



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي

Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de maintenance en instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Génie Industriel

Thème

**Réalisation d'un système basé sur le LI-FI et IOT
pour le télésoin des patients.**

Présenté et soutenu publiquement par :

LAHMAR Azeddine et TAMI Farid

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
BOUCHAALA Mohammed Abdelghani	MCB	Université Oran 2	Président
METAHRI Dhiyaeddine	MCB	Université Oran 2	Encadrant
TITAH Mawloud	MCB	Université Oran 2	Examinateur

Année 2022/2023



Dédicace

Tous ceux qui croyaient en moi.

Tous ceux qui m'ont encouragé.

À toute ma famille.

Mon père l'homme qui m'a appris le sens de la vie a fait de moi un homme, Merci beaucoup.

Je demande à dieu de prolonger ta vie.

Ma chère mère je suis désolée pour ton insomnie et ton travail sur moi toute ma vie, tu es la
vie et la mort, je t'aime. Mes sœurs,

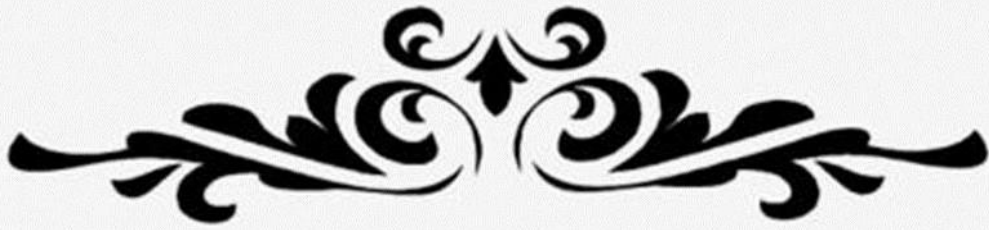
Mon binôme Azeddine lahmar à tous mes amis.

Mes frères Hamid, Maamar, Walid, Aziz, Abdelatif, Faysal.

Ce travail Ça n'aurait pas été possible sans vous,

Merci pour tout.

Tami Farid



Dédicace

À ma famille, votre soutien inébranlable a été le pilier de ma réussite.

À ma chère épouse, ta présence et ton amour ont été ma source de tranquillité et d'inspiration.

À mon fils, Mohamed Yazane, et à ma fille, Razane, vous êtes la lumière de ma vie et ma plus grande fierté.

À mon père, l'homme qui m'a appris le sens de la vie et a fait de moi l'homme que je suis aujourd'hui, je te remercie du fond du cœur. Je prie Dieu pour qu'il prolonge ta vie.

À ma chère mère, dont l'amour et le dévouement n'ont jamais faibli malgré ses insomnies et son travail acharné pour mon bien-être tout au long de ma vie. Tu es tout pour moi, et je t'aime profondément.

À mes sœurs, qui ont toujours été là pour moi.

À mon binôme, Farid Tami, et à tous mes amis - votre amitié et votre collaboration ont été inestimables.

À mon groupe de travail, SIM, votre soutien et votre travail d'équipe ont été essentiels à notre réussite commune.

Sans oublier tous mes amis étudiants, votre camaraderie a enrichi mon parcours éducatif.

Ce travail n'aurait pas été possible sans vous tous. Merci du fond du cœur pour tout ce que vous avez fait pour moi.

Lahmar Azeddine



Remerciement

Tout d'abord, nous tenons à exprimer notre gratitude infinie envers Allah, l'Omnipotent et le Clairvoyant, pour tous ses bienfaits incommensurables. C'est lui qui nous a accordé la force, le courage et la détermination nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous souhaitons également exprimer notre sincère appréciation envers chaque membre du jury pour l'intérêt qu'ils ont manifesté envers notre recherche, en acceptant d'examiner et d'évaluer notre travail.

Par ailleurs, nous aimerions exprimer notre profonde reconnaissance envers notre superviseur, Dr. METAHRI Dhiyaeddiine. Son écoute attentive, sa disponibilité constante pour nous guider et nous conseiller ont été indispensables à la réalisation de notre projet. Sans lui, la conception de notre système n'aurait pas été possible.

Nous tenons également à remercier chaleureusement toutes les personnes qui nous ont soutenus tout au long de notre parcours académique. Leurs aide a été inestimable.

Enfin, ces remerciements ne sauraient être complets sans la mention de toutes les personnes qui nous ont soutenus par leurs conseils, leurs encouragements et leurs prières pour nous voir réussir. C'est grâce à leur soutien que nous avons pu atteindre ce point aujourd'hui.

« Réalisation d'un système basé sur le Li-Fi et IOT pour le télé soin des patients »

Résumé :

Notre projet vise à créer un système de télésoins basé sur la technologie Li-Fi, utilisant la lumière visible pour la transmission de données médicales. Cette approche offre une sécurité accrue, car la lumière ne traverse pas les murs, réduisant les risques de piratage. De plus, le Li-Fi permet des transferts de données rapides en temps réel, essentiels pour surveiller des paramètres médicaux critiques. Les patients peuvent ainsi suivre leur état de santé depuis chez eux, tandis que les professionnels de la santé disposent de données précises pour des décisions éclairées. Cette solution contribue également à alléger la pression sur les infrastructures médicales traditionnelles.

Mots clés: Li-Fi, IOT, Télésoins, E-santé, Monitoring.

"Development of a Li-Fi and IoT-Based System for Remote Patient Care"

Abstract:

Our project aims to create a remote patient care system based on Li-Fi technology, utilizing visible light for the transmission of medical data. This approach offers enhanced security as light does not penetrate walls, reducing the risk of hacking. Additionally, Li-Fi enables real-time, high-speed data transfers, which are crucial for monitoring critical medical parameters. Patients can thus monitor their health status from the comfort of their homes, while healthcare professionals have access to precise data for informed decision-making. This solution also helps alleviate the burden on traditional medical infrastructure.

Keywords: Li-Fi, IoT, Remote Patient Care, E-Health, Monitoring.

"إنشاء نظام يعتمد على لاي-فاي و انترنت الاشياء لرعاية المرضى عن بعد"

الملخص:

يهدف مشروعنا إلى إنشاء نظام رعاية عن بعد يعتمد على تقنية لاي-فاي ، باستخدام الضوء المرئي لنقل البيانات الطبية. يوفر هذا الأسلوب مزيداً من الأمان لأن الضوء لا يمر عبر الجدران، مما يقلل من خطر الاختراق. بالإضافة إلى ذلك، تتيح تقنية لاي-فاي نقل البيانات بسرعة وفي الوقت الفعلي، وهو أمر ضروري لمراقبة المعلومات الطبية الحرجة. يمكن للمرضى مراقبة صحتهم من المنزل، بينما يمتلك متخصصو الرعاية الصحية بيانات دقيقة لاتخاذ قرارات مستنيرة. ويساعد هذا الحل أيضاً في تخفيف الضغط على البنية التحتية الطبية التقليدية.

الكلمات المفتاحية: لاي-فاي ،انترنت الاشياء، الرعاية عن بعد، الصحة الإلكترونية، المراقبة

Tables des matières

Introduction générale.....	01
Chapitre I: La technologie Li-Fi	
I.1 Introduction.....	02
I.2 Définition LI-FI	02
I.3 Historique.....	03
I.4 Architecture d'un réseau Li-Fi.....	04
I.4.1 Émetteur lumineux	05
I.4.2 Photodétecteur.....	05
I.4.3 Modulation	05
I.4.4 Contrôleur.....	05
I.4.5 Interface utilisateur.....	05
I.5 Fonctionnement	06
I.5.1 Encodage des données.....	06
I.5.2 Modulation de la lumière	06
I.5.3 Transmission	06
I.5.4 Réception.....	06
I.5.5 Démodulation et décodage.....	06
I.5.6 Traitement des données.....	06
I.6 Domaine d'application.....	07
I.6.1 Localisation indoor.....	07
I.6.2 Aviation.....	08
I.6.3. Hôpitaux et soins de santé.....	09
I.6.4 Environnements dangereux.....	09
I.6.5 Communications sous-marines	10
I.7 Types de modulation d'un système Li-Fi	10
I.7.1 LiFi bidirectionnel point à point.....	10
I.7.2 LiFi à diffusion point à multipoint	11
I.7.3. Réseaux LiFi maillés	11
I.7.4 LiFi intégré aux systèmes d'éclairage.....	11
I.7.5 LiFi pour les véhicules	11
I.8 Sécurité d'une communication Li-Fi	12
I.8.1. Portée limitée.....	12
I.8.2 Absence d'interférences électromagnétiques.....	12
I.8.3 Cryptage	12
I.8.4 Authentification et contrôle d'accès	12
I.8.5 Localisation précise.....	12

Tables des matières

I.9 Entreprises de commercialisation du Li-Fi	13
I.9.1 Pure LiFi Basée	13
I.9.2 Oledcomm	13
I.9.3 Signify (anciennement Philips Lighting)	13
I.9.4 Velmenni	13
I.9.5 Lucibel.....	14
I .10 Le Li-Fi face au Wifi	14
I .11 Avantages du Li-Fi	16
I .12 Capacités de débit	17
I.13 Les travaux d'application de LIFI.....	18
I .14 Conclusion	19
Chapitre II: L'Internet des Objets (IoT)	
II. 1 Introduction.....	20
II.2 Histoire et évolution de l'IoT	20
II.3 Définition de l'Internet des Objets.....	22
II.4 Cycle de vie d'un objet connecté dans l'IoT	22
II.4.1 La phase préparatoire (bootstrapping)	22
II.4.2 La phase opérationnelle	22
II.4.3 La phase de maintenance	23
II.5 Applications de l'IoT	23
II.5.1 Domotique (Smart Home)	23
II.5.2 Santé (e-santé).....	24
II.5.3 Transports (Smart Mobility)	24
II.5.4 Industrie (IoT industriel).....	24
II.5.5 Agriculture (Smart Agriculture)	25
II.5.6 Gestion de l'énergie (Smart Grid).....	25
II.6 Architecture réseau IOT	26
II.6 .1 Architecture IoT à quatre couches	27
II.6.1.1 Couche de perception	27
II.6.1.2 Couche réseau	28
II.6.1.3 Couche de traitement de données.....	28
II.6.1.4 Couche Applicative	28
II.6.1.5 Couche de sécurité	28
II.7 Technologies et protocoles de communication	29
II.7.1 Réseaux cellulaires.....	29
II.7.2 Réseaux sans fil à courte portée.....	29
II.7.2 a Wi-Fi.....	29

Tables des matières

II.7.2 b Bluetooth	30
II.7.2 c Zigbee et Z-Wave	30
II.7.3 Réseaux basse consommation et longue portée (LPWAN)	30
II.8 Sécurité et confidentialité	31
II.8.1 Authentification et contrôle d'accès	31
II.8.2 Cryptographie	31
II.8.3 Sécurité des réseaux	31
II.8.4 Mise à jour et gestion des correctifs	32
II.8.5 Surveillance et détection des anomalies	32
II.8.6 Confidentialité des données	32
II.8.7 Évaluation et gestion des risques	32
II.8.8 Conception sécurisée	33
II.9 Les avantages et inconvénients de l'IoT	33
II .9.1 Avantages de l'IoT	33
II .9.2. Inconvénients de l'IoT	34
II.10 Perspectives d'avenir.....	34
II.10.1 Croissance exponentielle des objets connectés.....	34
II.10.2 5G et connectivité améliorée	35
II.10.3 Intelligence artificielle (IA) et apprentissage automatique.....	35
II.10.4 Edge computing.....	35
II.10.5 IoT industriel (IIoT) et automatisation	35
II.10.6 Smart cities	35
II.10.7 Développement durable	35
II.10.8 Sécurité et confidentialité renforcées.....	35
II.11 Logiciels utilisés / les outils de travail	36
II.11.1 Arduino	36
II.11.2 NodeMCU ESP8266.....	39
II.11.3 Principe de fonctionnement	40
II.12 Communication Capteur/Cloud	40
II.13 Conclusion.....	46
 Chapitre III: La réalisation pratique du système LI-FI	
III.1 Introduction	47
III.2 Schéma synoptique de la réalisation	47
III.3 Le fonctionnement général du système de transmission Li-Fi.....	48
III.4 Logiciel et composant électrique	49
III.4.1 Présentation IDE ARDUINO.....	49
III.4.2 Transistor 2N222A.....	50

Tables des matières

III.5 Émetteur LI-FI.....	50
III.5.1 Schéma structurel	51
III.5.2 Fonctionnement du schéma électronique.....	51
III.5.3 Alimentation	53
III.5.4 Transmission : le code ASCII.....	54
III.5.5 Modulation:On-Off Keying (OOK).....	54
III.5.6 Organigramme	55
III.5.7 Résultat pratique(emetteur)	56
III.6 Récepteur LI-FI.....	57
III.6.1 Schéma structurel	57
III.6.1.1. Fonctionnement du schéma électronique.....	58
III.6.2. Alimentation	59
III.7 Organigramme.....	61
III.7.1 Installation et configuration NodeMCU	63
III.8 Résultat pratique (recupteur).....	63
III.9 Généralités sur les capteurs	63
III.9.1 Définition d'un capteur	63
III.10 Applications médicales	64
III.10.1 Le principe de fonctionnement d'un oxymètre de pouls.....	64
III.10.2 La mesure de la fréquence cardiaque.....	65
III.11 Avantages et fonctionnalités	65
III.12 Description les capteurs	65
III.12.1 MAX30102	66
III.12.1 DHT22 :.....	67
III.12.1 LDR (photo résistance)	67
III.13 Conclusion.....	68
Chapitre IIV : Développement d'un système de télésoins	
IV. 1 Introduction.....	69
IV.2 Objectifs de l'étude.....	69
IV.3 Portée et limitations	70
IV.4 Technologies de communication sans fil en milieu médical	71
IV.5 Principes et avantages du Li-Fi de domaine médical.....	71
IV.6 Application de l'IoT et Li-Fi dans le domaine de la santé	72
IV.7 Systèmes de télésoins et monitoring des patients	73
IV.8 Effets de la Température et de l'Humidité sur la Récupération des Patients	74
IV.9 Le rôle de la température et de l'humidité dans le rétablissement du patient.....	75
IV.10 Les normes de saturation en oxygène	76

Tables des matières

IV.11 Fréquence cardiaque : Variation en fonction de l'âge et de l'activité physique	78
IV.12 plateforme Firebase	79
IV.12.1 Principaux services de Firebase	73
IV.12.2 Utilité de Firebase dans le système de télésoins	74
IV.12.3 Firebase Authentification et Cloud Messaging	80
IV.12.4 Ajouter firebase dans projet	80
IV.13 Prototype finale	81
IV.14 Test et résultats	82
IV.15 Variation de la distance de transmission	83
IV.16 Résultats et discussions	87
IV.17 Perspectives et travaux futurs	88
IV.18 Conclusion	88
Conclusion Générale	89
Références bibliographiques	90
Annexes	94

Liste des figures

Figure I.1: Logo Hot Spot Li-Fi	02
Figure I.2 : Architecture d'un système Li-Fi.....	04
Figure I.3 : Fonctionnement d'un réseau Li-Fi.	07
Figure I.4 : Utilisation de la VLC pour localisation indoor	08
Figure I.5 : Utilisation de la VLC dans l'avion.....	08
Figure I.6 :Illustration des systèmes VLC appliqués au domaine médical	09
Figure I.7 : Utilisation de VLC dans la communication sous-marine.....	10
Figure I.8 : Communication V2V ET I2V	11
Figure II.1 : Evolution de l'IoT.	21
Figure II.2 : L'Internet des Objets.....	22
Figure.II.3 : Maison intelligent.....	23
Figure.II.4 : Domaines d'application au secteur de santé.....	24
Figure II.5 : Domaine D'application de l'IOT	25
Figure II.6 : Architecture IoT à quatre couches.	26
Figure II.7 : Communication sans fil par Wi-Fi.....	29
Figure II.8 : logo de Bluetooth	30
Figure II.9 : Arduino Uno.....	37
Figure II.10 : schéma Arduino UNO.....	37
Figure II.11 : La carte NodeMCU ESP8266	39
Figure II.12 : Communication Capteur/Cloud	40
.....	46
Figure III.1 : Schéma synoptique d'un système LI-FI.....	47
Figure III.2 : logo de l'Arduino IDE	49
Figure III.3 : Interface pour écrire le code	49
Figure III.4 : image description 2N222A	50
Figure III.5 : Schéma structurel de l'émetteur LI-FI.....	51
Figure III.6: Schéma électronique (émetteur)	52
Figure III.7 : montage au niveau d'émetteur.	52
Figure III.8: test réel d'émetteur.....	53
Figure III.9 : prise USB.....	53
Figure III.10 : alimentation de la carte Arduino	54
Figure III.11 : prise jack.	54

Liste des figures

Figure III.12 : Organigramme d'émetteur.....	55
Figure III.13 : test réel de programme.....	56
Figure III.14 : Afficher les résultats de com03 de l'émetteur (moniteur série).	56
Figure III.15 : Schéma synoptique du récepteur.	57
Figure III.16 : Schéma électronique (récepteur).	58
Figure III.17: montage au niveau de réception	59
Figure III.18 : câble USB	59
Figure III.19 : Image d'une alimentation externe	60
Figure III.20 : test réel d'émetteur.....	61
Figure III.21 : organigramme de récepteur	62
Figure III.22 : test réel de programme.....	63
Figure III.23 : Afficher les résultats de com05 de récepteur (moniteur série).	64
Figure III.24 : Oxymètre de pouls.....	64
Figure III.25 : La mesure de la fréquence cardiaque.....	65
Figure III. 26 : Schéma du module MAX30102.....	66
Figure III.27 : Capteur DHT2.....	67
Figure III.28 : Image pour capteur LDR.....	68
Figure IV.1 : WIFI.	66
FigureIV.2 : Bluetooth.	66
FigureIV.3 : Testé dans une salle d'opération de neurochirurgie de l'hôpital	67
Figure IV.4 : plusieurs apportent dans les hôpitaux.....	68
Figure IV.5 : Sang oxyhémoglobine en bleu, sang désoxyhémoglobine en jaune.....	69
Figure IV.6 : Certain outils mis à disposition aux développeurs	73
Figure IV.7 : Interface d'accueil de Firebase.....	74
Figure IV.8: Firebase Cloud Messaging.....	74
Figure IV.9 : Résultat dans la plateforme firebase.....	76
Figure IV.10 : Le résultat est obtenu à partir d'une distance de 5 cm.	77
Figure IV.11 : afficher résultat obtenu dans série monitor 5 cm.....	77
Figure IV.12 : Le résultat est obtenu à partir d'une distance de 8 cm.	78
Figure IV.13 : afficher résultat obtenu dans série monitor 8 cm.....	78
Figure IV.14 : Le résultat est obtenu à partir d'une distance de 15 cm... ..	79
Figure IV.15 : afficher résultat obtenu dans série monitor 15 cm.....	79
Figure IV.16 : Le résultat est obtenu à partir d'une distance de 22 cm.	80
Figure IV.17 : afficher résultat obtenu dans série monitor 22 cm... ..	80
Sélectionner la configuration.....	84

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Li-Fi vs Wifi.....	14
Tableau II.1 Arduino Uno input and output (analogique).....	39
Tableau II.2 Arduino Uno input and output (digital)	40
Tableau IV.1 : indice humidex Pour une température optimale et une humidité optimale pour la santé du patient.....	74
Tableau IV.2 : Fréquence cardiaque en fonction de l'âge.....	77
Sélectionner la configuration.....	98

ASCII : American Standard Code for Information Interchange.

CAO : Conception Assisté par Ordinateur.

CAN: Convertisseur Analogique Numérique.

C : Langage de programmation.

C++ : Langage de programmation compilé.

COM: Communication port.

GHZ: Gigahertz.

GPS: Global Positioning System.

GSP: Global Positioning System.

I2V: Infrastructure / véhicule

IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

IoT: Internet of Things.

IDE: Integrated Development Environment.

KHZ: Kilohertz.

LDR: Light Dependent Resistor.

LD: Laser Diodes.

Li-Fi: Light Fidelity

LED: Light Emitting Diode.

Ook : Modulation tout ou rien.

PC: Personal Computer.

PD: Photodiode.

PSK: Phase-shift keying.

PWM: Pulse Width Modulation.

QAM: Quadrature Amplitude Modulation.

RF: Radiofréquence.

RSS: Really Simple Syndication.

THZ: Terahertz.

USB: Universal Serial Bus.

V2V: Véhicule/ véhicule

VLC: Visible Light Communication

Wi-Fi: Wireless Fidelity.

Introduction générale :

Introduction générale :

La révolution technologique a apporté des changements profonds dans de nombreux domaines de la société, y compris celui des soins de santé. Les avancées dans le domaine de la télémédecine ont permis d'explorer de nouvelles approches pour la surveillance et le suivi des patients à distance. Dans ce contexte, notre mémoire se concentre sur la convergence de deux technologies innovantes, à savoir le Li-Fi (Light Fidelity) et l'Internet des objets (IoT), pour créer un système de monitoring des patients à distance.

Le Li-Fi est une technologie émergente qui utilise la lumière visible pour transmettre des données à des vitesses élevées, offrant ainsi une alternative prometteuse aux réseaux sans fil traditionnels. L'IoT, de son côté, permet la connectivité de divers appareils et objets, ouvrant ainsi la voie à une multitude d'applications, notamment dans le domaine de la santé. Notre mémoire explore comment ces deux technologies peuvent être combinées pour créer un système de télésoins novateur.

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres, chacun abordant des aspects spécifiques de notre projet. Dans le premier chapitre, nous fournirons des informations détaillées sur la technologie Li-Fi, en expliquant son fonctionnement, ses avantages et ses limitations. Le deuxième chapitre sera consacré à une présentation générale de l'Internet des objets.

Le troisième chapitre détaillera les étapes de conception et de réalisation de notre dispositif Li-Fi, comprenant à la fois l'émetteur et le récepteur. Nous expliquerons comment ces composants ont été développés pour collecter les paramètres vitaux des patients de manière précise et efficace.

Enfin, le quatrième chapitre se concentrera sur la mise en œuvre de notre système de télésoins, en mettant en avant les avantages qu'il offre aux patients et aux professionnels de la santé.

Dans l'ensemble, ce mémoire vise à démontrer comment l'intégration du Li-Fi et de l'IoT peut ouvrir de nouvelles perspectives dans le domaine du monitoring des patients à distance, offrant une solution sécurisée, rapide et efficace pour améliorer les soins de santé accessibles à tous.

I.1 Introduction :

La technologie Li-Fi, connue sous le nom de « Light Fidelity », est un acteur majeur de l'internet de demain. C'est un système de communication sans fil dans lequel la lumière est utilisée comme signal porteur au lieu de la fréquence radio traditionnelle comme dans le Wi-Fi.

En utilisant des diodes électroluminescentes pour transmettre des données sans fil, le Li-Fi est une application des communications par lumière visible.

Dans ce chapitre, nous nous pencherons sur les généralités du Li-Fi, en définissant et en expliquant les différents types de communication, ainsi que les modalités de modulation utilisées dans ce système. De plus, nous examinerons attentivement les avantages et les inconvénients de la communication sans fil. L'objectif est de fournir une vue d'ensemble complète de ces sujets clés, afin de mieux comprendre les fondements du Li-Fi et son contexte dans le paysage des communications modernes.

I.2 Définition LI-FI :

Le LiFi est une technologie de communication sans fil qui utilise la lumière visible pour transmettre des données numériques. Il repose sur la modulation rapide de l'intensité lumineuse des diodes électroluminescentes (LED) pour encoder et transmettre des informations.

La lumière modulée est ensuite captée par un récepteur photodétecteur, qui convertit les variations d'intensité lumineuse en données numériques.

Le LiFi permet des transmissions de données rapides et sécurisées, avec une portée limitée à la portée visuelle directe entre l'émetteur et le récepteur [1].



Figure I.1: Logo Hot Spot Li-Fi.

I.3 Historique :

L'histoire du LiFi remonte à 2011, lorsque le professeur Harald Haas de l'Université d'Édimbourg a présenté cette technologie pour la première fois lors d'une conférence TED. Il a démontré que les variations rapides et imperceptibles de l'intensité lumineuse des diodes électroluminescentes (LED) pouvaient être utilisées pour transmettre des données.

Les recherches sur le LiFi ont progressé rapidement depuis cette première démonstration, et plusieurs prototypes ont été développés pour des applications potentielles dans des domaines tels que l'aviation, l'automobile, les communications à haut débit et la sécurité des réseaux

En 2013, l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) a publié le premier standard de communication LiFi, appelé IEEE 802.15.7. Depuis lors, de nombreuses améliorations et mises à jour ont été apportées pour augmenter la portée, la vitesse et la fiabilité de cette technologie.

En janvier 2014, le premier smartphone équipé Li-Fi est présenté au CES à Las Vegas

Par la société Française SunPartner. En avril 2014, la société russe Stins Coman a annoncé le Développement d'un réseau sans fil Li-Fi, réseau local appelé Beam Caster. Leur module actuel transfère des données à 1,25 gigaoctet par seconde mais prévoit d'augmenter la vitesse jusqu'à 5 Go/seconde. [2]

Fin 2015, une multiplication de sites pilotes notamment en France et en Europe a vu le jour. L'hôpital de Perpignan est le premier établissement de santé à avoir testé le Li-Fi dans un service d'urgences. Le réseau permet l'accès aux dossiers des patients.

En 2016, on parle de système bidirectionnel. Un prototype de luminaire bidirectionnel et haut débit Li-Fi, développé par la société française Lucibel, a été testé au siège du constructeur immobilier Sogreprom en France. [3]

En 2018, Oledcomm, une startup française, a présenté la MyLiFi une lampe de bureau LED qui diffuse une connexion Internet sans fil via la lumière en utilisant la technologie Li-Fi

En 2019, au salon high-tech à Las Vegas, Oledcomm est de retour avec un autre produit

Baptisé LiFiMax, offrant un débit de 100 Mbit/s en débit descendant et 40 Mbit/s en flux

Montant.

Aujourd'hui, le LiFi continue d'évoluer et de se rapprocher de l'adoption grand public, avec des applications potentielles dans divers secteurs, notamment les hôpitaux, les écoles, les transports en commun et les environnements industriels, où la sécurité et la réduction des interférences électromagnétiques sont cruciales.

I.4 Architecture d'un réseau Li-Fi :

La conception Li-Fi est composée d'un grand nombre d'éclairages à LED utilisé pour la transmission optique en appliquant une tension constante et un courant constant.

Comme expliqué dans [4]. Comme illustré à la figure I.2, les terminaux peuvent se connecter à Internet via une lampe à LED. Le driver (pilote à lampe) permet de contrôler la luminosité des LEDs selon l'environnement et les données reçues.

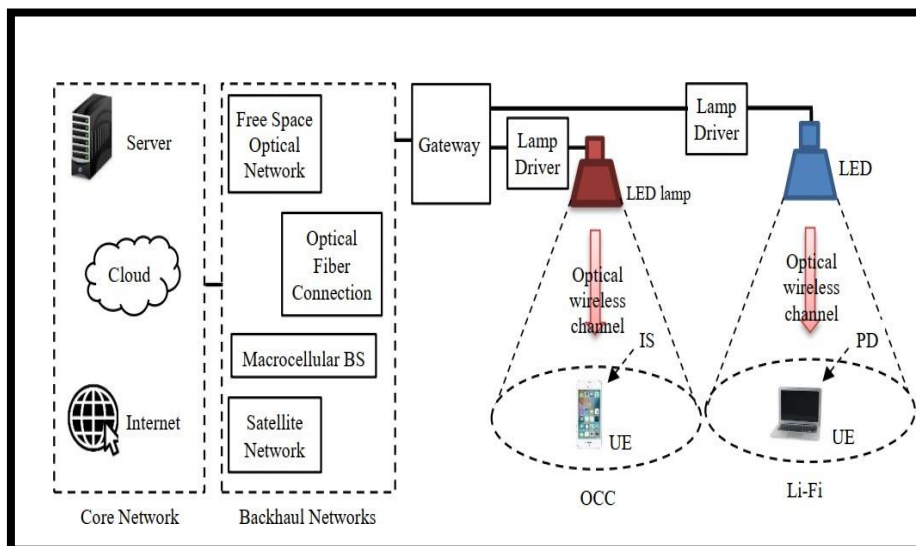


Figure I.2 : Architecture d'un système Li-Fi. [5]

L'architecture du LiFi repose sur plusieurs composants clés pour assurer la communication sans fil à l'aide de la lumière visible. Voici les éléments principaux d'un système LiFi :

I.4.1 Émetteur lumineux :

Une diode électroluminescente (LED) sert d'émetteur lumineux. Les LED sont capables de moduler leur intensité lumineuse à des vitesses extrêmement élevées, ce qui permet de transmettre des données en codant les informations dans les variations d'intensité lumineuse.

I.4.2 Photodétecteur :

Un photodétecteur, tel qu'une photodiode, est utilisé pour recevoir les signaux lumineux émis par l'émetteur. Le photodétecteur convertit les variations d'intensité lumineuse en courant électrique, qui est ensuite décodé en informations numériques.

I.4.3 Modulation :

La modulation consiste à adapter le signal lumineux pour encoder les données à transmettre. Les techniques de modulation courantes incluent la modulation d'intensité en ondes portées (OOK) et la modulation par déplacement de phase (PSK).

I.4.4 Contrôleur :

Un contrôleur, généralement un microcontrôleur ou un processeur de signal numérique (DSP), gère la modulation et le décodage des signaux lumineux, ainsi que la communication avec les autres composants du système.

I.4.5 Interface utilisateur :

Les dispositifs LiFi sont souvent équipés d'une interface utilisateur qui permet la connexion à des appareils électroniques, tels que des smartphones, des tablettes ou des ordinateurs portables. L'interface peut être filaire (comme un port USB) ou sans fil (comme le Bluetooth).

En résumé, l'architecture LiFi repose sur l'émission de signaux lumineux modulés par des LED, la réception de ces signaux par un photodétecteur, et la gestion de la communication par un contrôleur. L'interface utilisateur permet la connexion à des appareils pour l'échange de données.

I.5 Fonctionnement :

Le fonctionnement du LiFi (Light Fidelity) repose sur la transmission de données par le biais de la lumière visible. Les étapes clés du processus sont les suivantes :

I .5.1 Encodage des données :

Les données à transmettre sont converties en un format compatible avec la technologie LiFi. Cela implique généralement la modulation du signal numérique en un signal lumineux.

I .5.2 Modulation de la lumière :

Les diodes électroluminescentes (LED) sont utilisées pour émettre les signaux lumineux. Les LED modulent leur intensité lumineuse à des vitesses très élevées, qui sont imperceptibles à l'œil humain, pour représenter les données binaires (1 et 0).

I .5.3 Transmission :

Les signaux lumineux modulés sont transmis dans l'environnement. Contrairement aux ondes radio utilisées par le Wi-Fi les signaux Li-Fi ne traversent pas les murs et sont limités à la portée visuelle directe. Cela peut être un avantage en termes de sécurité et de réduction des interférences.

I .5.4 Réception :

Une photo détectrice, tel qu'une photodiode, capte les signaux lumineux. Ce composant est sensible aux variations d'intensité lumineuse et les convertit en courant électrique.

I .5.5 Démodulation et décodage :

Le courant électrique généré par la photo détectrice est démodulé et décodé pour extraire les données numériques. Un microcontrôleur ou un processeur de signal numérique (DSP) peut être utilisé pour gérer ce processus.

I .5.6 Traitement des données :

Les données reçues sont traitées par l'appareil destinataire (ordinateur, smartphone, etc.) et utilisées conformément à leur objectif, qu'il s'agisse de la navigation sur Internet, de l'envoi d'e-mails ou d'autres applications.

Le LiFi fonctionne donc en modulant la lumière émise par les LED pour transmettre des données, qui sont ensuite reçues, décodées et traitées par un dispositif compatible équipé d'un photodétecteur. Comme illustré à la figure I.3

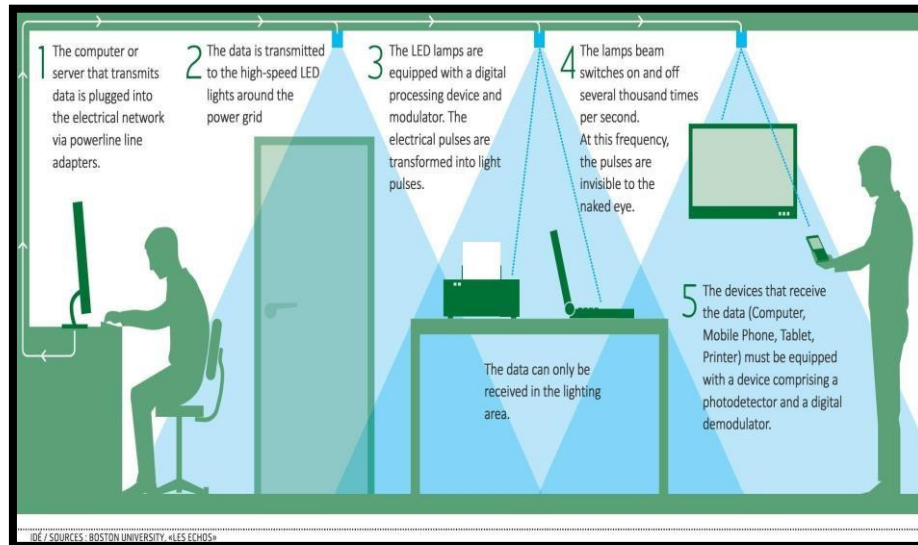


Figure I.3 : Fonctionnement d'un réseau Li-Fi. [6]

I.6 Domaine d'application :

Le LiFi n'existe que depuis quelques années, mais les applications se sont rapidement multipliées et diversifiées. Cette multiplication des usages est naturellement fortement couplée au remplacement rapide des lampes traditionnelles par des systèmes à LED, ce qui a permis au passage de se poser la question de l'optimisation fonctionnelle des équipements. De même, l'essor important des objets connectés permet d'avoir un terreau favorable à l'expansion du LiFi.

Il est possible de distinguer deux grandes familles d'applications pour le LiFi : les applications en espace confiné, on trouvera fréquemment la terminologie indoor, car cela fait référence à l'intérieur des bâtiments, et les applications en extérieur (outdoor), où le terme « VLC » est plus souvent utilisé que le terme « LiFi », et parmi ces domaines que LiFi est utilisé :

I.6.1 Localisation indoor :

En plus du Li-Fi, la VLC peut fournir très efficacement la localisation en intérieur. En déterminant le temps d'arrivée (TOA) ou la puissance du signal reçu (RSS), et en utilisant des techniques de localisation (triangulation, trilateration

, proximité et fingerprinting), la VLC est capable de fournir une localisation avec une précision centimétrique. Le GPS classique ne peut pas fonctionner à l'intérieur des bâtiments. VLC est très pratique dans ces applications.

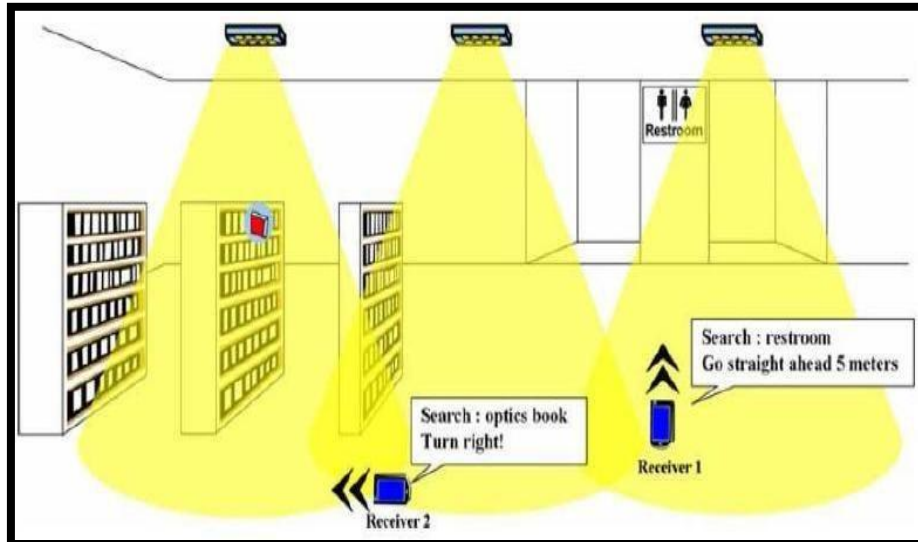


Figure I.4 Utilisation de la VLC pour localisation indoor

I.6.2 Aviation :

Les passagers ne peuvent pas utiliser les ondes radio. Les éclairages à base de LED sont déjà utilisés dans les cabines d'aéronefs et chacun de ces éclairages pourrait être un potentiel émetteur VLC pour fournir à la fois des services d'éclairage et des services multimédias aux passagers. De plus, cela réduira les coûts de construction de l'avion et son poids.



Figure I.5 Utilisation de la VLC dans l'avion.

I.6.3. Hôpitaux et soins de santé :

Dans les salles où les patients critiques sont pris en charge ; par mesure de précaution, le Wi-Fi n'est pas autorisé à éviter les effets indésirables anticipés dus aux rayonnements sur les paramètres de santé du patient. Il y a des chances que le signal puisse bien interférer avec les équipements médicaux. À l'ère où l'on parle de méthodes de traitement médical basées sur la robotique; dans un tel scénario, le LiFi peut être adopté pour changer la donne.



Figure I.6 Illustration des systèmes VLC appliqués au domaine médical.

I.6.4 Environnements dangereux :

Dans des environnements tels que les usines pétrochimiques, les mines...etc., les radiofréquences sont potentiellement dangereuses car il existe des risques d'explosion, ce qui rend la communication difficile. VLC peut être utilisée dans ce domaine, car il s'agit d'une technologie sûre qui fournit à la fois un éclairage et la communication.

Concernant les applications extérieures, il existe un domaine où la technologie VLC propose une solution performante là où la technologie RF n'en apporte pas.

I.6.5 Communications sous-marines :

VLC peut prendre en charge des débits de données élevés sous l'eau, là où d'autres technologies sans fil comme les RF ne fonctionnent pas. Ainsi, les communications entre les plongeurs ou les véhicules télécommandés sont possibles.

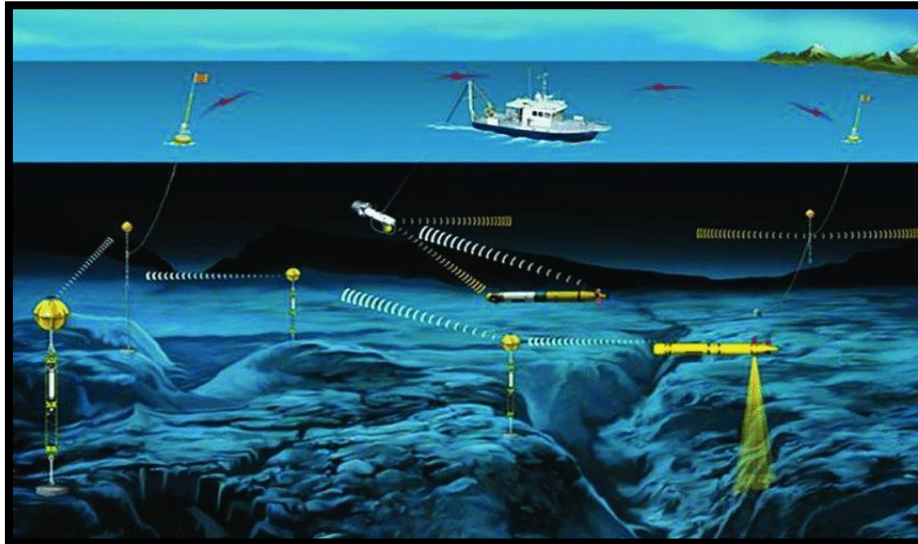


Figure I.7 Utilisation de VLC dans la communication sous-marine.

I.7 Types de modulation d'un système Li-Fi :

Il existe plusieurs types de LiFi basés sur les différentes configurations et applications de cette technologie. [7] Voici quelques exemples de systèmes LiFi :

I.7 .1 LiFi bidirectionnel point à point :

Ce type de LiFi permet la communication bidirectionnelle entre deux dispositifs spécifiques. Chaque dispositif est équipé d'un émetteur (LED) et d'un récepteur (photodétecteur) pour transmettre et recevoir des données.

Cette configuration peut être utilisée pour établir des connexions sécurisées entre des équipements ou pour créer des liaisons optiques sans fil à haut débit.

I.7.2 LiFi à diffusion point à multipoint :

Dans ce système, un émetteur LiFi central diffuse des données à plusieurs récepteurs LiFi dans la zone de couverture. Cette configuration peut être utilisée pour diffuser des informations ou des annonces à plusieurs utilisateurs simultanément, par exemple dans les gares, les aéroports ou les centres commerciaux.

I.7.3. Réseaux LiFi maillés :

Les réseaux LiFi maillés sont des systèmes où plusieurs dispositifs LiFi sont interconnectés pour créer un réseau étendu. Les données peuvent être relayées d'un dispositif à l'autre, ce qui permet une plus grande portée et une meilleure couverture. Cette configuration peut être utilisée dans les environnements industriels, les bâtiments intelligents ou les réseaux urbains.

I.7.4 LiFi intégré aux systèmes d'éclairage :

Le LiFi peut être intégré aux systèmes d'éclairage existants, comme les lampes LED ou les luminaires. Cette configuration permet de tirer parti de l'infrastructure d'éclairage pour transmettre des données, sans nécessiter de matériel supplémentaire. Cela peut être particulièrement utile dans les bâtiments publics, les hôpitaux ou les écoles, où l'éclairage est omniprésent.

I.7.5 LiFi pour les véhicules : Le LiFi peut être utilisé pour les communications entre véhicules (V2V) ou entre véhicules et infrastructures (V2I). Les phares et les feux arrière des véhicules peuvent être équipés de LED pour transmettre des informations, améliorant ainsi la sécurité routière et la gestion du trafic.

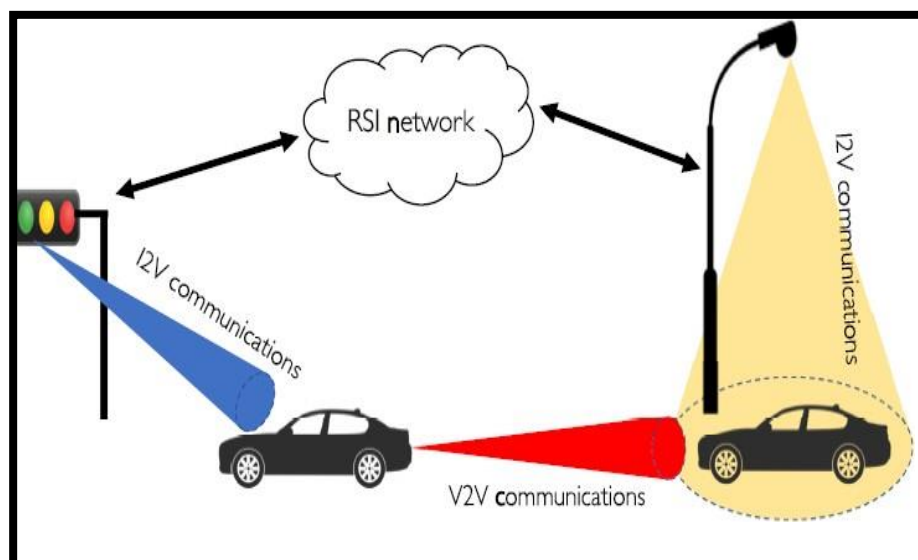


Figure I.8 Communication V2V ET I2V.

I.8 Sécurité d'une communication Li-Fi :

La technologie LiFi présente plusieurs avantages en matière de sécurité par rapport aux technologies sans fil traditionnelles, telles que le Wi-Fi. Voici quelques aspects clés de la sécurité du LiFi :

I.8.1. Portée limitée :

Contrairement aux ondes radio, la lumière visible ne traverse pas les murs et autres obstacles solides. Cela signifie que les signaux LiFi sont limités à la portée visuelle directe, réduisant ainsi la possibilité d'interception des données par des individus non autorisés se trouvant à l'extérieur de la zone de couverture.

I.8.2 Absence d'interférences électromagnétiques :

Le LiFi utilise la lumière visible, qui ne génère pas d'interférences électromagnétiques. Cela le rend particulièrement adapté aux environnements sensibles aux interférences, tels que les hôpitaux, les avions et les installations industrielles. Cette absence d'interférences rend également plus difficile l'écoute clandestine des communications LiFi.

I.8.3 Cryptage :

Comme pour les autres technologies de communication sans fil, les données transmises par LiFi peuvent être cryptées pour assurer leur confidentialité et leur intégrité. En utilisant des protocoles de cryptage robustes, il est possible de protéger les données contre l'accès non autorisé et le piratage.

I.8.4 Authentification et contrôle d'accès :

Les systèmes LiFi peuvent être conçus pour exiger une authentification et un contrôle d'accès, garantissant que seuls les utilisateurs autorisés peuvent se connecter au réseau et accéder aux données. Cela peut inclure l'utilisation de mots de passe, de certificats numériques ou d'autres mécanismes d'authentification pour sécuriser l'accès.

I.8.5 Localisation précise :

La technologie LiFi permet une localisation précise des dispositifs connectés, ce qui peut être utilisé pour renforcer la sécurité et le contrôle d'accès. Par exemple, les accès aux données sensibles pourraient être restreints aux utilisateurs se trouvant dans des zones spécifiques du bâtiment, limitant ainsi les risques de fuites d'informations [9].

En résumé, la sécurité du LiFi est renforcée par sa portée limitée, l'absence d'interférences électromagnétiques, la possibilité de crypter les données, l'authentification et le contrôle d'accès, ainsi que la localisation précise des dispositifs. Ces caractéristiques en font une option attrayante pour les environnements et les applications nécessitant une sécurité accrue des données.

I.9 Entreprises de commercialisation du Li-Fi :

Plusieurs entreprises travaillent sur la commercialisation de la technologie LiFi et proposent des produits et des solutions pour diverses applications. Certaines de ces entreprises sont :

I.9.1 Pure LiFi Basée :

En Écosse et cofondée par le professeur Harald Haas, pureLi-Fi est l'une des entreprises pionnières dans le domaine du LiFi. Elle développe et commercialise des solutions LiFi, notamment des adaptateurs USB, des luminaires équipés de LiFi et des systèmes de communication LiFi pour diverses industries.

I.9.2 Oledcomm :

Oledcomm est une entreprise française qui développe des solutions LiFi pour les secteurs de l'éducation, de la santé, de l'industrie et du transport. Leurs produits incluent des systèmes d'éclairage LiFi, des adaptateurs USB et des applications pour la communication entre véhicules (V2V) et entre véhicules et infrastructures (V2I).

I.9.3 Signify (anciennement Philips Lighting) :

Signify est un leader mondial dans le domaine de l'éclairage et travaille également sur la technologie LiFi. Ils ont développé Trulifi, une gamme de produits LiFi qui inclut des luminaires intégrés et des systèmes de communication LiFi pour les environnements professionnels et industriels.

I.9.4 Velmenni :

Velmenni est une entreprise d'origine indienne qui développe des solutions LiFi pour les réseaux de communication sans fil et l'Internet des objets (IoT). Ils travaillent sur diverses applications, notamment l'éclairage intelligent, la communication entre machines et les systèmes de localisation en intérieur.

I.9.5 Lucibel :

Lucibel est une entreprise française spécialisée dans les solutions d'éclairage LED et les services associés. Elle a développé le système LiFi by Lucibel, qui propose des solutions de communication sans fil sécurisées et à haut débit pour les environnements professionnels et industriels.

Ces entreprises et d'autres travaillent sur la commercialisation de la technologie LiFi, en développant des produits et des solutions adaptés à différents secteurs et applications. La technologie LiFi continue d'évoluer et de gagner en popularité, avec un potentiel d'adoption plus large dans les années à venir.

I .10 Le Li-Fi face au Wifi :

Le Li-Fi (Light Fidelity) et le Wi-Fi (Wireless Fidelity) sont deux technologies de communication sans fil, mais elles présentent plusieurs différences clés en termes de fonctionnement, de portée et d'applications. Voici quelques-unes des principales différences entre le Li-Fi et le Wi-Fi. Le tableau I.1 représente une étude comparative entre ces 2 technologies sur différents points.

Tableau I.1 : Li-Fi vs Wifi. [\[10\]](#)

Paramètre	Li-Fi	Wi-Fi
Nom complet	Light Fidelity Wireless Fidelity	Wireless Fidelity
Capacité	10000 fois plus que les ondes radio.	Les ondes radio ne forment qu'une petite fraction de l'ensemble du spectre EM.
Efficacité	Haute. Les LEDs consomment moins d'énergie et sont très efficaces.	Basse. Les stations de base radio consomment beaucoup de quantité d'énergie et la plupart d'elle est juste gaspillée à refroidir ces stations, diminuant ainsi l'efficacité.

Disponibilité	N'importe où. Il peut être disponible dans les avions, sous l'eau à l'aide d'ampoules LED.	Limité à cause des effets néfastes.
Année de création	2011	1999
Sécurité	Plus sécurisé car les ondes lumineuses ne peuvent pas pénétrer à travers les murs et ne peuvent être interceptées par quiconque en dehors de l'illumination de la LED.	Moins sécurisé en raison de la faculté de dispersion élevée des ondes radio, tout le monde peut les intercepter en cours de route.
Rapidité	500 Mbps, jusqu'à 10 Gbps, 100 Gbps	11 Mbps
Portée	10 mètres	20-100 mètres
Standard	Pas encore normalisé (802.11bb)	802.11a / b / g / n / ac / ad
Gamme de fréquences	10000 fois plus que le Wi-Fi (430–770 THz)	Spectre radio compris entre 3 Hz à 3000 GHz
Topologie de réseau	Point-à-multipoint	Point-à-multipoint
Communication	Basé sur la communication par lumière visible	Basé sur la communication par Radiofréquence
Transport	Informations acheminées via des intensités optiques.	Informations acheminées sur un champ électrique.
Modulation	Direct Current biased Optical Orthogonal Frequency Division Multiplexing (DCO-OFDM)	Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
Outil de routage	LEDs	Points d'accès
Coût de l'infrastructure	Bas	Plus élevé

Interférence avec des équipements électroniques	Pas d'interférences	Interférences avec les ondes radio
Technique de formation de faisceau	10 mètres	20 à 100 mètres
Architecture	AttoCell	FemtoCell
Rapport Signal sur Bruit	Très élevé en raison de la moindre distance entre l'émetteur et récepteur	Peut-être plus élevé
Lieu d'usage	Partout où la lumière LED est disponible comme les routes, les maisons, les bureaux, etc.	Au sein de la gamme WLAN et de l'infrastructure utilisée.
Consommation d'énergie	Faible	Un peu plus
Impact sur l'environnement	Faible	Moyen

I.11 Avantages du Li-Fi :

- Le Li-Fi présente de nombreux avantages qui proviennent d'une part de l'utilisation de la lumière et d'autre part de l'utilisation de LED
- le principal avantage qui joue en faveur de la communication basée sur le LiFi est sa capacité à rendre disponible un haut débit de données.
- Le spectre de la lumière couvre une bande fréquentielle d'environ 300 THz. L'utilisation de cette bande est gratuite et n'est pas régulée. En comparaison, le spectre des fréquences radio qu'utilisent les technologies de communications par radio, comme le Wi-Fi ou la 3G/4G, est compris entre 8,3 kHz et 3 000 GHz [11]. Il est régulé par l'Union internationale des télécommunications et peut faire l'objet de redevances.

- La lumière n'interfère pas avec les fréquences radio ce qui assure la compatibilité du Li-Fi avec les technologies radio (Wi-Fi, 3G, 4G...).
- La lumière, contrairement aux ondes radio, ne peut passer au travers des murs ce qui permet d'assurer le cloisonnement des données de part et d'autre des murs. Mais cette caractéristique limite la portée du Li-Fi en intérieur.
- Une source lumineuse équipée de Li-Fi peut être utilisée pour éclairer et simultanément transmettre des informations.
- Les systèmes de communication radio existants chauffent rapidement en raison de la forte consommation d'énergie et nécessitent donc encore plus d'énergie pour maintenir un système de refroidissement pour refroidir les stations de base ou les points d'accès. Cependant, les LED consomment moins d'énergie et ne nécessitent pas un tel système de refroidissement contrairement à tout système existant. En outre, il fournit un éclairage.
- Dans une situation où la vie privée est une préoccupation ; les ondes lumineuses ne peuvent pas franchir les murs solides et, par conséquent, le canal de communication peut être maintenu isolé et confiné autour de la source de signal uniquement et il sera difficile pour les pirates de s'introduire à distance.
- Les systèmes traditionnels sont confrontés à des problèmes créés en raison de la propagation par trajets multiples. Le signal transmis par rapport au signal réfléchi peut
- Parfois être en opposition de phase ce qui annulerait la sommation et pourrait décliner le signal. Les signaux lumineux ne s'annulent pas ; ils se complètent et s'enrichissent mutuellement.

I.12 Capacités de débit :

Le débit maximal varie grandement en fonction de la technologie utilisée par l'émetteur de lumière. Des débits de plusieurs gigabits par seconde ont été atteints avec des micro LED, et plusieurs centaines de gigabits par seconde avec des lasers. En pratique, à cause des contraintes matérielles ces débits sont bien inférieurs [12].

En 2015, le Li-Fi permet une liaison descendante de 10 Mb/s, et une liaison montante de 5 à 10 Mb/s [13].

En 2018, les produits grand public offrant les meilleures performances proposent des débits théoriques allant de 10 à 40 mégabits par seconde.

I.13 Les travaux d'application de LIFI :

Huawei met le LiFi en lumière à l'hôpital : L'équipementier chinois Huawei a signé un accord avec la start-up allemande Schnell pour équiper les hôpitaux notamment avec du LiFi.

Huawei a aussi des ambitions dans d'autres secteurs comme la santé. « Le domaine de la santé manque de ressources réseaux avec le développement de technologies comme le big data, l'IoT et l'IA », précise Weiliang Shi, président de Huawei France. Pour combler ce manque, l'équipementier chinois avance ses pions à travers son portefeuille réseaux optiques, mobiles et sans-fil. Sur ce dernier point, Huawei croit dans la technologie LiFi (Light Fidelity) et vient de signer un partenariat avec Schnell, spin-off de l'Institut Fraunhofer.

La firme asiatique mise sur la fibre avec la technologie GPON (connue pour être utilisée dans le déploiement du FTTH) et sur ses évolutions comme le 10 GPON et le 50 GPON, capable de gérer la montée en puissance de la digitalisation de la médecine (IoT, réalité virtuelle et augmentée, télémédecine). Sur le sans-fil, les points d'accès compatibles WiFi 6 sont mis en avant et la plateforme E-sight pour manager l'ensemble des capacités réseaux. La partie LiFi va profiter de cette architecture backbone pour s'inviter dans les salles les plus sensibles d'un hôpital, les salles d'opération. « Le WiFi n'est pas le bienvenu à cause de la sensibilité aux interférences électro-magnétiques et le réseau fixe implique des câbles peu pratiques en situation de mobilité », constate Sudhir Shreedharan.

Schnell n'est pas la seule société à investir dans le LiFi. Par exemple, la société Française Lucibel a réalisé un test à l'hôpital Stell à Rueil-Malmaison où les médecins l'utilisent en salle d'opération pour consulter les données des patients. Autre acteur hexagonal sur ce marché, Oledcomm, qui dispose dans son portefeuille des produits LiFicare destinés au monde médical. Des tests ont été menés en 2018 avec l'hôpital de Perpignan dans la zone pédiatrique. Sudhir Shreedharan constate philosophe que « le marché du LiFi est naissant et qu'il y a de la place pour tout le monde », mais marque une différence, « nous sommes très orientés vers l'industrie ». L'appui de Huawei va indéniablement servir de caution et d'accélérateur à la jeune pousse et à la technologie LiFi sur le plan international. On peut regretter que les acteurs nationaux ne bénéficient pas du même coup de pouce d'autres équipementiers, notamment européens. [14]

I.13 Conclusion :

Ce chapitre a présenté le principe de fonctionnement du Li-Fi, ainsi que les caractéristiques d'un tel système de communication. C'est un système sans fil complet, offrant une communication mobile, bidirectionnelle et multiutilisateur.

Le Li-Fi est un système de communication sans fil basé sur la transmission de données via la lumière visible, offrant des avantages en termes de sécurité, d'absence d'interférences électromagnétiques et de potentiel de vitesse de transmission élevée. Il convient particulièrement aux environnements sensibles et aux applications nécessitant une sécurité accrue des données. Le Wi-Fi, quant à lui, utilise des ondes radio pour la communication et offre une portée plus étendue et une meilleure pénétration à travers les obstacles, ce qui le rend adapté aux réseaux domestiques et professionnels. Les deux technologies ont des avantages uniques en fonction des besoins et des applications spécifiques et peuvent coexister et se compléter dans diverses applications.

Cette technologie ne sera sans doute pas dans tous les foyers demain, mais elle a certainement un avenir prometteur et nul doute qu'on en entendra parler dans un futur proche.

Chapitre II :

La technologie Li-Fi

II. 1 Introduction:

L'internet est devenu en quelques années le vecteur principal de diffusion de l'information. Il s'est imposé dans de nombreux domaines comme une infrastructure essentielle pour les individus, les entreprises et les institutions. Toutefois, ses capacités d'extension, au-delà des seuls ordinateurs et terminaux mobiles, sont encore considérables car il devrait permettre l'interaction d'un nombre croissant d'objets entre eux ou avec nous-mêmes. L'internet se transforme progressivement en un réseau étendu, appelé « Internet des objets », reliant plusieurs milliards d'êtres humains mais aussi des dizaines de milliards d'objets.

Aujourd'hui près de 50 milliards des objets constituant « l'Internet des objets », qualifiés de « connectés », « communicants » ou « intelligents » [15]. L'internet des objets ou IoT (Internet of Things) est un paradigme émergeant dans le monde des réseaux informatiques. Il peut être défini comme une évolution et extension de l'internet de nos jours pour l'inclusion de tous les objets et les endroits dans notre entourage (réfrigérateurs, thermostat, maisons, véhicules, routes, etc.). Le concept prometteur de l'IoT va nous simplifier la vie, nous faire gagner du temps, décharger notre cerveau de la mémorisation de données logistiques (itinéraires, temps de prise des médicaments, etc.). Ainsi, l'accès ubiquitaire à différents types d'informations permettrait la sophistication du mode de vie et une amélioration significative de la qualité des services dans différents domaines [16]. Ce chapitre est consacré à la présentation du domaine de l'Internet des objets, nous présentons également son historique, sa définition, son architecture et ses domaines d'application.

II.2 Histoire et évolution de l'IoT :

Le premier « objet » connecté à Internet remonte à 1982 : il s'agissait d'un distributeur de boissons installé à l'université Carnegie-Mellon de Pittsburgh, en Pennsylvanie, qui indiquait le niveau de remplissage de l'appareil et la température des boissons [17]. En 1999, la désignation internet des objets a été prononcée pour la toute première fois par Kevin Ashton. Après, en 2000 la société LG annonce son premier réfrigérateur intelligent connecté à Internet. De plus, la technologie RFID (Radio Frequency IDentification) qui est l'une des technologies constitutionnelles de l'IoT, a commencé à être massivement déployée vers les années 2003 et 2004.

D'autre part, une initiative très intéressante a été prise en 2008 ; un groupe de recherche appelé IPSO Alliance s'est consacré à promouvoir l'utilisation du protocole IP (Internet Protocol) pour les réseaux d'objets miniatures intelligents [16].

L'internet des objets » (IoT ou IdO en français) a enregistré une croissance exponentielle. En 2008-2009, le nombre d'objets connectés à Internet dépassait pour la première fois la population mondiale. On compte aujourd'hui quelque 27 milliards d'appareils connectés, qu'il s'agisse de capteurs, d'appareils ménagers, de machines, d'éoliennes, de dispositifs médicaux ou de voitures. Ce chiffre devrait continuer à augmenter : il dépassera les 30 milliards d'« objets » en 2020, et les 75 milliards en 2025. Il y aura alors près de dix objets connectés par être humain sur terre. Le marché de l'IoT devrait lui aussi exploser, passant d'une valeur estimée à 248 milliards de dollars en 2020 à près de 1 600 milliards en 2025[17].

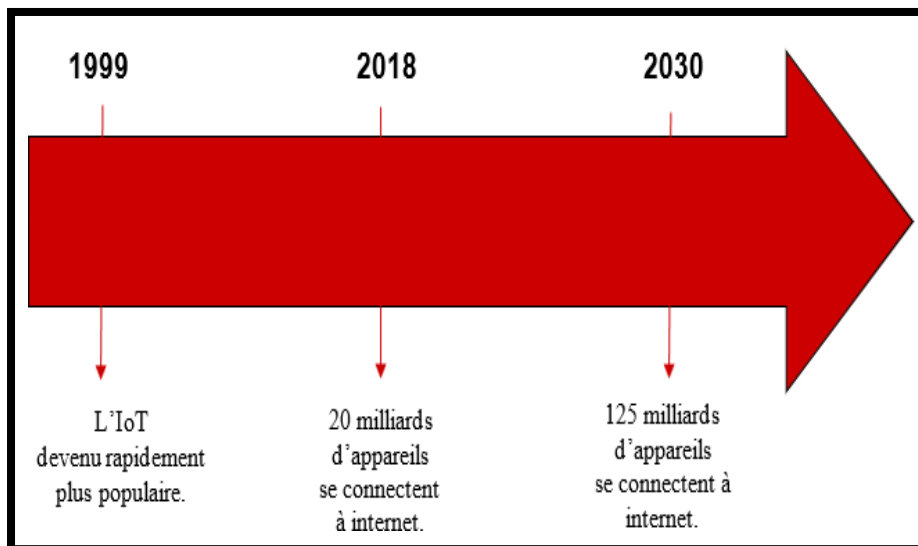


Figure II.1 : Evolution de l'IoT [18].

II.3 Définition de l'Internet des Objets :

L'Internet des Objets (IoT) est un concept qui englobe l'interconnexion de divers objets physiques (tels que des appareils électroniques, des capteurs, des logiciels, etc.) à travers l'Internet, leur permettant de communiquer et d'échanger des données. Cela peut inclure des objets quotidiens tels que les montres, les réfrigérateurs, les thermostats, les voitures et bien d'autres [19].



Figure II.2 : L'Internet des Objets.

II.4 Cycle de vie d'un objet connecté dans l'IoT :

Dans l'IoT, les objets intelligents passent par trois étapes : la phase préparatoire (bootstrapping), la phase opérationnelle et la phase de maintenance [16].

II.4.1 La phase préparatoire (bootstrapping) :

Déploiement des objets (capteurs, tags), leur configuration avec les informations nécessaires, par exemple les identificateurs, les clés de sécurité, etc.

II.4.2 La phase opérationnelle :

Dans la phase opérationnelle, l'objet connecté se met à réaliser sa mission qui diffère d'une application à une autre.

II.4.3 La phase de maintenance :

Effectuer des mises à jours, régler les problèmes en faisant d'éventuelles réparations des objets en cas de défaillances par exemple. Il est même possible de remplacer carrément des objets et redémarrer à nouveau à partir de la phase préparatoire.

II.5 Applications de l'IoT :

L'Internet des Objets (IoT) possède un large éventail d'applications dans divers secteurs et domaines. Voici quelques-unes des applications les plus courantes et prometteuses de l'IoT :

II.5.1 Domotique (Smart Home) :

L'IoT est utilisé pour automatiser et contrôler les appareils électroménagers, l'éclairage, le chauffage, la climatisation, la sécurité et d'autres systèmes domestiques. Les objets connectés, tels que les thermostats intelligents, les serrures de porte, les caméras de sécurité et les assistants vocaux, facilitent la gestion de la maison et améliorent le confort et la sécurité [20].



Figure.II.3 : Maison intelligente.

II.5.2 Santé (e-santé) :

Dans le secteur de la santé, l'IoT permet le suivi des patients, la surveillance à distance des signes vitaux, les dispositifs médicaux connectés et la télémédecine. Les montres connectées, les bracelets de fitness et les capteurs implantables sont quelques exemples d'appareils IoT utilisés pour surveiller la santé des patients et transmettre des informations en temps réel aux professionnels de la santé [21].



Figure.II.4 : Domaines d'application au secteur de santé.

II.5.3 Transports (Smart Mobility) :

L'IoT est utilisé pour améliorer la gestion du trafic, les véhicules connectés, les systèmes de navigation et les infrastructures de transport. Les capteurs et les systèmes de communication embarqués dans les véhicules permettent la collecte et l'analyse de données en temps réel, facilitant ainsi la navigation, la maintenance préventive et la sécurité routière [21].

II.5.4 Industrie (IoT industriel) :

Dans le secteur industriel, l'IoT est utilisé pour l'automatisation des processus, la maintenance prédictive, la gestion de la chaîne d'approvisionnement et la surveillance des équipements. Les capteurs, les actionneurs et les systèmes de communication intégrés dans les machines et

Les équipements permettent la collecte et l'analyse des données pour optimiser les opérations, réduire les coûts et minimiser les temps d'arrêt.

II.5.5 Agriculture (Smart Agriculture) :

L'agriculture intelligente utilise l'IoT pour l'irrigation précise, le suivi des cultures, la gestion du bétail et la surveillance des conditions environnementales. Les capteurs de sol, les drones, les systèmes de gestion de l'eau et les dispositifs de suivi du bétail sont quelques exemples d'applications IoT dans ce secteur.

II.5.6 Gestion de l'énergie (Smart Grid) :

L'IoT permet une gestion plus efficace de l'énergie et des ressources en surveillant et en contrôlant la distribution d'électricité, la consommation d'énergie et les infrastructures d'énergie renouvelable. Les compteurs intelligents, les capteurs de réseau et les systèmes de contrôle automatisés aident à optimiser la production, la distribution et la consommation d'énergie.



Figure II.5 : Domaine d'application de l'IOT.

II.6 Architecture réseau IOT :

L'architecture IoT comprend plusieurs briques de systèmes IoT connectés pour garantir que les données des objets générées par les capteurs sont collectées, stockées et traitées dans les big data warehouse et que les actionneurs des objets exécutent les commandes envoyées via une application utilisateur.

C'est un cadre qui définit les composants physiques, l'organisation fonctionnelle et la configuration du réseau, les procédures opérationnelles et les formats de données à utiliser.

L'architecture IoT peut en fait varier considérablement en fonction de la mise en œuvre.

Elle doit être suffisamment ouverte avec des protocoles ouverts pour pouvoir prendre en charge plusieurs applications réseau.

Dans la majeure partie des cas elle se compose de 4 blocs constitutifs :

La scalabilité, La fonctionnalité, La disponibilité, La maintenabilité

Même s'il n'existe pas d'architecture IoT unique universellement acceptée, le format le plus basique et le plus largement accepté est une architecture IoT à quatre couches.

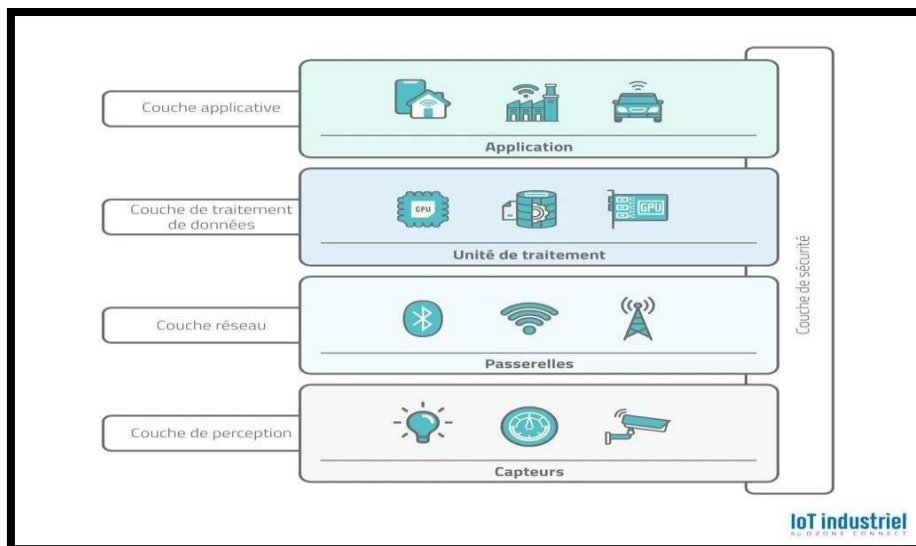


Figure II.6 : Architecture IoT à quatre couches.

II.6.1 Architecture IoT à quatre couches :**II.6.1.1 Couche de perception**

Cette couche est responsable de convertir des signaux analogiques en données numériques et vice versa.

L'étape initiale de tout système IoT englobe un large éventail d'objets qui agissent comme un pont entre les mondes réel et numérique.

Leur forme et leur taille varient, des minuscules puces de silicium aux gros véhicules. Par leurs fonctions, les objets IoT peuvent être divisés en groupes:

- Capteurs : tels que sondes, jauges, compteurs et autres. Ils collectent des paramètres physiques tels que la température ou l'humidité, les transforment en signaux électriques et les envoient au système IoT.

Les capteurs IoT sont généralement petits et consomment peu d'énergie.

- Actionneurs : traduisant les signaux électriques du système IoT en actions physiques. Les actionneurs sont utilisés dans les contrôleurs de moteur, les lasers, les bras robotiques.
- Machines et dispositifs : connectés à des capteurs et des actionneurs ou comme étant des parties intégrantes.

Il est important de noter que l'architecture n'impose aucune restriction sur la portée de ses composants ou leur emplacement. En effet la couche latérale peut inclure quelques objets physiquement placés dans une pièce ou des myriades de capteurs et d'appareils répartis dans le monde entier.

II.6.1.2 Couche réseau :

Les données collectées par tous ces appareils doivent être transmises et traitées. C'est le travail de la couche réseau, elle connecte donc ces appareils à d'autres objets intelligents, serveurs et appareils réseau. Elle gère également la transmission de toutes les données. Les communications entre les appareils et les services cloud ou les passerelles impliquent différentes technologies [22]:

- Ethernet
- Réseaux cellulaires
- LPWAN (Low-power Wide-area Network)
- WiFi

II.6.1.3 Couche de traitement de données :

La couche de traitement accumule, stocke et traite les données provenant de la couche précédente. Toutes ces tâches sont généralement traitées via des plateformes IoT et comprennent deux étapes principales [22].

Étape d'accumulation des données

Étape d'abstraction des données

II.6.1.4 Couche Applicative :

La couche application est ce avec quoi l'utilisateur interagit. C'est ce qui est chargé de fournir des services spécifiques à l'application à l'utilisateur.

Actuellement, les applications peuvent être construites directement sur les plates-formes IoT qui offrent une infrastructure de développement logiciel avec des outils prêts à l'emploi pour l'exploration de données, l'analyse avancée et la visualisation de données.

Sinon, les applications IoT utilisent des API pour s'intégrer à la couche précédente.

II.6.1.5 Couche de sécurité :

Il existe un risque que les données personnelles sensibles des utilisateurs soient compromises lorsque tous leurs appareils sont connectés à Internet. Cela peut entraîner une perte pour l'utilisateur. Par conséquent, la sécurité des données est le défi majeur

Cette couche est transverse à toutes les couches précédentes. La sécurité de l'IoT est primordial [22].

II.7 Technologies et protocoles de communication :

Les technologies et protocoles de communication sont des éléments essentiels pour relier les dispositifs et les systèmes dans l'Internet des Objets (IoT) [23].

Ils permettent l'échange de données entre les différents objets connectés, les plateformes et les infrastructures. Voici quelques-unes des principales technologies et protocoles de communication utilisés dans l'IoT :

II.7.1 Réseaux cellulaires :

Les réseaux cellulaires, tels que la 4G et la 5G, offrent une couverture étendue et une connexion haute débit pour les dispositifs IoT. La 5G, en particulier, permet des vitesses de connexion plus rapides, une latence réduite et une meilleure capacité à gérer un grand nombre de dispositifs connectés simultanément.

II.7.2 Réseaux sans fil à courte portée :

Les réseaux sans fil à courte portée sont des technologies de communication à faible consommation d'énergie qui permettent aux dispositifs de se connecter les uns aux autres sur de courtes distances. Les exemples incluent :

II.7.2 a Wi-Fi :

Une technologie de communication sans fil largement utilisée pour connecter des dispositifs IoT à Internet, en particulier dans les environnements domestiques et professionnels.

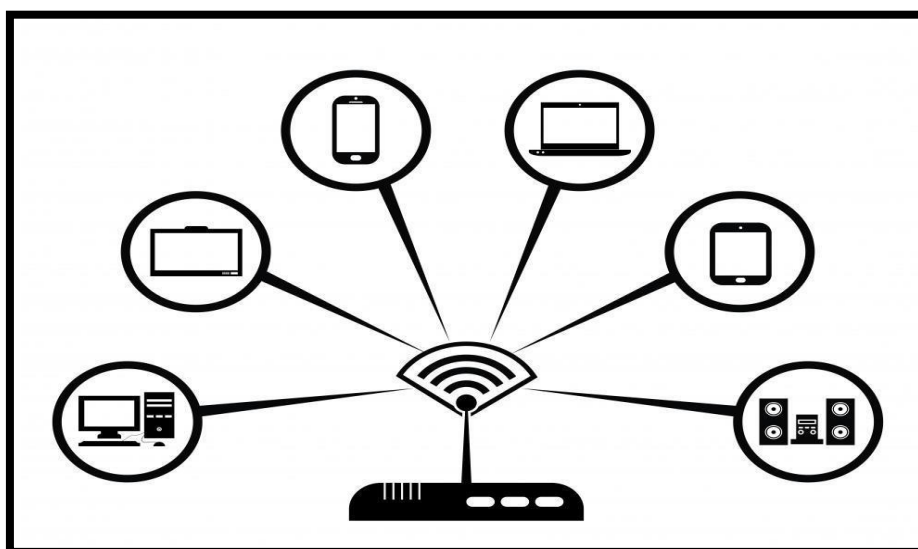


Figure II.7 : Communication sans fil par Wi-Fi.

II.7.2 b Bluetooth :

Un autre protocole de communication sans fil couramment utilisé pour connecter des dispositifs IoT à courte distance, tels que des montres intelligentes, des écouteurs et des capteurs de santé.



Figure II.8 : Logo de Bluetooth.

II.7.2 c Zigbee et Z-Wave :

Des protocoles sans fil à faible consommation d'énergie conçus spécifiquement pour les applications IoT, tels que la domotique et les réseaux de capteurs.

II.7.3 Réseaux basse consommation et longue portée (LPWAN) :

Les LPWAN sont des réseaux de communication sans fil conçus pour transmettre des données sur de longues distances avec une faible consommation d'énergie [24]. Ces réseaux sont particulièrement adaptés aux applications IoT qui nécessitent une connexion à faible débit et une autonomie de batterie prolongée.

II.8 Sécurité et confidentialité :

La sécurité et la confidentialité sont des préoccupations majeures dans l'Internet des Objets (IoT) en raison de la nature interconnectée des dispositifs et des systèmes, ainsi que de la quantité croissante de données sensibles collectées et échangées. Les menaces potentielles incluent le piratage, les violations de données, les attaques par déni de service et les atteintes à la vie privée. Voici quelques-unes des principales considérations en matière de sécurité et de confidentialité dans l'IoT, ainsi que des approches pour les aborder [25] :

II.8.1 Authentification et contrôle d'accès :

L'authentification et le contrôle d'accès garantissent que seuls les utilisateurs et les dispositifs autorisés peuvent accéder aux données et aux services IoT. Les méthodes d'authentification incluent les mots de passe, les certificats numériques, les jetons et les mécanismes biométriques. Les systèmes de contrôle d'accès, tels que les listes de contrôle d'accès (ACL) et les rôles basés sur l'accès (RBAC), définissent les permissions et les niveaux d'accès pour les utilisateurs et les dispositifs.

II.8.2 Cryptographie :

La cryptographie est utilisée pour protéger la confidentialité, l'intégrité et l'authenticité des données échangées entre les dispositifs IoT. Les techniques de chiffrement, telles que le chiffrement symétrique et asymétrique, permettent de sécuriser les données en transit et au repos. Les signatures numériques et les certificats garantissent l'authenticité et la non-répudiation des communications.

II.8.3 Sécurité des réseaux :

Les mesures de sécurité des réseaux protègent les dispositifs IoT et les infrastructures contre les attaques externes et internes. Les pare-feu, les systèmes de détection et de prévention des intrusions (IDS/IPS) et les mécanismes de segmentation du réseau sont utilisés pour surveiller et contrôler le trafic réseau, prévenir les intrusions et isoler les dispositifs et les systèmes compromis.

II.8.4 Mise à jour et gestion des correctifs :

La maintenance régulière et la mise à jour des logiciels et du micrologiciel sont essentielles pour protéger les dispositifs IoT contre les vulnérabilités et les exploits. Les mécanismes de mise à jour et de gestion des correctifs garantissent que les dispositifs sont à jour et protégés contre les menaces connues.

II.8.5 Surveillance et détection des anomalies :

La surveillance et la détection des anomalies consistent à analyser les données et les comportements des dispositifs IoT pour identifier les activités suspectes ou inhabituelles qui pourraient indiquer une compromission de la sécurité. Les outils d'analyse de journaux, les systèmes de gestion des événements et des informations de sécurité (SIEM) et les algorithmes d'apprentissage automatique peuvent être utilisés pour détecter et signaler les anomalies.

II.8.6 Confidentialité des données :

La confidentialité des données concerne la protection des informations personnelles et sensibles collectées par les dispositifs IoT. Les réglementations sur la protection des données, telles que le Règlement général sur la protection des données (RGPD) de l'UE, établissent des normes et des exigences pour la collecte, le stockage, le traitement et le partage des données personnelles. Les entreprises et les développeurs de dispositifs IoT doivent mettre en place des politiques et des pratiques de confidentialité des données, telles que la minimisation des données, le consentement éclairé, la transparence et le droit à l'oubli, pour assurer la conformité aux réglementations et protéger la vie privée des utilisateurs.

II.8.7 Évaluation et gestion des risques :

La gestion des risques implique l'identification, l'évaluation et la hiérarchisation des risques liés à la sécurité et à la confidentialité des dispositifs et des systèmes IoT. Les entreprises et les développeurs doivent effectuer des évaluations régulières des risques et mettre en place des plans d'atténuation pour aborder les menaces potentielles et les vulnérabilités.

II.8.8 Conception sécurisée :

La sécurité et la confidentialité doivent être intégrées dès la phase de conception des dispositifs et des systèmes IoT. Les principes de conception sécurisée, tels que la réduction de la surface d'attaque, la défense en profondeur, le principe du moindre privilège et la sécurité par défaut, peuvent aider à prévenir les problèmes de sécurité et de confidentialité avant qu'ils ne surviennent.

En conclusion, la sécurité et la confidentialité sont des enjeux critiques pour l'Internet des Objets, qui doivent être abordés de manière proactive et holistique. Les entreprises, les développeurs et les utilisateurs doivent collaborer pour mettre en place des pratiques et des technologies de sécurité robustes afin de garantir la protection des données, la résilience des systèmes et la confiance des utilisateurs dans l'écosystème IoT.

II.9 Les avantages et inconvénients de l'IoT :**II .9.1 Avantages de l'IoT :**

- Comme nous l'avons mentionné, l'IoT a de nombreuses applications à l'heure actuelle et la plupart de ses cas d'utilisation se produisent en temps réel. Tous les utilisateurs ont besoin d'un smartphone avec connectivité Internet. Ces deux-là, lorsqu'ils sont jumelés, vous rendent, vous et votre vie, plus intelligents. [26]. Voyons quelques autres exemples d'appareils IoT réussis, l'IoT dans le réfrigérateur peut facilement identifier lorsque vous manquez de courses quotidiennes comme du lait et contactez le supermarché le plus proche pour livrer la même quantité que vous avez habituellement dans votre maison. Ces appareils vous enverront un SMS sur votre téléphone indiquant que vous manquez de lait. Ainsi, l'IoT nous simplifie la vie grâce à son accès facile

- Avantages commerciaux

L'IoT vous aidera également avec de nouvelles opportunités commerciales à mesure que vous obtiendrez des échantillons de données des clients réguliers. Les appareils et le réseau IoT collectent les données du réseau et utilisent des analyses avancées pour découvrir des informations et des opportunités commerciales. Cela peut aider les entreprises et les startups déjà établies à utiliser ces informations et à fournir les bons produits et services aux consommateurs [26].

- Facilite la communication
- Économise de l'argent

II.9.2. Inconvénients de l'IoT :

- L'IoT ne signifie pas le succès car vous ne pouvez pas supprimer l'échec humain avec lui.
- Des millions d'appareils sont actuellement connectés aux appareils IoT et à son écosystème. Comme les smartphones ne sont pas développés par le même constructeur, cela pose le problème de la compatibilité dans le tagging & monitoring. De nombreux appareils téléphoniques sont confrontés à des problèmes de connexion, car le fabricant d'origine ne pensait pas que vous connecteriez votre smartphone à un appareil IoT, donc ils ne s'en soucient pas. Ainsi, les problèmes de compatibilité peuvent forcer les acheteurs de fabricants spécifiques et cela peut également conduire à un monopole sur le marché [26].
- Tout le monde aime la confidentialité de ses informations, mais plus nous nous consacrons à ces technologies, plus nous devenons de moins en moins privés. Avec les appareils IoT, le risque de perte de confidentialité est encore plus grand car vos données sont transmises via des appareils IoT. Vous ne pouvez pas voir si les données sont cryptées ou non. En raison de la croissance rapide de l'IoT, il est confronté à des problèmes de sécurité et de confidentialité [26].

II.10 Perspectives d'avenir :

Les perspectives d'avenir pour l'Internet des Objets (IoT) sont vastes et prometteuses. Voici quelques tendances et développements clés qui devraient façonner l'évolution de l'IoT dans les années à venir [27].

II.10.1 Croissance exponentielle des objets connectés :

Le nombre d'objets connectés devrait continuer à augmenter rapidement, passant de milliards à des dizaines de milliards, voire davantage. Cela entraînera une intégration encore plus poussée de l'IoT dans notre vie quotidienne et professionnelle.

II.10.2 5G et connectivité améliorée :

Le déploiement de la 5G devrait accélérer la croissance de l'IoT en offrant des vitesses de connexion plus rapides, une latence réduite et une capacité à gérer un plus grand nombre de dispositifs connectés simultanément.

II.10.3 Intelligence artificielle (IA) et apprentissage automatique :

L'intégration de l'IA et de l'apprentissage automatique dans les dispositifs et les systèmes IoT permettra une analyse et une prise de décision plus avancées, améliorant l'efficacité et la personnalisation des services basés sur l'IoT.

II.10.4 Edge computing :

Le traitement des données à la périphérie du réseau (edge computing) deviendra de plus en plus courant pour réduire la latence, minimiser la bande passante requise et améliorer la sécurité et la confidentialité des données IoT.

II.10.5 IoT industriel (IIoT) et automatisation :

L'adoption de l'IIoT dans les secteurs de la fabrication, de l'énergie et d'autres industries permettra une automatisation accrue, une efficacité améliorée et une maintenance prédictive.

II.10.6 Smart cities :

Les villes intelligentes utiliseront l'IoT pour améliorer la gestion du trafic, la distribution d'énergie, les services publics, la surveillance de l'environnement et la sécurité des citoyens.

II.10.7 Développement durable :

L'IoT jouera un rôle clé dans la promotion du développement durable, en permettant une gestion plus efficace des ressources, en réduisant la consommation d'énergie et en surveillant l'impact environnemental.

II.10.8 Sécurité et confidentialité renforcées :

Les solutions de sécurité et de confidentialité pour l'IoT deviendront de plus en plus sophistiquées pour répondre aux défis posés par le nombre croissant d'appareils connectés et la complexité des réseaux.

En somme, l'avenir de l'IoT est prometteur et devrait engendrer de nombreuses innovations et améliorations dans divers secteurs. Les technologies émergentes et les tendances en matière

de connectivité, d'intelligence artificielle, d'informatique en périphérie et de développement durable façonneront le paysage de l'IoT et ouvriront de nouvelles possibilités pour un avenir plus connecté et intelligent.

II.11 Logiciels utilisés / les outils de travail :

II.11.1 Arduino :

Arduino est un circuit imprimé en matériel libre sur lequel se trouve un microcontrôleur qui peut être programmé pour analyser et produire des signaux électriques, de manière à effectuer des tâches très diverses comme la domotique (le contrôle des appareils domestiques - éclairage, chauffage...), le pilotage d'un robot, etc.

Le système Arduino donne la possibilité d'allier les performances de la programmation à celles de l'électronique. Plus précisément, pour programmer des systèmes électroniques. Le gros avantage de l'électronique programmée c'est qu'elle simplifie grandement les schémas électroniques et par conséquent, le coût de la réalisation, mais aussi la charge de travail à la conception d'une carte électronique.

Le système Arduino permet de :

- contrôler les appareils domestiques
- fabriquer votre propre robot
- faire un jeu de lumières
- communiquer avec l'ordinateur
- télécommander un appareil mobile (modélisme)

Le système Arduino est composé de deux choses principales : le matériel et le logiciel.

- Le matériel Il s'agit d'une carte électronique basée autour d'un microcontrôleur Atmega du fabricant Atmel, dont le prix est relativement bas pour l'étendue possible des applications.
- Le logiciel

Le logiciel permet de programmer la carte Arduino. Il offre une multitude de fonctionnalités.

La carte Arduino dispose d'un CAN1 10 bits pour une tension analogique de 0 à +5V. Ce Convertisseur, intégré dans son microcontrôleur, est un convertisseur "à approximations Successives".

- L'argument est le numéro de l'entrée analogique à lire
- La valeur retournée (une int) sera le résultat de la conversion analogique->numérique

Sur une carte Arduino Uno, on retrouve 6 CAN. Ils se trouvent tous du même côté de la carte, là où est écrit "Analog IN" :

Ces 6 entrées analogiques sont numérotées, tout comme les entrées/sorties logiques. Ne confondez pas les entrées analogiques et les entrées numériques ! Elles ont en effet le même numéro pour certaines, mais selon comment on les utilise, la carte Arduino saura si la broche est analogique ou non. Voici les tableaux :

Tableau II.1: Arduino Uno input and output (analogique).

Pin	Function	Type	Description
1	NC	NC	Not connected
2	IOREF	IOREF	Reference for digital logic V - connected to 5V
3	Reset	Reset	Reset
4	+3V3	Power	+3V3 Power Rail
5	+5V	Power	+5V Power Rail
6	GND	Power	Ground
7	GND	Power	Ground
8	VIN	Power	Voltage Input
9	A0	Analog/GPIO	Analog input 0 /GPIO
10	A1	Analog/GPIO	Analog input 1 /GPIO
11	A2	Analog/GPIO	Analog input 2 /GPIO
12	A3	Analog/GPIO	Analog input 3 /GPIO
13	A4/SDA	Analog input/I2C	Analog input 4/I2C Data line
14	A5/SCL	Analog input/I2C	Analog input 5/I2C Clock line

Tableau II.2: Arduino Uno input and output (digital).

Pin	Function	Type	Description
1	D0	Digital/GPIO	Digital pin 0/GPIO
2	D1	Digital/GPIO	Digital pin 1/GPIO
3	D2	Digital/GPIO	Digital pin 2/GPIO
4	D3	Digital/GPIO	Digital pin 3/GPIO
5	D4	Digital/GPIO	Digital pin 4/GPIO
6	D5	Digital/GPIO	Digital pin 5/GPIO
7	D6	Digital/GPIO	Digital pin 6/GPIO
8	D7	Digital/GPIO	Digital pin 7/GPIO
9	D8	Digital/GPIO	Digital pin 8/GPIO
10	D9	Digital/GPIO	Digital pin 9/GPIO
11	SS	Digital	SPI Chip Select
12	MOSI	Digital	SPI1 Main Out Secondary In
13	MISO	Digital	SPI Main In Secondary Out
14	SCK	Digital	SPI serial clock output
15	GND	Power	Ground
16	AREF	Digital	Analog reference voltage
17	A4/SD4	Digital	Analog input 4/I2C Data line (duplicated)
18	A5/SD5	Digital	Analog input 5/I2C Clock line (duplicated)

II.11.2 NodeMCU ESP8266:

Le NodeMCU ESP8266 est un microcontrôleur avec un module Wifi intégré. Très simple d'utilisation il est léger et possède une capacité de mémoire et de calcul supérieure aux Arduino. L'ESP8266 est idéal pour vos projets connectés et pilotés à l'aide d'une interface web.

La base, pour créer des objets connectés, est de les connecter à un réseau comme le réseau WiFi. L'émetteur et l'antenne WiFi intégrés au microcontrôleur permettent la connexion à Internet. Grâce à cela, il est possible de créer un serveur qui héberge une page Web permettant de piloter le microcontrôleur à distance. Cette page peut servir à afficher des valeurs mesurées par le NodeMCU ou bien piloter des entrées/sorties du microcontrôleur.

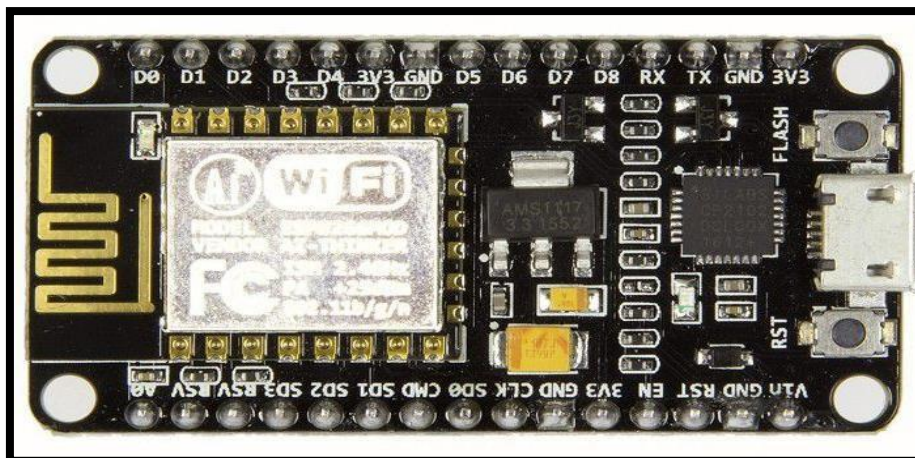


Figure II.11 : La carte NodeMCU ESP8266.

II.11.3 Principe de fonctionnement :

La carte NodeMCU ESP8266 contient un module ESP-12E contenant un microprocesseur 32bits. Il intègre un émetteur-récepteur WiFi ce qui lui permet de se connecter à des réseaux existants ou bien de mettre en place son propre réseau.

Le réseau WiFi est un réseau Radio qui travaille sur les fréquences 2,45 GHz et 5 GHz.

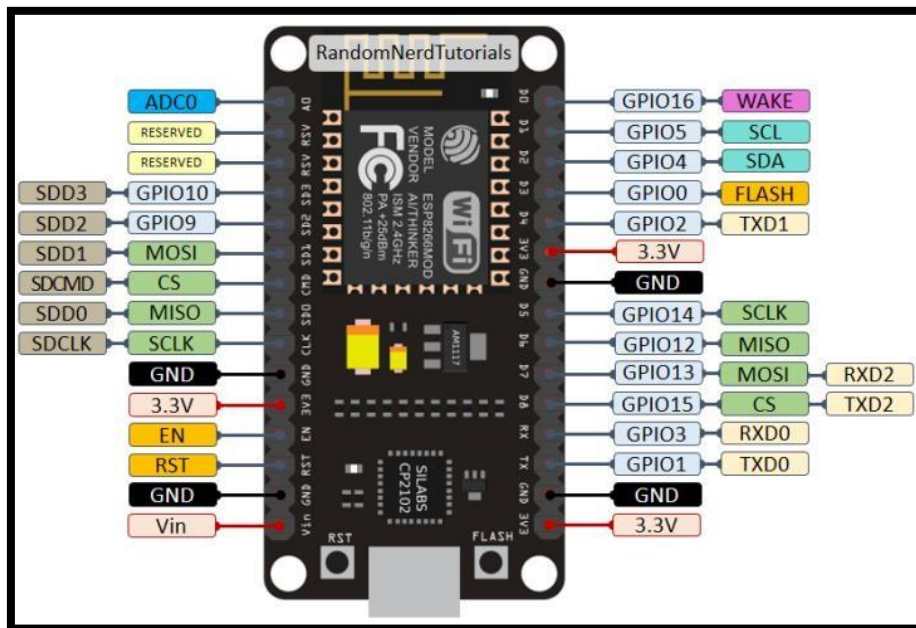


Figure II : Diagramme de brochage du kit NodeMCU.

II.12 Communication Capteur/Cloud :

Un capteur est un module qui observe les changements dans son environnement et envoie des informations sur ces changements à un appareil.

Les appareils collectent les données des capteurs et les envoient dans le Cloud. Les appareils peuvent être très petits et avoir très peu de ressources en termes de calcul, de stockage, etc.

Ils pourraient être en mesure de communiquer uniquement via des réseaux qui ne peuvent pas atteindre directement une plate-forme Cloud, comme Bluetooth Low Energy (BLE).

Les appareils standard sont plus susceptibles de ressembler à de petits ordinateurs et peuvent avoir la capacité de stocker, de traiter et d'analyser des données avant de les envoyer dans le Cloud.

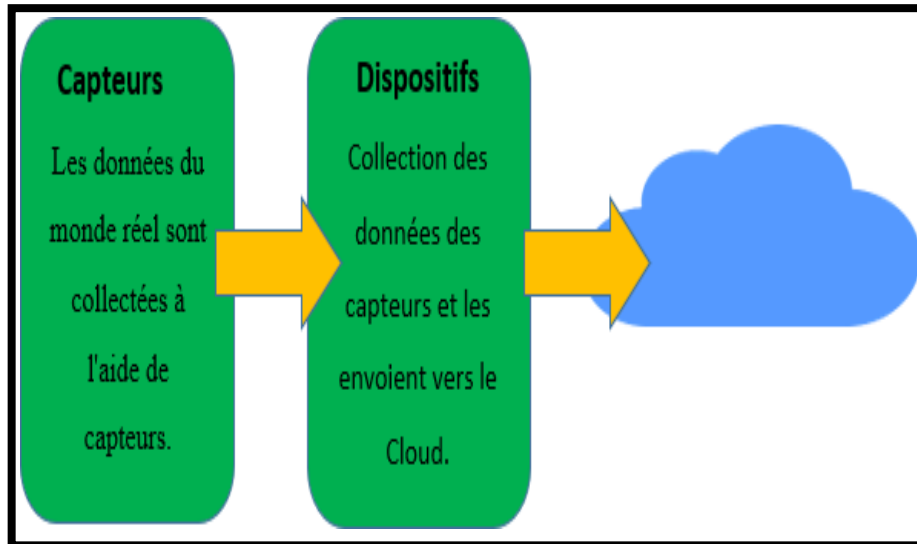


Figure II.12 : Communication Capteur/Cloud.

II.13 Conclusion :

En conclusion, l'Internet des Objets (IoT) est un domaine en pleine expansion qui transforme de nombreux aspects de notre vie quotidienne, des industries aux environnements domestiques. Avec une multitude d'applications et d'opportunités offertes par l'IoT, il est essentiel de comprendre et d'aborder les défis et les préoccupations liés à cette technologie, notamment en matière de sécurité, de confidentialité et de protocoles de communication.

La mise en œuvre de technologies et de protocoles de communication appropriés est cruciale pour garantir l'échange de données efficace et fiable entre les dispositifs IoT. Par ailleurs, la sécurité et la confidentialité des données doivent être considérées comme des priorités absolues pour protéger les utilisateurs, les entreprises et les infrastructures critiques contre les menaces potentielles.

En intégrant des pratiques de conception sécurisée, en mettant en place des politiques et des réglementations de confidentialité des données, et en adoptant des mécanismes de sécurité robustes, l'écosystème IoT peut continuer à se développer de manière durable et sécurisée. En abordant ces défis de manière proactive, nous pourrions tirer pleinement parti des avantages et des innovations offertes par l'Internet des Objets tout en minimisant les risques associés.

Chapitre III :
La réalisation pratique du
systeme LI-FI

III.1 Introduction :

Dans ce projet, notre objectif est d'explorer les possibilités offertes par la technologie Li-Fi pour les communications sans fil. En tirant parti des plateformes Arduino et NodeMCU, nous explorerons les éléments essentiels pour créer un émetteur et un récepteur Li-Fi, ainsi que les méthodes pour les programmer afin d'établir une communication sans fil fondée sur la lumière visible. Nous présenterons également l'environnement de développement intégré Arduino (IDE) et expliquerons son rôle dans la réalisation et la programmation du système.

III.2 Schéma synoptique de la réalisation :

Le schéma synoptique d'un système de transmission numérique de base est représenté sur la figure III.1 ci-dessous. L'émetteur est constitué d'une source qui génère le message à transmettre. Ce message est ensuite codé et modulé pour permettre sa transmission dans le canal. Au niveau de la réception, ce signal sera démodulé et décodé pour pouvoir ainsi être déchiffré par le destinataire.

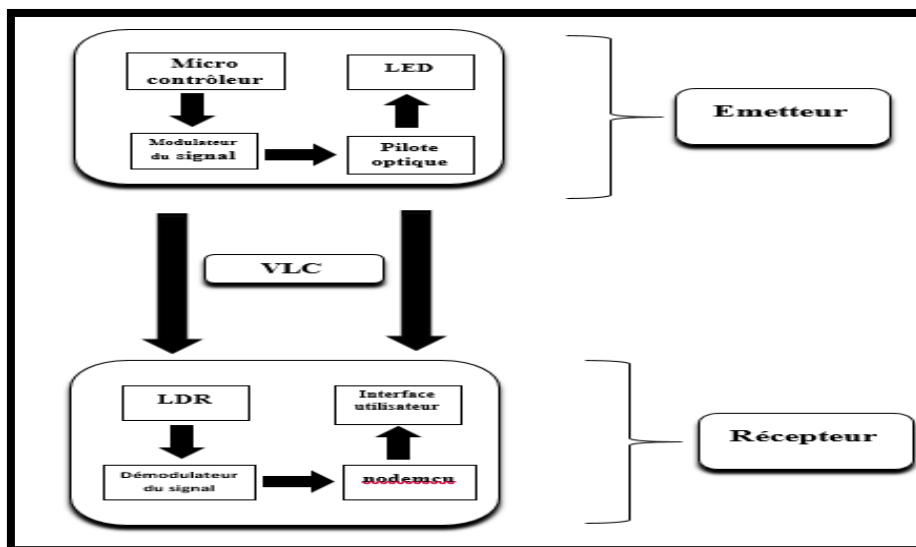


Figure III.1 : Schéma synoptique d'un système LI-FI.

III.3 Le fonctionnement général du système de transmission Li-Fi :

L'utilisation de la technologie LiFi avec Arduino nécessite l'assemblage et la configuration de l'émetteur et du récepteur LiFi. Une fois les circuits préparés et l'Arduino programmé, les étapes suivantes peuvent être suivies pour envoyer un message de test :

- **Sélection d'un message à envoyer :** Dans cet exemple, le message " hello lifi ! " est utilisé.
- **Encodage du message :** Le message doit être converti en un format approprié pour la transmission LiFi, par exemple en une représentation binaire du message en ASCII, puis divisé en paquets de données.
- **Modulation de la lumière :** La lumière de la LED est modulée en fonction de la séquence binaire à l'aide du programme Arduino. Des techniques de modulation plus avancées, telles que la modulation par impulsions codées en largeur (PWM) ou la modulation d'amplitude et de phase (QAM), peuvent également être mises en œuvre.
- **Transmission du message :** Le récepteur LiFi est placé à une distance appropriée de l'émetteur afin de détecter les impulsions lumineuses émises par la LED. La distance et l'angle entre l'émetteur et le récepteur peuvent être ajustés pour obtenir une meilleure réception.
- **Réception et décodage du message :** Les impulsions lumineuses sont captées par le récepteur LiFi et converties en signaux électriques. Le programme Arduino du récepteur démodule et décode ensuite les signaux pour récupérer le message original. En cas de décodage réussi, le récepteur affiche le message "hello lifi !".
- **Vérification et optimisation :** Si le message est correctement reçu, cela signifie que le système LiFi fonctionne correctement. Des tests et optimisations supplémentaires peuvent être effectués en ajustant la distance, l'angle, la vitesse de transmission et d'autres paramètres pour obtenir les meilleures performances possibles.

III.4 Logiciel et composant électrique :

III.4.1 Présentation IDE ARDUINO :

L'Arduino IDE (Integrated Développement Environment) est un logiciel gratuit et open-source qui permet de programmer et de téléverser du code sur les cartes Arduino et d'autres cartes compatibles. Il est disponible pour Windows, MACOS et Linux. L'Arduino IDE utilise un langage de programmation basé sur le C/C++ et offre un environnement simple pour écrire, compiler et téléverser des programmes (appelés "sketches") sur les cartes Arduino. Voir annexes 01



Figure III.2 : Logo de l'Arduino IDE.

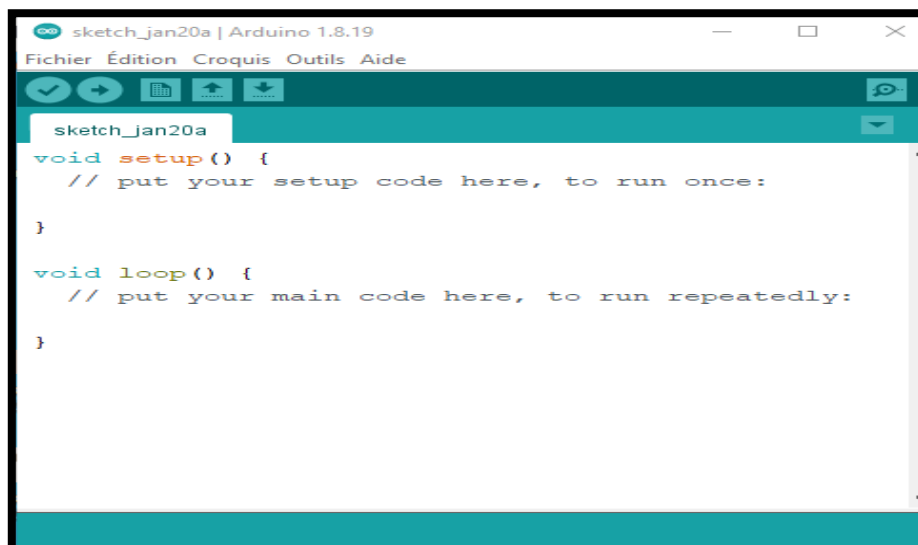


Figure III.3 : Interface pour écrire le code.

II.4.2 Transistor 2N222A :

Le transistor 2N222A est un transistor NPN à effet de champ généralement utilisé dans les applications de commutation et d'amplification de courant faible. Il a une tension de collecteur-base de 60V et une courant de collecteur maximum de 600mA. Il est souvent utilisé pour des applications telles que la commutation de relais, la commande de moteurs à courant continu et la régulation de l'alimentation. Il est également utilisé dans les circuits de radiofréquence pour la modulation et l'amplification. Il est important de noter que le transistor 2N222A ne doit pas être utilisé à des températures élevées ou à des courants de collecteur excessifs car cela peut entraîner une surchauffe et endommager le composant. Regarder l'annexe 02



Figure III.4 : Image de description 2N222A.

III.5 Émetteur LI-FI :

L'émetteur LiFi est un dispositif électronique qui convertit les données numériques en impulsions lumineuses pour les transmettre à un récepteur LiFi., l'émetteur LiFi est généralement constitué d'une LED contrôlée par la carte Arduino. Les données sont envoyées en modulant l'intensité lumineuse de la LED pour représenter les valeurs binaires 0 et 1.

III.5.1 Schéma structurel :

Dans le schéma illustré dans la figure III.5, les composants de l'émetteur sont présentés en omettant l'usage d'un capteur, l'objectif étant simplement de tester la communication Li-Fi. La communication est assurée par l'alimentation électrique de la carte du microcontrôleur, où la modulation est réalisée. Par la suite, les données sont transmises au moyen d'une LED qui s'active et se désactive.

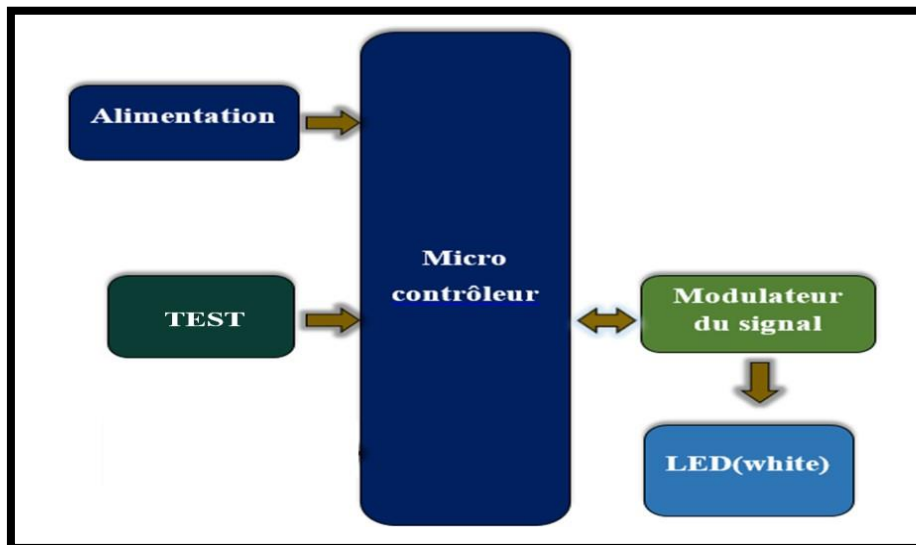


Figure III.5 : Schéma structurel de l'émetteur LI-FI

III.5.2 Fonctionnement du schéma électronique :

- Le signal d'entrée (numérique) est appliqué à la résistance de polarisation (R2) et est utilisé pour contrôler le transistor (Q1).
- Lorsque le signal d'entrée est élevé, le courant de base circule à travers la résistance R2 et le transistor s'active.

- Avec le transistor activé, le courant circule à travers la LED, allumant ainsi la LED et transmettant un "1" numérique via la lumière.
- Lorsque le signal d'entrée est bas, le transistor est coupé, interrompant le courant à travers la LED. La LED reste éteinte, transmettant un "0" numérique.
- La résistance (R1) limite le courant passant à travers la LED, protégeant ainsi la LED contre les surintensités. La figure III.6. Regroupe tous les composants.

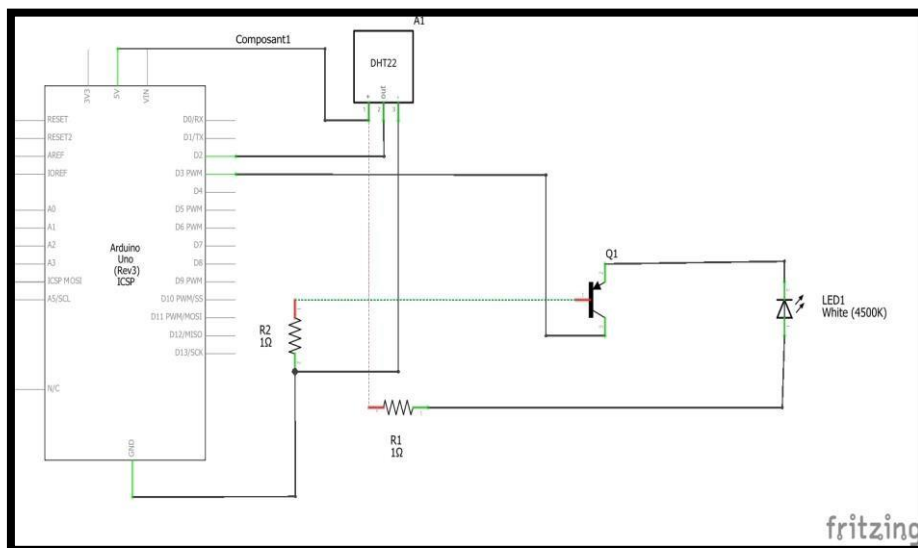


Figure III.6: Schéma électronique (émetteur)

La Figure III.7 montre une illustration du câblage fait sur protoboard en utilisant l'arduino Uno.

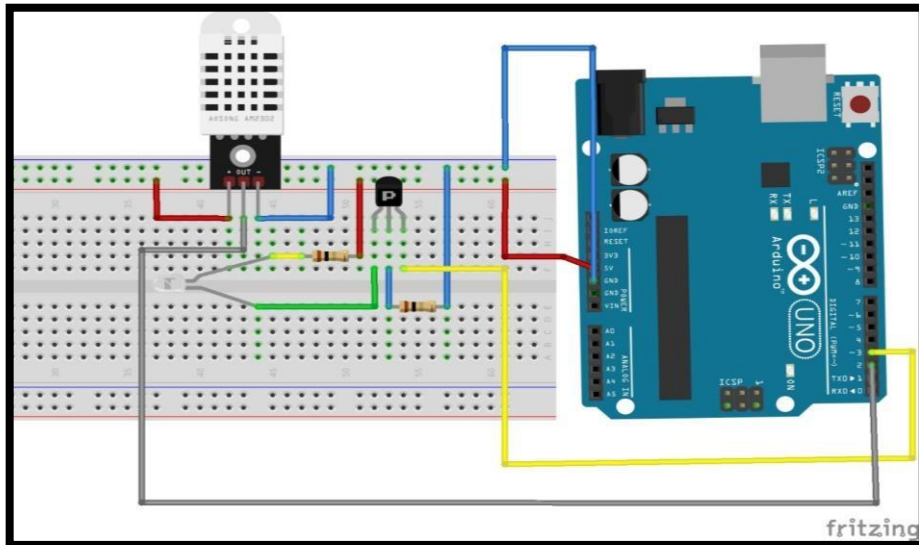


Figure III.7 : Montage circuit d'émetteur.

Dans la figure III.8, l'Arduino Uno est présenté avec une carte électronique, connectée par des câbles entre eux sans connexion d'alimentation électrique et sans programmation.

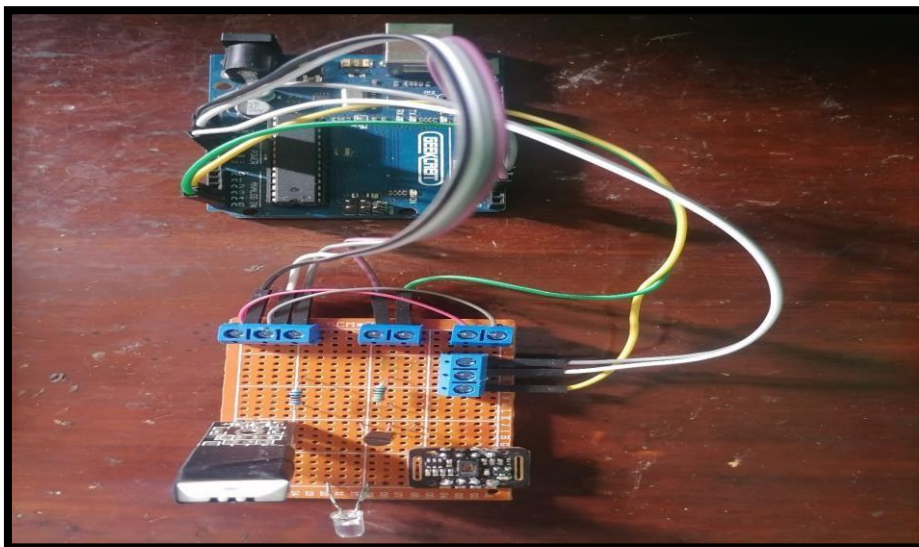


Figure III.8: Test réel d'émetteur.

III.5.3 Alimentation :

La carte Arduino doit être alimentée en énergie pour pouvoir fonctionner. Cette alimentation peut être réalisée de deux manières principales :

Interface USB : L'alimentation via l'interface USB, qui relie la carte à l'ordinateur, permet également l'échange de données entre la carte et l'ordinateur. En phase de développement avec l'Arduino, la connexion USB sert d'alimentation primaire de la carte [4]



Figure III.9 : Prise USB.

Prise jack : Une batterie ou un bloc secteur peut être branché au connecteur, appelé prise jack. Cette option peut être employée, par exemple, lorsqu'un engin manoeuvrable est construit et commandé par la carte Arduino. Dans ce cas, le véhicule doit pouvoir évoluer librement dans l'espace, sans câble. L'utilisation d'un câble USB, généralement trop court, limiterait alors la mobilité de l'engin. L'emploi d'une batterie rend le dispositif autonome

[5].

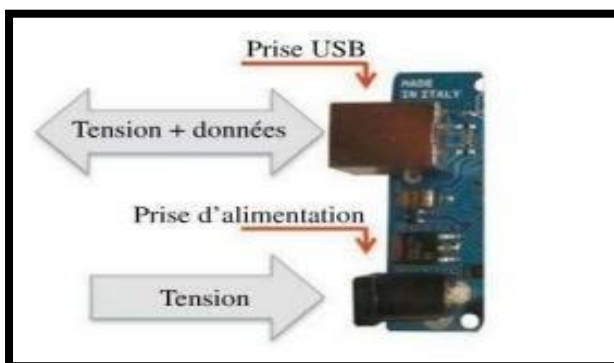


Figure III.11 : Alimentation de la carte Arduino.



Figure III.10 : Prise jack.

III.5.4 Transmission : le code ASCII

Dans le contexte d'un projet Arduino utilisant la technologie LiFi, les données sont transmises par un émetteur LiFi en contrôlant l'intensité lumineuse de la LED. Le processus de transmission comprend les étapes suivantes :

La LED est définie comme un émetteur en déclarant la broche correspondante en tant que sortie

Les données du capteur sont lues (par exemple, la vitesse ou la température) et stockées dans des variables.

Les données sont converties en représentation binaire pour être transmises par l'émetteur LiFi., les données binaires peuvent être envoyées en allumant la LED pour la valeur binaire "1" et en l'éteignant pour la valeur binaire "0".

La procédure est répétée pour toutes les données à transmettre.

En général, la transmission par un émetteur LiFi se fait en contrôlant l'intensité lumineuse de la LED pour représenter les valeurs binaires 0 et 1.

III.5.5 Modulation: On-Off Keying (OOK)

Est la méthode la plus simple pour représenter des données. La valeur logique « 0 » correspond à LOW et la valeur logique « 1 » à HIGH. Dans le cas VLC, cela signifie que la LED est éteinte pour transmettre un zéro et allumée pour transmettre un. Etant donné que les systèmes Li-Fi sont utilisés pour l'éclairage et la communication, il a été plus judicieux de configurer la LED en état de marche constant jusqu'à une émission Li-Fi données. A ce moment-là, uniquement dès le début de la communication, la LED commencera à clignoter.

III.5.6 Organigramme:

- La carte Arduino est connectée à un PC via un port COM3 du PC. Du côté de l'émetteur, une fois le programme compilé et chargé sur la carte, le texte est saisi par l'utilisateur sur un moniteur série d'Arduino. Ces données sont traitées dans le microprocesseur Atmega 328, présent dans la carte Arduino Uno. Les données traitées convertissent les caractères ASCII en bits binaires, qui font clignoter la LED interfacée avec la carte Arduino.

- Voici organigramme de programme (émetteur) dans Arduino Uno :

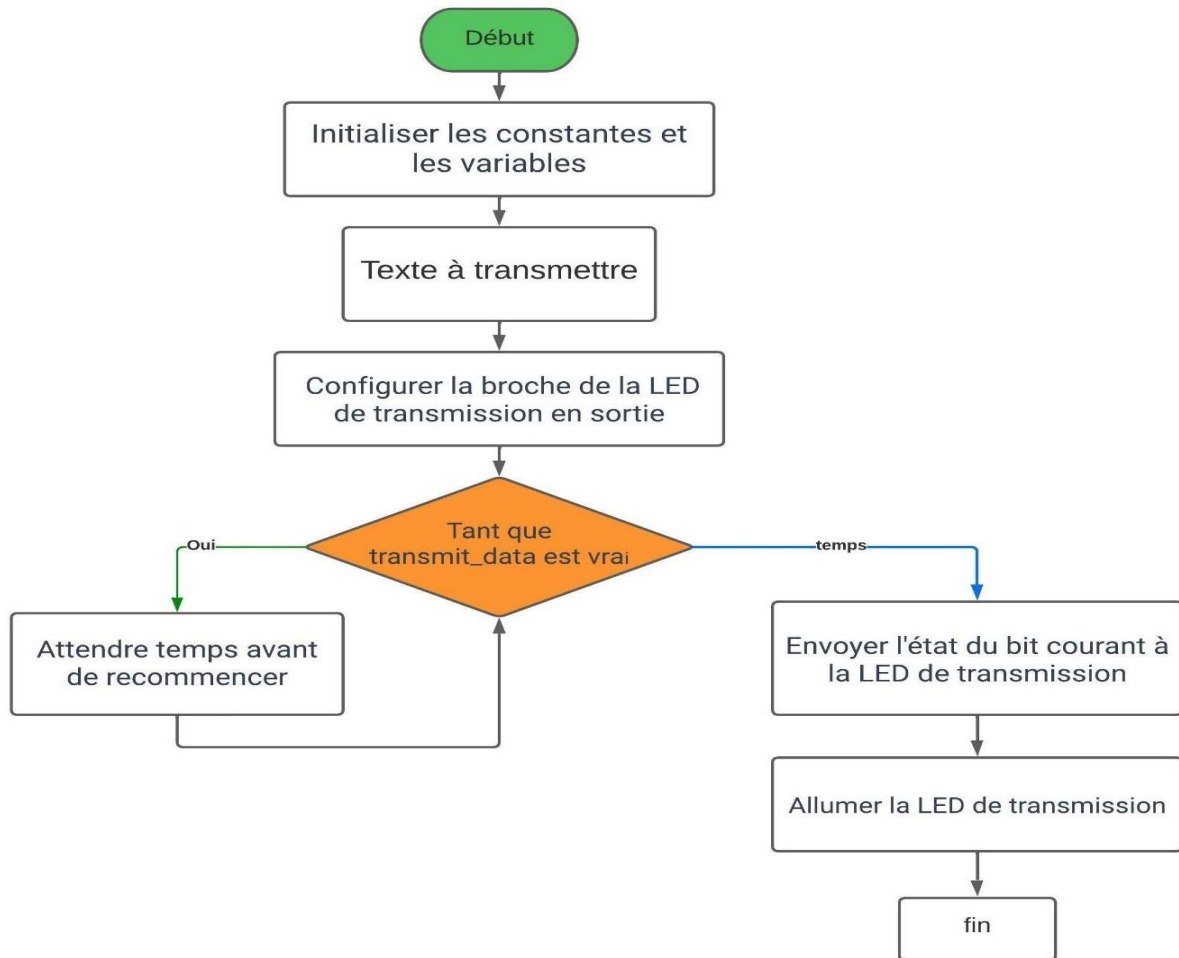


Figure III.12 : Organigramme d'émetteur.

III.5.7 Résultat pratique (émetteur) :

Dans la figure III.13, nous observons l'émetteur réel qui montre son fonctionnement après l'alimentation et la programmation de l'Arduino Uno, ainsi que son connexion au circuit électronique, où la LED s'allume et s'éteint.

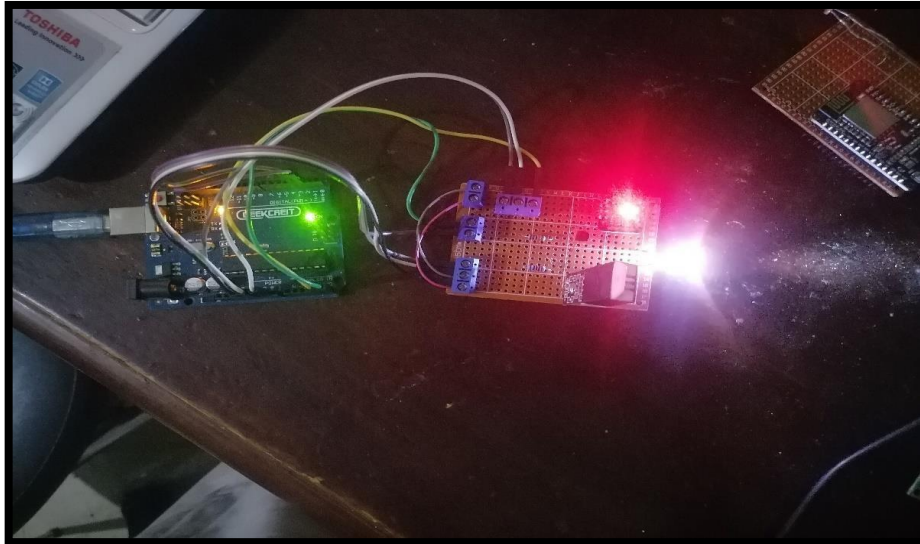


Figure III.13 : Test réel du programme.

Dans l'image présentée Figure III.14, le résultat du transfert reçu de l'émetteur via le port série COM3 est montré, représenté par la phrase "hello li fi" et apparaît clairement.

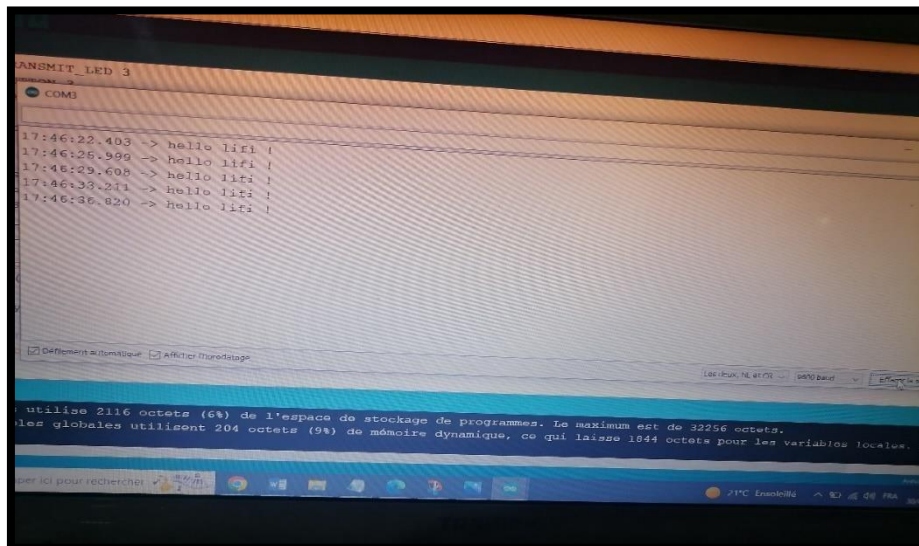


Figure III.14 : Affichage des résultats de la transmission.

III.6 Récepteur LI-FI :

Le montage électronique de récepteur LiFi pour un projet utilisant NodeMCU consiste généralement en une photodiode (ou un autre capteur de lumière) pour détecter les signaux lumineux émis par l'émetteur LiFi, une résistance pour former un diviseur de tension et les connexions nécessaires à la carte NodeMCU.

- Photorésistance (LDR): pour détecter les variations d'intensité lumineuse émises par l'émetteur LiFi.
- Circuit de conditionnement (si nécessaire) : Si nécessaire, mettez en place un circuit de conditionnement pour adapter le signal électrique généré par le LDR à un niveau approprié pour l'entrée analogique du NodeMCU.
- Connexion au NodeMCU : Connectez le signal électrique conditionné à l'entrée analogique du NodeMCU.
- Programmation du NodeMCU : Programmez le NodeMCU pour lire les données du LDR, décoder les informations binaires et les traiter selon les besoins de votre projet.

III.6.1 Schéma structurel :

Dans ce schéma, le processus de réception des informations provenant de la LED sous forme de signaux lumineux détectés par le capteur LDR est illustré. Ensuite, le signal LDR est modulé, et le NodeMCU affiche une image plus claire via le port série et la plateforme Internet.

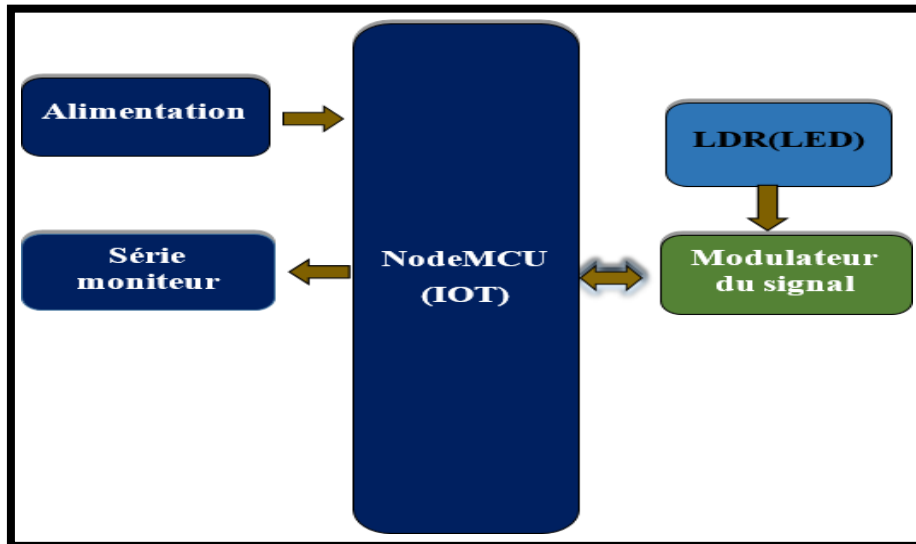


Figure III.15 : Schéma synoptique du récepteur.

III.6.1.1. Fonctionnement du schéma électronique :

Le récepteur LiFi se compose des éléments suivants :

- LDR: Ce sont des capteurs de lumière qui détectent les variations d'intensité lumineuse émises par l'émetteur LiFi.
- LED : vérifier que la LDR fonctionne correctement est Connectez sur la carte NodeMCU (comme D1).
- Résistance : Elle est utilisée en combinaison avec la photodiode ou la LDR pour former un diviseur de tension, qui convertit les variations d'intensité lumineuse en variations de tension électrique.
- NodeMCU : La carte NodeMCU, basée sur le microcontrôleur ESP8266, est utilisée pour lire les variations de tension à partir de l'entrée analogique (A0), décoder les informations binaires et les traiter selon les besoins de votre projet.

III.6.2. Alimentation :

Alimenter un NodeMCU nécessite généralement une source d'énergie stable de 3,3 volts (V).

Il y a plusieurs façons d'alimenter un NodeMCU:

Via un câble USB: Vous pouvez alimenter un NodeMCU en utilisant un câble micro USB standard, qui fournit également une connexion pour la programmation et le débogage. La plupart des modules NodeMCU ont un régulateur de tension intégré qui convertit la tension USB de 5V en 3,3V pour alimenter l'ESP8266.

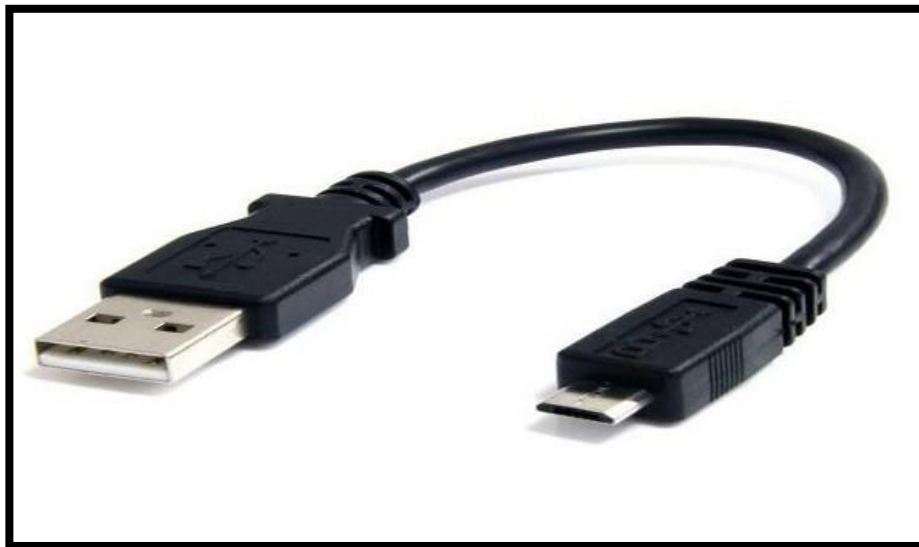


Figure III.18 : Câble USB.

Utilisation d'une alimentation externe: Vous pouvez alimenter un NodeMCU en utilisant une source d'alimentation externe. Connectez simplement une source d'alimentation de 3,3V à la broche 3V3 et la masse (GND) à la broche GND du module. Assurez-vous que l'alimentation est capable de fournir suffisamment de courant pour faire fonctionner correctement le NodeMCU. Cet étage est représenté sous la figure 19.

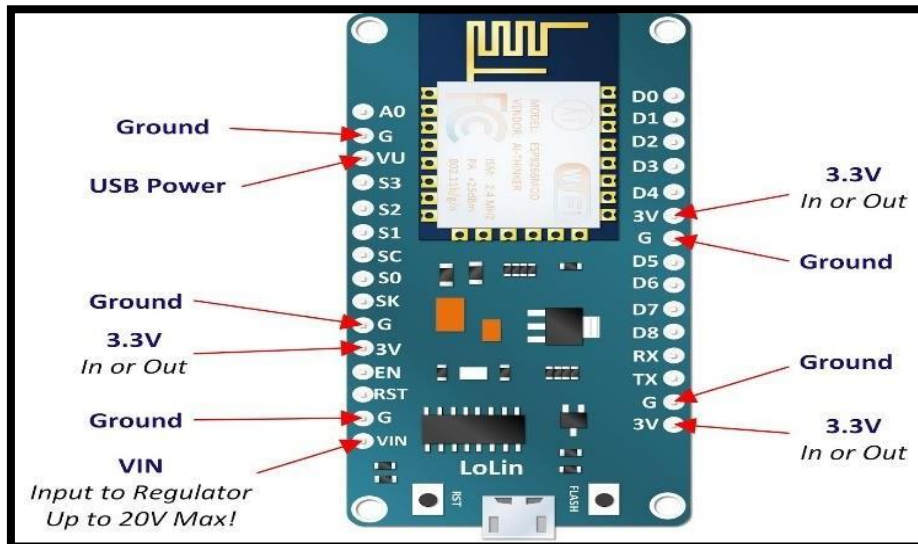


Figure III.19 : Image d'une alimentation externe.

Remarque : Assurer de ne pas dépasser la tension maximale recommandée pour le NodeMCU, généralement 3,6V, car cela pourrait endommager le module. De plus, il est crucial de respecter la polarité des broches d'alimentation pour éviter d'endommager le circuit.

- La photo capturée Figure III.20 montre un véritable exemple du circuit électronique récepteur pour les signaux lumineux, composé d'un capteur LDR, d'une carte de programmation NodeMCU, ainsi que d'une résistance et d'une LED rouge pour comprendre comment fonctionne le LDR.

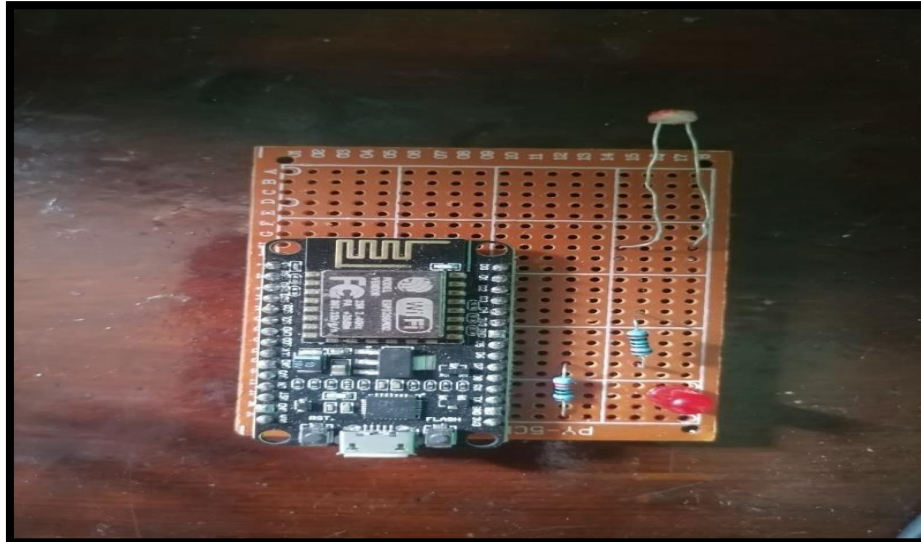


Figure III.20 : Récepteur.

III.7 Organigramme:

- Ce clignotement est capturé par la LDR côté réception, qui est interfacé avec une autre carte NodeMCU connectée sur un port COM5 d'un autre PC. Le récepteur accepte les valeurs binaires de l'émetteur et son processeur convertit ces bits en caractères ASCII. Le récepteur possède un dictionnaire dans le code qui lui permet de correspondre chaque caractère alphanumérique au code ASCII reçu. Ces caractères alphanumériques peuvent être visualisés sur le moniteur série du récepteur.

- Voici organigramme de carte d’récepteur dans Arduino Uno :

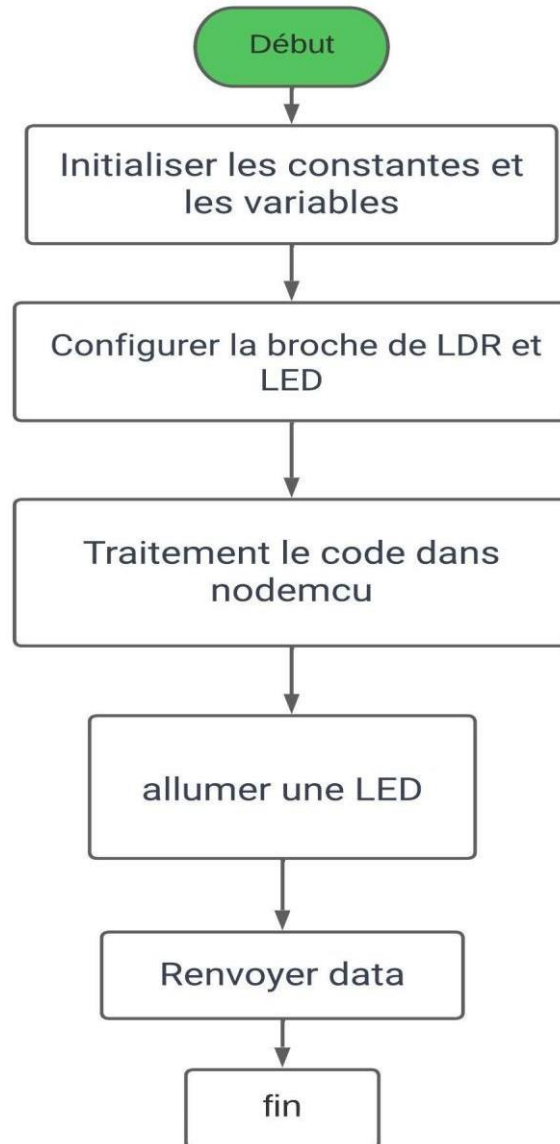


Figure III.21 : Organigramme du récepteur.

III.7.1 Installation et configuration NodeMCU :

Pour pouvoir programmer d'autres microcontrôleurs avec l'IDE d'Arduino, il doit connaître leurs configurations. Il est possible d'installer sur l'Arduino des gestionnaires de carte contenant tous les outils nécessaires pour leur programmation. Regarder annexe

III.8 Résultat pratique (récepteur) :

- Le dispositif émetteur et récepteur a été relié dans la même direction, en réduisant l'impact de la lumière extérieure sur le LDR en diminuant son intensité et en ajustant la distance appropriée entre eux pour éviter toute erreur dans les processus de transmission et de réception., il est nécessaire de le charger avec un programme présenté dans la figure III.22 sous forme d'un organigramme suivant :



Figure III.22 : Test réel du programme.

- Dans cette image, l'interface de la série (com05) est montrée et elle présente les résultats reçus par le récepteur, indiquant que la connexion LiFi fonctionne bien. On voit le résultat envoyé au récepteur. (Moniteur série)

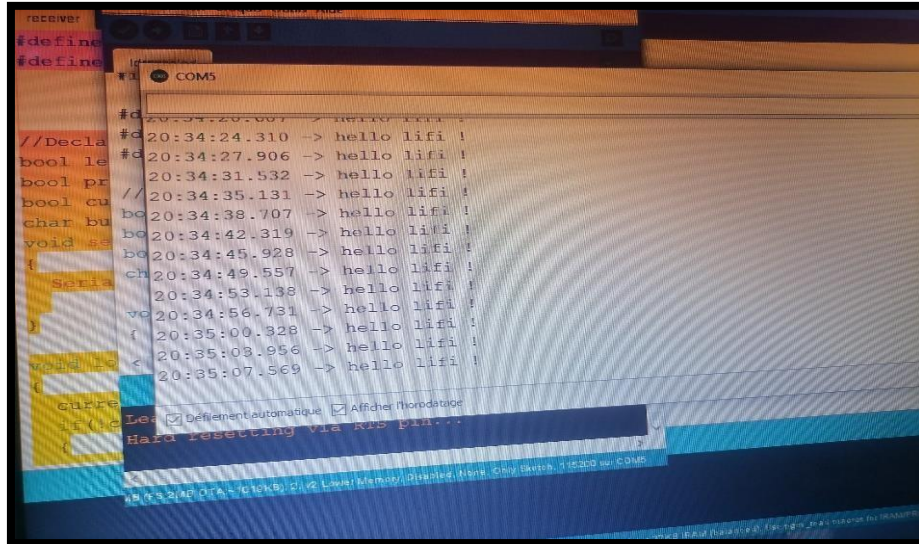


Figure III.23 : Affichage des résultats de réception.

- Les deux signaux sont presque identiques, cela assure une bonne transmission et une bonne réception des messages envoyés.

III.9 Généralités sur les capteurs :

La réalisation d'un système de robot intelligent mobile est directement liée à la capacité d'apprendre ou de s'adapter à son environnement, les capteurs jouent un grand rôle dans ce domaine à cause de sa capacité de perception requise pour prendre des décisions intelligentes. L'importance des capteurs dans un travail robotique réside dans le contrôle strict d'un robot en mouvement, connaissant à la fois l'état de l'environnement et l'état du système lui-même, ce que permet un bon suivi du parcours prédéterminé et un meilleur acheminement du travail assigné, correspondant au terrain d'intérêt pour le phénomène capté [28].

III.9.1 Définition d'un capteur :

Un capteur est un dispositif qui transforme l'état d'une grandeur physique observée en captant un phénomène et de le restituer en un signal c'est à dire une grandeur utilisable, l'objectif d'un capteur et d'un appareil IoT est une longue durée de vie avec peu d'interactions humaines.

Exemple : Un capteur solaire convertissant l'énergie solaire en énergie thermique ou électrique.

III.10 Applications médicales :

Il existe des capteurs qui fonctionnent dans le corps humain pour traiter certaines maladies, par exemple un projet de création d'une rétine artificielle composée de 100 micro-capteurs pour correction de vision. D'autres applications biomédicales sont également présentées, telles que : la surveillance de la glycémie, la surveillance des organes vitaux ou la détection précoce des cancers, fréquence cardiaque, un oxymètre de pouls, température et humidité. [29].

III.10.1 Le principe de fonctionnement d'un oxymètre de pouls :

L'oxymétrie sert à effectuer une mesure sanguine de manière non invasive, car il n'effectue aucun prélèvement. En fait, son principe de fonctionnement est simple, la molécule d'hémoglobine comporte quatre atomes de fer qui ont la capacité de capturer l'oxygène et de le redistribuer ensuite, le sang se sature en oxygène dans les poumons, et se dénature le long de son parcours dans le corps, c'est ce taux d'oxygène dans le sang qu'analyse le saturomètre. L'oxymètre de doigt émet deux lumières, une infrarouge et une lumière rouge, un capteur permet d'analyser le coefficient de saturation selon l'absorption de la lumière, la lumière rouge (longueur d'onde 660nm) et la lumière infrarouge (longueur d'onde 920nm) traversent la peau, la transparence qui en ressort permet de quantifier le taux de saturation sanguin en oxygène (SpO_2) selon le rapport entre la concentration en oxyhémoglobine ($CHbO_2$) dans le sang et la concentration totale d'hémoglobine (C_b) dans le sang, on appelle cette technique de mesure le principe d'abondance, c'est pour ce besoin de transparence de la peau que l'on place l'oxymètre des pouls au niveau d'une extrémité à peau fine afin d'obtenir un meilleur coefficient de saturation.

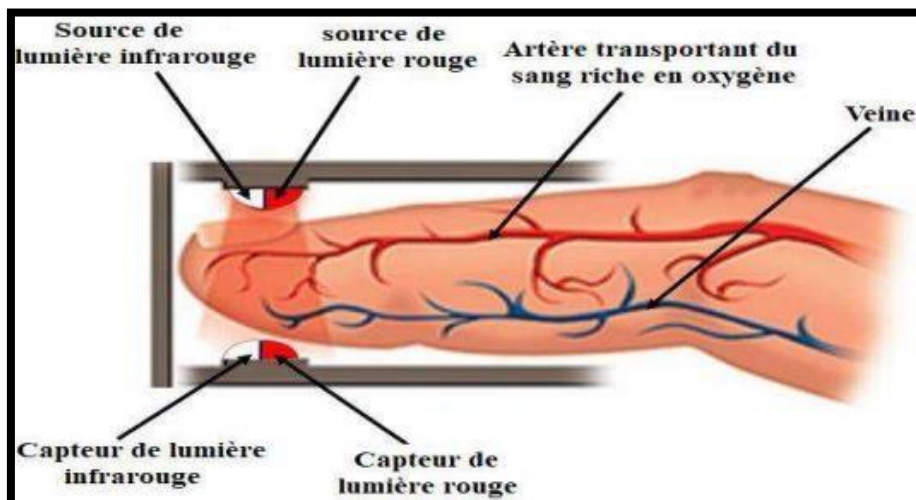


Figure III.24 : Oxymètre de pouls.

III.10.2 La mesure de la fréquence cardiaque :

Pour mesurer la fréquence cardiaque, nous n'avons pas besoin de la LED rouge, seule la LED IR est nécessaire. En effet, l'hémoglobine oxygénée absorbe plus de lumière infrarouge. Le fonctionnement de ce capteur pourrait être vérifié en plaçant un doigt humain devant ce capteur. Lorsqu'un doigt est placé devant ce capteur de pouls, la réflexion de la lumière infrarouge est modifiée en fonction du volume de sang à l'intérieur des vaisseaux capillaires. Cela signifie que pendant le rythme cardiaque, le volume de sang dans les vaisseaux capillaires sera élevé, puis sera faible après chaque battement de cœur. Ainsi, en modifiant ce volume, la lumière LED est modifiée. Ce changement de la lumière LED mesure le rythme cardiaque d'un doigt.

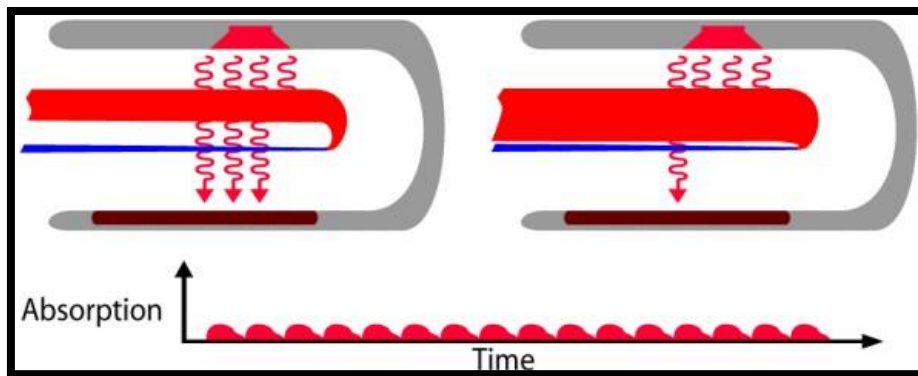


Figure III.25 : La mesure de la fréquence cardiaque.

III.11 Avantages et fonctionnalités :

- Moniteur de fréquence cardiaque et capteur d'oxymètre de pouls dans une solution réfléchissante LED.
- Module optique minuscule de 5,6 mm x 3,3 mm x 1,55 mm à 14 broches.
- Verre de protection intégré pour des performances optimales et robustes.
- Fonctionnement à très faible consommation d'énergie pour les appareils mobiles. - Fréquence d'échantillonnage et courant LED programmables pour économiser de l'énergie. - Moniteur de fréquence cardiaque basse consommation (< 1 mW). - Courant d'arrêt ultra-faible (0,7 μ A).
- Capacité de sortie de données rapide.
- Taux d'échantillonnage élevés.

- Résilience robuste aux artefacts de mouvement.
- Rapport signal/bruit élevé.
- Plage de températures de fonctionnement (-40°C à +85°C).

III.12 Description les capteurs :

III.12.1 MAX30102 :

Le MAX30102 est un oxymètre de pouls intégré et un module moniteur de fréquence cardiaque. Il comprend des LED internes, photodétecteurs, éléments optiques et électroniques à faible bruit avec rejet de la lumière ambiante. Le MAX30102 fournit une solution système complète pour faciliter le processus de conception pour les appareils mobiles et portables. Le MAX30102 fonctionne sur une seule alimentation 1,8 V et une alimentation séparée de 3,3 V pour les LED internes. La communication se fait via l'interface I2C. Le module peut être arrêté via le programme avec un courant de veille nul, permettant aux pins d'alimentation de rester alimentés à tout moment. Regarder dans l'annexe 04

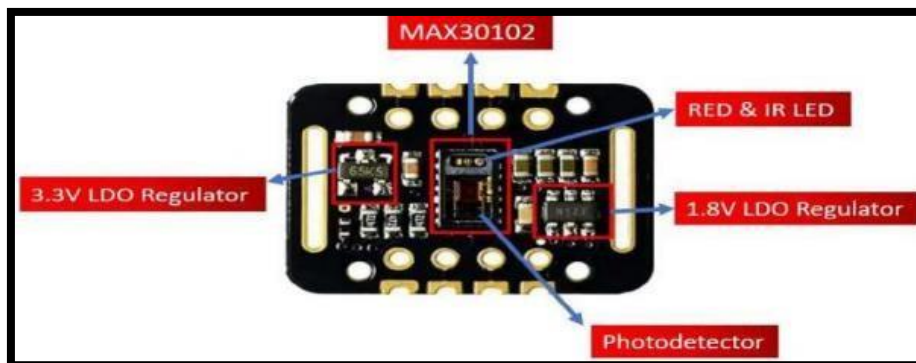


Figure III. 26 : Schéma du module MAX30102.

III.12.2 DHT22 :

Le capteur DHT22 mesure l'humidité relative en utilisant un capteur capacitif. Il utilise deux électrodes conductrices qui sont séparées par un matériau hygroscopique, qui est un matériau qui attire et retient l'humidité. Lorsque l'humidité ambiante change, la capacité entre les électrodes change également, ce qui permet de mesurer l'humidité relative.

Le capteur DHT22 mesure également la température en utilisant un thermistor. Un thermistor est une résistance qui change de résistance en fonction de la température. Plus la température augmente, plus la résistance du thermistor diminue. Le capteur mesure la résistance du thermistor pour calculer la température.

Le capteur DHT22 utilise une communication série pour transmettre les données de température et d'humidité. Il peut être connecté à un microcontrôleur ou à un ordinateur pour lire les données et les utiliser pour contrôler les appareils ou les enregistrer pour une analyse ultérieure. Voir annexes 03

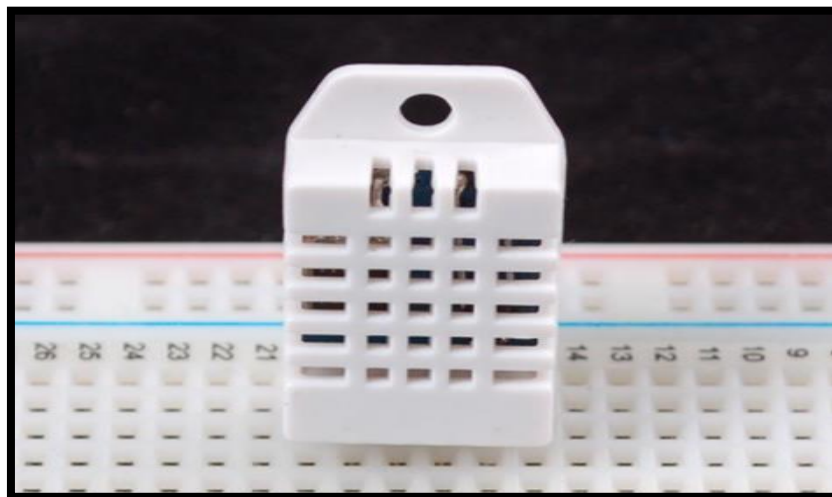


Figure III.27 : Capteur DHT2.

III.12.3 LDR (Photorésistance) :

Dans notre travail on a utilisé une photorésistance qui est un composant électronique (un capteur résistif), également connues sous le nom de (LDR -Light dépendent Résistor ou Light Decreasing Résistance, ou light-dependent resistor, ou photoconductivité cell) , c'est un capteur optique passif qui se compose d'un semi-conducteur à haute résistivité dont le principe physique est la photoconductivité. Les LDR sont des dispositifs sensibles à la lumière utilisés pour indiquer la présence ou l'absence de lumière, ou pour mesurer l'intensité lumineuse. Dans l'obscurité, leur résistance est très élevée, parfois jusqu'à $1M\Omega$, mais lorsque le capteur LDR

est exposé à la lumière, la résistance chute considérablement, même jusqu'à quelques ohms, en fonction de l'intensité de la lumière. Les LDR ont une sensibilité qui varie avec la longueur d'onde de la lumière appliquée et sont des dispositifs non linéaires. Ils sont utilisés dans de nombreuses applications mais sont parfois rendus obsolètes par d'autres dispositifs tels que les photodiodes et les phototransistors (sensibilité inférieure à celle des LDR). Certains pays ont interdit les LDR en plomb ou en cadmium pour des raisons de sécurité environnementale.

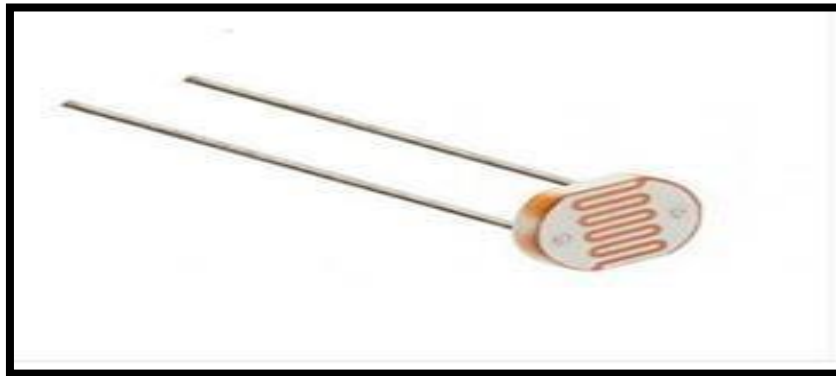


Figure III.28 : Image pour capteur LDR.

III.13 Conclusion :

Dans la partie précédente du projet, un système LiFi a été élaboré avec succès en ayant recours à un émetteur et un récepteur. Le message "hello lifi" ayant été transmis par l'émetteur et reçu correctement par le récepteur, cela confirme la bonne performance du système LiFi.

L'objectif de cette partie est d'explorer comment le système LiFi peut être utilisé dans la surveillance des patients en matière de soins de santé. Ce système permettrait de suivre divers paramètres tels que le rythme cardiaque, le taux d'oxygène dans le sang, ainsi que les conditions ambiantes comme l'humidité et la température. En mettant en œuvre le système LiFi pour le suivi des patients, il est possible d'améliorer la qualité des soins de santé et la réactivité face aux situations d'urgence. Par ailleurs, la technologie LiFi constitue une alternative sans fil à la fois sûre et efficace pour les patients susceptibles d'être affectés par des interférences de fréquence.

Chapitre IV :

Développement d'un système de télésoins

IV.1 Introduction :

Le monitoring des patients à distance est devenu un enjeu majeur dans le secteur de la santé, notamment en raison de l'augmentation de la prévalence des maladies chroniques et du vieillissement de la population. La télémédecine et les technologies de l'Internet des Objets (IoT) ont permis d'améliorer la qualité des soins et de réduire les coûts associés à la prise en charge des patients nécessitant une surveillance constante. Cependant, les systèmes de télésoins actuels reposent principalement sur les technologies sans fil telles que le WiFi, qui peuvent présenter des problèmes de sécurité, de confidentialité et d'interférences avec les équipements médicaux.

Le Li-Fi (Light Fidelity) est une technologie de communication sans fil émergente qui utilise la lumière visible pour transmettre des données à haute vitesse. Elle offre des avantages potentiels en termes de sécurité, d'absence d'interférences et de capacité à fonctionner dans des zones où les radiofréquences ne sont pas autorisées. Dans ce contexte, l'intégration du Li-Fi et de l'IoT dans les systèmes de télésoins pourrait permettre de surmonter certaines des limitations des technologies actuelles.

IV.2 Objectifs de l'étude :

L'objectif principal de cette étude est de concevoir, développer un dispositif de monitoring des patients basé sur le Li-Fi et l'IoT. Les objectifs spécifiques incluent :

- Analyser les avantages et les défis associés à l'utilisation du Li-Fi et de l'IoT dans le domaine de la santé.
- Concevoir une architecture de système intégrant les technologies Li-Fi et IoT pour la collecte, le traitement et la transmission des données de santé.
- Développer une plateforme de télémédecine compatible avec le Li-Fi et l'IoT pour le monitoring des patients à distance.

Toutes ces objectifs sont schématisés dans la figure IV.1.

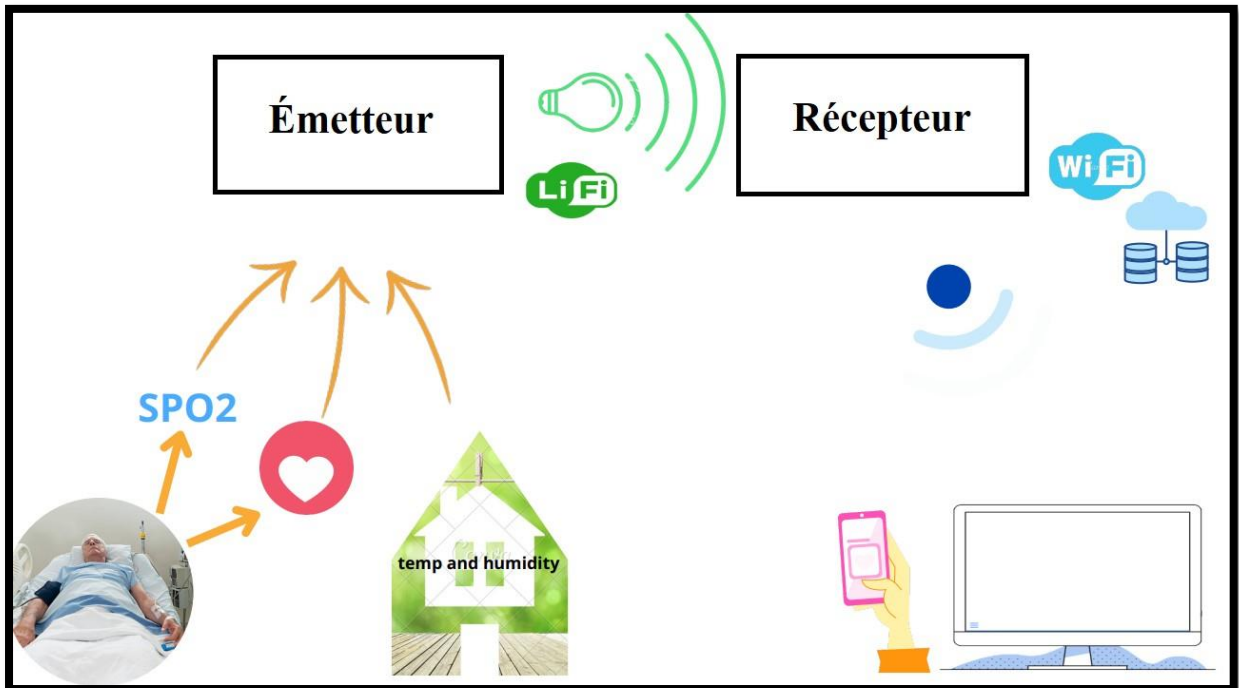


Figure IV.1 : Architecture du système de télésoins.

IV.3 Portée et limitations :

Cette étude se concentrera sur la conception et le développement d'un dispositif de monitoring des patients basé sur le Li-Fi et l'IoT, en mettant l'accent sur la collecte et la transmission des données de santé. Bien que l'analyse des données et l'intégration avec les dossiers médicaux électroniques soient des aspects importants du système, ils seront abordés de manière plus générale.

Il est important de noter que la portée de cette étude est limitée par la disponibilité des ressources, du matériel et des compétences techniques nécessaires pour réaliser un prototype fonctionnel du dispositif. De plus, les résultats obtenus lors des tests et de l'évaluation pourront être affectés par la taille limitée de l'échantillon et les contraintes de temps.

IV.4 Technologies de communication sans fil en milieu médical :

Les technologies de communication sans fil ont révolutionné le secteur de la santé en permettant la transmission rapide et efficace des données médicales, la télémédecine et le monitoring des patients à distance. Les technologies sans fil les plus courantes utilisées en milieu médical incluent le WiFi, le Bluetooth, la 4G/5G et les réseaux de capteurs sans fil (WSN). Chacune de ces technologies présente des avantages et des inconvénients en termes de portée, de débit, de sécurité, de consommation d'énergie et d'interopérabilité avec les dispositifs médicaux existants. Les problèmes de sécurité, de confidentialité et d'interférences électromagnétiques avec les équipements médicaux sont des préoccupations majeures dans l'adoption de ces technologies sans fil. Voir Figure IV.2 et Figure IV.3.



Figure IV.2: WIFI.



Figure IV.3: Bluetooth.

IV.5 Principes et avantages du Li-Fi de domaine médical :

Le Li-Fi est une technologie de communication sans fil qui utilise la lumière visible pour transmettre des données à haute vitesse. Elle repose sur la modulation de l'intensité lumineuse des diodes électroluminescentes (LED) pour envoyer des informations. Comparé aux technologies sans fil traditionnelles, le Li-Fi offre plusieurs avantages, notamment une meilleure sécurité, une absence d'interférences avec les équipements électroniques et médicaux, et une capacité à fonctionner dans des zones où les radiofréquences ne sont pas autorisées. Toutefois, la portée de la technologie Li-Fi est limitée et nécessite une ligne de vue directe entre l'émetteur et le récepteur.

IV.6 Application de l'IoT et Li-Fi dans le domaine de la santé :

L'Internet des Objets (IoT) se réfère à la connexion d'objets physiques à Internet, permettant ainsi leur contrôle et leur interaction à distance. Dans le domaine de la santé, l'IoT a été largement adopté pour améliorer la qualité des soins, optimiser les processus médicaux et faciliter la surveillance des patients. Les dispositifs médicaux connectés, tels que les moniteurs de signes vitaux, les pompes à insuline et les dispositifs de suivi de l'activité, permettent de collecter et d'analyser en temps réel les données de santé des patients. Les applications de l'IoT dans le domaine de la santé incluent également la gestion des dossiers médicaux électroniques, la maintenance prédictive des équipements médicaux et l'optimisation de l'utilisation des ressources hospitalières.

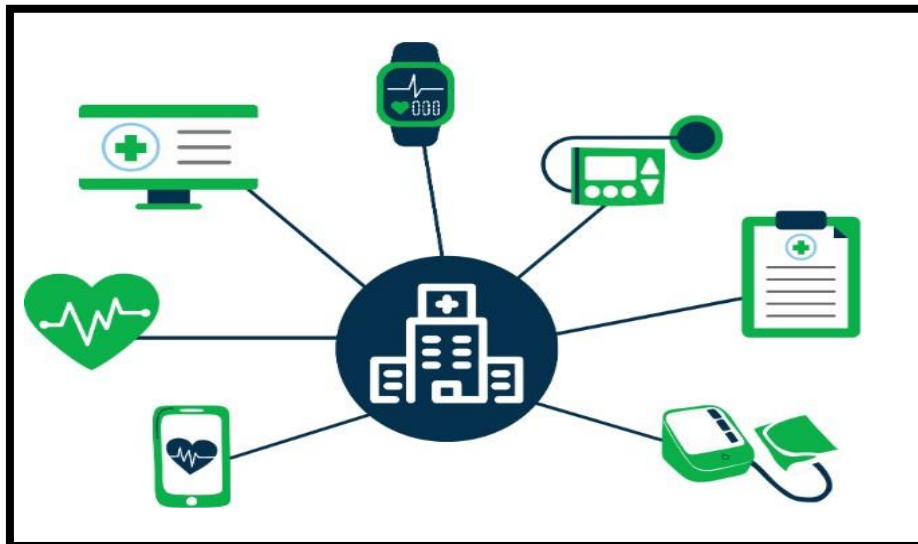


Figure IV.4 : Les dispositifs médicaux connectés dans les hôpitaux.

IV.7 Systèmes de télésoins et monitoring des patients :

Les systèmes de télésoins permettent de surveiller et de gérer à distance la santé des patients, notamment ceux atteints de maladies chroniques ou nécessitant une surveillance continue. Le monitoring des patients à distance repose sur l'utilisation de dispositifs médicaux connectés et de plateformes de télémédecine pour la collecte, l'analyse et la transmission des données de santé. Les systèmes de télésoins offrent de nombreux avantages, tels que l'amélioration de l'accès aux soins, la réduction des coûts médicaux et l'amélioration de la qualité de vie des patients. Cependant, les défis liés à l'adoption des systèmes de télésoins incluent la garantie de la sécurité et de la confidentialité des données, l'intégration avec les systèmes de santé existants et l'acceptation par les patients et les professionnels de santé.

L'intégration du Li-Fi et de l'IoT dans les systèmes de télésoins pourrait permettre de surmonter certaines des limitations des technologies actuelles. Le Li-Fi offre un niveau de sécurité amélioré, une faible latence et une meilleure capacité à fonctionner dans des environnements sensibles aux interférences électromagnétiques. L'IoT, quant à lui, permet une collecte et une analyse en temps réel des données de santé, facilitant ainsi le monitoring des patients et la détection précoce des problèmes de santé.

Dans l'ensemble, la combinaison du Li-Fi et de l'IoT dans les systèmes de télésoins a le potentiel d'améliorer la qualité et l'efficacité des soins à distance, tout en réduisant les coûts et les risques associés aux technologies sans fil traditionnelles. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour évaluer l'efficacité de ces technologies dans des scénarios réels et pour développer des solutions qui répondent aux défis de sécurité, d'interopérabilité et d'acceptation par les utilisateurs.

IV.8 Effets de la température et de l'humidité sur la récupération des patients :

L'état environnemental après une intervention chirurgicale peut grandement influencer le bien-être des patients opérés. Cela comprend la température et l'humidité, qui peuvent tous deux avoir un impact considérable sur le confort du patient et le rythme de récupération.

- **Température :** Après une intervention chirurgicale, le système de régulation de la température corporelle peut être perturbé en raison de l'anesthésie, des médicaments, ou de l'impact direct de l'opération. Maintenir une température de pièce confortable peut aider à prévenir les frissons et la perte de chaleur, des facteurs susceptibles d'augmenter le risque d'infection chirurgicale. Cependant, la température ne doit pas non plus être trop élevée, car cela pourrait causer la transpiration, qui peut également augmenter le risque d'infection.
- **Humidité :** Une faible humidité peut assécher les muqueuses et la peau, augmentant ainsi le risque d'infection et rendant le patient inconfortable. Cependant, l'humidité ne doit pas non plus être trop élevée, car elle peut augmenter la transpiration et contribuer à la croissance de bactéries et de moisissures.

Il est préférable que la pièce postopératoire soit modérément chaude et humide. Il faut trouver un équilibre entre le confort du patient et la réduction du risque d'infection. Tout changement de température ou d'humidité doit être progressif pour éviter le choc thermique. Le rôle de la température et de l'humidité dans le rétablissement du patient :

Tableau IV.1: Indice humidex Pour une température optimale et une humidité optimale pour la santé du patient.[31]

		Indice Humidex															
		Température (°C)															
		21	25	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Humidité relative (%)	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	41	43	44	46	47
	30	-	-	31	33	34	36	37	38	40	42	43	45	47	48	50	51
	40	-	26	34	35	37	39	40	42	44	45	47	49	51	53	54	56
	50	22	28	36	38	40	41	43	45	47	49	51	53	55	57	-	-
	60	24	30	38	40	42	44	46	48	50	52	54	57	-	-	-	-
	70	25	32	41	43	45	47	49	51	53	56	58	-	-	-	-	-
	80	26	33	43	45	47	50	52	54	57	59	-	-	-	-	-	-
	90	28	35	45	48	50	52	55	57	60	-	-	-	-	-	-	-
	100	29	37	48	50	53	55	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-

-Nous avons établi un tableau qui représente une estimation du niveau de danger pour les patients en fonction de la température et de l'humidité. Veuillez noter que ces estimations sont des directives générales et peuvent varier en fonction de l'état du patient et des circonstances individuelles. Il est important de contacter immédiatement un service d'urgence (en cas de couleur verte) pour obtenir des conseils sur la température et l'humidité idéales pour la santé du patient. Lorsque la couleur est orange, des précautions supplémentaires doivent être prises et il est recommandé de contacter un professionnel de la santé pour obtenir des conseils supplémentaires. Lorsque la couleur est rouge, cela indique un danger imminent pour le patient et il est impératif de contacter immédiatement un établissement de soins pour obtenir une assistance médicale appropriée.

IV.9 Les normes de saturation en oxygène :

La saturation en oxygène normale pour une personne en bonne santé est comprise entre 95% et 100% en fonction de l'âge. SpO₂ (Saturation pulsée mesurée avec un oxymètre de pouls). Elle est insuffisante en dessous de 95%. On parle d'hypoxémie. La notion d'hypoxémie s'applique pour toute insuffisance d'oxygénation du sang et donc dès que la SpO₂ est inférieure à 95%. Une limite de 90 % indique une hypoxémie, ce qui équivaut à une insuffisance respiratoire. La saturation artérielle normale en oxygène (SaO₂) varie de 96% à 98% chez les jeunes adultes et 95% chez les personnes de plus de 70 ans. S'il est inférieur à 90 %, on parle de désaturation. La désaturation correspond également à une diminution de quatre points de saturation par rapport à la ligne de base (par exemple, en travaillant). Une SpO₂ « normale » pour un enfant correspond à une valeur supérieure à 95 %. Un taux de SpO₂ inférieur à 94% chez un enfant est un critère de gravité et conduit à une hospitalisation. La mesure de la SpO₂ est très importante chez l'enfant, car un enfant n'apparaît cyanosé (teint bleuté) que lorsque la SaO₂ est inférieure à 75 % et car les gazométries artérielles sont très peu réalisées chez l'enfant. L'oxymètre de pouls est essentiel pour détecter une hypoxie débutante. [30]

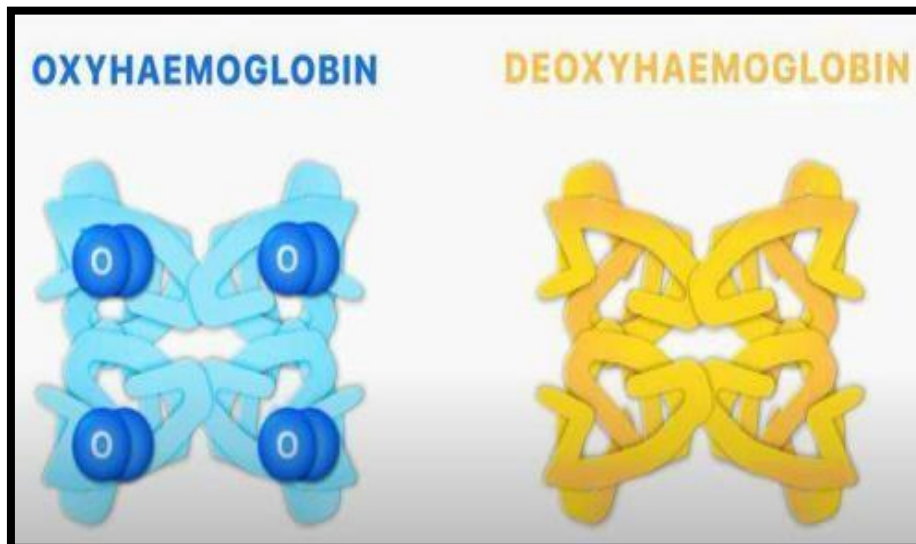


Figure IV.5 : Sang oxyhémoglobine en bleu, sang désoxyhémoglobine en jaune.

IV.10 Fréquence cardiaque : Variation en fonction de l'âge et de l'activité physique.

La fréquence cardiaque idéale pour une personne adulte en bonne santé se situe généralement entre 60 et 100 battements par minute (bpm). Cependant, il est important de noter que ces chiffres peuvent varier légèrement d'une personne à l'autre en fonction de facteurs tels que l'âge, le niveau de condition physique et les antécédents médicaux. Le cœur d'un nourrisson bat très vite, sa fréquence cardiaque ralentit ensuite, au rythme de sa croissance et sous l'effet de l'activité physique :

- 120-160 BPM chez le nouveau-né
- 100-120 BPM chez l'enfant,
- 80-85 BPM chez l'adolescent
- 80 BPM chez l'adulte sédentaire
- 50 BPM chez l'adulte sportif
- 60-80 BPM chez le sénior.

Tableau IV.2 : Fréquence cardiaque en fonction de l'âge.[30]

Age	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	65+
Athlete	49-55	49-54	50-56	50-57	51-56	50-55
Excellent	56-61	55-61	57-62	58-63	57-61	56-61
Good	62-65	62-65	63-66	64-67	62-67	62-65
Above Average	66-69	66-70	67-70	68-71	68-71	66-69
Average	70-73	71-74	71-75	72-76	72-75	70-73
Below Average	74-81	75-81	76-82	77-83	76-81	74-79
Poor	82+	82+	83+	84+	82+	80+

IV.11 Plateforme Firebase :

Firebase est une plateforme de développement d'applications mobiles et web créée par Google. Elle propose une variété de services et d'outils destinés à simplifier le développement d'applications, à améliorer leur qualité et à faciliter leur gestion.

IV.12.1 Principaux services de Firebase :

Firebase offre un ensemble de fonctionnalités clés, notamment :

- 1. Base de données en temps réel :** Firebase Realtime Database est une base de données NoSQL hébergée en cloud qui permet aux développeurs de stocker et de synchroniser les données en temps réel entre les clients, ce qui est particulièrement utile pour les applications nécessitant des mises à jour instantanées.
- 2. Authentification:** Firebase propose des services d'authentification pour gérer l'identification des utilisateurs, avec des options telles que l'authentification par e-mail, les médias sociaux (Google, Facebook, Twitter, etc.) et bien d'autres.
- 3. Hébergement Web :** Firebase Hosting permet de déployer facilement des sites web statiques en utilisant un CDN (Content Delivery Network) mondial pour garantir une livraison rapide du contenu aux utilisateurs.
- 4. Notifications Cloud :** Firebase Cloud Messaging (FCM) permet d'envoyer des notifications push aux utilisateurs, que ce soit sur des appareils iOS, Android ou sur le web.
- 5. Analytiques :** Firebase Analytics fournit des informations détaillées sur l'utilisation de votre application, telles que le suivi des événements, la rétention des utilisateurs et d'autres métriques importantes.
- 6. Stockage Cloud :** Firebase Storage permet de stocker des fichiers tels que des images, des vidéos et d'autres données binaires directement dans le cloud Firebase.
- 7. Authentification des utilisateurs et autorisations :** Firebase offre des fonctionnalités avancées pour gérer les autorisations et les rôles des utilisateurs dans votre application.
- 8. Fonctions Cloud :** Firebase Functions permet d'exécuter du code côté serveur en réponse à des événements déclenchés par votre application, offrant ainsi une flexibilité supplémentaire dans le développement.

9. Test A/B : Firebase propose des outils de test A/B pour tester différentes variantes d'une application afin d'optimiser les performances et l'engagement des utilisateurs.

10. Sécurité et sauvegardes : Firebase assure la sécurité des données de votre application grâce à des fonctionnalités de sauvegarde régulières et à des mesures de sécurité avancées.

IV.12.2 Utilité de Firebase dans le système de télésoins:

Pour la création de notre application web nous avons utilisé Firebase ayant une interface d'accueil simple et épuré, nous ajouterons un nouveau projet comme montré dans la figure IV.6 qui suit puis nous aurons différents outils mis à disposition.[32]

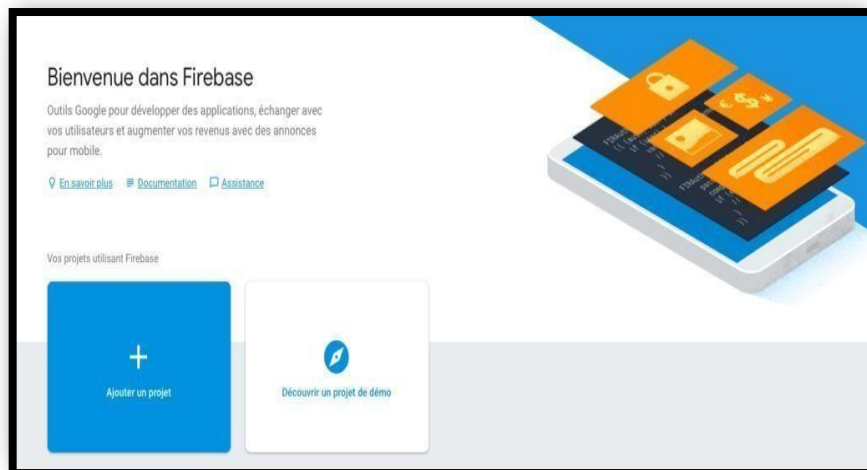


Figure IV.6 : Interface d'accueil de Firebase.

IV.12.3 Firebase Authentication et Cloud Messaging:

La fonctionnalité du Cloud Messaging nous permet de connecter nos périphériques à notre serveur dans les meilleures des conditions (fiabilité et économie de batterie) voir la figure IV.7.



Figure IV.7: Firebase Cloud Messaging.

IV.12.4 Ajouter firebase dans projet:

Un code informatique a été utilisé pour transférer les informations et afficher les résultats sur la plateforme Firebase dans ma propre application. Les données sont affichées sur la plateforme après avoir été soigneusement stockées et sécurisées pour protéger les informations des patients. De plus, la technologie Wi-Fi a été utilisée pour transférer les données d'un capteur sensible DHT22 en utilisant un code horodatage dans le processus de collecte des données. Les lectures sont enregistrées et transférées via le réseau Wi-Fi pour le contrôle et la surveillance.

IV.13 Prototype finale :

Dans ce projet, nous avons exploré l'application de la technologie de communication sans fil par la lumière (Li-Fi) pour la surveillance des patients et étudié comment elle peut être synergique avec les capteurs DHT22 et MAX30102 afin d'améliorer la surveillance et le contrôle dans les établissements de santé.

Notre dispositif intègre le capteur DHT22, qui a fourni des données de haute qualité. Nous avons également intégré la technologie Li-Fi à l'Internet des Objets (IoT). Lorsque les informations sont transmises à Firebase, elles sont enregistrées avec une indication temporelle pour la température et l'humidité, tout en garantissant la sécurité des données sur la plateforme Firebase.

À l'avenir, nous envisageons d'améliorer ce projet en utilisant des composants de qualité supérieure, notamment dans le domaine médical, afin d'obtenir des performances encore meilleures.

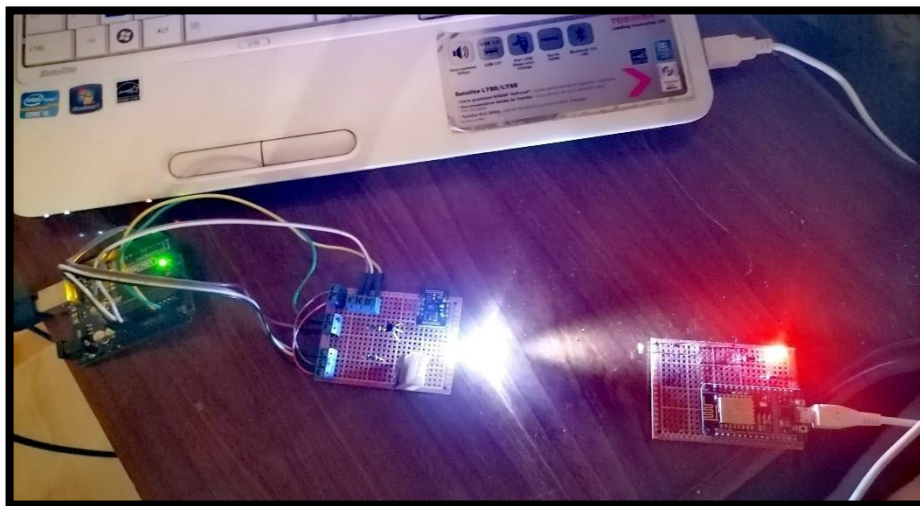


Figure IV.8 : Dispositif de télésoins.

IV.14 Test et résultat :

À l'issue de la réalisation du projet, nous avons obtenu les résultats suivants sur la plateforme Firebase :

Sur la plateforme Firebase, nous pouvons consulter les données relatives à la température et à l'humidité (26.8°C, 47.3 %) ainsi que l'heure de leur capture (20:32:53). Ces informations sont enregistrées de manière sécurisée sur la plateforme pour une conservation à long terme. Lorsqu'il y a un changement dans ces données, tous les appareils connectés reçoivent instantanément les mises à jour en quelques fractions de seconde. Une fois que la connexion est rétablie, l'appareil client synchronise toutes les modifications qu'il aurait pu manquer avec l'état actuel du serveur.

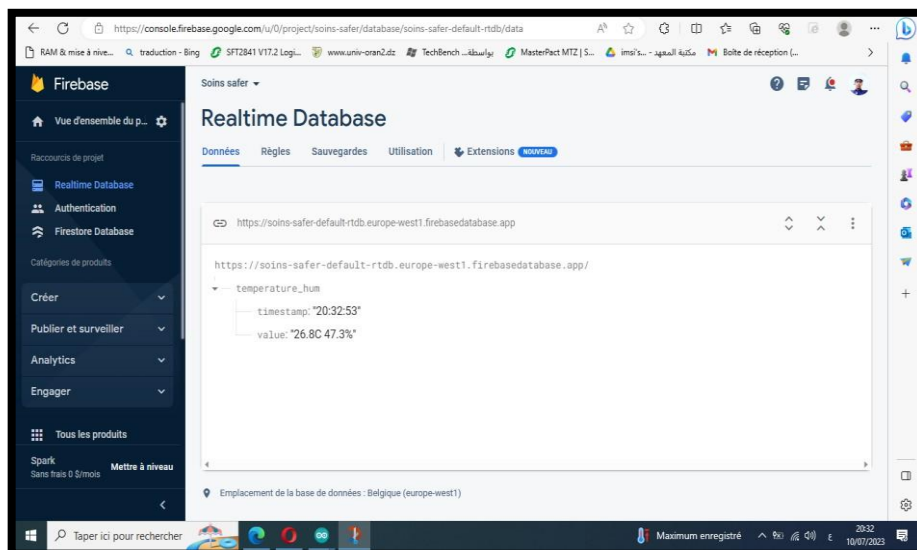


Figure IV.10 : Résultat dans la plateforme firebase.

IV.15 Variation de la distance de transmission :

Ce système a été testé sous différentes distances pour percevoir la portée maximale possible de cette communication sans erreur de transmission : C'est pourquoi nous menons des expériences sur la modification de la distance allant de 5 à 22 cm, dans le but de trouver une distance constante, utile, sans erreurs et qui soit dans la même direction entre l'émetteur et le récepteur. Des photos expérimentales sont prises sur le lieu de travail.

Une première expérience implique une distance de 5 cm dans la même direction entre l'émetteur et le récepteur. Voir la figure IV.11 :

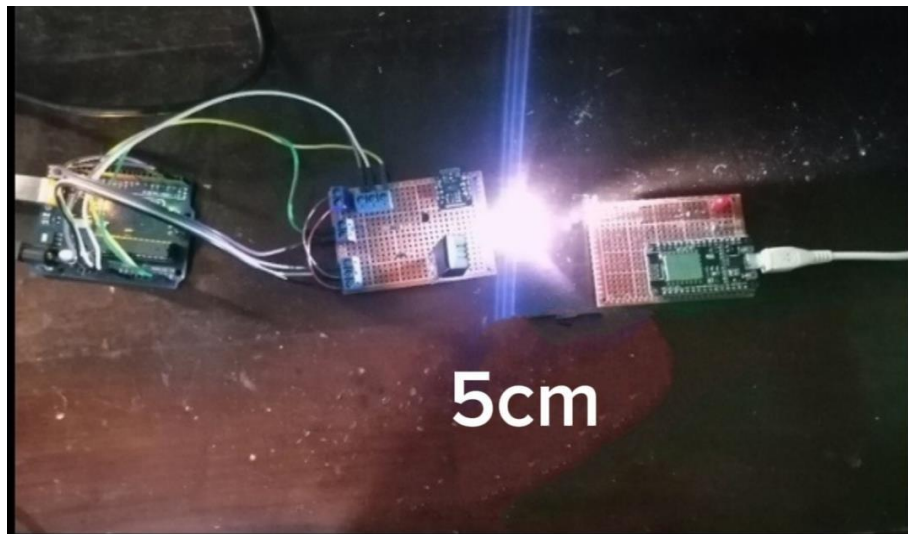


Figure IV.11 : Distance de transmission de 5 cm.

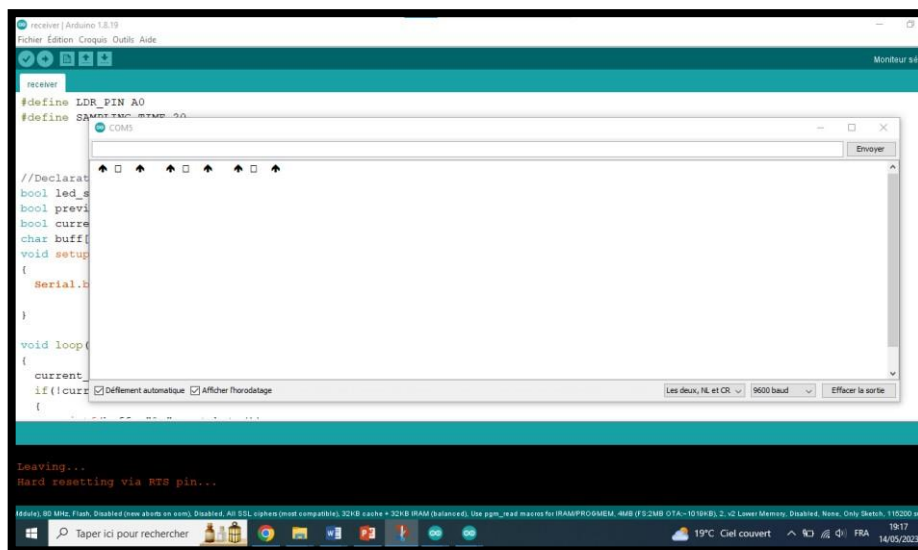


Figure IV.12 : Résultat obtenu à partir d'une distance de 5 cm.

Deuxième expérience implique une distance de 10 cm dans la même direction entre l'émetteur et le récepteur. Voir la figure IV.13 :

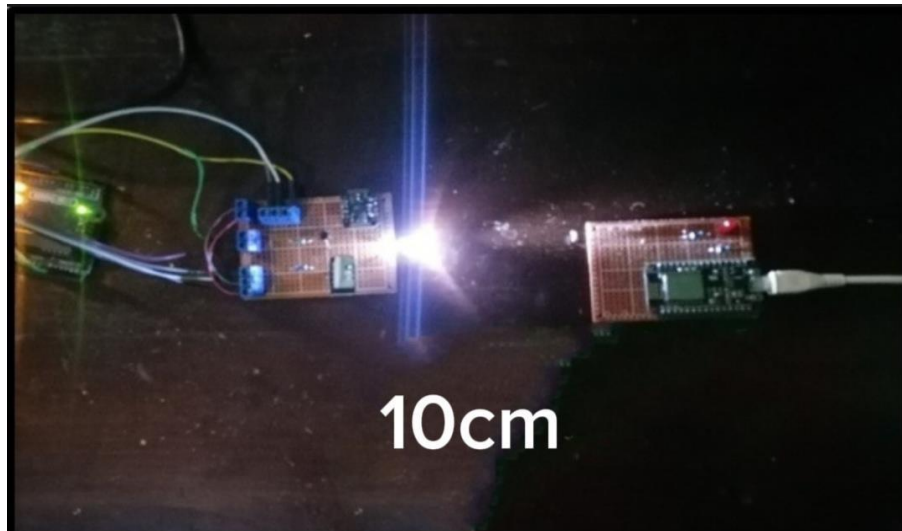


Figure IV.13 : Distance de transmission de 10 cm.

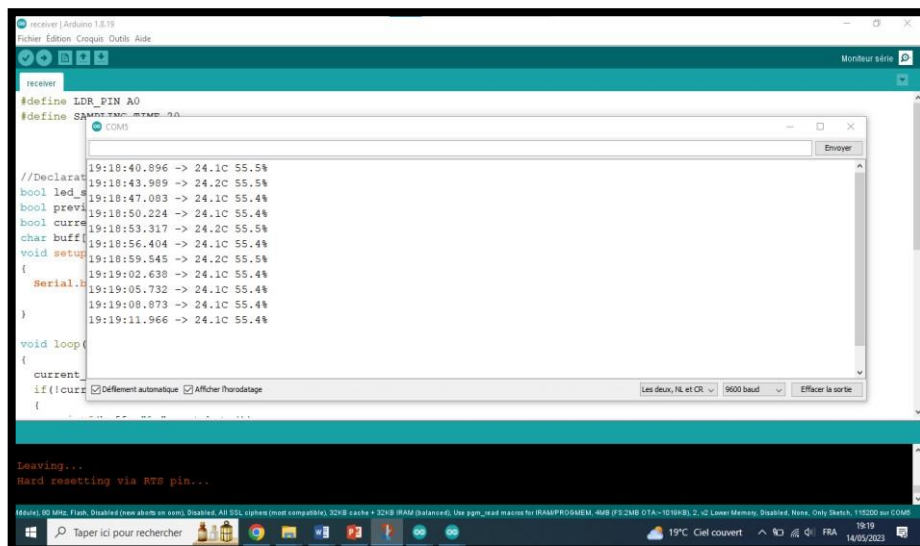


Figure IV.14 : Résultat obtenu à partir d'une distance de 8 cm.

Troisième expérience implique une distance de 15 cm dans la même direction entre l'émetteur et le récepteur. Voir la figure IV.15 :

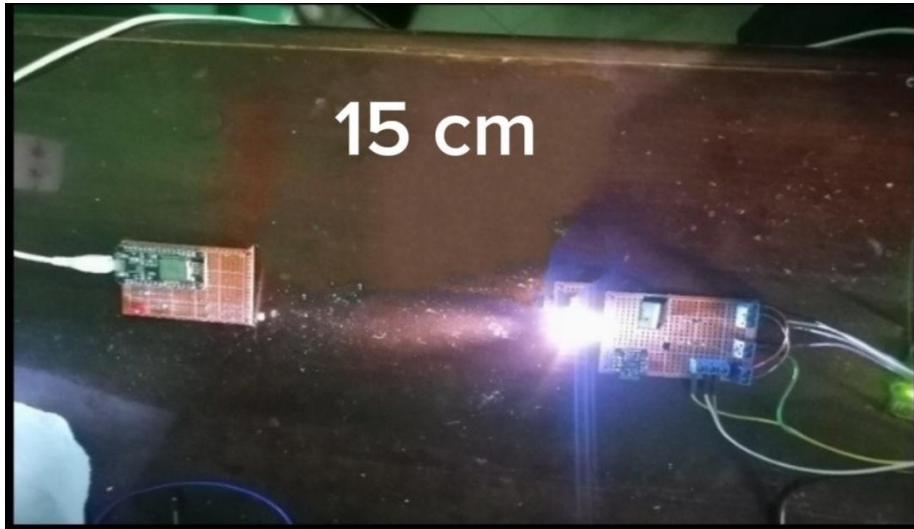


Figure IV.15 : Distance de transmission de 15 cm.

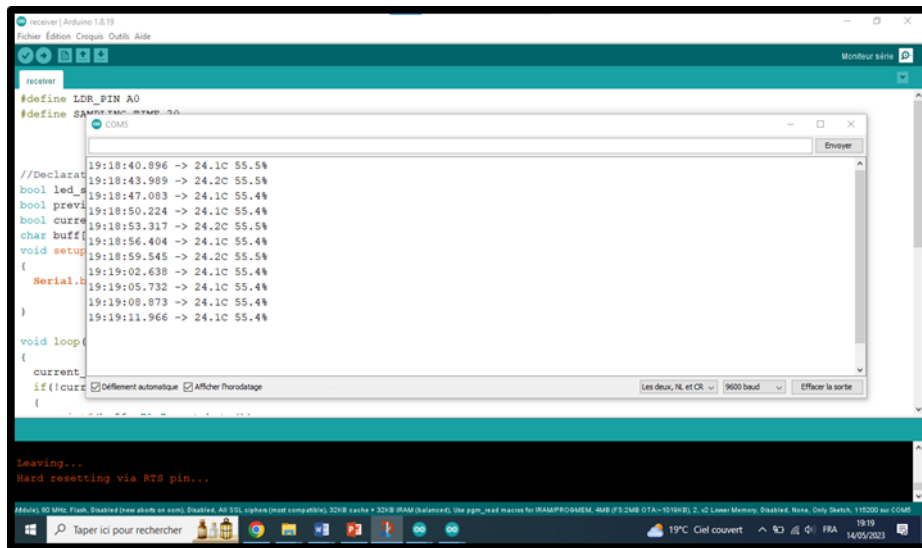


Figure IV.16: Résultat obtenu à partir d'une distance de 15 cm.

Quatrième expérience implique une distance de 22 cm dans la même direction entre l'émetteur et le récepteur. Voir la figure IV.17 :

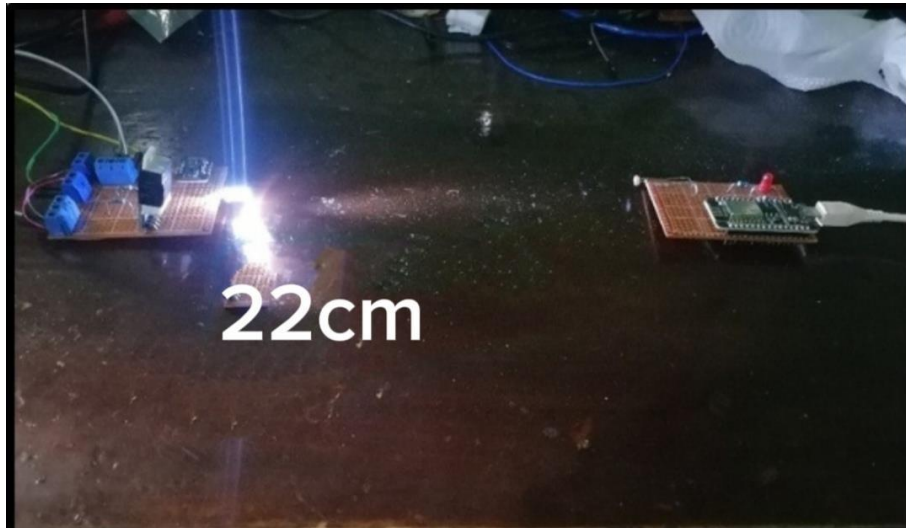


Figure IV.17 : Distance de transmission de 22 cm.

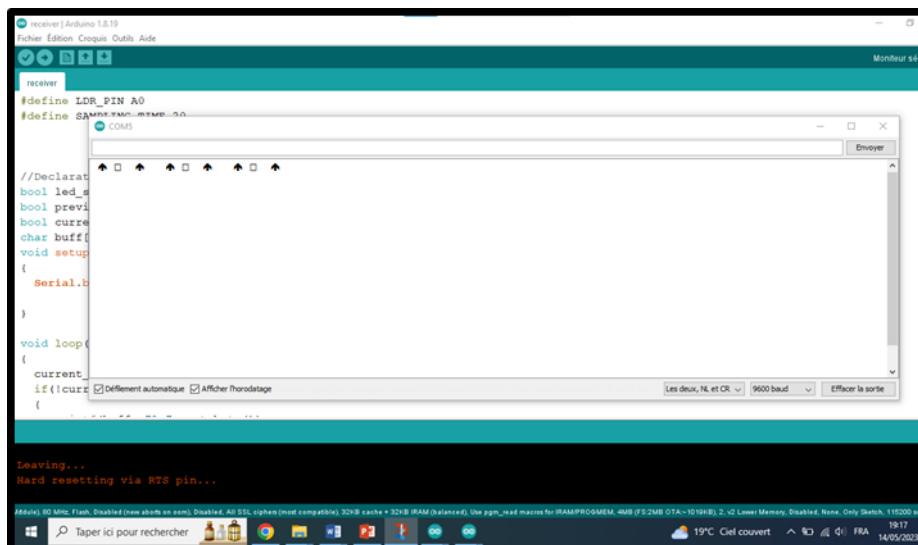


Figure IV.18 : Résultat obtenu à partir d'une distance de 22 cm.

IV.16 Résultats et discussions :

Lors de la réception avec la photorésistance (LDR), la communication est limitée à une distance fixe de 15 cm. Au-delà de cette distance, le taux d'erreur de transmission augmente considérablement. Le composant LDR n'est pas efficace pour de longues distances. Il en résulte que la sensibilité de ce type de photodétecteur n'est pas adaptée à ce type de communication.

Lors de la réalisation de l'expérience, plusieurs défis et problèmes se sont manifestés, tels que :

IV.16.1 Manque de photodétecteur disponibles. Un large choix n'était pas à portée de main et les tests effectués étaient donc limités.

IV.16.2 Perte de temps avec la photorésistance qui n'était pas adaptée à ce type de projet.

IV.16.3 Un problème de réception et d'envoi d'informations de deux capteurs, nécessitant la présence d'un autre Arduino dans l'émetteur.

IV.16.4 Puissance de la carte Arduino très faible et ne dispose pas d'une capacité de stockage élevée pour permettre l'envoi de données plus volumineuses tels que les images ou les vidéos.

IV.16.5 Manque de ressources traitant des axes différents de cette technologie qui est encore nouvelle et peu traitée.

IV.17 Perspectives et travaux futurs :

IV.17.1 Conception de ce système à l'aide d'un microcontrôleur ou un micro-processeur plus puissant tel que le FPGA ou le Raspberry.

IV.17.2 Développer ce système pour permettre l'envoi d'images et de vidéos.

IV.17.3 Implémenter un réseau Li-Fi via une connexion à internet en utilisant un câble Ethernet ou un CPL.

IV.17.4 Création d'une application Android pour permettre la communication Li-Fi entre différents types de terminaux

IV.18 Conclusion :

En intégrant le Li-Fi et l'IoT dans un système de télésoins, nous avons développé un prototype capable de collecter, traiter et transmettre les données de santé des patients en temps réel. Cependant, des tests ont révélé que la portée du Li-Fi était limitée et nécessitait une ligne de vue directe entre l'émetteur et le récepteur. Malgré ces limitations, le prototype s'est avéré prometteur, offrant une alternative potentielle aux technologies sans fil traditionnelles dans le secteur de la santé.

Les résultats de cette étude fournissent une base solide pour de futurs travaux de recherche. Des améliorations pourraient être apportées en utilisant des microcontrôleurs ou des micro-processeurs plus puissants, en développant le système pour permettre l'envoi d'images et de vidéos, et en créant une application Android pour faciliter la communication Li-Fi entre différents types de terminaux.

Conclusion Générale :

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

La technologie Li-Fi, en dépit de ses limitations actuelles, s'est révélée être une alternative viable et prometteuse aux systèmes de communication sans fil traditionnels. Sa capacité à fournir une communication rapide, bidirectionnelle, mobile et multiutilisateur, ainsi que sa résistance aux interférences électromagnétiques, ouvrent de nouvelles voies pour les applications IoT, notamment dans le secteur de la santé.

Notre projet a démontré que le Li-Fi peut être intégré dans un système de télésurveillance des patients pour améliorer la qualité des soins de santé. Bien que le prototype ait montré des résultats encourageants, il reste des défis à relever pour augmenter la portée du Li-Fi et éliminer la nécessité d'une ligne de vue directe. Cependant, avec des développements technologiques supplémentaires et des améliorations, ces défis pourraient être surmontés.

En conclusion, l'application du Li-Fi dans le cadre de l'IoT présente un potentiel considérable, offrant un système de communication plus sécurisé et potentiellement plus rapide. Bien que la technologie ne soit pas encore prête à être déployée à grande échelle, les résultats de notre étude soulignent son potentiel pour transformer la façon dont nous communiquons et interagissons avec le monde numérique. Avec le temps et des investissements en recherche et développement, le Li-Fi a la capacité de jouer un rôle significatif dans le développement futur de l'IoT, en particulier dans des domaines sensibles tels que la santé. L'avenir du Li-Fi est prometteur et nous attendons avec impatience de voir comment cette technologie continue de se développer et de s'adapter pour répondre aux besoins de notre monde de plus en plus connecté.

Au-delà des accomplissements actuels de notre projet, il existe des perspectives passionnantes pour l'amélioration de la sécurité des données des patients et l'utilisation de l'intelligence artificielle (IA) pour prédire l'évolution des paramètres vitaux, contribuant ainsi à des décisions médicales encore plus éclairées.

Référence Bibliographies :

Référence Bibliographies

Référence Bibliographies :

- [1] Haas, H. (2011). Wireless data from every light bulb. TED Talks.
[https://www.ted.com/talks/harald_haas_wireless_data_from_every_light_bulb]
- [2] P. Verma, D. J. Shekhar, et D. A. Asthana, « Light-Fidelity (Li-Fi): Transmission of Data through Light of Future Technology », p. 12, 2015.
- [3] « LIFI - Light Fidelity: Internet par Lampe LED - 14 milliards de point LIFI d'ici 2020 ans est-ce réaliste? LiFi - Li-Fi and Visible Light Communication - concept and reality », Tactis. [En ligne]. Disponible sur : <http://www.tactis.fr/nos-actualites/lifi-internet-parlampe-led-revolution-ou-utopie/>. [Consulté le: 02-avr-2019].
- [4] H. D. Ahlawat, G. Menon, et G. Chhabra, « Advanced Light Fidelity (Li-Fi) System », vol. 03, no 04, p. 4, 2016.
- [5] Hikmatyarsyah, S. Rahardjo, et J. Junde, « Light Fidelity (Li-Fi): Security and Market Sector », in Proceedings of the 7th International Conference on Photonics, Optics and Laser Technology, Prague, Czech Republic, 2019, p. 154-162.
- [6] A. Cordier et R. Vandepopeliere, « Le Li-Fi », Printemps des Sciences - Exposition des Sciences, Bruxelles, 2017.
- [7] C. Jurczak, « Le LiFi par Lucibel : Illuminer les Télécommunications », p. 18, 2017.
- [8] M. S. Islim et H. Haas, « Modulation Techniques for Li-Fi », p. 12, 2016.
- [9] Hikmatyarsyah, S. Rahardjo, et J. Junde, « Light Fidelity (Li-Fi): Security and Market Sector »: in Proceedings of the 7th International Conference on Photonics, Optics and Laser Technology, Prague, Czech Republic, 2019, p. 154-162.
- [10] M. A. Hadi, « Wireless Communication tends to Smart Technology Li-Fi and its comparison with Wi-Fi », American Journal of Engineering Research, p. 8, 2016.
- [11] « Members Communiqué » [archive], sur ITU (consulté le 31 mars 2021)
- [12] Harald Haas, « LiFi is a paradigm-shifting 5G technology », Reviews in Physics , 2017 (lire en ligne [archive])

Référence Bibliographies

- [13] BatiActu (2015) Et si l'on surfait sur Internet grâce à la lumière [archive], Par G.N., le 11/09/2015
- [14] « Le LiFi passe à la vitesse supérieure » [archive] (consulté le 3 mai 2018)
- [15] M. Nemri, “ Demain, l’Internet des objets, “ janvier 2016. [En ligne]. Disponible sur: <https://s3.eu-west-1.amazonaws.com/expopolis-4instance/magazines/MagazineN5-a3.pdf>
- [16] S. SAHRAOUI, “ Mécanismes de sécurité pour l’intégration des RCSFs à l’IoT (Internet of Things) “ Université de Batna 2, 2016.
- [17] “ L’histoire de l’IoT, “ Siemens France. <https://new.siemens.com/fr/fr/entreprise/stories/innovation-technologies/jumeau-numerique/histoire-iot.html>.
- [18] Sudip Misra, Chandana Roy, and Anandarup Mukherjee. Introduction to Industrial Internet of Things and Industry 4.0. CRC Press, 2021.
- [19] Rabeb Saad. Modele collaboratif pour l’Internet of Things (IoT). PhD thesis, Université du Québec `à Chicoutimi, 2016.
- [20] “ Caractéristiques de l’Internet des objets – Acer vo Lima,” <https://fr.acervolima.com/caracteristiques-de-l-internet-des-objets/>.
- [21] Wiki Mémoires, “Domaines d’applications de l’IoT, travaux et risques,” sept. 2019, [En ligne]. Disponible sur: <https://wikimemoires.net/2019/09/domaines-d-applications-de-l-iot/>
- [22] “ Architecture IoT : L’essentiel à savoir ,”IoT Industriel Blog, 2 janvier 2022. <https://iotindustriel.com/tendances-de-liot-industriel/architecture-iot-lessentiel-a-savoir/>
- [23] Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17(4), 2347-2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- [24] Roman, R., Zhou, J., & Lopez, J. (2013). On the features and challenges of security and privacy in distributed internet of things. Computer Networks, 57(10), 2266-2279. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2012.12.018>

[25] Roman, R., Zhou, J., & Lopez, J. (2013). On the features and challenges of security and privacy in distributed internet of things. *Computer Networks*, 57(10), 2266-2279.

[26] “ Avantages et inconvénients de l'Internet des objets - Marketing d'affaire ,”.

<https://www.affde.com/fr/pros-cons-of-internet-of-things.html/>.

[27] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Génération Computer System*, 29(7), 1645-1660.

[28] Yaser Yousef. Routage pour la gestion de l'énergie dans les réseaux de capteurs sans fil. PhD thèses, Mulhouse, 2010.

[29] Oussama Drissi. Implémentation d'une stratégie de routage multi-niveau de données d'un réseau de capteurs sans fil dans le domaine ferroviaire. PhD thesis, Université du Québec `a Trois-Rivières, 2014.

<https://iotindustriel.com/iot-iiot/architecture-iot-lessentiel-a-savoir/>

[30] présenté par : Encadreur : • DEKHMOCHE Racha A.MERAZGA F.MOULAHCEN • GABSI SanaSpécialité : physique appliquée Thème :Mémoire de fin d'étude Conception et réalisation d'un surveillance médicale basé IoT PhD thesis, Universit'e de Mohammed kheider biskra, 2021.

[31]Luca Mainetti, Luigi Patrono, and Antonio Vilei. Evolution of wireless sensor networks towards the internet of things : A survey.

In SoftCOM 2011, 19th international conference on software, telecommunications and computer networks.

[32][Indice humidex — Wikipédia \(wikipedia.org\)](#)

Annexes

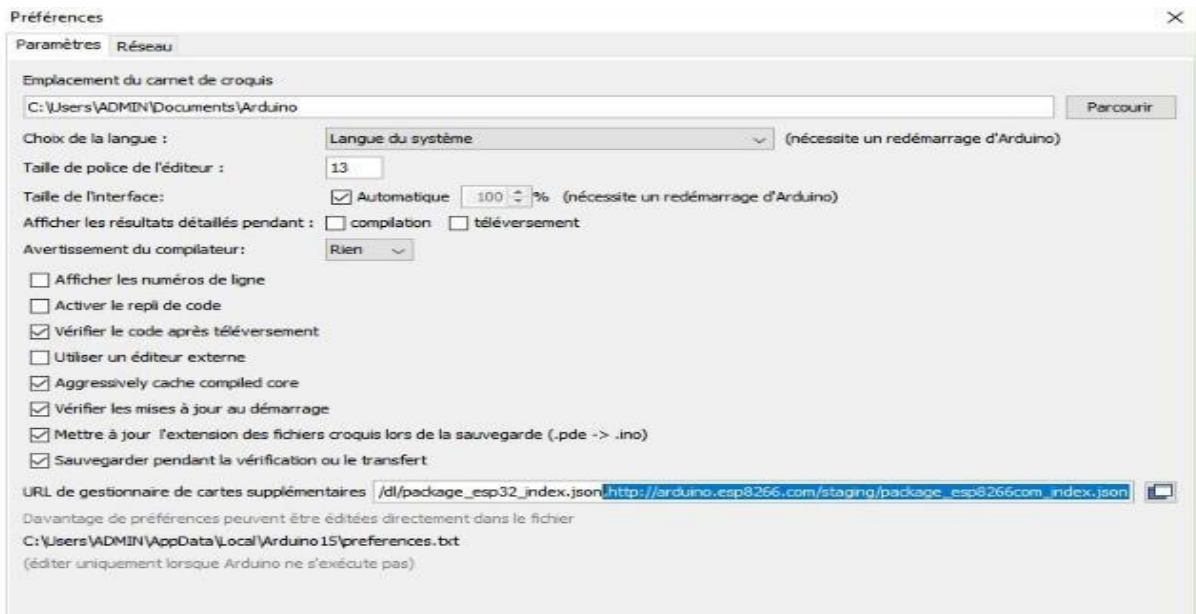
Annexes

Annexes 01:

Pour récupérer les gestionnaires il faut trouver l'URL correspondant. Dans le cas du NodeMCU ESP8266

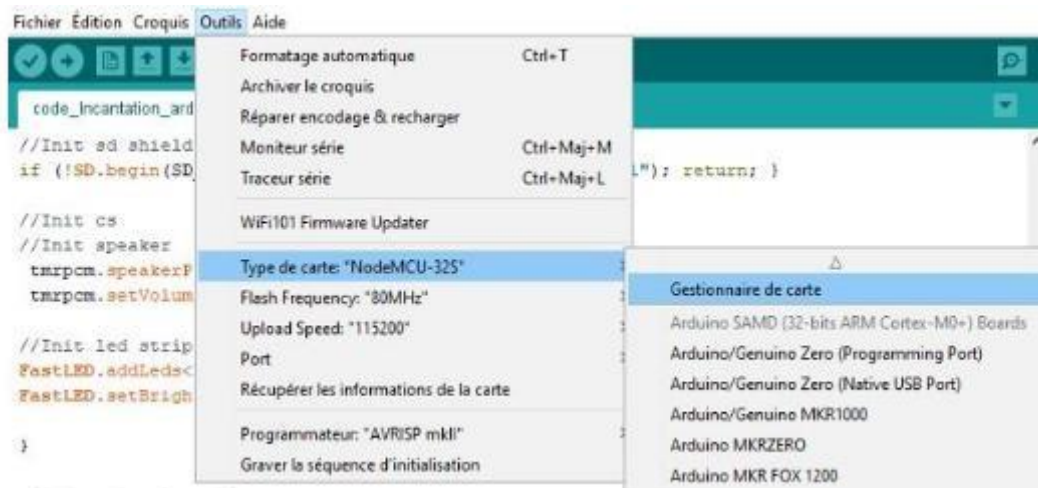
, http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json

Etape2 : Ouvrez ensuite la fenêtre Fichier>Préférences du logiciel Arduino. En bas de la page vous trouverez une zone de texte dans laquelle entrer l'URL: « URL de gestionnaire de cartes supplémentaires ». (n'oubliez pas de séparer les URL par une virgule « , »).



Installer les gestionnaires :

Sous l'onglet « Outils », suivez le chemin « Type de carte > Gestionnaire de carte ». L'IDE va charger le catalogue de carte à partir de l'URL.



Si vous recherchez le microcontrôleur dans la barre de recherche, le paquet à installer devrait s'afficher.

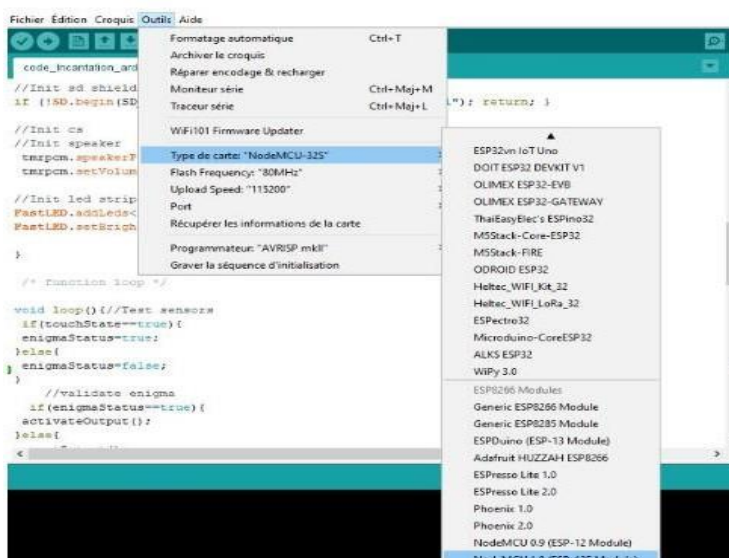
Annexes



Sélectionner la configuration :

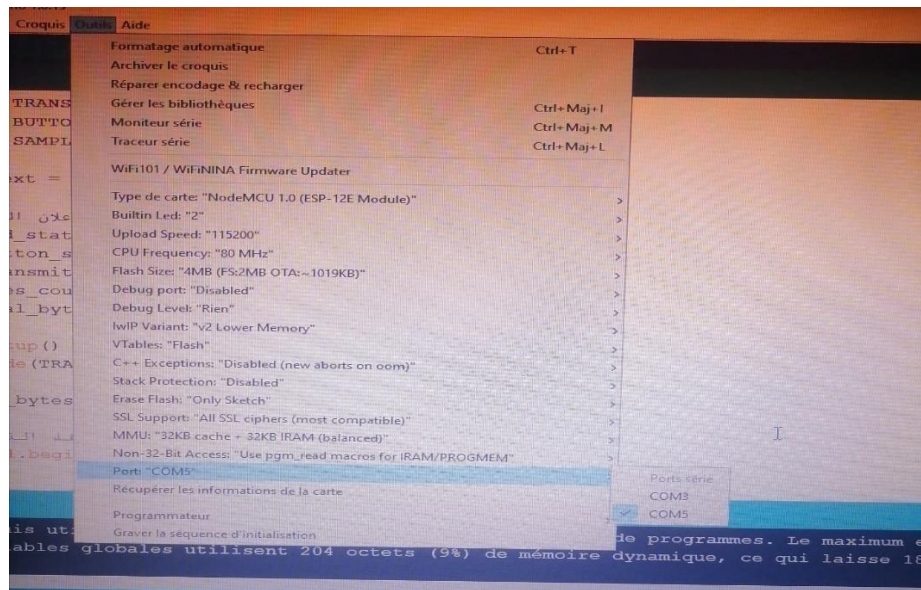
Une fois le paquet de gestion installé, le microcontrôleur devrait apparaître dans les choix de Type de carte.

Pour NodeMCU ESP8266 (V2 et V3), sélectionnez « NodeMCU 1.0 (ESP-12E Module) »



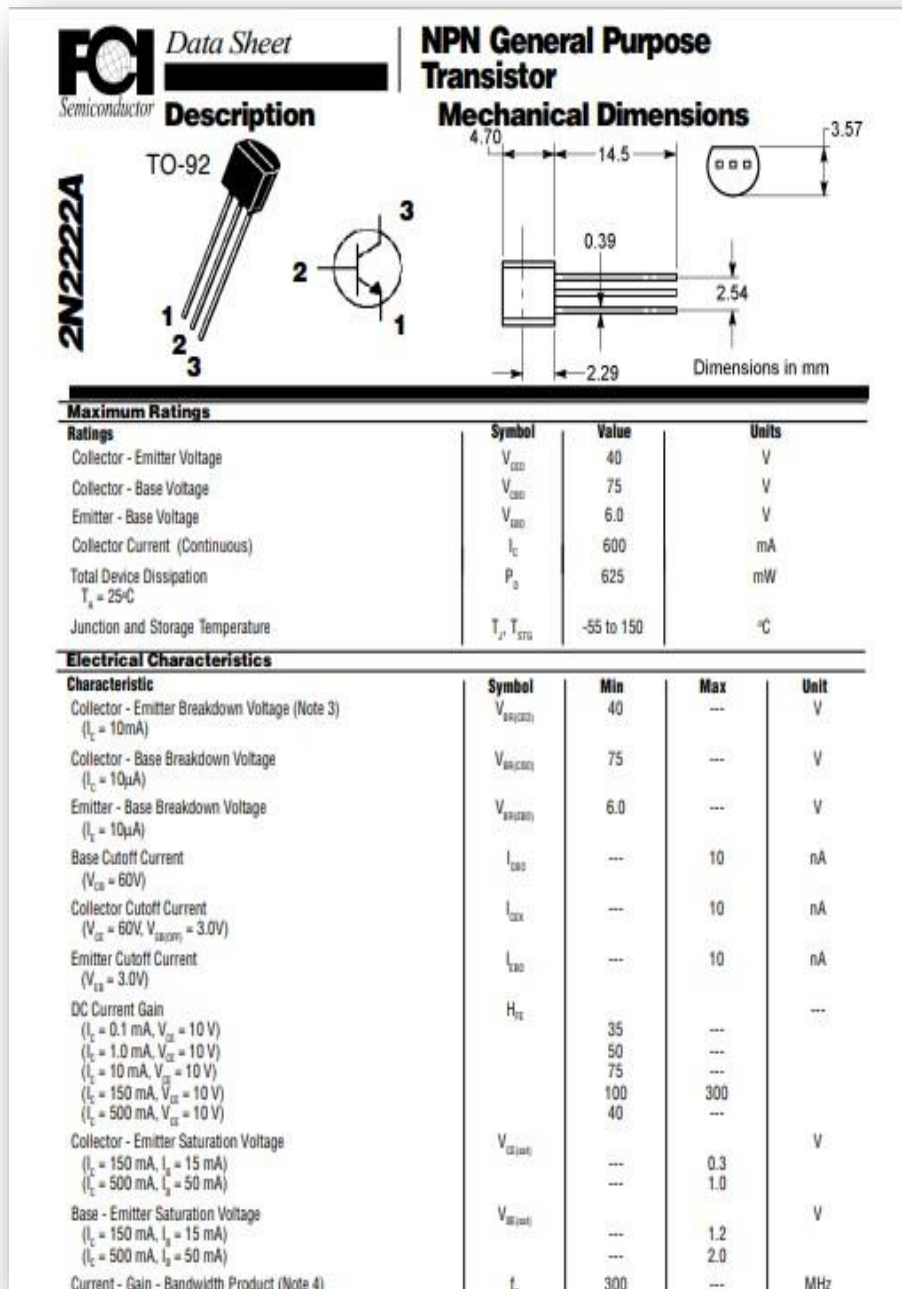
Annexes

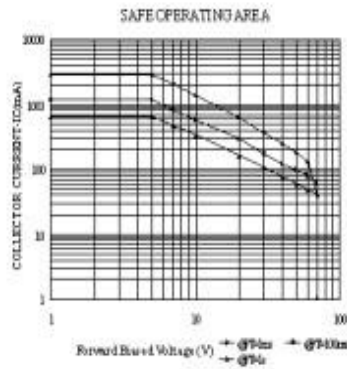
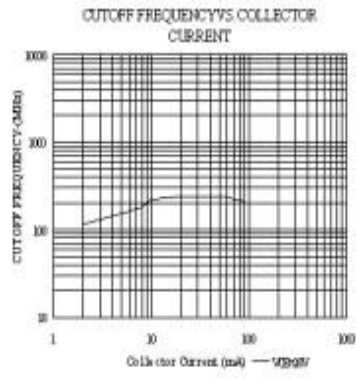
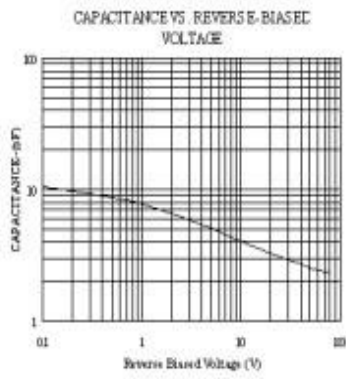
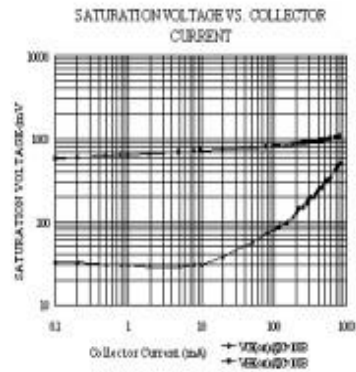
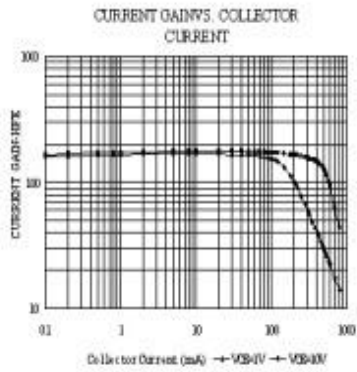
Tél verser code dans port com 5 de nodemcu :



Annexes

Annexes 02 :





Annexes

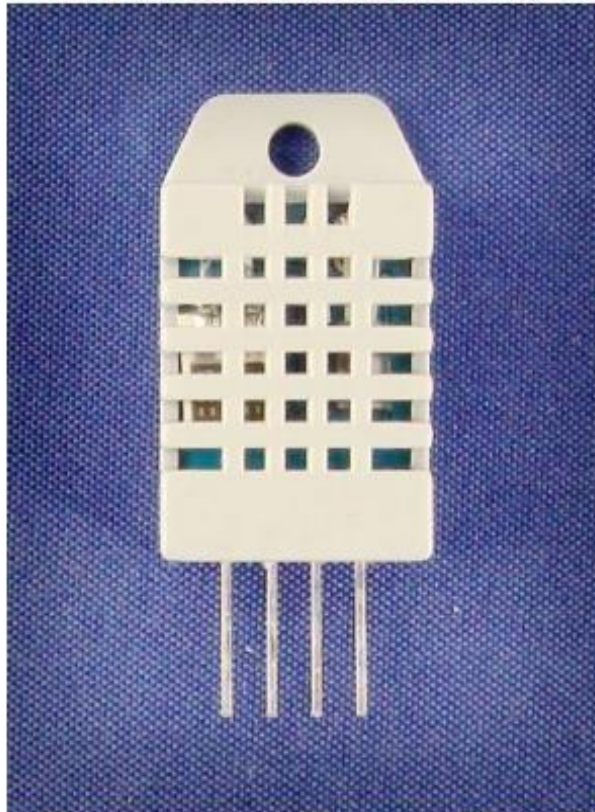
Annexes 03 :

Aosong Electronics Co.,Ltd

Vote specialist in innovating humidity & temperature sensors

Digital-output relative humidity & temperature sensor/module

DHT22 (DHT22 also named as AM2302)



Capacitive-type humidity and temperature module/sensor

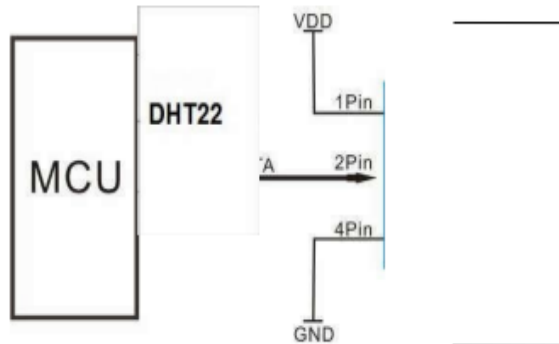
Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

5. Electrical connection diagram:



3Pin---NC, AM2302 is another name for DHT22

6. Operating specifications:

(1) Power and Pins

Power's voltage should be 3.3-6V DC. When power is supplied to sensor, don't send any instruction to the sensor within one second to pass unstable status. One capacitor valued 100nF can be added between VDD and GND for wave filtering.

(2) Communication and signal

Single-bus data is used for communication between MCU and DHT22, it costs 5mS for single time communication.

Data is comprised of integral and decimal part, the following is the formula for data.

DHT22 send out higher data bit firstly!

DATA=8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data+8 bit check-sum
If the data transmission is right, check-sum should be the last 8 bit of "8 bit integral RH data+8 bit decimal RH data+8 bit integral T data+8 bit decimal T data".

When MCU send start signal, DHT22 change from low-power-consumption-mode to running-mode. When MCU finishes sending the start signal, DHT22 will send response signal of 40-bit data that reflect the relative humidity

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

1. Feature & Application:

- * Full range temperature compensated * Relative humidity and temperature measurement
- * Calibrated digital signal * Outstanding long-term stability * Extra components not needed
- * Long transmission distance * Low power consumption * 4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

DHT22 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT22 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

3. Technical Specification:

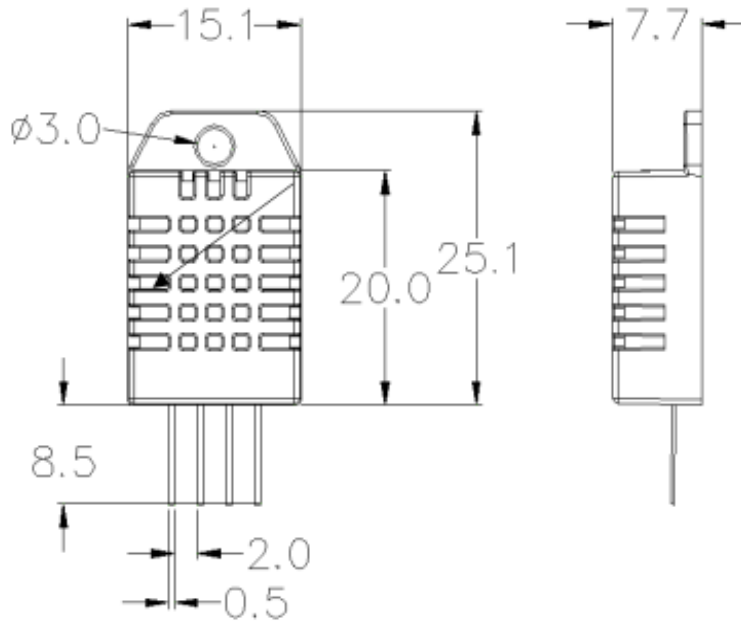
Model	DHT22	
Power supply	3.3-6V DC	
Output signal	digital signal via single-bus	
Sensing element	Polymer capacitor	
Operating range	humidity 0-100%RH;	temperature -40~80Celsius
Accuracy	humidity +2%RH(Max +5%RH); temperature <+0.5Celsius	
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH;	temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +1%RH; temperature +0.2Celsius	
Humidity hysteresis	+0.3%RH	
Long-term Stability	+0.5%RH/year	
Sensing period	Average: 2s	
Interchangeability	fully interchangeable	
Dimensions	small size 14*18*5.5mm;	big size 22*28*5mm

4. Dimensions: (unit---mm)

1) Small size dimensions: (unit---mm)

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Pin sequence number: 1 2 3 4 (from left to right direction).

Pin	Function
1	VDD—power supply
2	DATA—signal
3	NULL
4	GND

4

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

MAX30102

High-Sensitivity Pulse Oximeter and Heart-Rate Sensor for Wearable Health

General Description

The MAX30102 is an integrated pulse oximetry and heart-rate monitor module. It includes internal LEDs, photodetectors, optical elements, and low-noise electronics with ambient light rejection. The MAX30102 provides a complete system solution to ease the design-in process for mobile and wearable devices.

The MAX30102 operates on a single 1.8V power supply and a separate 5.0V power supply for the internal LEDs. Communication is through a standard I²C-compatible interface. The module can be shut down through software with zero standby current, allowing the power rails to remain powered at all times.

Applications

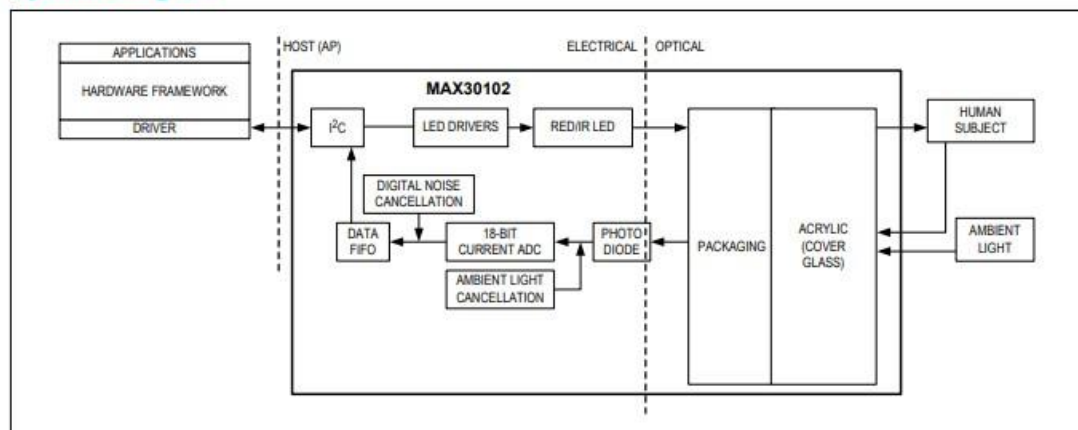
- Wearable Devices
- Fitness Assistant Devices

Benefits and Features

- Heart-Rate Monitor and Pulse Oximeter Sensor in LED Reflective Solution
- Tiny 5.6mm x 3.3mm x 1.55mm 14-Pin Optical Module
 - Integrated Cover Glass for Optimal, Robust Performance
- Ultra-Low Power Operation for Mobile Devices
 - Programmable Sample Rate and LED Current for Power Savings
 - Low-Power Heart-Rate Monitor (< 1mW)
 - Ultra-Low Shutdown Current (0.7µA, typ)
- Fast Data Output Capability
 - High Sample Rates
- Robust Motion Artifact Resilience
 - High SNR
- -40°C to +85°C Operating Temperature Range

Ordering Information appears at end of data sheet.

System Diagram



Annexes

Electrical Characteristics

($V_{DD} = 1.8V$, $V_{IR_LED+} = V_{R_LED+} = 5.0V$, $T_A = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$, unless otherwise noted. Typical values are at $T_A = +25^{\circ}C$) (Note 2)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
POWER SUPPLY						
Power-Supply Voltage	V_{DD}	Guaranteed by RED and IR count tolerance	1.7	1.8	2.0	V
LED Supply Voltage R_LED+ or IR_LED+ to PGND	V_{LED+}	Guaranteed by PSRR of LED driver (R_LED+ and IR_LED+ only)	3.1	3.3	5.25	V
Supply Current	I_{DD}	SpO ₂ and HR mode, PW = 215 μ s, 50sps		600	1200	μ A
		IR only mode, PW = 215 μ s, 50sps		600	1200	
Supply Current in Shutdown	I_{SHDN}	$T_A = +25^{\circ}C$, MODE = 0x80		0.7	10	μ A
PULSE OXIMETRY/HEART-RATE SENSOR CHARACTERISTICS						
ADC Resolution				18		bits
Red ADC Count (Note 3)	REDC	RED_PA = 0x0C, LED_PW = 0x01, SPO2_SR = 0x05, ADC_RGE = 0x00, $T_A = +25^{\circ}C$	55536	65536	75536	Counts
IR ADC Count (Note 3)	IRC	IR_PA = 0x0C, LED_PW = 0x01, SPO2_SR = 0x05, ADC_RGE = 0x00, $T_A = +25^{\circ}C$	55536	65536	75536	Counts

Annexes

Typical Operating Characteristics

($V_{DD} = 1.8V$, $V_{LED+} = 5.0V$, $T_A = +25^{\circ}C$, RST, unless otherwise noted.)

