

Étude de la communication par laser à grande distance

Au collège, mon professeur de technologie nous avait parlé d'un nouveau système de communication par lumière : le Li-Fi. Passionné par les sciences numériques, je m'étais alors demandé comment de la simple lumière pouvait transporter de l'information. C'est la question à laquelle j'essaie de répondre au travers de ce TIPE.

Il s'agit de concevoir et de mettre en œuvre un système capable de transmettre des images ou un signal sonore entre deux bâtiments séparés d'une centaine de mètres, en utilisant un signal lumineux comme support de transmission. Pour cela, on convertira un signal numérique en signal électrique puis lumineux.

Ce TIPE fait l'objet d'un travail de groupe.

Liste des membres du groupe :

- *PERROT Raphaël*

Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :

- *SCIENCES INDUSTRIELLES (Traitement du Signal)*

- *PHYSIQUE (Physique Ondulatoire)*

- *INFORMATIQUE (Informatique pratique)*

Mots-clés (ÉTAPE 1) :

Mots-clés (en français)

Communication sans fil

Conversion Analogique-Numérique (CAN)

Encodage de l'information

Algorithme K-nn

Laser

Mots-clés (en anglais)

Wireless communication

Analog-to-Digital Conversion (ADC)

Information encoding

K-nn algorithm

Laser

Bibliographie commentée

Les technologies de communication sans fil ont connu une évolution rapide ces dernières années, propulsées par l'augmentation du nombre de dispositifs connectés et la nécessité de répondre à une demande croissante de données à haut débit. Face à la saturation des spectres radiofréquences, la technologie **Light Fidelity (Li-Fi)**, qui repose sur l'utilisation de la **lumière visible** pour la transmission de données, s'impose comme une alternative prometteuse

au Wi-Fi traditionnel. Contrairement aux réseaux sans fil basés sur les ondes radio, le Li-Fi exploite le spectre lumineux, offrant ainsi une capacité de transmission largement supérieure [1].

Le Li-Fi repose sur des sources lumineuses telles que les diodes électroluminescentes (LED) ou des **lasers** pour la transmission de données, et utilise la **modulation** de lumière pour encoder l'information. Cette technologie permet des vitesses de transmission pouvant atteindre jusqu'à 1 Gb/s, et tire profit de la vaste bande passante disponible dans la lumière visible, estimée à 2600 fois plus grande que celle des ondes radio [2],[3], sans interférer avec les dispositifs utilisant les radiofréquences [1],[2].

Lors de la communication par laser, les variations de luminosité ambiante empêchent la mise en place d'un seuil de détection fixe entre les bits forts et faibles (1,0). Cette problématique de l'adaptabilité du système à l'environnement peut être particulièrement bloquante pour la réalisation d'un tel prototype. Il sera alors intéressant de mettre en place un système de détection automatique de ces états hauts et bas à posteriori, à l'aide d'un **algorithme de K-nn**. Cet algorithme d'intelligence artificielle est en effet adapté pour les opérations de "clustering", permettant la classification des bits [4].

Pour limiter les erreurs occasionnelles, la **méthode de Hamming** [5] joue un rôle crucial, assurant la fiabilité des transmissions. En effet, les signaux lumineux peuvent être perturbés par divers facteurs comme les interférences atmosphériques ou des obstacles accidentels. Ces perturbations peuvent entraîner des inversions de bits (0 devenant 1 et inversement), compromettant l'intégrité du message reçu. Grâce au code de Hamming, il est possible non seulement de détecter ces erreurs, mais aussi de les corriger automatiquement si une seule erreur de bit s'est produite [6].

Dans un objectif de miniaturisation et de portabilité du matériel, les codes mis en place doivent avoir une complexité minimale, pouvant ainsi s'exécuter sur des microcontrôleurs tout en ralentissant le moins possible le traitement de l'information. Pour augmenter la vitesse de transmission (émission comme réception) du signal, il est également crucial de choisir avec précision les composants électroniques utilisés (transistors, phototransistors/photodiodes [7]), les plus adaptés pour le transfert de données.

En outre, cette technologie assure un niveau de sécurité accru, car la lumière visible ne traverse pas les murs et ne peut être captée qu'à proximité de la source lumineuse, rendant ainsi les transmissions moins vulnérables aux interceptions à distance [8].

Cependant, bien que le Li-Fi soit particulièrement adapté aux transmissions de données à courte portée (généralement de quelques mètres à quelques dizaines de mètres), il présente certaines limitations liées à la nécessité d'une ligne de vue entre l'émetteur et le récepteur. Cette contrainte limite son utilisation dans des environnements extérieurs ou dans des situations où des obstacles peuvent bloquer la transmission. À cet égard, la communication par

laser, qui repose sur des principes similaires au Li-Fi, permet d'élargir la portée des transmissions jusqu'à des **distances de 100 mètres ou plus**, tout en maintenant un haut débit de données [3].

Dans l'objectif d'étudier la communication par laser et ses limites, nous réaliserons un dispositif capable d'émettre une information modulée à une vitesse de transmission satisfaisante, ainsi qu'un système en mesure de recevoir cette information à une distance de l'ordre de la centaine de mètres, tout en assurant la bonne qualité de l'information sur le lieu de réception.

Problématique retenue

La technologie laser est-elle efficace pour communiquer sur de longues distances ? Comment limiter les erreurs présentes lors de la réception d'un signal binaire ? Quels sont les avantages qu'elle présente par rapport à l'utilisation de fibre optique ?

Objectifs du TIPE du candidat

1. Concevoir un système de réception, permettant de convertir un signal optique en signal numérique
2. Réaliser un dispositif capable de communiquer à l'échelle de la dizaine de mètres
3. Créer un algorithme de traitement des données reçues et de correction des erreurs pour limiter la perte d'information
4. Étudier les limitations techniques du prototype
5. Amélioration du système pour une utilisation à longue distance

Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

- [1] LOUIZA HAMADA : Conception d'une architecture supportant la technologie Li-Fi : *Université de Haute Alsace - Mulhouse, 2022. Français. NNT : 2022MULH5026. tel-03955897*
- [2] JORGE GARCIA-MARQUEZ, SUAT TOPSU : Les communications par lumière visible : le Li-Fi : <https://www.photoniques.com/articles/photon/pdf/2017/03/photon201786p22.pdf>
- [3] LUC CHASSAGNE : Technologie LiFi (Light Fidelity) : *Laboratoire LISV EA4048, université de Versailles Saint-Quentin, Vélizy, France*
- [4] D.COOMANS, D.L.MASSART : Alternatives K-nn rules in supervised pattern recognition : *Analytica chimica acta, 136 (1982)*
- [5] R.W.HAMMING : Error Detecting and Error Correcting Codes : *The bell system technical journal, April 1950*

- [6] DR. ANIL KUMAR SINGH : Error Detection and Correction by Hamming Code :
Department of Information Technology Jagran Institute of Management, City: Kanpur, U.P., India
- [7] MALTI BANSAL, RAAGHAV RAJ MAIYA : Phototransistor: The Story So Far :
Department of Electronics & Communication Engineering Delhi Technological University, Delhi-110042, India
- [8] ALIN CAILEAN : Etude et réalisation d'un système de communications par lumière visible (VLC/LiFi). Application au domaine automobile. : *Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines, 2014. Français. NNT : tel-01156468*

DOT

- [1] : *Septembre -> Novembre : mise en place du système d'émission, implémentation des fonctions de conversion de données*
- [2] : *Octobre : Étude des caractéristiques des photorésistances*
- [3] : *Novembre -> Janvier : mise en place du premier système de réception, premiers essais et premiers blocages (erreurs de transmission, signaux erronés)*
- [4] : *Janvier -> Février : mise en place du second système de communication, avec traitement différé de l'information*
- [5] : *Février -> Mars : implémentation du code correcteur de Hamming, essais concluants à grande distance*
- [6] : *Mars -> Avril : étude du caractère gaussien du faisceau laser, étude théorique de la distance limite d'émission*