +5 V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Pour programmer cette carte, on utilise l'logiciel IDE Arduino.[12]

II.2.4.1. Les gammes de la carte Arduino

Actuellement, il existe plus de 20 versions de module Arduino, nous citons quelques un afin d'éclaircir l'évaluation de ce produit scientifique et académique:

- Le NG d'Arduino, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un ATmega8.
- L'extrémité d'Arduino, avec une interface d'USB pour programmer et usage d'un Microcontrôleur ATmega8.
- L'Arduino Mini, une version miniature de l'Arduino en utilisant un microcontrôleur ATmega168.

- L'Arduino Nano, une petite carte programme à l'aide porte USB cette version utilisant un microcontrôleur ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version).
- Le LilyPad Arduino, une conception de minimaliste pour l'application wearable en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- Le NG d'Arduino plus, avec une interface d' USB pour programmer et usage d'un ATmega168.
- L'Arduino Bluetooth, avec une interface de Bluetooth pour programmer en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Diecimila, avec une interface d'USB et utilise un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Duemilanove ("2009"), en utilisant un microcontrôleur l'ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version) et actionné par l'intermédiaire de la puissance d'USB/DC.
- L'Arduino Mega, en utilisant un microcontrôleur ATmega1280 pour I/O additionnel et mémoire.
- L'Arduino UNO, utilisations microcontrôleur ATmega328.
- L'Arduino Mega2560, utilisations un microcontrôleur ATmega2560, et possède toute la mémoire à 256 KBS. Elle incorpore également le nouvel ATmega8U2 (ATmega16U2 dans le jeu de puces d'USB de révision 3).
- L'Arduino Leonardo, avec un morceau ATmega32U4 qui élimine le besoin de raccordement d'USB et peut être employé comme clavier.
- L'Arduino Esplora : ressemblant à un contrôleur visuel de jeu, avec un manche et des sondes intégrées pour le bruit, la lumière, la température, et l'accélération [12]

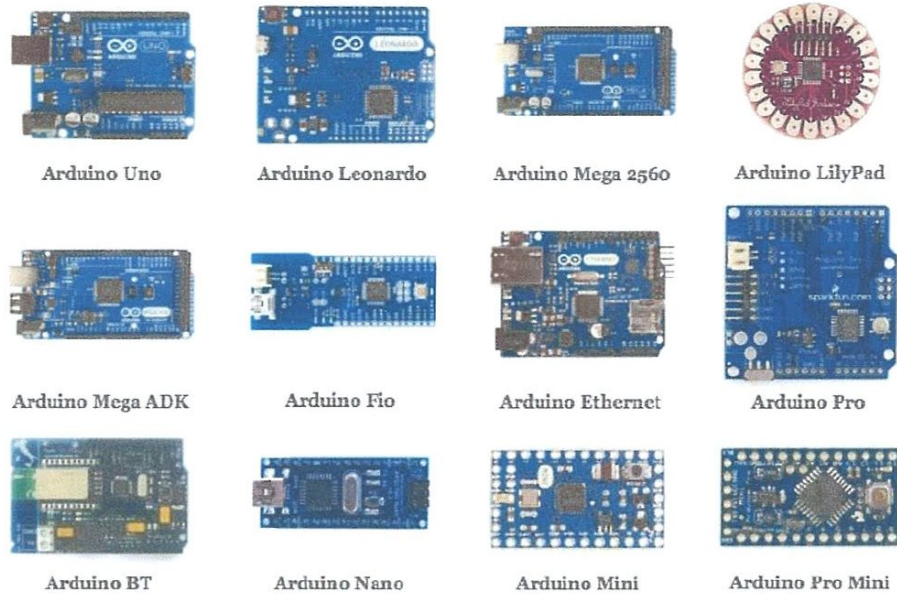


figure II. 8 Différent Types Des Cartes Arduino[1]

II.2.4.2. Matériel Arduino

La carte Arduino repose sur un circuit intégré (un microcontrôleur) associée à des entrées et sorties qui permettent à l'utilisateur de brancher différents types d'éléments externes: Côté entrées, des capteurs qui collectent des informations sur leur environnement comme la variation de température via une sonde thermique, le mouvement via un détecteur de présence ou un accéléromètre, le contact via un bouton-poussoir, etc...

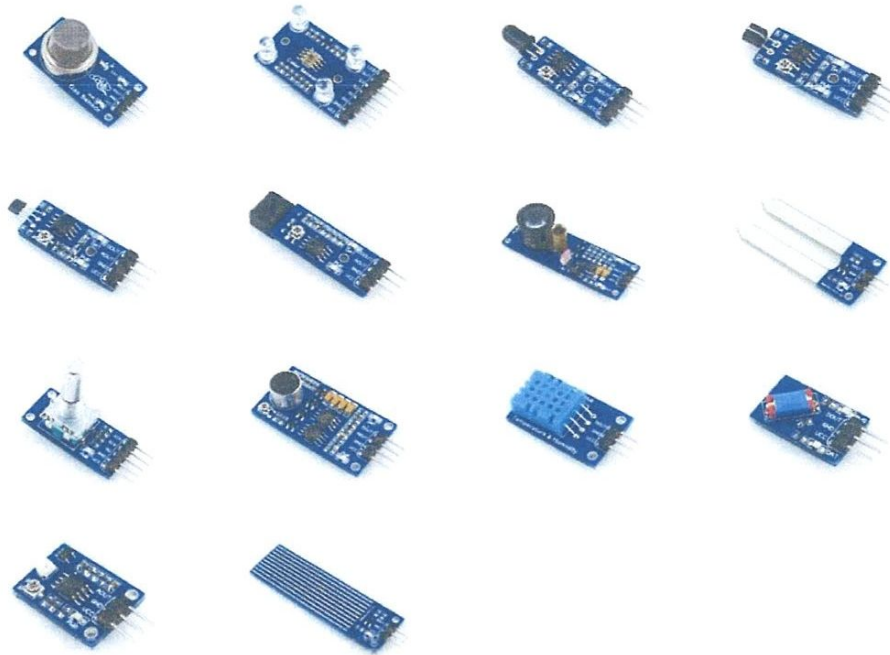


figure II. 9 Différent Types Des Capteurs Pour L'arduino[1]

II.3. LOGICIELS

II.3.1. ARDUINO

Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage proche du C). Une fois, le programme tapé ou modifié au clavier, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information ce programme appelé IDE Arduino.

II.3.1.1. Structure générale du programme (IDE Arduino)

Comme n'importe quel langage de programmation, une interface souple et simple est exécutable sur n'importe quel système d'exploitation Arduino basé sur la programmation en C.[12]

A) l'interface:

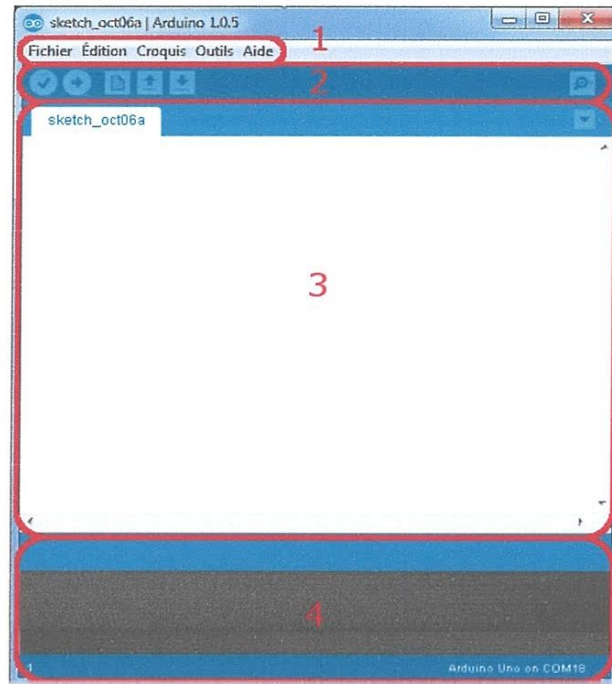


figure II. 10 l'interface de l'ide arduino en detail[1]

Ce qui saute aux yeux en premier, c'est la clarté de présentation du logiciel. On voit tout de suite son interface intuitive. Voyons comment se compose cette interface.

B) Correspondance de l'nterface:

- Le cadre numéro 1 : ce sont les options de configuration du logiciel
- Le cadre numéro 2 : il contient les boutons qui vont nous servir lorsque l'on va programmer nos cartes
- Le cadre numéro 3 : ce bloc va contenir le programme que nous allons créer.
- Le cadre numéro 4 : celui-ci est important, car il va nous aider à corriger les fautes dans notre programme. C'est le **débogueur**. [5]

C) Les boutons:

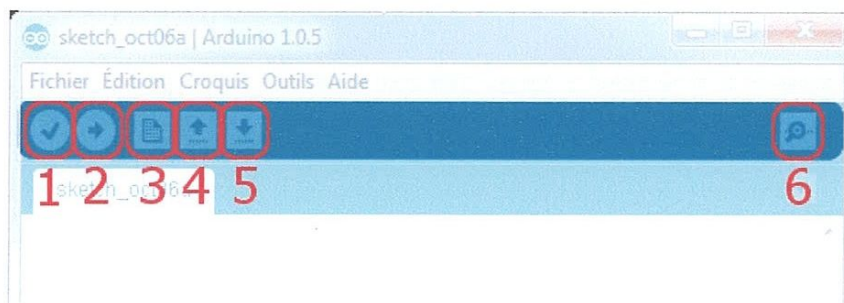


figure II. 11 la barre d'outils[1]

D) Correspondance des buttons:

- Bouton 1 : Ce bouton permet de vérifier le programme, il actionne un module qui cherche les erreurs dans votre programme
- Bouton 2 : Charge (téléverse) le programme dans la carte Arduino.
- Bouton 3 : Crée un nouveau fichier.
- Bouton 4 : Ouvre un fichier.
- Bouton 5 : Enregistre le fichier.
- Bouton 6 : Ouvre le moniteur série[1].

II.3.1.2. Les étapes de téléchargement du programme

Une simple manipulation enchaînée doit être suivie afin d'injecter un code vers la carte Arduino via le port USB[12].

- On conçoit ou on ouvre un programme existant avec le logiciel IDE Arduino.
- On vérifie ce programme avec le logiciel Arduino (compilation).
- Si des erreurs sont signalées, on modifie le programme.
- On charge le programme sur la carte.
- On câble le montage électronique.
- L'exécution du programme est automatique après quelques secondes.
- On alimente la carte soit par le port USB, soit par une source d'alimentation autonome (pile 9 volts par exemple).
- On vérifie que notre montage fonctionne.

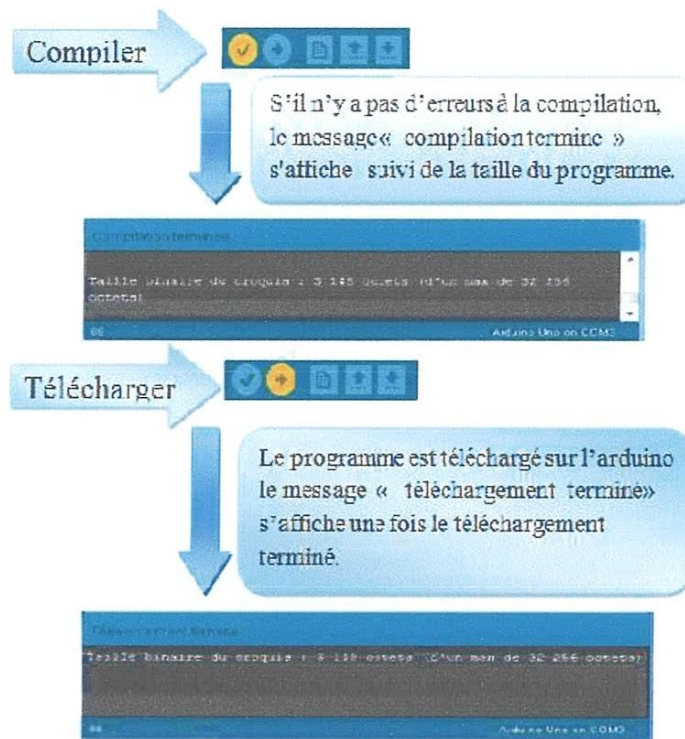


figure II. 12 Les étapes de téléchargement du code[12]

II.3.1.3. Les avantages de l'Arduino[1]

- Elle n'est pas cher!
- Environnement de programmation clair et simple.
- Multiplateforme : tourne sous Windows, Macintosh et Linux.
- Nombreuses bibliothèques disponibles avec diverses fonctions implémentées.
- Logiciel et matériel open source et extensible.
- Nombreux conseils, tutoriaux et exemples en ligne (forums, site personnel etc...).
- Existence de « shield » : ce sont des cartes supplémentaires qui se connectent sur le module Arduino pour augmenter les possibilités comme par exemple : afficheur graphique couleur, interface ethernet, GPS, etc...

II.4. CONCLUSION

La réalisation d'un système de communication par lumière visible nécessite des outils (matériel et logiciel) en générale émettrice et réceptrice: Led, Photodetecteur, filtres, amplificateur, d'autre composants électronique de base, microcontrôleur, langage de programmation.

CHAPITRE III

APPLICATION

Chapitre III Application

III.1. Introduction :

Les accidents de la route tuent 1,3 million de personnes dans le monde chaque année, et en blessent 40 fois plus. Il est aussi prévu que d'ici 2030, ceux-ci provoqueront 2,4 millions de décès par an, en faisant la cinquième cause de décès dans le monde. Beaucoup d'associations dénoncent le tout-voitures. En effet, plus de circulation, le nombre d'accidents est plus important. Ceci est dû à une utilisation déraisonnable de l'automobile qui n'est pas remise en cause du fait de la place dans l'économie et dans l'emploi. Une alternative politique est de favoriser l'habitat près du lieu de travail, de développer le réseau de transport en commun et celui des modes actifs. Il existe des causes externes, et générales : mauvais état des routes et de nombreux véhicules dans les pays dits pauvres, ou événements météorologiques, fortes pluies, brouillards... ; d'autant plus accidentogènes qu'elles sont exceptionnelles ou que le conducteur n'y est pas préparé ou habitué.

Dans ce cas les chercheurs ont proposé un système intelligent infrastructurel à le rôle d'un copilote qui est principalement d'annoncer clairement au pilote, et au bon moment, ce qui va se présenter à lui au fur et à mesure de sa progression sur le parcours. Il indique notamment les virages, les distances et les zones d'accélération franches ou de freinages forts lorsqu'elles ne sont pas évidentes, le revêtement (terre, graviers, asphalte), le climat, etc.

Donc d'ajouter l'intelligence aux systèmes de transport, qui devient Intelligent Traffic System (ITS). Ces systèmes font la combinaison entre les infrastructures intelligentes et les véhicules intelligents, travaillant en collaboration pour améliorer l'efficacité et la sécurité des systèmes de transport. ITS intègre les techniques de la communication câblé et sans fil avancé pour l'obtention et la distribution des données. ITS a la puissance de changer la perspective des accidents véhiculaire : si jusqu'à maintenant le problème est encore de guider l'homme à survivre de l'accident, le futur objectif de l'ITS est d'éviter l'accident généralement. Par maître sur route une communication sans fil sécurisé et rapide passant l'information entre automobile et une autre (V2V), ou entre les infrastructures et les véhicules (I2V).

L'accès à l'information de trafic est l'une des solutions efficaces pour éviter les accidents routiers, mais il doit exister le maximum possible de véhicule intelligent sur la route pour que l'ITS soit opérative. Une distribution géographique large de l'infrastructure intelligente

est recommandée aussi pour que le système soit apte à arranger le maximum des données efficacement et les redistribuer plus tard aux autres véhicules. Aux même temps, un problème majeur ce pause, c'est le facteur coût qui doit toujours être minimale sans évidemment toucher à l'efficacité du système.

ITS est concerné par trois facteurs: Sécurité, fonction coût et l'environnement. La sécurité du système de transport peut être achevée par l'augmentation de la conscience de véhicule. Les études dites que la combinaison entre la communication V2V et I2V a une potentiel pour diminuer l'accident en général de 81% [12].

L'exemple qu'on va entamer ici c'est le freinage automatique, les équipementiers ont développé le système de freinage automatique qui permet à la voiture de freiner en cas d'urgence, sans l'aval du conducteur. Ce dispositif est capable de freiner la voiture pour éviter un contact, ou de ralentir le véhicule au maximum avant un impact jugé impossible à éviter. Des capteurs radar et/ou vidéo ont pour mission de surveiller la zone située à l'avant d'une automobile. Si un obstacle se rapproche dangereusement du véhicule, le conducteur sera d'abord alerté par une alarme sonore, mais si ce dernier ne réagit pas, le freinage autonome entrera en action. Cette récente technologie permet simplement d'assister le pilote en cas de danger direct.

Dans ce projet, un protocole de communication a été mise en œuvre à base de la communication VLC et a été validé par plusieurs tests : émission et réception d'un signal audio, communication en simplex entre deux PC (envoi d'une donnée textuelle) et proposer un prototype pour des applications automobiles.

III.2. Proposition d'un protocole de communication VLC:

III.2.1. Applications Indoor :

III.2.1.1. Simulation de la communication indoor:

Dans cette partie on va modéliser une matrice 3D comme une chambre où on va simuler notre modèle par un émetteur et un récepteur. Le programme mis en considération la position de l'émetteur, le récepteur et les réflexions des murs.

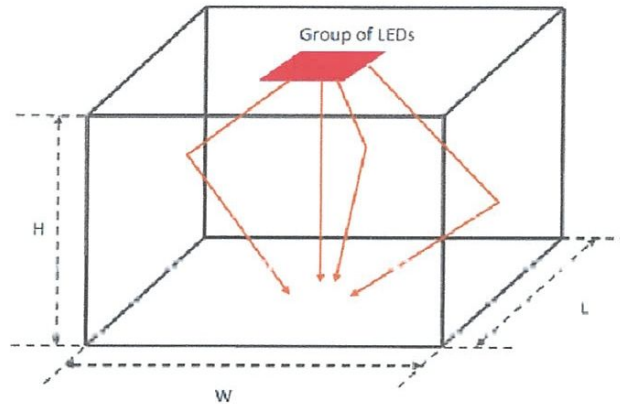


Figure III.1 chambre de simulation VLC indoor

Les blocks de base de l'algorithme :

- Une chambre vide avec les dimensions X, Y, Z
- Une LED localisé sur le plafond dans une position fixé (lx, ly, lz), une direction d'émission fixée perpendiculaire sur le sol et un angle de demi-puissance fixé.
- Photo-détecteur parallèle avec le sol, à distance rz du plafond avec une réceptivité "resp" et surface de réception "ar".
- Indice de filtre optique "n" sur le photo-détecteur

III.2.1.2. Résultat de simulation:

III.2.1.2.a. Etude de l'énergie reçue en fonction de l'angle semi-puissance :

On simule les résultats de la puissance reçue par les conditions suivantes :

- Dimensionnement de la chambre ($x=3.5 ; y=3.5 ; z=2.5$)
- 1xLED (position fixe, puissance de 1watt, demi-puissance du LED (30°))
- 1 photo-détecteur (distance sur le sol ($rz=1m$), de réceptivité ($=1 * A/W$), surface de réception de $1cm^2$)

En fait varier l'angle de demi-puissance de : $10^\circ, 30^\circ$ et 75°

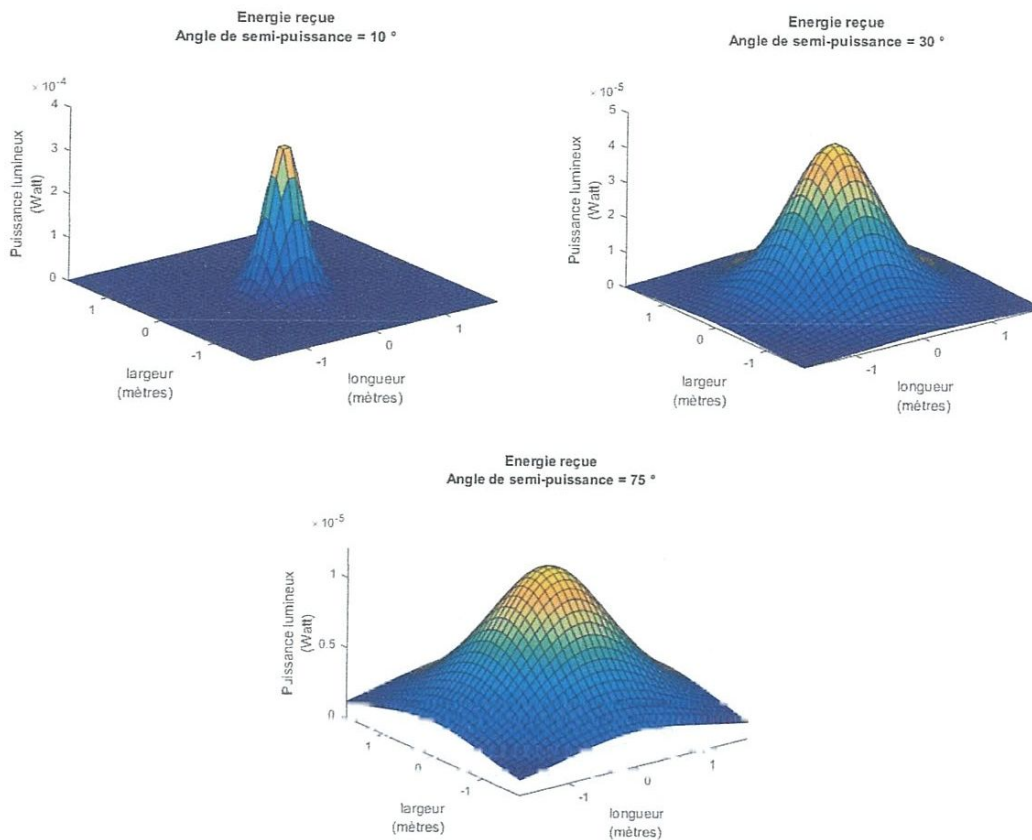


Figure III.2 Simulation du canal ‘Line Of Sight’ LOS (en variant l’angle de semi-puissance=10°,30°,75°) et l’énergie reçue

En peut noter que lors de l’augmentation de l’angle semi-puissance l’énergie reçue diminue et ça va être démontré dans la partie pratique.

III.2.1.2.b. Etude du SNR qualité de transmission :

Durant la transmission, les signaux électriques peuvent être perturbés par des phénomènes lumineux d’origine externe désignés sous le terme générique de bruit. Le bruit est un phénomène qui dénature le signal et qui est susceptible d’introduire des erreurs d’interprétation du signal reçu.

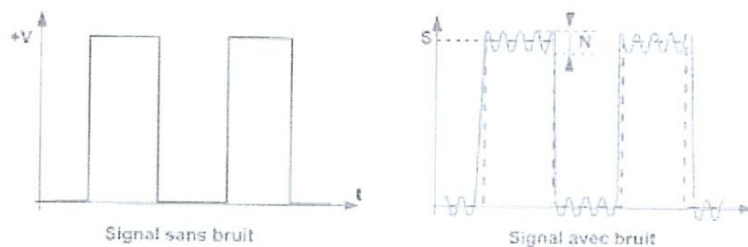


Figure III.3 Signal sans et avec bruit

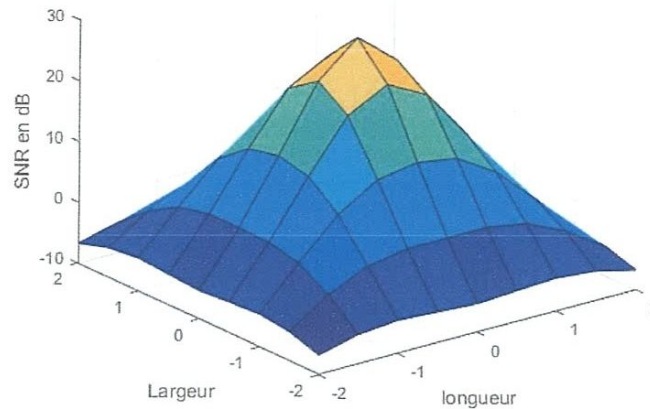


Figure III.4 Distribution du SNR dans la chambre

En note que lorsque en rapproche du champ de vision LOS le SNR s'augmente, et vice versa. Donc meilleure qualité vient lors d'une grande valeur du SNR.

III.2.1.2.c. Etude du BER de la modulation OOK :

La modulation On-Off Keying, répond l'idée de la modulation d'amplitude ASK (Amplitude Shift Keying), où le bit '0' signifie que la LED est éteinte et le bit '1' LED est allumé, ce type de modulation n'exige pas un grand débit de données.

Un taux d'erreur binaire (BER) représente le pourcentage d'erreurs sur les bits qui se produisent dans un flux de données numériques, comme Internet ou des signaux de téléphonie numérique. Les erreurs sur les bits sont dues au bruit ou distorsion dans une partie du circuit qui provoque un "1" pour être reçu comme un "0" et vice versa. L'existence d'erreurs binaires nécessite que les méthodes de vérification des erreurs être intégrés dans les systèmes de communication pour détecter ces problèmes. La qualité de flux de la transmission numérique peut être évaluée en comparant le nombre de bits transmis par seconde et le pourcentage de ces bits qui doit être retransmis en raison d'erreurs.

La surveillance continue de la BER reste une tâche importante dans le maintien de communications numériques de haute qualité.

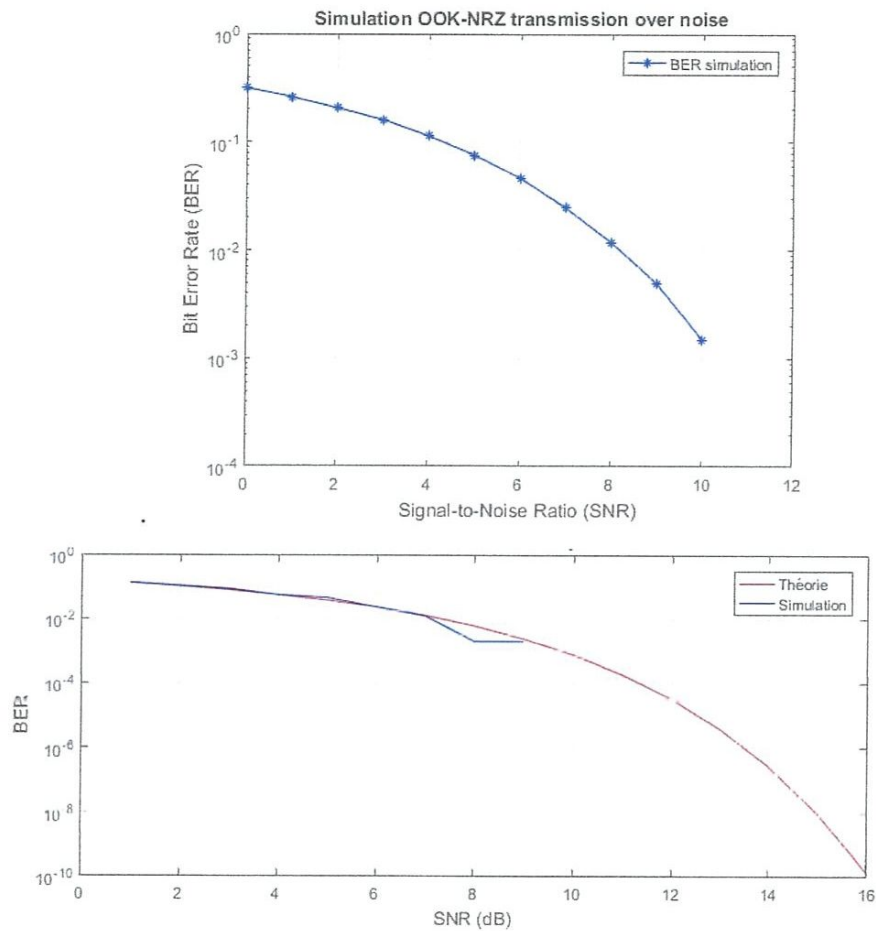


Figure III.5 Taux d'erreur de l'encodage OOK

En note que lors de l'augmentation du SNR en reçoit a peu près tous les bits envoyé donc BER minimum.

III.2.1.3. Test de validation Indoor:

Afin de valider notre système de communication indoor nous avons proposé un système de communication VLC permettant de transmettre un signal analogique (signal audio) on utilisant une LED comme émetteur et le recevoir à travers d'une photodiode comme récepteur (Figure III.6).

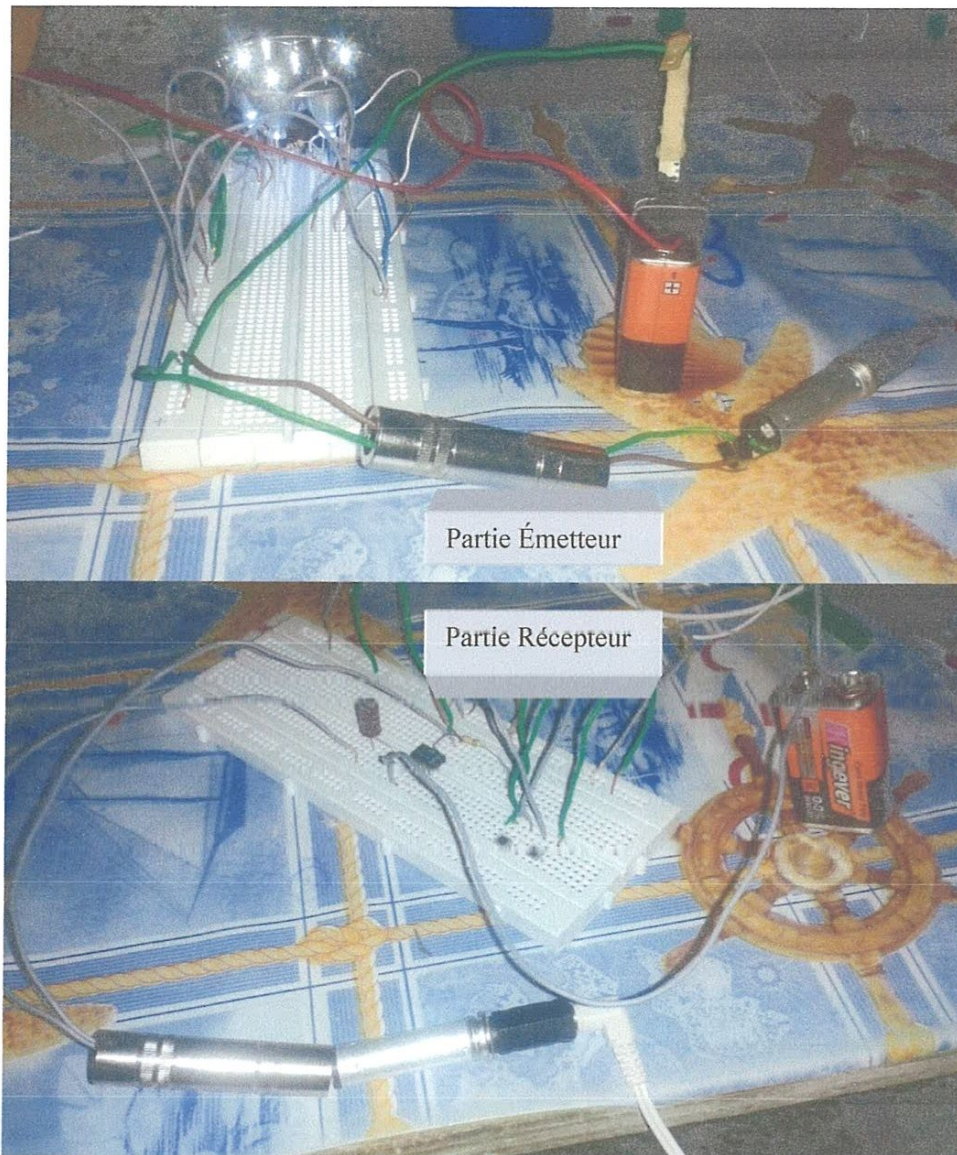


Figure III.6 Le prototype proposé pour la transmission audio

Cette configuration consiste à envoyer un signal audio à partir d'une entrée (fiche JACK) modulé par un transistor (la modulation OOK) est émit par une LED vers le module récepteur qui est constitué de deux photodiodes recevant le signal transmis et un Ampli-OP uA741 pour amplifier le signal audio reçu, une condensateur réagis comme un filtre afin de le mettre dans un Haut Parleur HP.

III.2.2.1.a. Émetteur :

Dans la communication par la lumière visible ce n'est pas évident de transférer les données d'une manière série comme envoyer une raquette tel qu'elle est, si en le fait en va rencontrer des problèmes de clignotement peut être noté par l'œil nu même avec une vitesse très rapide (le clignotement de la lumière dépend des données). Dans ce cas pour éviter l'effet des zéros bits sur la luminance l'encodage Manchester est utilisé.

Valeurs à coder	Valeurs transmises
0 logique	01
1 logique	10

Tableau III.1 Tableau de vérité du codage Manchester

Dans ce cas la LED va cligner plus vite de 25Hz que l'œil va réagir comme un filtre passe-bas qui va stabiliser la quantité de la lumière vécue. Aussi dans ce test les données envoyées sont sérialisées (avec bit de synchronisation, démarrage et d'arrêt) et encodées en Manchester pour manipuler la LED. Par conséquent la LED sort allumée tout le temps pour l'utilisateur. Les données sont envoyées avec un taux de symbole de 1200baud et ça correspond à 600bit/s

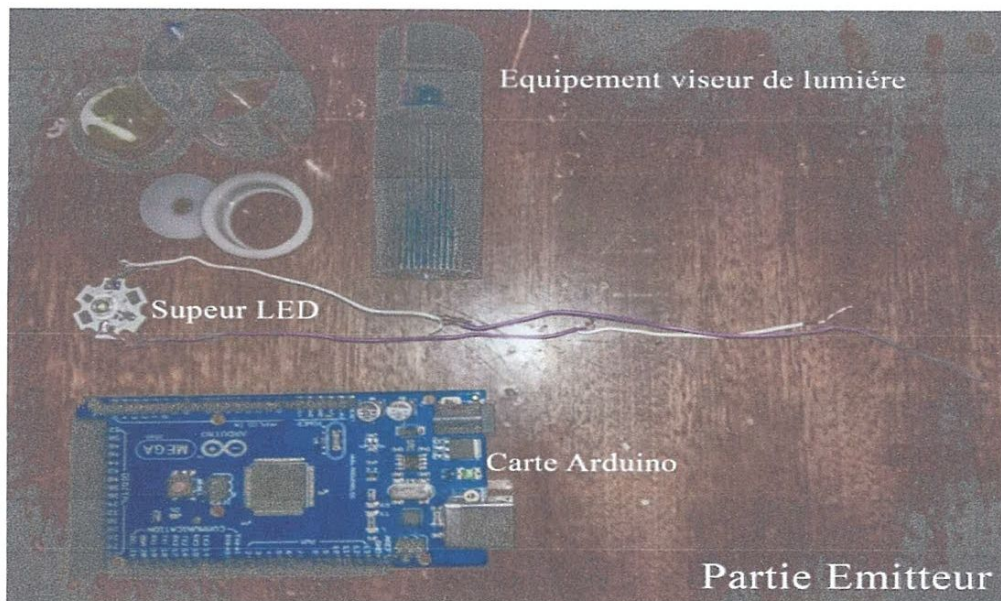


Figure III.8 Prototype réalisé de l'émission VLC

III.2.2.1.b. Récepteur :

Dans cette partie la photodiode va générer un très petit courant qui va créer une tension à cause de résistor connecté en série et l'impédance de l'entrée analogique ADC. Ici le voltage du LED est capturé par le ADC quatre fois plus vite que l'émetteur, Le voltage est moyenné parfois pour calculer le seuil et déterminer l'état HAUT et BASS du signal entrant, cette seuil est utilisé pour numériser le signal et le décoder le Manchester codage ; le signal série est alors décodé (détection des bits de démarrage et d'arrêt) vers un octet.

Condition dynamique, comme les unes dans la situation du trafic où les véhicules sont tout le temps en mouvement, donc une distance entre émetteur récepteur inconstante. Ce phénomène provoque une variation dans le SNR, est pour cela un mécanisme de contrôle automatique du gain (AGC) est indispensable, qui va maintenir le niveau de signale et protégera le photo-détecteur d'être saturé en cas d'une distance plus proche et amplifier le signale en cas d'une longue distance, et cette dernière partie là est implémenter dans le programme du microcontrôleur.

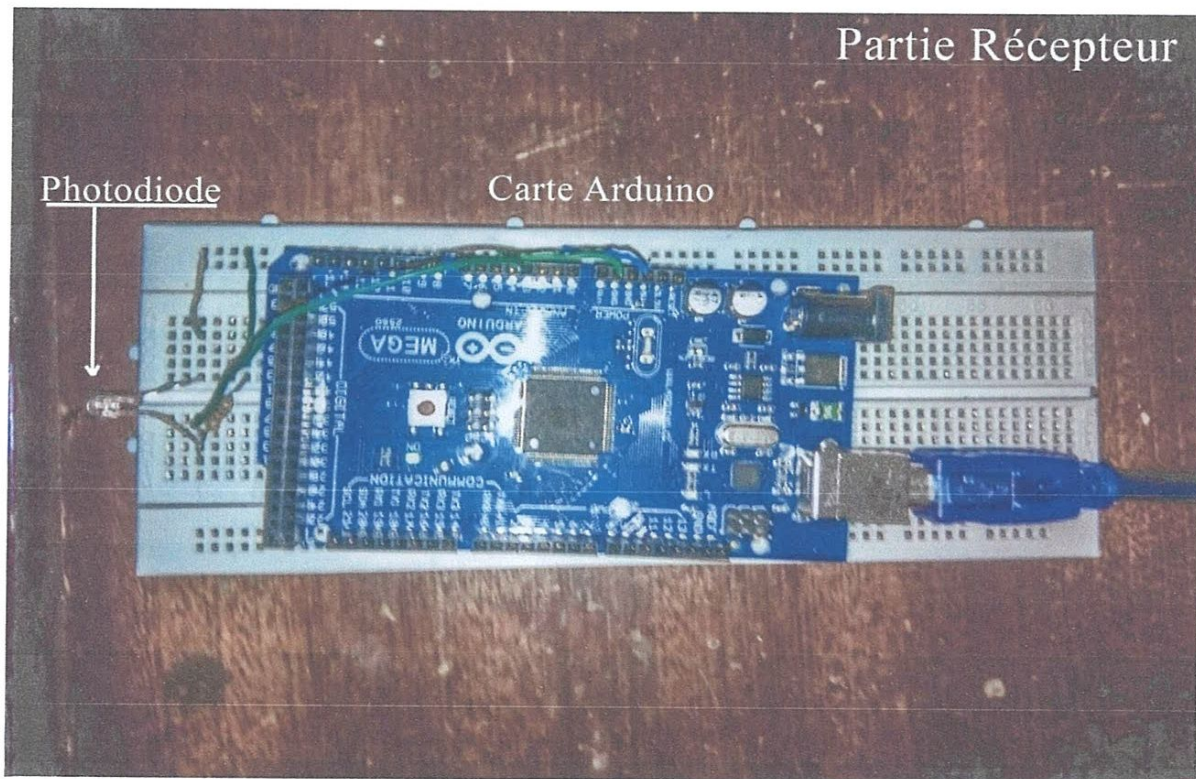


Figure III.9 Prototype réalisé du récepteur VLC

III.2.2.1.c. Format de porteur d'information (frame) :

Pour prouver la synchronisation de l'émetteur et le récepteur, les données à envoyer est encapsulé dans un cadre ou un porteur appelé frame. Le frame est composé d'un symbole de

préambule (0x55) qui aide à calculer la numérisation et le seuil, un symbole de synchronisation 0x5D qui (aide à détecter la phase du codage Manchester), un symbole de démarrage du frame STX (0x02), une séquence de 32 octet alors suit ça et en fin un symbole de la fin du frame ETX(0x03) arrête la transmission.



Figure III.10 Structure de frame numérique [12]

III.2.2.1.d. Le montage :

Le centre de recherche ‘Smart Lighting Engineering Research Center’ de l’université de Boston est le résultat d’une collaboration entre l’université de Boston, l’institut polytechnique de Rensselaer et l’université de New Mexico, pour le développement des technologies de lumières intelligents. Leur but été de développer des solutions simple et de coût minimale pour la indoor VLC. Sous ces conditions, ils ont développé plusieurs systèmes apte a communiquer sans file a distance de quelque mètres et de débit de 1 à 4 Mb/s [12].



Figure III.11 Prototype VLC développée à l’université de Boston [12]

On va essayer de réaliser un système similaire mais avec le microcontrôleur Arduino MEGA 2560 et notre montage et comme suite :

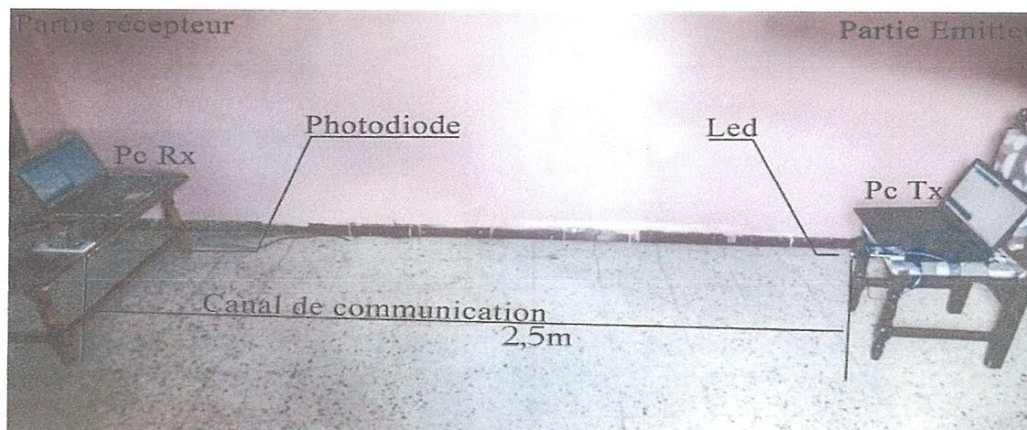


Figure III.12 Schéma réalisé et les détaille

III.2.2.1.e. Teste du prototype:

A) Test de l'émission continue :

Ce teste consiste à envoyer des raquettes répétitivement anciennement déclaré dans le code chargé dans la carte Arduino émettrice sous l'encodage Manchester par le port série de la carte sous la technique VLC vers l'Arduino récepteur doté d'un programme décodeur qui va l'afficher dans le moniteur série de ide Arduino comme il est affiché dans la figure suivante.

The screenshot shows the Arduino IDE with two code files and a serial monitor. The left window, titled 'LFiEmitter', contains the code for the transmitter. The right window, titled 'LFiReceiver', contains the code for the receiver. The serial monitor at the bottom right shows the output of the receiver, displaying a list of test numbers from 1 to 10.

```

Code de l'Emitteur LFi
Emission continue

#include <TimerOne.h>
#include <util/atomic.h>

// #define TRANSMIT_SERIAL

// change to alter communication speed,
// will lower values will result in faster communication
// the receiver must be tuned to the same value
#define SYMBOL_PERIOD 500 // Defined a symbol period in us

#define WORD_LENGTH 10 // Each byte is encoded to 10-bit word start, byte, stop
#define SYNC_SYMBOL 0x05 // Synchronization symbol to send after a preamble. Define
#define EIX 0x03
#define SIX 0x02

// These defines are for a single led connected to D2
#define OUT_LED() DDRA |= (1 << 2)
#define SET_LED() PORTA |= (1 << 2)
#define CLR_LED() PORTA &= ~(1 << 2)

unsigned char frame_buffer [38] ; //buffer for frame
char frame_index = -1; // index in frame
char frame_size = -1 ; // size of the frame to be sent

//state variables of the manchester encoder
enum receiver_state frame_state = IDLE ;

// This defines receiver properties
#define SENSOR_PIN 3
#define SYMBOL_PERIOD 500
#define SAMPLE_PER_SYMBOL 4
#define WORD_LENGTH 10 // a byte is encoded as a 10-bit value with start and stop bits

Teate nmr=1
Teate nmr=2
Teate nmr=3
Teate nmr=4
Teate nmr=5
Teate nmr=6
Teate nmr=7
Teate nmr=8
Teate nmr=9
Teate nmr=0
Teate nmr=1
Teate nmr=2
Teate nmr=3
  
```

Figure III.13 Code émetteur fait l'envoi automatiquement

B) Test de l'émission manuel :

Dans cette partie on va modifier le code pour qu'il prend le chemin de transmission série où on va écrire ce qu'on veut envoyer dans l'afficheur série de l'IDE Arduino.

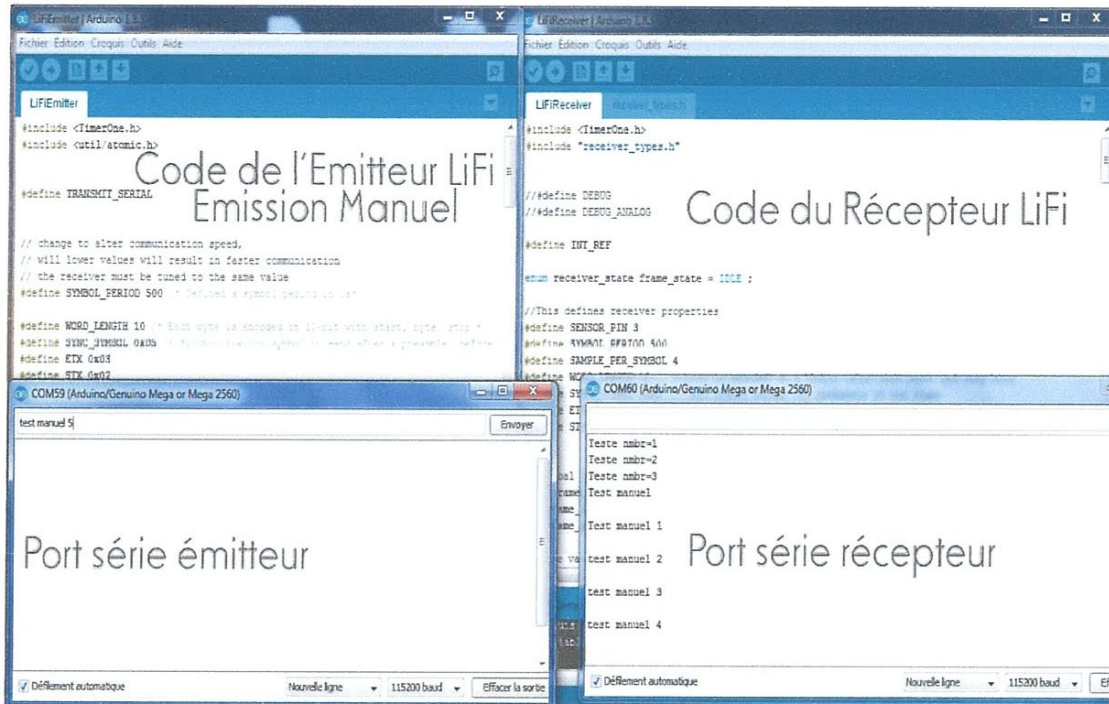


Figure III.14 Le code fait l'envoi manuellement

C) Résultats obtenues:

Le code a été testé avec des configurations multiples :

- LED claire bleu : vitesse de communication ~ 600 bit/s, distance de ~ 7 cm
- LED claire Ultra-brillant rouge : de communication ~ 600 bit/s, distance de ~ 30 cm
- LED XRE super brillant blanche : de communication ~ 600 bit, distance de plus de 2.5m
- Avec la variation du LOS (Angle Semi-Puissance) on note un changement dans la distance (Angle minimum = meilleure réception de données BER_{min})

III.2.2.2. Freinage automatique:

Ce système consiste à éviter la collision avec un mécanisme de pédale d'accélération. Il contient des LEDS et des photo-détecteurs qui désignent l'émetteur et le récepteur VLC. La partie émetteur est donc l'éclairage du véhicule : Veilleuses (deux à l'avant: blanc/ deux à l'arrière rouge), feux de route ou phare (deux à l'avant: blanc), feux de stop pour signaler un appui sur la pédale de frein (deux trois à l'arrière : rouge)...etc. donc sont tous a bases des LEDs qui assure l'envoi de n'importe quel information par la technique VLC. La partie récepteur peut être incluse dans la place des anciens capteurs comme le radar, capteur vidéo, etc... Donc ça va exister aussi dans l'avant et l'arrière du véhicule. La partie infrastructure qui représente l'ITS (système de trafic intelligent), ce dernier contient le feu de circulation et les panneaux de route prioritaire à base de LED qui va transmettre toute une information par la technique VLC. La décision de freinage automatique donc va être plus efficace que ça été en temps passé, la vitesse de communication et la performance des émetteurs/récepteurs est meilleur par rapports aux autres capteurs de recule/danger.

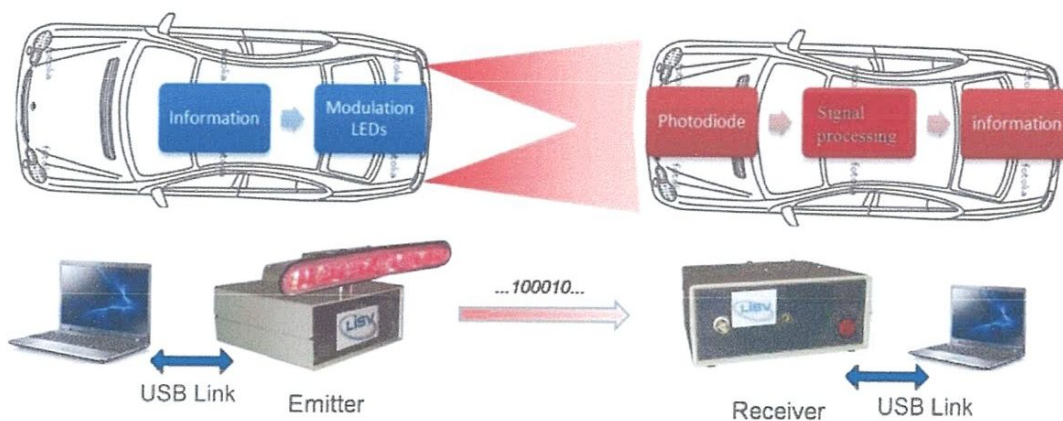


Figure III.15 Prototype V2V pour transmission de données par VLC [12]

III.2.2.2.a. Principe de fonctionnement :

Si le récepteur de l'automobile a détecté un freinage instantané de l'automobile avants de lui, il va réagir en trois manières où la distance entre-véhicule est divisé par trois zones :

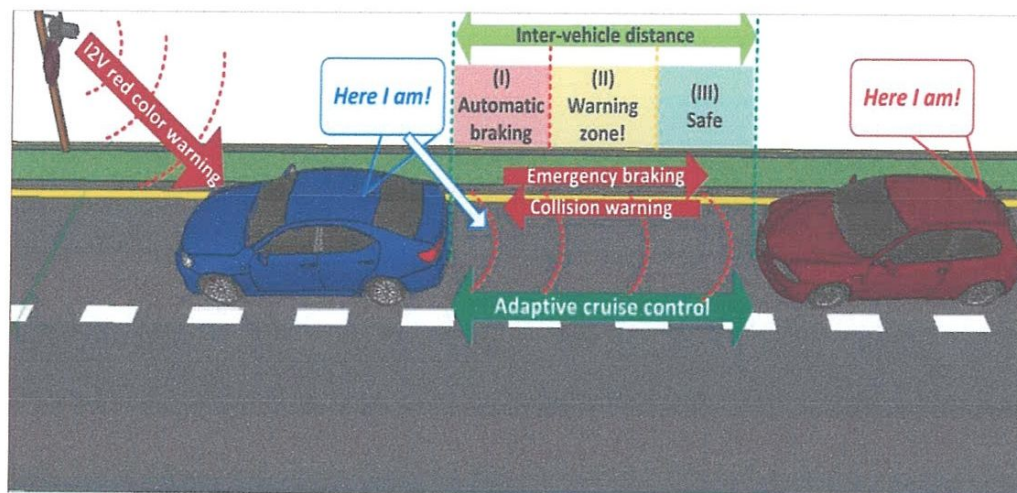


Figure III.16 Utilisation de la lumière visible pour l'envoi d'un message de sécurité[12]

Zone I est la zone à freinage automatique, où le seuil est très élevé (au bout de la saturation) et la lumière reçue est maximal, dans ce cas le microcontrôleur va exécuter la tâche de freinage par un servomoteur layé au pédale du frein pour freiner, et pour une meilleure performance de freinage un mécanisme est proposé par Nishad Vivek Kumbhojkar et al [15]. Qui consiste à combiner entre la pédale de frein et là de l'accélération.

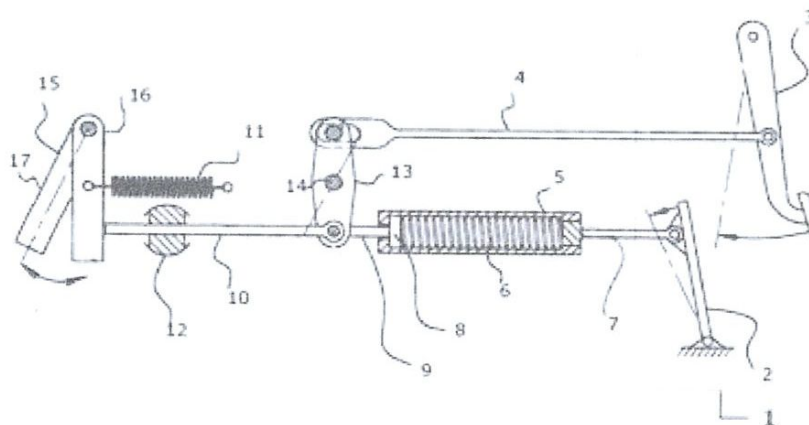


Figure III.17 L'ensemble pédales frein-accélérateur[14]

1-Ensemble de pédale de frein et accélérateur, 2-Pédale d'accélérateur, 3-Pédale du frein, 4-Barre de connexion, 5-Boîtier de ressort,6-Premier ressort, 7-Premier poussoir, 8-Piston, 9- Deuxième poussoir, 10- Troisième poussoir, 11- Deuxième ressort, 12- Bague, 13- Levier, 14- Axe fixé, 15- Levier de contrôle d'engin, 16- Premier position désengagé du levier de contrôle d'engin 17- Deuxième position engagé du levier de contrôle d'engin.

Zone II est la zone de danger existant avec une décélération exigé par le microcontrôleur, ce dernier va actionner le servomoteur a une façon que le freinage soit pas complet mais a un but de revenir à la zone sécurisé et qui est la **Zone III**

III.2.2.2.b. Méthodologie et système proposé :

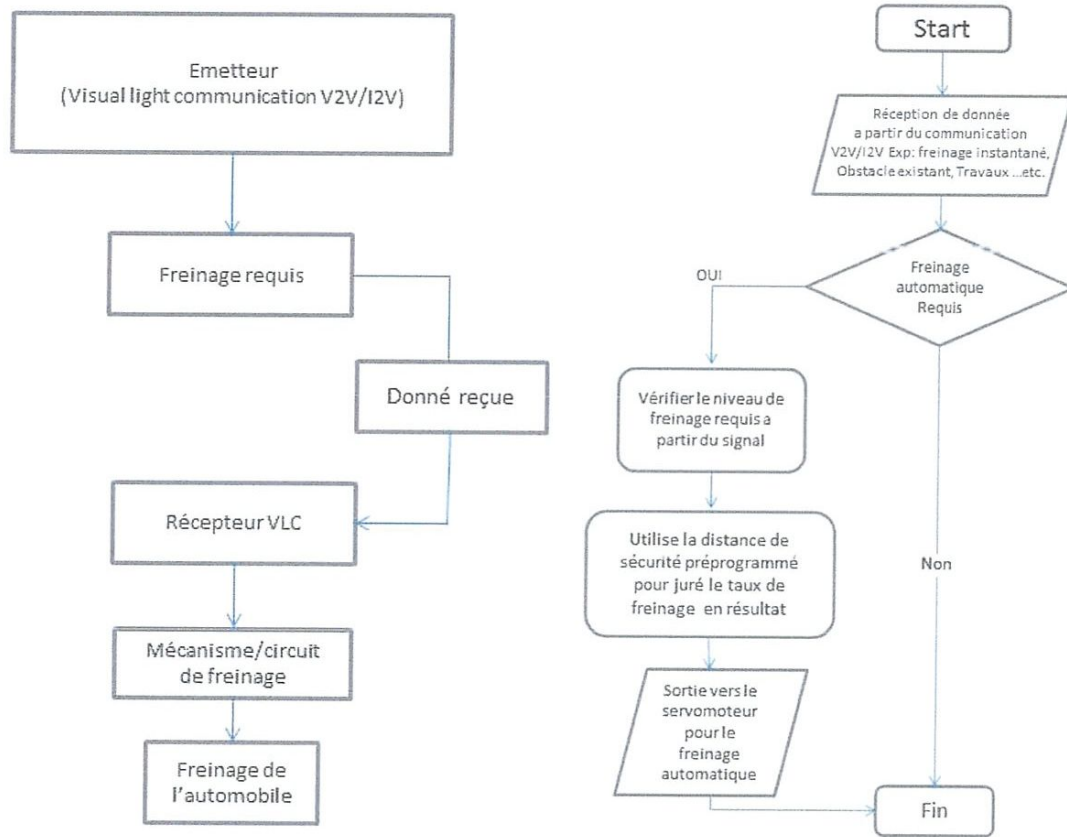


Figure III.18 Schéma Block et diagramme de flux du prototype proposé

Les quatre niveaux d'opération de vitesse en fonction de la distance proposée sont :

- i. Le premier niveau est l'un des opérations a grand vitesse, 90Km/h. Dans ce cas La distance de sécurité doit être maintenue qu'elle soit plus de 5 mètres entre les deux véhicules. Cependant, si le récepteur VLC a reçu un message d'un freinage, une décélération ou travaux, feu rouge proche ou une déviation danger là un freinage automatique est appliqué jusqu'à le temps que le microcontrôleur est de hors du danger.
- ii. Le deuxième niveau est le cas d'une vitesse moyenne, entre 60Km/h et 90 Km/h. ici la distance de sécurité entre la véhicule et le danger soit considéré 4

mètres. Cependant, si le récepteur reçoit n'importe quel danger la vitesse va être réduit automatiquement.

- iii. Le niveau troisième est le cas de la vitesse petite, entre 30 Km/h et 60 Km/h, dans ce cas la distance de sécurité est soit de 2 mètres et une réduction de vitesse est appliquée automatiquement.
- iv. Le niveau quatrième est ce de la vitesse très petite ; sous 30Km/h, dans ce cas la distance de sécurité est de 1 mètre.

Ce scénario illustré dans la figure 15 a été testé dans [13]. Aux temps que la puissance lumineuse du feu arriéré et relativement faible en comparaison avec la puissance lumineuse du feu de trafic, le but de cette configuration est d'assurer l'efficacité de la transmission des données entre véhicules dans des distances faibles, 15 mètres maximum. Le système a donné des résultats satisfaisants, représenté dans la figure suivante.

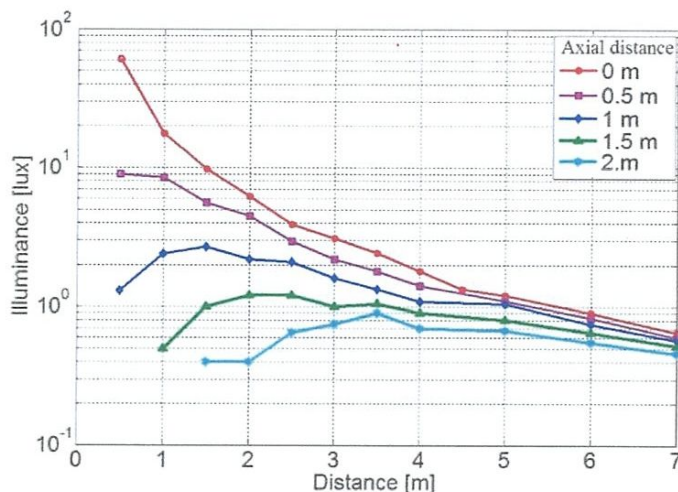


Figure III.19 Distribution de la puissance lumineuse du feu arriéré [13]

En note que la puissance lumineuse augment respectivement lorsque la distance de l'axe est minimale.

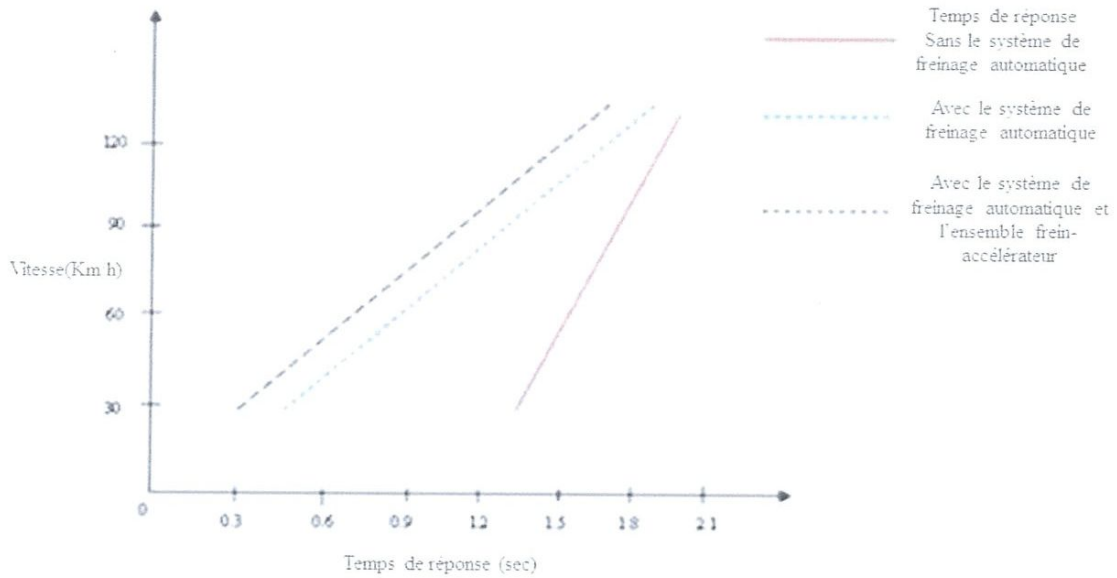


Figure III.20 Temps de réponse avec et sans le système d'autofreinage

En note que lors de l'utilisation de système d'autofreinage VLC il y a une réponse meilleur que son absence, et aussi meilleur résultat lors de rajoutant l'ensemble de pédale frein-accélérateur.

III.2.2.2.c. Réalisation :

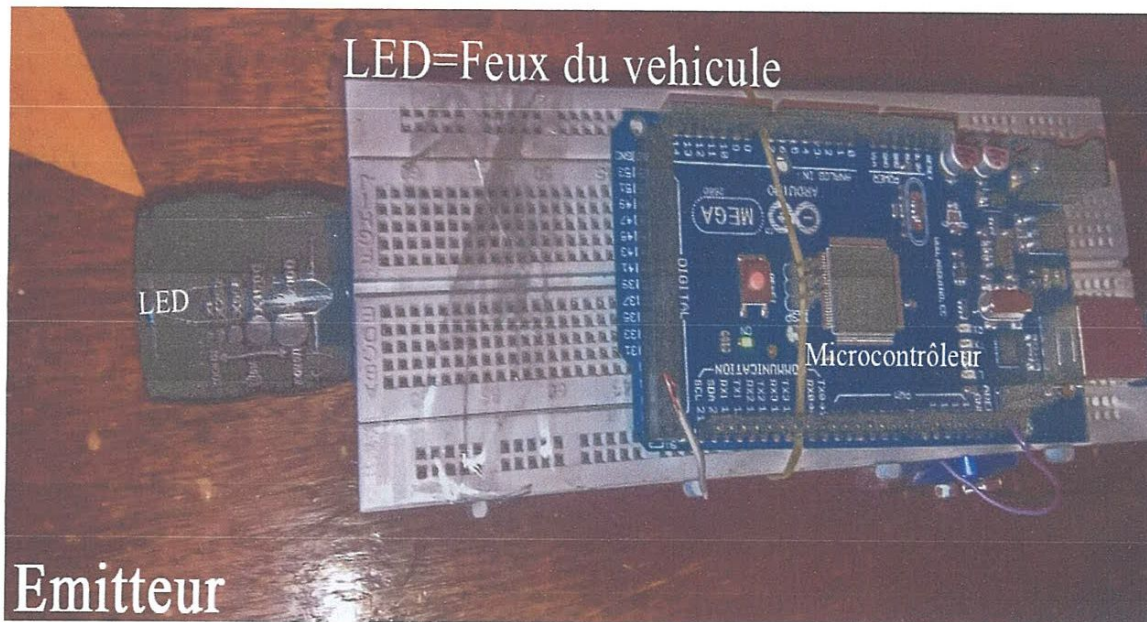


Figure III.21 Récepteur du prototype proposé pour l'autofreinage

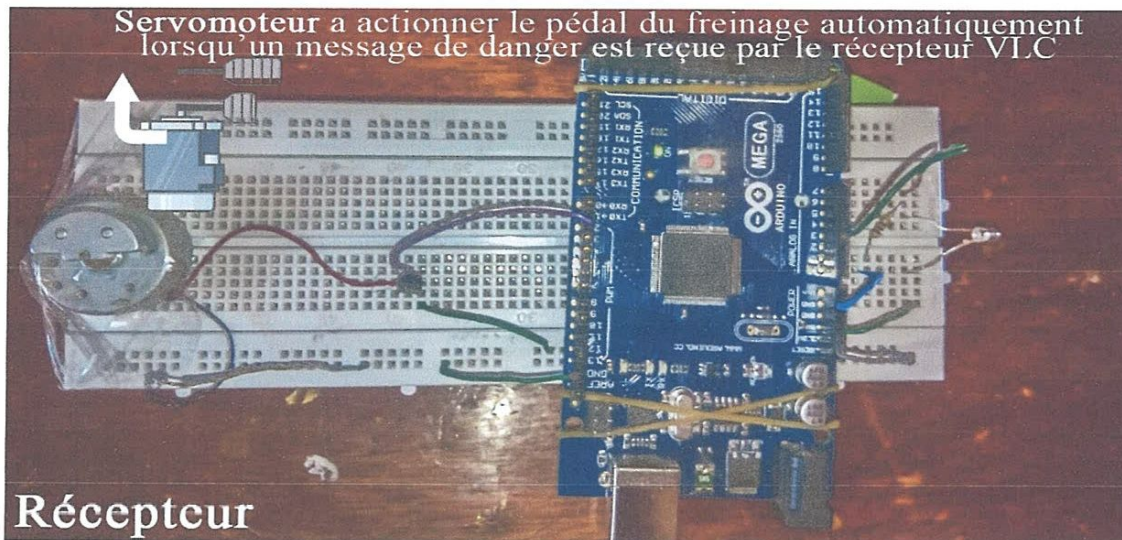


Figure III.22 Récepteur du prototype proposé pour l'autofreinage

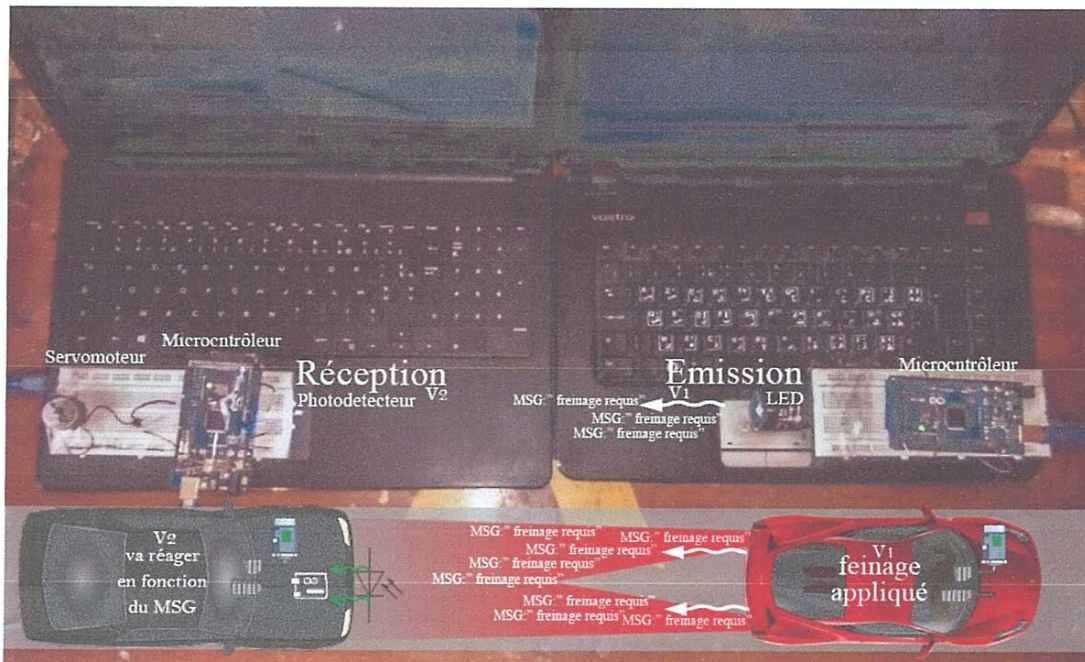


Figure III.23Montage et explication du Freinage automatique VLC

III.2.2.2.d. Equipement et mise ajoure du programme :

On a utilisé l'équipement précédent plus un servomoteur(on a utilisé un moteur vibrant pour l'absence du servomoteur et le shield L.293), et un transistor. Et pour le coté programme on a listé une série de commandes conditionnel, informe l'entourage proche a toute une tâche commit par le chauffeur.

III.2.2.2.e. Résultats obtenue :

Le système a les mêmes résultats du test précédent, où le servomoteur répond instantanément à la décision du microcontrôleur après réception du message émit par le prototype émetteur représentant la véhicule 1.

III.2.2.3. Conclusion:

Dans ce chapitre, un système de communication à base de la technologie VLC une application automobile a été mis en œuvre. Ce système est utilisé pour la surveillance routière afin d'éviter les accidents. La validation du système contient plusieurs approches, premièrement une étude des différents paramètres a été effectuée basée sur la simulation avec le logiciel Matlab: étude de facteur de qualité de communication SNR, le Taux d'erreur BER et la puissance reçue par le récepteur en fonction de l'angle semi-puissance, une transmission audio qui a été réalisée avec succès, en outre une communication textuelle entre deux ordinateurs par la technique LiFi en simplex a été réalisée. En fin nous avons proposé un prototype de freinage automatique. Ce prototype a été réalisé et testé avec succès.

**CONCLUSION
GENERALE**

CONCLUSION GENERALE

Dans une société de plus en plus connectée, de nouvelles technologies de communication sont développées. Cependant, les différentes technologies existantes ont quelques défauts. Par exemple, le Wifi est souvent limité en débit et peut poser des problèmes de sécurité ou d'interférences électromagnétique.

Imaginez une technologie capable de nous connecter à internet avec un débit de +1Gbps, simplement grâce à des ampoules LED et sans ondes potentiellement néfastes à l'organisme. C'est précisément ce qu'offre le VLC, une technologie en phase de développement, d'abord dans le cadre professionnel avant de se démocratiser dans les foyers. VLC est une technologie de communication sans fil basée sur l'utilisation du spectre de lumière. Son principe repose sur l'échange de données via la modulation d'amplitude des sources de lumière, imperceptible à l'œil. C'est une technologie sûre et qui présente de nombreux avantages, comme nous l'avons vue dans ce manuscrit, par rapport aux technologies radiofréquence en générale.

Même si VLC est une technologie naissante, il a de nombreux avantages et un potentiel énorme de développement. Ce potentiel a été partiellement exploré en ce qui concerne l'utilisation de VLC dans les applications d'intérieur et extérieur. Dans ce domaine d'application, les performances des systèmes VLC ont fait leurs preuves. Cependant, l'étude de l'utilisation de VLC dans les applications extérieures à longue distance est en cours de développement et c'est qu'on a entamé dans le troisième chapitre, où une application automobile à base de la technique VLC a été mis en œuvre. C'était un système de surveillance routière afin d'éviter les accidents. La validation du système contient plusieurs approches, étude des paramètres, une transmission audio qui a été réalisé avec succès, on outre une communication textuelle entre deux ordinateurs par la technique LiFi en simplex a été réalisé. En fin nous avons proposé un prototype de freinage automatique. Ce prototype a été réalisé et testé avec succès.

ANNEXE

Annexe:

Code source Matlab

Etude de l'énergie reçue par le récepteur en fonction de l'angle de semi-puissance :

```
% VLCLOSCHANNEL
% LAMBERTIAN LOS channel function
% input_power is watt input vector received from LED
% output_power is power after channel vector
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% LOS-Channel Parameters
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
clearall;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Input Signal
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
meanInputPower =1; %input luminous power 1 Watt
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Optical concentrator and filter
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
tsfilter = 1; %optical filter 1 neglected
csilimitdegree = 75; %concentrator filter angle limit
csilimit = degtorad(csilimitdegree);
n = 1; %concentrator filter index
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Room detail
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
lx=0; ly=0; lz=0; %led position (0,0,0) is ceiling centre
% reference system starting from ceiling centre
x=3.5; y=3.5; z=2.5; %absolute room dimension
rz=1.5; %receiver height(z) fixed position from ceiling (meters)
% to find distance from floor (z-rz)
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Led/Receiver tech detail
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
ar= 0.0001; %receiver area m^2
resp = 1; %photodiode responsivity 1 for neglect
halfpower = 75; %LED halfpower angle
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
Nx = x*10; %x grid dimension
Ny = y*10; %y grid dimension
X = -x/2:x/Nx:x/2; %X matrix
Y = -y/2:y/Ny:y/2; %Y matrix
[rx,ry]=meshgrid(X,Y); %matlab command to generating 2D grid
d= sqrt((rx-lx(1,1)).^2+(ry-ly(1,1)).^2+(rz-lz)^2);
%led photodiode distance matrix
costheta = sqrt((lz-rz)^2)./d;
%angle between led normal and d
coscsi = sqrt((lz-rz)^2) ./d;
%angle between receiver normal and d
if ( csilimit>= acos(coscsi)) %concentrator factor
gcsi = n^2/(sin(csilimit))^2; %optical concentrator function
else%if csilimit is exceeded the signal doesnt pass throught the channel
gcsi = 0;
end
m= -log(2)/log(cosd(halfpower));
%Lambertian mode number (cosd mean cosdegree)
aeff=(ar*coscsi);
```

```
%effective area for ray inclination respect receiver surface
H0= ((m+1)*gcsi*tsfilter*resp*aeff.*((costheta).^m))./(2*pi.*d.^2);
%equation for VLC channel LOS H0
H1 = meanInputPower*H0;
%Los*inputPower
surf(rx,ry,H1);
%Plotting surface
xlabel({'Room length' , '(meters)' });
ylabel ({ 'Room width' , '(meters)' });
zlabel ({ 'luminance power' , '(Watt)' });
xlim([-x/2,x/2])
ylim([-y/2,y/2])
title({'Received Power' ;[ 'Input Power = ' ,num2str(meanInputPower), ' W'
]});
```

Etude du BER taux d'erreur en fonction de la qualité SNR pour l'encodage OOK-NRZ:

```
% ***** Simulation BER of OOK-NRZ transmission over noise *****%
% with using Monte Carlo simulation

% ***** Initialization *****%
clc;clear all;
Po=1;R=1;Tbs=1;
M=100000; % Frame length (x_1 x_2 ... x_M)
SNRdB=0:10; % SNR in dB
SNR=10.^(SNRdB/10);
Rate= zeros(1, length(SNRdB)); %
% ***** Transmitter *****%
for dB= 1: length(SNRdB) % start looping by SNR
dB
% ***** OOK-NRZ signal generation *****%
x_inp=round(rand(1,M)); %
s=x_inp.*2*Po;
Es=2*Po^2*R^2*Tbs; % Es=Eb
sigma=sqrt(Es/(2*SNR(dB)));
% ***** Channel *****%
%y_channel=awgn(s,SNRdB(dB));% Additive White Guassian Noise (AWGN)
y_channel=s+sigma.*randn(1,M);% Additive White Guassian Noise (AWGN)
% ***** Receiver *****%
y=y_channel./(2*Po);
x_out= round(y); %
% ***** Bit Error Rate (BER) calculation *****%
[err, rate]= symerr(x_inp, x_out);
Rate(dB)= Rate(dB) + rate;
end% end for loop
Rate(dB)= Rate(dB); %
% ***** Plot the simulation result *****%
f1 = figure(1);
set(f1,'color',[1 1 1]);
semilogy(SNRdB,Rate, 'b-*')
holdon;
axis([0 12 0.0001 1]);
xlabel('Signal-to-Noise Ratio (SNR)')
ylabel('Bit Error Rate (BER)')
title('Simulation OOK-NRZ transmission over noise');
legend('BER simulation')
gridon;
```

Etude du taux d'erreur de l'encodage OOK en fonction de la qualité de signale SNR Comparé avec la Courbe théorique:

```

%number of bits to generate
nSignal = 1000; %Signal lenght
ele = 1.6e-19; %Charge of Electron
Iback = 202e-6; %Background Noise Current
%NO = 2*ele*Iback; %Noise Spectral Density, 2*electron*backgcurrent
NO = 1;
Resp = 1; %Receiver responsivity
bitRate = 10^6 %BitRate
Tbit = 1/bitRate; %one bitTime
SNR_db = 1:16; %db SNR
SNR = 10.^(SNR_db./10); % linear SNR
randombinary = rand (1,nSignal)> 0.5; % Random Binary Signal
randombinary = randombinary *1; %transform logical input in double
for i=1:length(SNR_db) %SNR_db cycle
Pavg(i) = sqrt((NO*bitRate*SNR(i))/(2*Resp^2)); %Luminous power
Ipeak(i) = 2*Resp*Pavg(i); %Photodiode Current
Epeak(i) = Ipeak(i)^2 * Tbit; %Peak current energy
sigma(i)=sqrt(NO*Epeak(i)/2); %standard deviation after receiver
threshold=0.5*Epeak(i); %threshold level
for j=1 : nSignal;
receivedSignal(j) = randombinary(j)*Epeak(i)+ normrnd(0,sigma(i));
%matched filter output
end
% same of above cycle
Rx = zeros(1,nSignal); %received signal inzialization
Rx(find(receivedSignal>threshold)) = 1; %threshold detection
[No_of_Error(i) simuBER(i)]=biterr(randombinary,Rx); %matlab function
end
theorBER = qfunc(sqrt(SNR)); %theoretical formula of OOK BER
semilogy(SNR_db,theorBER, 'red' ); %theoretical BER graph
gridon
ylabel('BER' ); xlabel('SNR (dB)' );title('Bit Error Rate for Binary ' );
%graph definition
holdon
semilogy(SNR_db,simuBER, 'blue' ); %simulation BER graph

```

Code source Arduino :

Teste d'émetteur VLC :

```

#include <TimerOne.h>
#include <util/atomic.h>
//Start of what should be an include ...
##define TRANSMIT_SERIAL
// change to alter communication speed,
// will lower values will result in faster communication
// the receiver must be tuned to the same value
#define SYMBOL_PERIOD 500 /* Defined a symbol period in us*/
#define WORD_LENGTH 10 /* Each byte is encoded on 10-bit with start, byte, stop */
#define SYNC_SYMBOL 0xD5 /* Synchronization symbol to send after a preamble, before data
communication happens */
#define ETX 0x03
#define STX 0x02

```

```

//These defines are for a single led connected to D2
#define OUT_LED() DDRD |= ((1 << 2))
#define SET_LED() PORTD |= ((1 << 2))
#define CLR_LED() PORTD &= ~(1 << 2))

unsigned char frame_buffer [38] ; //buffer for frame
charframe_index = -1; // index in frame
charframe_size = -1 ; // size of the frame to be sent

//state variables of the manchester encoder
unsigned char bit_counter = 0 ;
unsigned short data_word = 0 ; //8bit data + start + stop
unsigned char half_bit = 0 ;
unsigned long intmanchester_data ;
voidto_manchester(unsigned char data, unsigned long int * data_manchester){
unsignedint i ;
(*data_manchester) = 0x02 ; // STOP symbol
(*data_manchester) = (*data_manchester) <<2 ;
for(i = 0 ; i < 8; i ++){
if(data & 0x80) (*data_manchester) |= 0x02 ; // data LSB first
else (*data_manchester) |= 0x01 ;
(*data_manchester) = (*data_manchester) <<2 ;
data = data << 1 ; // to next bit
}
(*data_manchester) |= 0x01 ; //START symbol
}
//emitter interrupt
voidemit_half_bit(){
if(manchester_data& 0x01){
SET_LED();
}else{
CLR_LED();
}
bit_counter-- ;
manchester_data = (manchester_data>> 1);
if(bit_counter == 0){
//is there still bytes to send in the frame ?
manchester_data = 0xAAAAAAAA ; // keep sending ones if nothing to send
if(frame_index>= 0 ){
if(frame_index<frame_size){ to_manchester(frame_buffer[frame_index], &manchester_data);
frame_index ++ ;
}else{
frame_index = -1 ;
frame_size = -1 ;
}
}
}
}

```



```

bit_counter = WORD_LENGTH * 2 ;
    }
}
void init_frame(unsigned char * frame){
memset(frame, 0xAA, 3);
frame[3] = SYNC_SYMBOL ;
frame[4] = STX;
frame_index = -1 ;
frame_size = -1 ;
}
int create_frame(char * data, int data_size, unsigned char * frame){
memcpy(&(frame[5]), data, data_size);
frame[5+data_size] = ETX;
return 1 ;
}
int write(char * data, int data_size){
if(frame_index >= 0) return -1 ;
if(data_size > 32) return -1 ;
create_frame(data, data_size, frame_buffer);
    ATOMIC_BLOCK(ATOMIC_RESTORESTATE){
frame_index = 0 ;
frame_size = data_size + 6 ;
    }
return 0 ;
}
int transmitter_available(){
if(frame_index >= 0) return 0 ;
return 1 ;
}
void init_emitter(){
manchester_data = 0xFFFFFFFF ;
bit_counter = WORD_LENGTH * 2 ;
}
// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
    // initialize serial communication at 115200 bits per second:
    Serial.begin(115200);
    OUT_LED();
    init_frame(frame_buffer);
    init_emitter();
    Timer1.initialize(SYMBOL_PERIOD); //1200 bauds
    Timer1.attachInterrupt(emit_half_bit);
}
// the loop routine runs over and over again forever:
char * msg = "Hello World" ;
char com_buffer [32] ;
char com_buffer_nb_bytes = 0 ;
void loop() {

```

```

#ifdef TRANSMIT_SERIAL
if(Serial.available() &&transmitter_available()){ //constructing the data frame only if transmitter is
ready to transmit
char c = Serial.read();
com_buffer[com_buffer_nb_bytes] = c ;
com_buffer_nb_bytes ++ ;
if(com_buffer_nb_bytes>= 32 || c == '\n'){
if(write(com_buffer, com_buffer_nb_bytes) < 0){
Serial.println("Transmitter is busy");
}else{com_buffer_nb_bytes = 0 ;}}
delay(10);
#else
staticint i = 0 ;
memcpy(com_buffer, msg, 11);
com_buffer[11] = i + '0' ;
if(write(com_buffer, 12) < 0){
delay(10);
}else{
i ++ ;
if(i > 9) i = 0 ;
}
#endif}

```

Teste du récepteur VLC:

```

#include<TimerOne.h>
#include "receiver_types.h"

#define INT_REF /* Commen this to use AVCC reference voltage. To be used when the receiver LED
generate low levels */
enumreceiver_stateframe_state = IDLE ;
//This defines receiver properties
#define SENSOR_PIN 3
#define SYMBOL_PERIOD 500
#define SAMPLE_PER_SYMBOL 4
#define WORD_LENGTH 10 // a byte is encoded as a 10-bit value with start and stop bits
#define SYNC_SYMBOL 0xD5 // this symbol breaks the premanble of the frame
#define ETX 0x03 // End of frame symbol
#define STX 0x02 //Start or frame symbol

// global variables for frame decoding
charframe_buffer[38] ;
intframe_index = -1 ;
intframe_size = -1 ;

//state variables of the thresholder
unsignedintsignal_mean = 0 ;

```

```

unsigned long acc_sum = 0 ; //used to compute the signal mean value
unsigned int acc_counter = 0 ;

//manchester decoder state variable
long shift_reg = 0;

//Start of ADC managements functions
void ADC_setup(){
    ADCSRA = bit (ADEN);           // turn ADC on
    ADCSRA |= bit (ADPS0) | bit (ADPS1) | bit (ADPS2); // Prescaler of 128
    #ifdef INT_REF
    ADMUX = bit (REFS0) | bit (REFS1); // internal 1.1v reference
    #else
    ADMUX = bit (REFS0); // external 5v reference
    #endif
}
void ADC_start_conversion(int adc_pin){
    ADMUX &= ~(0x07); //clearing enabled channels
    ADMUX |= (adc_pin & 0x07); // AVcc and select input port
    bitSet (ADCSRA, ADSC);
}
int ADC_read_conversion(){
    while(bit_is_set(ADCSRA, ADSC));
    return ADC ;
}
//End of ADC management functions

#define START_SYMBOL 0x02
#define STOP_SYMBOL 0x01
#define START_STOP_MASK ((STOP_SYMBOL << 20) | (START_SYMBOL << 18) |
STOP_SYMBOL) //STOP/START/16bits/STOP
#define SYNC_SYMBOL_MANCHESTER (0x6665) /* Sync symbol, encoded as a 16-bit
Manchester value to help the decoding */
inline int is_a_word(long * manchester_word, int time_from_last_sync, unsigned int * detected_word){
    if(time_from_last_sync >= 20 || frame_state == IDLE){ // we received enough bits to test the sync
        if((( *manchester_word) & START_STOP_MASK) == (START_STOP_MASK)){ // testing first
            position
            (*detected_word) = ((*manchester_word) >> 2) & 0xFFFF;
            if(frame_state == IDLE){
                if((*detected_word) == SYNC_SYMBOL_MANCHESTER) return 2 ;
            }
        }
        return 1 ;
        // byte with correct framing
    } else if(frame_state != IDLE && time_from_last_sync == 20){
        (*detected_word) = ((*manchester_word) >> 2) & 0xFFFF;
        return 1 ;
    }
}

```

```

return 0 ;
}

inline int insert_edge( long * manchester_word, char edge, int edge_period, int * time_from_last_sync,
unsigned int * detected_word){
int new_word = 0 ;
int is_a_word_value = 0 ;
int sync_word_detect = 0 ;
if( ((*manchester_word) & 0x01) != edge ){ //mak sure we don't have same edge ...
if(edge_period > (SAMPLE_PER_SYMBOL+1)){
unsigned char last_bit = (*manchester_word) & 0x01 ;
(*manchester_word) = ((*manchester_word) << 1) | last_bit ; // signal was steady for longer
than a single symbol,
(*time_from_last_sync) += 1 ;
is_a_word_value = is_a_word(manchester_word, (*time_from_last_sync), detected_word);
if(is_a_word_value > 0){ //found start stop framing
new_word = 1 ;
(*time_from_last_sync) = 0 ;
if(is_a_word_value > 1) sync_word_detect = 1 ; //we detected framing and sync word in manchester
format
}
}
//storing edge value in word
if(edge < 0){
(*manchester_word) = ( (*manchester_word) << 1) | 0x00 ; // signal goes down
}else{
(*manchester_word) = ( (*manchester_word) << 1) | 0x01 ; // signal goes up
}
(*time_from_last_sync) += 1 ;
is_a_word_value = is_a_word(manchester_word, (*time_from_last_sync), detected_word);
if(sync_word_detect == 0 && is_a_word_value > 0){ //if sync word was detected at previous position,
don't take word detection into account
new_word = 1 ;
(*time_from_last_sync) = 0 ;
}
}else{
new_word = -1 ;
}
return new_word ;}

#define EDGE_THRESHOLD 4 /* Defines the voltage difference between two samples to detect a
rising/falling edge. Can be increased depending on the environment */
int oldValue = 0 ;
int steady_count = 0 ;
int dist_last_sync = 0 ;
unsigned int detected_word = 0;
int new_word = 0;
char old_edge_val = 0 ;
void sample_signal_edge(){

```

```

charedge_val ;
intsensorValue = ADC_read_conversion(); // read result of previously triggered conversion
ADC_start_conversion(SENSOR_PIN); // start a conversion for next loop
#ifdef DEBUG
#ifdef DEBUG_ANALOG
Serial.println(sensorValue, DEC);
#endif
#endif
if((sensorValue - oldValue) > EDGE_THRESHOLD) edge_val = 1 ;
else if((oldValue - sensorValue) > EDGE_THRESHOLD) edge_val = -1;
else edge_val = 0 ;
oldValue = sensorValue ;
if(edge_val == 0 || edge_val == old_edge_val || (edge_val != old_edge_val && steady_count < 2)){
if(steady_count < (1 * SAMPLE_PER_SYMBOL)){
steady_count ++ ;
}
} else {
new_word = insert_edge(&shift_reg, edge_val, steady_count, &(dist_last_sync), &detected_word);
if(dist_last_sync > (8 * SAMPLE_PER_SYMBOL)){ // limit dist_last_sync to avoid overflow problems
dist_last_sync = 32 ;
}
}

old_edge_val = edge_val ;
}
int add_byte_to_frame(char * frame_buffer, int * frame_index, int * frame_size, enum receiver_state *
frame_state, unsigned char data){
if(data == SYNC_SYMBOL /* && (*frame_index) < 0 */){
(*frame_index) = 0 ;
(*frame_size) = 0 ;
(*frame_state) = SYNC ;
//Serial.println("SYNC");
return 0 ;
}
if((*frame_state) != IDLE){ // we are synced
frame_buffer[*frame_index] = data ;
(*frame_index) ++ ;
if(data == STX){
//Serial.println("START");
(*frame_state) = START ;
return 0 ;
} else if(data == ETX){
//Serial.println("END");
(*frame_size) = (*frame_index) ;
(*frame_index) = -1 ;
(*frame_state) = IDLE ;
//Serial.println("END");
return 1 ;
}
}

```

```
}else if((*frame_index) >= 38){ //frame is larger than max size of frame ...
    (*frame_index) = -1 ;
    (*frame_size) = -1 ;
    (*frame_state) = IDLE ;
return -1 ;
}else{
    (*frame_state) = DATA ;
}
return 0 ;
}
return -1 ;
}
// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
    // initialize serial communication at 115200 bits per second:
    int i;
    Serial.begin(115200);
    Serial.println("Start of receiver program");
    ADC_setup();
    ADC_start_conversion(SENSOR_PIN);
    //analogReference(INTERNAL); // internal reference is 1.1v, should give better accuracy for the mv
    range of the led output.
    Timer1.initialize(SYMBOL_PERIOD/SAMPLE_PER_SYMBOL); //1200 bauds oversampled by
    factor 4
    Timer1.attachInterrupt(sample_signal_edge);
}
// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
    int i;
    unsigned char received_data;
    charreceived_data_print ;
    intnb_shift ;
    intbyte_added = 0 ;
    if(new_word == 1){
        received_data = 0 ;
        for(i = 0 ; i < 16 ; i = i + 2){ //decoding Manchester
            received_data = received_data<<1 ;
            if(((detected_word>> i) & 0x03) == 0x01){
                received_data |= 0x01 ;
            }else{
                received_data&= ~0x01 ; } }
            received_data = received_data&0xFF ;
            #ifdef DEBUG
            Serial.print(received_data& 0xFF, HEX);
            Serial.print(", ");
            Serial.println((char) received_data);
            #endif
            new_word = 0 ;
```

```
if((byte_added = add_byte_to_frame(frame_buffer, &frame_index, &frame_size,
&frame_state, received_data)) > 0){
frame_buffer[frame_size-1] = '\0';
Serial.println(&(frame_buffer[1])); }}}
```

Mise à jour de récepteur pour la dernière application :

```
new_word = 0 ;

if((byte_added = add_byte_to_frame(frame_buffer, &frame_index, &frame_size, &frame_state,
received_data)) > 0) {
frame_buffer[frame_size - 1] = '\0';
    WORD = frame_buffer[1];
if (WORD == MsgFrein) {
Serial.println("freingerequis");
digitalWrite(Frein, HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(Frein, LOW);
    }
else{
Serial.println(&(frame_buffer[1]));
    }
}
```