



## Rapport de stage

# MODULE DE CONTRÔLE D'UN FAUTEUIL ROULANT ELECTRIQUEMENT ASSSISTE.

Présenté par :

Berger Ghislain THEUBO

Encadrants:

-Roger PISSARD

-Christophe BRAILLON

-Samuel HEIDMANN

27 Mai 2024 - 30 Août 2024

<b>I. Introduction.....</b>	<b>5</b>
<b>II. Contexte du projet.....</b>	<b>5</b>
<b>III. Gestion du temps pendant mon stage : adaptation, exploration, structuration.....</b>	<b>9</b>
<b>IV. Outils utilisés :Du développement embarqué à la collaboration en ligne.....</b>	<b>11</b>
<b>4.1 Outils Logiciels.....</b>	<b>11</b>
<b>4.2La carte Adafruit nRF52840 : le cœur du fauteuil roulant intelligent.....</b>	<b>12</b>
<b>4.3 Capteurs TOF : Les yeux de la chaise roulante intelligente.....</b>	<b>13</b>
<b>4.4 Le protocole Ble.....</b>	<b>14</b>
<b>V. Travaux réalisés.....</b>	<b>15</b>
<b>5.1Architecture de la solution.....</b>	<b>15</b>
<b>5.2Optimisation de la communication : passage du BLE HID au BLE UART.....</b>	<b>17</b>
<b>5.3Conception du nouveau système.....</b>	<b>18</b>
<b>5.4Résultats Obtenus.....</b>	<b>21</b>
<b>5.6Potentielles Ameliorations .....</b>	<b>22</b>
<b>VI. Obstacles.....</b>	<b>22</b>
<b>VII. Bilan personnel.....</b>	<b>23</b>

## Remerciements

Du fond du cœur, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à tous les membres du SED pour leur accueil si chaleureux. Chaque jour passé à leurs côtés a été une véritable source d'inspiration, où j'ai eu la chance de me sentir pleinement intégré, comme un membre à part entière d'une équipe soudée. J'ai énormément appris et grandi grâce à leur bienveillance et leur expertise.

Je suis également infiniment reconnaissant envers mes encadreurs pour m'avoir offert cette opportunité unique de travailler sur un projet aussi passionnant et porteur de sens. Leur soutien indéfectible, tant sur le plan professionnel que personnel, m'a permis de surmonter les obstacles et de donner le meilleur de moi-même. Un merci tout particulier à M.PISSARD , dont les activités "hors programme "ont été une source d'énergie et de motivation inestimable et surtout de joie tout au long de ce stage,( grand supporter des maillots en couleur je resterai: ) ).

Cette première expérience en France restera à jamais gravée dans ma mémoire. Je n'aurais pas pu rêver d'un début plus enrichissant et épanouissant comme premier stage.

### Liste des Sigles utilisés :

**MHK : My Human Kit**

**TOF : Time-of-Flight (capteur de temps de vol)**

**BLE : Bluetooth Low Energy**

**HID : Human Interface Device (dispositif d'interface humaine)**

**UART : Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (émetteur-récepteur asynchrone universel)**

**GPIO : General Purpose Input/Output (entrées/sorties à usage général)**

**IDE : Integrated Development Environment (environnement de développement intégré)**

**CNA : Convertisseur numérique-analogique**

**OTA : Over-The-Air (sans fil)**

**LED : Light-Emitting Diode (diode électroluminescente)**

**IoT : Internet of Things (Internet des objets)**

**GATT : Generic ATtribute (attribut générique)**

## I.Introduction

L'autonomie et la sécurité sont des enjeux majeurs pour les personnes en situation de handicap utilisant un fauteuil roulant manuel à assistance électrique. Les difficultés de contrôle, notamment en cas de faible adhérence, peuvent limiter leur mobilité et compromettre leur sécurité. C'est dans ce contexte que s'inscrit ce stage, réalisé au sein du Service Expérimentation et Développement (SED) de l'Inria Grenoble. Ce rapport présente le projet "Modules de contrôle d'un fauteuil roulant manuel électriquement assisté", visant à améliorer l'expérience utilisateur et la sécurité des personnes à mobilité réduite. Nous explorerons les défis rencontrés dans le prototype initial, la conception

d'une nouvelle architecture basée sur un capteur central et le protocole de communication BLE UART, ainsi que les résultats obtenus en termes de contrôle, de sécurité et d'évolutivité. Nous aborderons également les outils et méthodes utilisés lors du développement, ainsi que les perspectives d'amélioration futures pour ce projet innovant.

## II.Contexte du projet

### 2.1. Structure d'accueil : L'Inria

L'Inria, l'Institut national de recherche en informatique et en automatique, est un établissement public à caractère scientifique et technologique. Fondé en 1967, il a comme mission de valorisation de la recherche et des domaines des sciences et techniques de l'information et de la communication. Avec près de 3 900 chercheurs et ingénieurs répartis dans dix centres à travers la France et un au Chili, l'Inria est un acteur majeur de la transformation numérique. Ses équipes travaillent sur des sujets de pointe tels que l'intelligence artificielle, la science des données et la robotique, contribuant ainsi à l'avancée des connaissances et à leur application dans la société. L'Inria se distingue également par son engagement dans des programmes de recherche européens comme Horizon Europe, et par son soutien à l'innovation entrepreneuriale à travers Inria Start-up Studio, qui a accompagné la création de plus de 170 start-ups technologiques ces 20 dernières années.

Le centre de recherche Inria de l'Université Grenoble Alpes, situé à Inovalée/Montbonnot et dirigé par Frédéric Desprez, s'inscrit pleinement dans cette dynamique. Il accueille des équipes-projets collaboratives, dont certaines offrent des opportunités de stage comme celui dans lequel s'est déroulé mon projet .

### 2.2. Équipe Intégrée : Le Service Expérimentation et Développement (SED)

Au cours de ce stage, j'ai été accueilli au sein du Service Expérimentation et Développement (SED) de l'Inria Grenoble. Le SED joue un rôle crucial en soutenant les équipes-projets dans le développement logiciel et la mise en place de plateformes. Les ingénieurs de recherche du SED bénéficient d'un accès privilégié à des ressources informatiques et mécaniques de pointe, notamment des imprimantes 3D et des découpeuses laser, favorisant ainsi l'innovation et la réalisation concrète de projets.

J'ai eu la chance d'être encadré par trois ingénieurs de recherche Inria expérimentés :

— **Christophe Brailon**, ancien diplômé de l'Ensimag et chef du SED depuis avril

2021, possède une solide expérience en enseignement et en entrepreneuriat, ayant notamment lancé une start-up soutenue par l'Inria.

— **Roger Pissard**, ingénieur de recherche à l'Inria depuis 1993, est spécialisé en robotique, systèmes embarqués et réseaux de capteurs. Il a également cofondé deux start-ups incubées à l'Inria et porte un intérêt particulier à la conception de dispositifs d'aide au handicap.

— **Samuel Heidmann**, ingénieur de recherche à l'Inria dans le service du SED ou il a été un atout majeur dans la réalisation et la conception sur lequel j'ai travaillé

### **2.2.1. My Human Kit**

My Human Kit (MHK)[1] , fondée en 2014, est une association qui place les personnes en situation de handicap au cœur du processus d'innovation. Elle les encourage à devenir porteurs de projets en identifiant leurs besoins et en proposant des idées d'aides techniques. MHK accompagne ensuite ces porteurs de projet dans la conception et la réalisation de solutions personnalisées, qu'il s'agisse d'alternatives à des produits existants trop coûteux ou inadaptés, ou de créations entièrement nouvelles.

MHK a également initié la création du réseau Humanlab, qui fédère des associations partageant la même philosophie à travers la France. Le Human- lab Saint-Pierre à Palavas et Autonabee à Lyon en sont des exemples. Ces associations mettent à disposition des fablabs, véritables ateliers de fabrication numérique où les idées prennent forme grâce à des outils de pointe et à l'expertise des membres de la communauté.

### **2.2.2. Humanlab Inria**

Humanlab Inria est une action exploratoire qui vise à renforcer les liens entre l'Inria et le réseau des Humanlabs. En mettant à disposition l'expertise de ses chercheurs et ingénieurs, l'Inria contribue à la réalisation de projets innovants répondant aux besoins spécifiques des personnes en situation de handicap.

Cette collaboration permet de combiner les compétences en recherche et développement de l'Inria avec l'approche centrée sur l'utilisateur de MHK et des Humanlabs. Elle favorise ainsi l'émergence de solutions technologiques pertinentes, accessibles et open-source, qui améliorent concrètement la qualité de vie des personnes handicapées.

Les projets issus de cette collaboration sont systématiquement documentés et partagés en accès libre sur le Wikilab de MHK, encourageant ainsi la diffusion des connaissances et la reproduction des solutions par d'autres acteurs. Le projet de stage sur lequel j'ai travaillé s'inscrit pleinement dans cette démarche d'innovation ouverte et inclusive.

## **2.3. Le projet : "Modules de contrôle d'un fauteuil roulant manuel électriquement assisté"**

Sous l'encadrement de Roger PISSARD et Samuel HEIDMANN , j'ai travaillé pendant trois mois et demi sur le projet nommé : "Modules de contrôle d'un fauteuil roulant manuel électriquement assisté". Parmi les nombreux projets portés par le réseau "Human lab", Froll'N'Roll se démarque par sa collaboration avec l'Inria, initiée en 2019. Ce projet, mené en partenariat avec le Humanlab Saint-Pierre de Palavas[2], s'attaque à un défi crucial : améliorer l'autonomie et la sécurité des personnes utilisant des fauteuils roulants manuels à assistance électrique, notamment celles atteintes de tétraplégie légère.

### 2.3.1. Genèse du Projet:

Froll’N’Roll est né de la rencontre entre les besoins spécifiques d’Étienne, utilisateur d’un fauteuil roulant manuel à assistance électrique, et l’expertise de l’Inria et du Humanlab. Étienne, bien que disposant d’une mobilité suffisante des bras pour utiliser ce type de fauteuil, rencontrait des difficultés à contrôler efficacement son fauteuil. (voir figure 2 )



Figure 2 : Fauteuil roulant à assistance électrique avec roues M12 d’Alber

En particulier dans des conditions d’adhérence réduite. En effet, Étienne, a une très faible force de serrage dans les mains, il éprouve des difficultés à contrôler son fauteuil. Pour bouger la roue, il utilise l’adhérence entre sa main et la barre. Pour améliorer l’adhérence, il a ajouté une gaine plastique à la main courante et il porte des gants( voir figure 1 montrant la gaine mise sur le fauteuil) . Malgré l’amélioration, lorsqu’il pleut, il peut manquer d’adhérence et donc ne pas pouvoir freiner. Cette situation peut s’avérer dangereuse, notamment en descente où le freinage devient problématique. Afin de pallier ce souci, Etienne a voulu que l’on puisse commander le moteur à partir d’un capteur sans contact. Ce qui a été fait avec la première version du projet Froll’N’roll qui a été mise en œuvre que nous verrons plus en détail dans l’état de l’art .

### 2.3.2. Etat de l’Art du Projet

Avant le début de ce stage, un premier prototype avait déjà été développé pour répondre aux besoins d’Étienne[3]. Cette solution initiale reposait sur l’utilisation de deux capteurs fixés sur les jantes des roues du fauteuil, chacun étant associé à un capteur TOF (Time-of-Flight) placé sur les mains courantes.

#### ❖ Architecture du prototype initial( voir figure 4 ci -dessous )

Le système était basé sur l’utilisation de :

- Deux capteur fixés sur les jantes des roues, servant à mesurer la rotation des roues et permettant d’actionner les roues grâce à la distance qu’ils ont reçues
- Deux capteurs TOF (Time-of-Flight) placés sur les mains courantes, mesurant la distance entre les mains d’Étienne et le fauteuil.
- Un protocole de communication Bluetooth Low Energy (BLE) HID pour transmettre les données des capteurs TOF aux capteurs des roues.

Le principe de fonctionnement était le suivant :

1. Les capteurs TOF mesuraient la distance entre les mains d'Étienne et les mains courantes.
2. Ces distances étaient transmises aux capteurs situés sur les roues via un protocole de communication Bluetooth Low Energy (BLE) HID.
3. Les capteurs sur les roues convertissent ces distances en une tension analogique, qui était ensuite utilisée pour contrôler la vitesse du moteur.

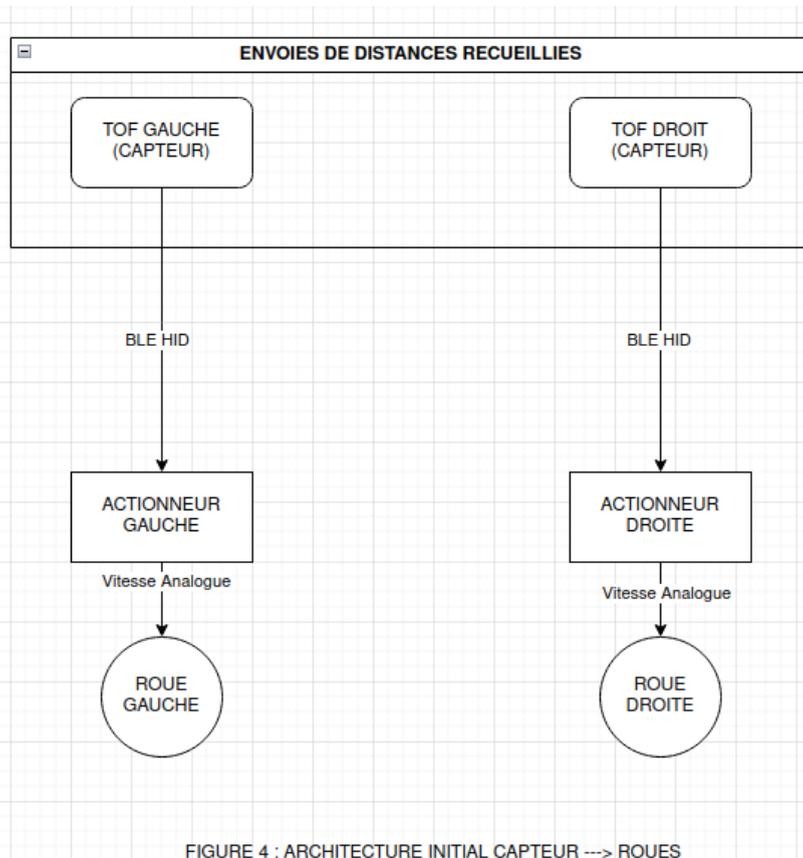


FIGURE 4 : ARCHITECTURE INITIAL CAPTEUR ---> ROUES

Bien que le prototype initial offrît un contrôle sans contact prometteur, ses limitations techniques et ergonomiques rendaient son utilisation à long terme difficile. La complexité du système avec quatre capteurs distincts, la relation non intuitive entre la distance mesurée et la vitesse du fauteuil, les défis d'intégration sans compromettre la sécurité, le manque d'évolutivité pour ajouter de nouvelles fonctionnalités. Mon stage a donc débuté avec l'objectif de surmonter ces obstacles et de concevoir une solution plus performante, sécurisée, intuitive et adaptable aux besoins d'Étienne

### 2.3.3. Objectifs globaux du Projet

Les objectifs principaux de ce stage sont les suivants :

- **Amélioration du module de contrôle sans contact existant** : Perfectionner le logiciel pour un contrôle plus précis de la direction du fauteuil et une meilleure gestion des phases d'arrêt et de reprise du mouvement.
- **Conception et développement de nouveaux modules de sécurité** :
  - **Détection d'obstacles** : Le système devra être capable de détecter des obstacles et de réagir de manière appropriée, en allégeant/élevant les roues devant ou en freinant
  - **Gestion du déséquilibre arrière** : En cas de déséquilibre, le système devra appliquer un couple aux roues pour rétablir la stabilité du fauteuil.
  - **Reprise en main et refonte du système existant** : Se familiariser avec le système actuel (matériel et logiciel) et améliorer la structure du logiciel embarqué pour plus de modularité et de testabilité.
  - **Réalisation et tests itératifs** : Les différents prototypes seront réalisés et testés en collaboration avec le porteur de projet, Étienne, pour s'assurer que les solutions développées répondent à ses besoins.
  - **Documentation détaillée** : L'ensemble du projet sera documenté de manière claire et accessible sur un wikilab/gitlab, afin de permettre à d'autres personnes de reproduire et d'adapter le système.

### III. Gestion du temps pendant mon stage : adaptation, exploration, structuration.

Mon stage a été une expérience d'apprentissage intense où j'ai dû m'adapter à un nouvel environnement, comprendre un projet existant et contribuer à son évolution, tout en gérant une période de rattrapage scolaire. Ma gestion du temps s'est articulée autour de quatre phases clés :

#### **Adaptation et familiarisation (semaines 1-2)**

- **Compréhension du sujet**: Malgré ma familiarité avec le langage C++, je devais saisir les spécificités du projet et son envergure. J'ai consacré du temps à étudier la documentation, à analyser le code existant et à expérimenter avec des exemples sur Arduino.
- **Découverte de la librairie Adafruit**: Cette nouvelle librairie était essentielle pour interagir avec les capteurs électroniques. J'ai dû apprendre à l'utiliser et à l'intégrer dans mon travail.

#### **Rattrapage scolaire (semaines 3-4, jusqu'au 4 juillet)**

- **Gestion du temps partagé**: J'ai dû concilier mon travail de stage avec mes obligations scolaires. J'ai organisé mon emploi du temps pour consacrer du temps à chaque activité, en priorisant les échéances les plus urgentes.

- **Maintien de la communication:** J'ai communiqué régulièrement avec mon encadrant de stage pour l'informer de mes contraintes et m'assurer que mes objectifs de stage restaient réalisables.

### Analyse de l'existant et définition de la nouvelle architecture (semaine5)

- **Tests et identification des limites:** Une fois le rattrapage terminé, j'ai pu me concentrer pleinement sur le stage. J'ai examiné le projet existant pour comprendre ses forces et ses faiblesses. J'ai identifié les points à améliorer, notamment le protocole de communication et la structure des données.
- **Conception de la nouvelle architecture:** J'ai proposé une nouvelle architecture basée sur un capteur central et un protocole BLE UART amélioré. J'ai défini une nouvelle structure de données adaptée à cette architecture.

### Implémentation et développement (semaines 6-13)

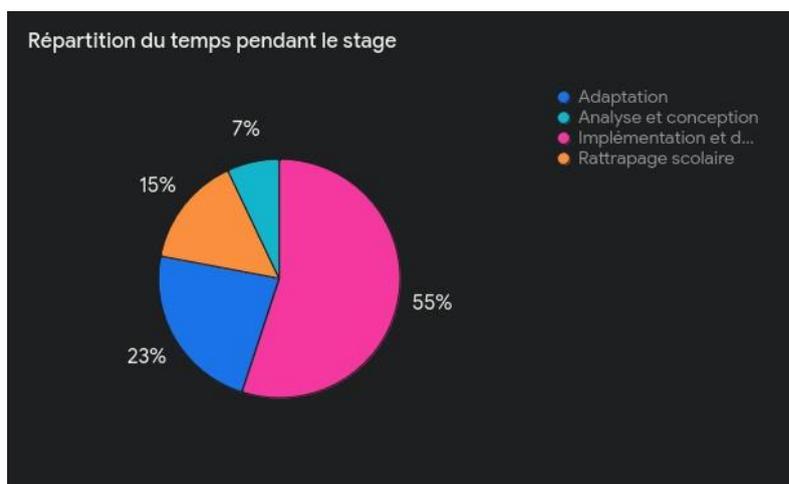
- **Mise en œuvre de la nouvelle architecture:** J'ai commencé à implémenter les changements, en commençant par le protocole de communication entre les capteurs et le capteur central.
- **Tests et ajustements:** J'ai testé chaque étape de l'implémentation pour m'assurer de son bon fonctionnement. J'ai apporté des ajustements en fonction des résultats des tests.
- **Documentation:** J'ai documenté mon travail pour faciliter la compréhension et la maintenance du projet.

### Répartition du temps (adaptée)

- **Adaptation:** 23% (environ 3 semaines sur 13)
- **Rattrapage scolaire:** 15% (environ 2 semaines sur 13)
- **Analyse et conception:** 7% (environ 1 semaine sur 13)
- **Implémentation et développement:** 55% (environ 7 semaines sur 13)

Le tout consigné dans la figure 1 suivante

**figure 1 :**Répartition du temps de travail



## IV. Outils utilisés : Du développement embarqué à la collaboration en ligne

### 4.1. Outils Logiciels :

**1. Git et GitLab:** Au cœur de notre travail collaboratif, Git, un système de contrôle de version décentralisé, nous a permis de gérer efficacement les différentes itérations du code et de la documentation. GitLab, plateforme hébergeant notre dépôt Git, a facilité le partage de fichiers, le suivi des modifications et la collaboration entre les membres de l'équipe.

**2. Mattermost:** Pour une communication fluide et organisée, Mattermost, une alternative open-source à Slack, a été notre outil de messagerie instantanée privilégié. Les différents canaux dédiés à l'équipe SED, au projet Froll'n'Roll et à d'autres sujets ont permis des échanges rapides et ciblés, favorisant ainsi la collaboration et le partage d'informations. Aussi était un support très pratique pour faire part de l'évolution des différentes avancées faites jusqu'ici.

**3. Visual Studio Code:** Cet environnement de développement intégré (IDE) polyvalent, enrichi par des extensions spécifiques au langage C++, a été mon outil principal pour l'écriture, la navigation et le débogage du code embarqué. Ses fonctionnalités avancées, telles que la coloration syntaxique et l'autocomplétion, ont grandement amélioré ma productivité.

**4. Arduino IDE:** Pour le développement, la compilation et le téléversement du code sur les microcontrôleurs des différentes cartes électroniques, j'ai utilisé l'environnement de développement Arduino (IDE). Sa simplicité d'utilisation et son intégration avec les cartes Arduino en ont fait un choix idéal pour le prototypage et les tests.

### 4.2. La carte Adafruit nRF52840 : le cœur du fauteuil roulant intelligent

La carte Adafruit nRF52840 Feather[4] a été choisie comme plateforme matérielle principale pour ce projet. Sa polyvalence, sa puissance de calcul et sa connectivité sans fil en fait un choix idéal pour gérer les tâches complexes du capteur central et des roues.

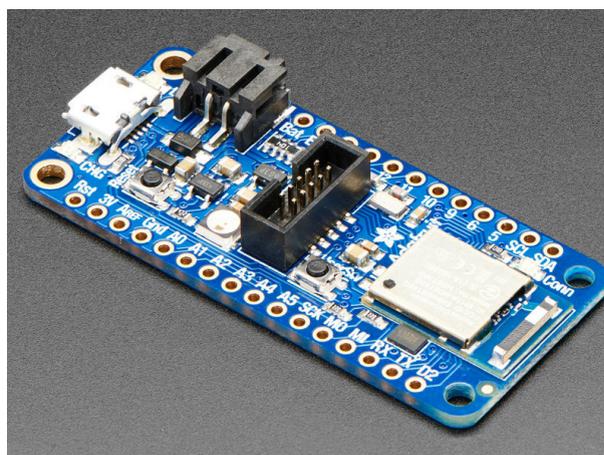
#### ❖ Fonctionnement

Au cœur de cette carte se trouve le microcontrôleur nRF52840, un véritable cerveau miniature capable d'exécuter le code embarqué qui contrôle l'ensemble du système. Il reçoit les données des capteurs TOF auxquels il y est accolé, les traite ensuite via le protocole BLE (Bluetooth Low Energy), les relaie au capteur central pour calculer les vitesses des roues, et envoie ces commandes aux moteurs via BLE. De plus, il gère d'autres fonctionnalités essentielles telles que la détection d'obstacles et la gestion de l'équilibre.

## ❖ Importance pour le projet

La carte Adafruit nRF52840 a été déterminante pour la réussite de ce projet pour plusieurs raisons :

- **Puissance de traitement:** Son processeur ARM Cortex-M4F 32 bits a permis d'exécuter efficacement les algorithmes de contrôle complexes, garantissant une réactivité optimale du fauteuil roulant.
- **Connectivité BLE 5.0:** La prise en charge native du Bluetooth Low Energy 5.0 a simplifié la communication sans fil entre les différents composants du système, offrant une faible consommation d'énergie et une portée suffisante pour une utilisation fiable.
- **Flexibilité des E/S:** La carte dispose d'un grand nombre de broches GPIO (entrées/sorties numériques), d'entrées analogiques et d'interfaces série (UART, SPI, I2C), permettant de connecter facilement les capteurs TOF, les moteurs, les LEDs et d'autres périphériques.
- **Support USB natif:** La présence d'un port USB natif a facilité la programmation et le débogage du code, ainsi que la communication avec un ordinateur pour la visualisation des données et le contrôle du système pendant les phases de développement et de test.
- **Faible consommation:** La faible consommation d'énergie de la carte, associée à la possibilité d'utiliser une batterie LiPo, a permis de concevoir un système autonome et portable, indispensable pour une utilisation sur un fauteuil roulant.

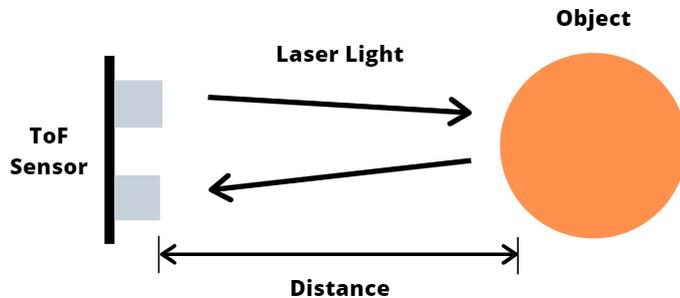


**figure 3 :**la carte adafruit nrf52840 qui a été utilisée pour monter chaque élément de notre architecture [6]

### 4.3. Capteurs TOF : Les yeux de la chaise roulante intelligente

#### ❖ Qu'est-ce qu'un capteur TOF : VL53L0X[5] (Time-of-Flight)?

Imaginez un capteur qui fonctionne comme un radar miniature, mais avec de la lumière au lieu des ondes radio. C'est le principe du capteur TOF (Time-of-Flight) ! Il émet un flash de lumière infrarouge invisible et mesure le temps que met cette lumière pour rebondir sur un objet et revenir au capteur. En connaissant la vitesse de la lumière, il calcule la distance précise entre lui et l'objet.



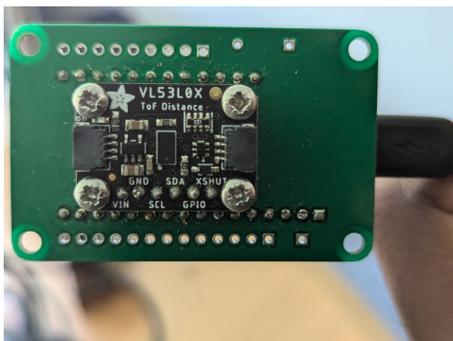
**figure 6** :le principe de détection des capteurs TOF face à un objet: [7]

#### ❖ Pourquoi utiliser des capteurs TOF dans ce projet ?

Dans notre fauteuil roulant intelligent, ces capteurs TOF agissent comme des yeux, mesurant en permanence la distance entre les mains de l'utilisateur et le fauteuil .Ces informations sont ensuite envoyées à un "cerveau" central qui décide de la vitesse et de la direction du fauteuil.

#### ❖ Avantages clés des capteurs TOF :

- **Précision:** Ils fournissent des mesures de distance très précises, ce qui est crucial pour un contrôle fluide et sûr du fauteuil.
- **Insensibilité aux couleurs et textures:** Ils fonctionnent aussi bien sur des surfaces claires que sombres, lisses ou rugueuses, ce qui les rend fiables dans divers environnements.
- **Vision 3D potentielle:** Certains modèles peuvent même créer une carte 3D de l'environnement, ouvrant la voie à des fonctionnalités avancées comme l'évitement d'obstacles.
- faible coût



**figure 7:** montrant comment le capteur TOF est utilisé pour mesurer les distances vis à vis de la main?

#### ❖ Inconvénient majeur des capteurs TOF :

- Forte sensibilité à la lumière qui perturbe souvent les mesures des distances désirées

#### 4.4. Le Protocole BLE (bluetooth low energy)

##### ❖ Qu'est-ce que le Bluetooth Low Energy ?

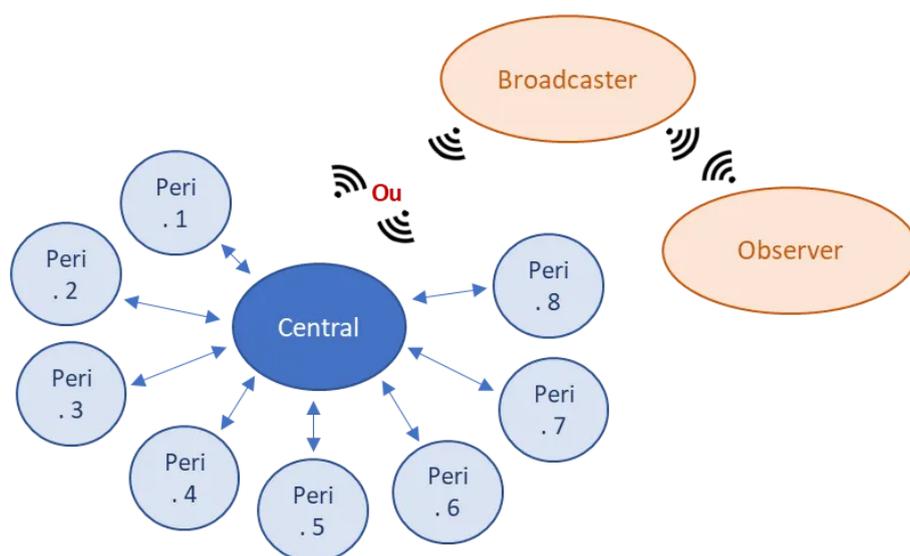
Le Bluetooth Low Energy (BLE) est une technologie de communication sans fil à faible consommation d'énergie, conçue pour les applications nécessitant un échange de données périodique à faible débit. Il est idéal pour les appareils connectés de l'Internet des Objets (IoT) grâce à sa longue durée de vie de la batterie.

##### ❖ Fonctionnement du BLE

Le BLE dispose de différents types de connexions. Un [objet connecté en BLE](#) peut avoir jusqu'à 4 fonctions différentes :

- Le « Broadcaster » : il peut faire office de serveur. Ainsi, il a pour objectif de transmettre régulièrement des données à un appareil, mais il n'accepte aucune connexion entrante.
- « L'Observer » : Dans un deuxième temps, l'objet peut seulement écouter et interpréter les données envoyées par un « broadcaster ». Dans cette situation-là, l'objet ne peut pas envoyer de connexions vers le serveur.
- Le « Central » : souvent un smartphone ou une tablette. C'est un élément qui interagit de deux façons différentes : soit en mode advertising, soit en mode connecté. Il est alors le dirigeant et c'est de lui que part l'échange de données.
- Le « Peripheral » : il accepte les connexions du central et lui envoie des données de manière périodique. Ce système a pour objectif de packager les données de façon universelle via le protocole afin qu'elles soient comprises par les autres périphériques.

**Dans notre projet, le capteur central est le maître, et les capteurs TOF et les roues sont les esclaves.**



*Schema de fonctionnement du BLE*

**figure 8** : schéma de fonctionnement du BLE [8]

### ❖ **Modes de communication:**

Le BLE fonctionne en deux modes :

- Advertising: Les appareils envoient des paquets de données pour se faire connaître et permettre aux autres de se connecter.
- Mode connecté: Deux appareils établissent une connexion maître-esclave et échangent des données via le protocole GATT (Generic ATtribute).

### ❖ **Avantages du BLE pour le projet**

- Faible consommation d'énergie: Crucial pour un système embarqué sur un fauteuil roulant, où l'autonomie est primordiale.
- Facilité d'intégration: Le BLE est largement adopté et intégré dans de nombreux appareils, y compris les smartphones, ce qui facilite son utilisation et son développement.
- Sécurité: Le protocole offre plusieurs niveaux de sécurité pour protéger les données transmises.
- Adapté aux besoins du projet: Le BLE est idéal pour transmettre des informations peu gourmandes en énergie, telles que les distances mesurées par les capteurs TOF et les commandes de vitesse envoyées aux roues.

### ❖ **Différents types de protocoles BLE**

Le BLE supporte différents profils et services pour répondre à une variété de besoins de communication. Dans le cadre de ce projet, deux profils ont été particulièrement importants :

- **HID (Human Interface Device):**

- Conçu pour les dispositifs d'interface humaine tels que les claviers, les souris et les manettes de jeu.
- Permet de transmettre des données sous forme d'événements clavier ou souris.
- Utilisé dans la première version du projet pour contrôler la vitesse du fauteuil, mais s'est avéré complexe et peu efficace pour cette application spécifique.

- **UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter):**

- Permet une communication série simple et directe, idéale pour transmettre des données numériques brutes.
- Adopté dans la nouvelle architecture pour une transmission plus efficace et fiable des informations de distance et de vitesse.
- Offre une plus grande flexibilité et un meilleur contrôle sur le format des données échangées.

## V.Travaux réalisés

### 5.1. Architecture de la solution : Optimisation du contrôle d'un fauteuil roulant intelligent

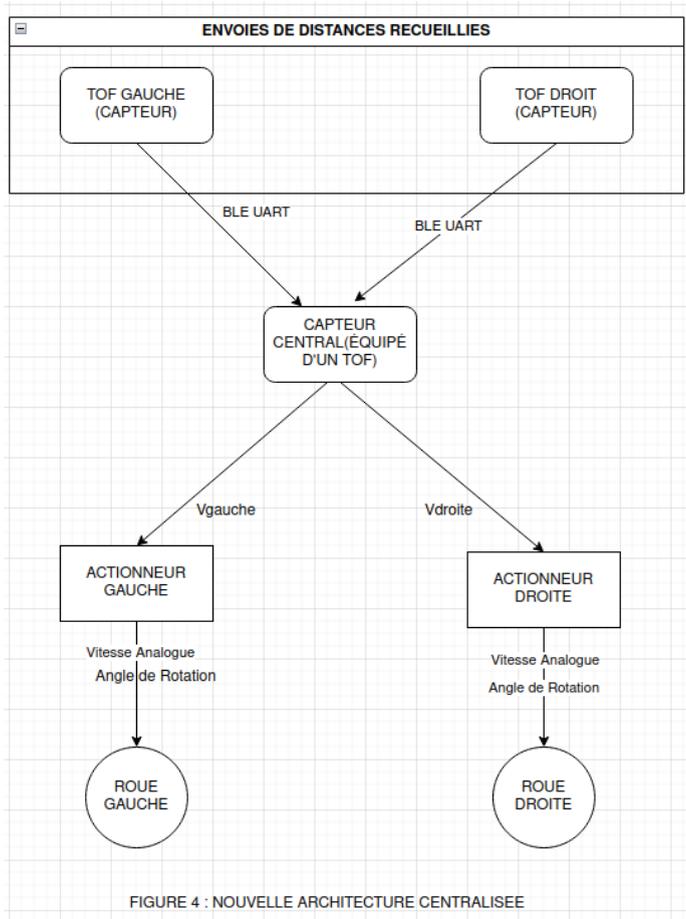
#### ❖ **Nouvelle architecture : Introduction d'un capteur central**

La nouvelle architecture proposée introduit un capteur central, jouant un rôle clé dans le traitement des données et la coordination du système.

- **Capteur central:** Ce capteur reçoit les données de distance des capteurs TOF via un protocole BLE UART.
- **Traitement des données:** Le capteur central interprète les données de distance pour déterminer

la vitesse souhaitée pour chaque roue. Il prend également en charge la détection d'obstacles et la gestion des situations d'arrêt.

- **Communication BLE UART:** Le capteur central communique avec chaque roue via un protocole BLE UART, transmettant les consignes de vitesse spécifiques à chaque roue.
- **Synchronisation et adaptation:** Le capteur central assure la synchronisation des roues pour un mouvement harmonieux. Il adapte également la vitesse en fonction de l'amplitude des mouvements de l'utilisateur, offrant ainsi un contrôle plus précis et intuitif.



**figure 9:** Schéma de la nouvelle architecture, montrant les capteurs TOF, le capteur central, les roues et les connexions BLE UART.

#### ❖ **Avantages de la nouvelle architecture :**

- **Centralisation du traitement:** Le capteur central permet de centraliser le traitement des données et la prise de décision, améliorant ainsi la coordination et la réactivité du système.
- **Détection d'obstacles:** La gestion centralisée de la détection d'obstacles renforce la sécurité en permettant un arrêt rapide et coordonné du fauteuil en cas de besoin.
- **Contrôle plus fin:** L'adaptation de la vitesse en fonction de l'amplitude des mouvements de l'utilisateur offre une expérience de conduite plus naturelle et intuitive.
- **Évolutivité:** L'architecture centralisée facilite l'ajout de fonctionnalités futures, telles que la navigation autonome ou l'intégration de commandes vocales.

#### ❖ **Inconvénient de la nouvelle architecture :**

- Elle nécessite un noeud supplémentaire dans l'architecture
- temps de latence augmentée vis à vis de la transmission des commandes.

## 5.2. Optimisation de la communication : passage du BLE HID au BLE UART

### ❖ **Limites du protocole BLE HID initial**

Dans l'architecture initiale, le protocole BLE HID (Human Interface Device) était utilisé pour transmettre les données de distance des capteurs TOF aux roues. Cependant, ce protocole, conçu initialement pour les périphériques d'interface humaine tels que les claviers et les souris, présentait certaines limitations dans ce contexte spécifique :

- **Transmission indirecte:** Le BLE HID nécessitait une étape de traduction des données de distance en événements clavier ou souris, puis une retranscription de ces événements en commandes de vitesse au niveau des roues. Cette approche était complexe et peu efficace.
- **Latence potentielle:** La conversion et la retranscription des données pouvaient introduire une latence dans la communication, ce qui pouvait affecter la réactivité du fauteuil.
- **Charge de traitement:** Le processus de traduction et de retranscription des données imposait une charge de traitement supplémentaire aux microcontrôleurs, pouvant limiter leurs performances.

### ❖ **Avantages du protocole BLE UART**

La nouvelle architecture a opté pour le protocole BLE UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter), offrant plusieurs avantages significatifs :

- **Transmission directe de données numériques:** Le BLE UART permet de transmettre directement les valeurs numériques de distance des capteurs TOF au capteur central, éliminant ainsi le besoin de conversion et de retranscription.
- **Réduction de la latence:** La transmission directe des données numériques réduit la latence de communication, améliorant ainsi la réactivité du fauteuil aux commandes de l'utilisateur.
- **Simplification du traitement:** L'utilisation de données numériques brutes simplifie le traitement au niveau du capteur central et des roues, libérant ainsi des ressources de calcul pour d'autres tâches.
- **Intégration facilitée:** Le BLE UART s'intègre plus naturellement dans l'architecture centralisée, où le capteur central joue un rôle clé dans le traitement et la distribution des données.

## 5.3. Conception du nouveau système

### 5.3.1. Processus de conception du code du capteur TOF

#### ❖ Objectif principal

Le capteur TOF mesure la distance à un obstacle et envoie cette information au capteur central via Bluetooth Low Energy (BLE).

#### ❖ Fonctionnement algorithmique

##### 1. Initialisation :

- Le capteur TOF est préparé pour fonctionner, et la communication Bluetooth est configurée.
- Des paramètres importants, comme les distances minimales et maximales de détection, sont définis.

##### 2. Mesure de la distance :

- Le capteur TOF émet un signal lumineux et mesure le temps qu'il met pour revenir après avoir rebondi sur un obstacle.
- Cette mesure de temps est convertie en une distance en millimètres.
- Si la mesure est invalide (erreur du capteur ou distance hors limites), une valeur spéciale (-1) est renvoyée.
- La distance est mise à l'échelle pour mieux correspondre aux commandes de vitesse du fauteuil.

##### 3. Communication :

- Le capteur vérifie s'il est connecté au capteur central via Bluetooth.
- Si connecté, la distance mesurée est envoyée au capteur central.
- Sinon, la distance est simplement affichée sur la liaison série pour aider au débogage.

##### 4. Gestion de la connexion :

- Le capteur allume une LED BLE lorsqu'il est connecté au capteur central et l'éteint lors de la déconnexion.
- Si la connexion est perdue, le capteur se remet en mode "publicité" pour être à nouveau découvert par le capteur central.

Image illustrative du fonctionnement

#### Bibliothèques utilisées

- [bluefruit.h](#) : Pour la communication Bluetooth Low Energy.
- [Adafruit\\_LittleFS.h](#) et [InternalFileSystem.h](#) : Pour la gestion du système de fichiers (potentiellement pour les mises à jour du firmware "over-the-air").
- [BLEUuid.h](#) : Pour définir les identifiants uniques des services BLE.
- [ToF.h](#) : Bibliothèque spécifique au capteur TOF utilisé (probablement la bibliothèque Adafruit VL53L0X).

#### ❖ Considérations de conception :

- **Modularité et réutilisation : Le code est organisé en plusieurs fichiers header (.h) pour faciliter la modularité et la réutilisation du code.**

- **Gestion des erreurs** : Des vérifications d'erreurs sont présentes pour garantir la fiabilité des mesures du capteur TOF et de la communication BLE.

- **Débogage** : Des messages de débogage sont affichés sur le moniteur série pour faciliter le développement et la résolution de problèmes.

- **Évolutivité** : L'utilisation de services BLE standard (DFU, DIS, BAS) permet d'envisager des évolutions futures, comme les mises à jour du firmware à distance ou la surveillance de la batterie.

- **Sécurité** : Bien que non explicitement présent dans ce code, la sécurité de la communication BLE peut être renforcée en utilisant des mécanismes d'authentification et de chiffrement

### 5.3.2. Processus de conception du code du capteur Central

#### ❖ Rôle central dans l'architecture

Le capteur central est le véritable chef d'orchestre du fauteuil intelligent. Il collecte les informations des capteurs TOF, les analyse, prend des décisions et envoie des commandes aux roues pour contrôler le mouvement du fauteuil. C'est le centre névralgique où se rejoignent la perception de l'environnement et l'action sur le monde physique.

#### ❖ Fonctionnement simplifié

##### 1. Découverte et connexion:

- Le capteur central recherche activement les capteurs TOF à proximité qui annoncent leur disponibilité via Bluetooth Low Energy (BLE).
- Une fois détectés, il établit une connexion BLE sécurisée avec chacun d'eux.
- Des voyants lumineux (LEDs) indiquent l'état de ces connexions :
  - La LED bleue clignote pendant la recherche.
  - La LED rouge clignote deux fois pour chaque capteur connecté.
  - La LED verte clignote pour signaler que le capteur central est prêt à recevoir des données.

##### 2. Réception et traitement des données:

- Les capteurs TOF envoient en continu les distances mesurées au capteur central via BLE.
- Le capteur central identifie chaque capteur TOF et traite les données reçues.
- Il calcule les vitesses appropriées pour chaque roue en fonction des distances, en utilisant une formule qui garantit un contrôle intuitif : plus la distance est petite (obstacle proche), plus la vitesse est faible, et vice-versa.
- Si un obstacle est détecté trop près, le capteur central envoie immédiatement une commande d'arrêt aux deux roues.

##### 3. Transmission des commandes:

- Les vitesses calculées pour chaque roue sont formatées en messages spécifiques.
- Ces messages sont envoyés aux roues via BLE, leur indiquant à quelle vitesse tourner. La vitesse est faite par le calcul présent sur la figure suivante.

$$vitesse = 1.0 - \frac{distance - MIN\_DISTANCE}{MAX\_DISTANCE - MIN\_DISTANCE}$$

#### ❖ Comportement de la LED du capteur central

- **LED rouge:** Clignote deux fois par connexion établie, fournissant un retour visuel rapide sur le nombre de capteurs TOF connectés.
- **LED verte:** Clignote 5 fois par seconde pour indiquer que le capteur central est en mode central et recherche activement des connexions.
- **LED bleue:** Clignote constamment pendant le processus de scan des périphériques BLE.

#### ❖ Robustesse et aspects de conception

- **Gestion centralisée:** Le capteur central agit comme le "cerveau" du système, recevant les données, prenant les décisions et envoyant les commandes. Cela assure une coordination efficace et

permet une gestion centralisée de la sécurité (détection d'obstacles, arrêt d'urgence, etc.).

- **Communication BLE UART:** L'utilisation de BLE UART permet une transmission de données numériques directe et efficace, réduisant la latence et simplifiant le traitement des données par rapport à l'ancien protocole BLE HID
- **Gestion des erreurs:** Le code inclut des mécanismes pour gérer les erreurs de lecture du capteur TOF, les erreurs de communication BLE et les déconnexions, améliorant ainsi la fiabilité du système.
- **Évolutivité:** L'architecture est conçue pour gérer plusieurs périphériques BLE, ce qui permet d'ajouter facilement de nouveaux capteurs ou fonctionnalités au système.
- **Débogage:** Les nombreux messages de débogage sur le moniteur série facilitent le développement, le test et la résolution de problèmes.

### 5.3.3. Processus de Conception du Code des Roues : Traduction des commandes en mouvement

#### ❖ Rôle dans l'architecture

Les roues, équipées de leurs propres cartes Arduino, sont les éléments moteurs du fauteuil. Elles reçoivent les instructions de vitesse du capteur central et les traduisent en actions concrètes : faire tourner les moteurs à la vitesse appropriée. Elles sont donc le lien final entre les décisions prises par le "cerveau" du système et le déplacement physique du fauteuil.

#### ❖ Fonctionnement simplifié:

##### 1. Connexion et configuration

- La roue se rend "visible" via Bluetooth Low Energy (BLE), attendant que le capteur central se connecte.
- Une fois connectée, elle établit un canal de communication BLE UART avec le capteur central.
- Des services BLE additionnels (comme la mise à jour du firmware ou l'information sur la batterie) sont également initialisés, même s'ils ne sont pas directement utilisés dans ce code spécifique.

##### 2. Réception des commandes :

- La roue écoute en permanence les messages provenant du capteur central via BLE UART.
- Un système de tampon (rx\_buffer) permet de gérer la réception des données en continu.
- Lorsqu'un message complet est reçu, il est analysé pour en extraire la commande de vitesse.

##### 3. Interprétation et action :

- Si le message est au format attendu ("L:vitesse" pour la roue gauche, "R:vitesse" pour la roue droite), la valeur de vitesse est extraite.
- Cette vitesse est ensuite utilisée pour contrôler le moteur de la roue, la faisant tourner à la vitesse désirée.
- Des messages d'erreur sont affichés si le format du message est incorrect.

#### Image illustrative( en annexe)

#### ❖ Bibliothèques utilisées:

- **bluefruit.h** : Pour la communication BLE.
- **Adafruit\_LittleFS.h** et **InternalFileSystem.h** : Potentiellement pour les mises à jour du firmware "over-the-air" (OTA), même si non utilisées explicitement dans ce code.

#### ❖ Envoie des commandes sur les roues:

Des tests effectués sur les roues et leur mode de fonctionnement prédéfinies ont donné ceci:

- Au démarrage, la tension en sortie du capteur doit être égale à 0. La carte attend que le capteur renvoie 2.5V pour prendre en compte la commande. C'est à partir de là que le capteur va commander le moteur. Une pente n'est pas obligé, un créneau ne mettra pas la roue en défaut. Une attente de 2 secondes suffit.
- Ensuite, la carte vérifie son fonctionnement en mesurant la tension entre le Vcc et la masse du capteur. Pour éviter que le système ne se bloque, il faut qu'il y ait une consommation. Celle de la carte suffit à éviter que la roue ne se mette en défaut.
- La tension renvoyée doit être comprise entre 0.3V et 4.7V.( voir figure 5)

Nous avons supposé que la commande devait revenir au signal de repos régulièrement.

En effet, lorsque la roue est en mouvement, la commande ne peut pas rester trop importante trop longtemps. Par exemple, si l'on met la commande à 4.7V, la roue se mettra en défaut après environ 1.5 secondes. Il faut par conséquent que la commande redescende à 2.5V de temps en temps. Sur la figure 5, il y a les signaux extrêmes. Total correspond à une période avec Tlibre où la tension renvoyée peut varier de 0.3V à 4.7V puis 5ms avec une tension renvoyée qui sera forcément égale

En répétant le premier signal de la figure 5 (ci-dessus) et en mesurant la vitesse, nous obtenons la figure . Ce graphique a été réalisé avec la roue en l'air donc peu de frottement. Nous voyons qu'il y a une vitesse limite d'environ 510°/s.

## 5.4. RÉSULTATS OBTENUS:

#### ❖ Améliorations Concrètes suite à l'implémentation

**-Contrôle plus intuitif:** La nouvelle fonction de contrôle de la vitesse, basée sur les données des capteurs TOF, offre une expérience de conduite plus naturelle et réactive. La correspondance entre les mouvements de l'utilisateur et la vitesse du fauteuil a été affinée, rendant le contrôle à distance plus intuitif et précis.

**-Arrêt automatique devant les obstacles:** Le capteur central, grâce à son rôle de supervision, peut désormais détecter les obstacles à proximité et déclencher un arrêt automatique du fauteuil. Cette fonctionnalité cruciale améliore considérablement la sécurité de l'utilisateur, en particulier dans les environnements encombrés ou lors de déplacements dans des espaces restreints.

**-Synchronisation améliorée des roues:** La centralisation du contrôle a permis d'optimiser la coordination des deux roues, assurant un mouvement plus fluide et harmonieux. Cela se traduit par une meilleure maniabilité du fauteuil, notamment dans les virages et les manœuvres délicates.

#### ❖ Comparaison avec l'architecture précédente

Outre les avantages déjà mentionnés (centralisation du contrôle, communication simplifiée, rôles distincts), la nouvelle architecture a permis d'implémenter concrètement les améliorations suivantes :

**-Contrôle plus intuitif:** La nouvelle fonction de contrôle de la vitesse rend l'utilisation du fauteuil plus naturelle et confortable pour l'utilisateur, facilitant ainsi son adoption et son utilisation quotidienne.

**-Sécurité accrue:** L'arrêt automatique devant les obstacles renforce considérablement la sécurité de l'utilisateur, réduisant les risques de collisions et de blessures.

-**Meilleure maniabilité:** La synchronisation améliorée des roues offre une expérience de conduite plus fluide et agréable, facilitant les manœuvres et augmentant la confiance de l'utilisateur.

#### ❖ **Adaptation à la nouvelle architecture**

Dans le contexte de la nouvelle architecture, avec l'introduction du capteur central et le passage au protocole BLE UART, les outils et méthodes de test ont dû être adaptés :

**Visualisation des données:** La librairie de visualisation a été adaptée pour afficher les données de vitesse reçues des roues, permettant ainsi de valider la communication et le contrôle du système.

**Tests de synchronisation:** Des tests spécifiques ont été mis en place pour vérifier la synchronisation des roues et l'adaptation de la vitesse en fonction des mouvements de l'utilisateur, deux fonctionnalités clés de la nouvelle architecture.

### **5.5. Potentielles Améliorations**

La nouvelle architecture, en centralisant le traitement des données et la prise de décision au niveau du capteur central, ouvre la voie à des fonctionnalités avancées qui pourraient considérablement améliorer l'expérience de l'utilisateur et la sécurité du fauteuil roulant intelligent.

**Optimisation de la trajectoire:** Le capteur central, disposant d'une vue d'ensemble des données des capteurs TOF et d'éventuels capteurs d'environnement, pourrait calculer des trajectoires optimales pour atteindre une destination donnée, en tenant compte des obstacles, de la distance et d'autres contraintes.

**Gestion de l'équilibre:** En combinant les données des capteurs inertiels (accéléromètre, gyroscope) avec les informations de distance et de vitesse, le capteur central pourrait surveiller l'équilibre du fauteuil et prendre des mesures correctives en cas de risque de basculement, améliorant ainsi la stabilité et la sécurité, en particulier sur des terrains accidentés.

## **VI.Obstacles**

L'intégration du nouveau système de contrôle dans le fauteuil existant, couplée à la nécessité de concilier le stage avec une période de rattrapage scolaire, a constitué un défi majeur. La complexité du code initial a également nécessité un effort d'analyse et de refactorisation. De plus, l'étalonnage précis des capteurs TOF et les tests en conditions réelles, révélant des problèmes d'interférences et d'adaptation au terrain, ont demandé rigueur et capacité d'ajustement. Ces obstacles ont cependant été l'occasion de développer des compétences essentielles : résolution de problèmes techniques, adaptation, organisation, communication et travail en équipe.

## VII. Bilan personnel

Ce stage m'a permis de mettre en pratique mes compétences en développement embarqué et en communication sans fil, tout en contribuant à un projet à fort impact social. J'ai appris à travailler en équipe, à interagir avec un utilisateur final et à adapter mes solutions à ses besoins spécifiques. J'ai également développé ma capacité à résoudre des problèmes techniques complexes et à documenter mon travail de manière claire et concise. J'ai pu être productif en travaillant dans un environnement pas stressant c'était vraiment unique et incroyable comme expérience... J'ai découvert grâce à ce stage un projet stimulant sur lequel travailler qui a éveillé mon intérêt pour l'ingénierie, tout en découvrant un environnement unique où la technologie se met au service de l'humain. Cette expérience a renforcé ma conviction de poursuivre une carrière d'ingénieur, en me montrant comment mes compétences peuvent avoir un impact positif sur la société. Je suis fermement décidé à ce que chacune de mes compétences acquises tout au long de mes études d'ingénierie puissent servir la société du mieux possible, comme j'ai pu le voir lors de ce stage initié par le "human lab".

## Références Bibliographiques

- [1] My Human Kit. (s. d.). Consulté le 29 août 2023, à l'adresse <https://myhumankit.org/>
- [2] Humanlab Saint-Pierre. (s. d.). Dans *Wikilab*. Consulté le 29 août 2023, à l'adresse [https://humanlab.org/wiki/Humanlab\\_Saint-Pierre](https://humanlab.org/wiki/Humanlab_Saint-Pierre)
- [3] *Rapport de Johan*. (s. d.). [Document interne]. <https://zimbra.inria.fr/service/home/~/?auth=co&loc=fr&id=302&part=2>
- [4] Adafruit. (s. d.). *Adafruit nRF52840 Feather*. Consulté le 29 août 2023, à l'adresse <https://www.adafruit.com/product/4511>
- [5] Adafruit. (s. d.). *Adafruit VL53L0X Time-of-Flight Distance Sensor*. Consulté le 29 août 2023, à l'adresse <https://www.adafruit.com/product/3317>
- [6] Adafruit. (s. d.). *Introducing the Adafruit nRF52840 Feather*. Consulté le 29 août 2023, à l'adresse <https://learn.adafruit.com/introducing-the-adafruit-nrf52840-feather/overview>
- [7] Omnirobotic. (2020, 27 octobre). *Qu'est-ce qu'un capteur de temps de vol (TOF) ?*. Consulté le 29 août 2023, à l'adresse <https://omnirobotic.com/fr/blogue/quest-ce-quun-capteur-de-temps-de-vol-tof>
- [8] Ela Innovation. (2021, 17 février). *Qu'est-ce que le Bluetooth Low Energy ?*. Consulté le 29 août 2023, à l'adresse <https://elainnovation.com/quest-ce-que-le-bluetooth-low-energy>

## **ANNEXE 1 : Capteur de Distance VL53L0X TOF 30 à 1000mm**

### **DESCRIPTION**

Le VL53L0X n'est pas un capteur de distance comme les autres ! Ce module contient une source laser invisible très compacte et un récepteur adapté. Le VL53L0X fonctionne selon le principe du "Time Of Flight" (temps de vol ou TOF), qui correspond au temps que la source lumineuse a pris pour rebondir sur un objet et revenir vers le récepteur. On appelle souvent ces capteurs des Mini Lidar.

Puisqu'il utilise une source lumineuse très étroite, il est idéal pour déterminer la distance d'une petite surface située juste devant le capteur. Contrairement aux modules ultrasons qui envoient des vagues d'ondes larges qui rebondissent sur les surfaces rencontrées, le TOF dispose d'une source lumineuse avec un "cône" de dispersion très étroit. Et contrairement aux capteurs de distance infrarouge qui essayent de mesurer la quantité de lumière qui revient vers le récepteur, le VL53L0X est beaucoup plus précis et n'a pas de problèmes de linéarité ou d' "image double" qui fausserait la mesure.

La plage de mesure est comprise entre 30 et 1000mm et varie selon le mode de fonctionnement choisi. Par défaut la plage de mesure est de 50 à 1200mm mais elle peut être étendue jusqu'à 2000mm en mode "long range". La précision dépend du mode choisi, de la distance, de la luminosité ambiante ainsi que de la couleur et la brillance de l'objet. Elle est comprise entre 3 et 12%. Plus la luminosité ambiante est importante meilleure sera la mesure, Un objet réfléchissant ou proche de la couleur blanche favorisera également la mesure (notamment pour de longues distances).

Ce module compact s'adaptera facilement à tout projet de robotique ou d'électronique interactive. Le capteur fonctionne en 2.8V (alimentation et logique) mais le module comprend un régulateur ainsi qu'un convertisseur logique ce qui le rend utilisable avec tous les microcontrôleurs de 3 à 5V (alimentation et logique).

La communication au capteur est faite sur I2C avec une API écrite par ST. Adafruit propose une bibliothèque Arduino pour ce module (voir Liens/Tutoriels ci-dessous) ce qui le rend facile à mettre en place dans un montage. L'adresse par défaut est 0x29, il est possible de la modifier (pour éviter une collision d'adresses ou utiliser plusieurs modules) mais ce changement d'adresse n'est faisable qu'en software (voir le tutoriel pour plus d'information).

A noter que le capteur dispose d'un film de protection d'usine qu'il faudra retirer avant utilisation sous peine d'avoir des mesures aléatoires.

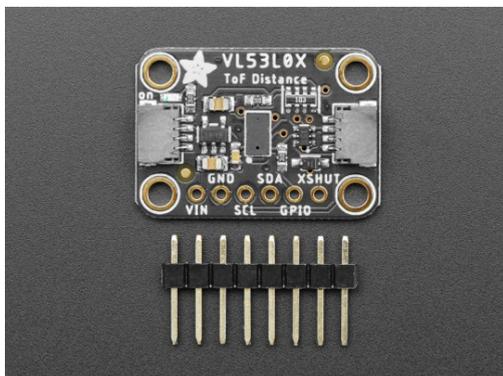
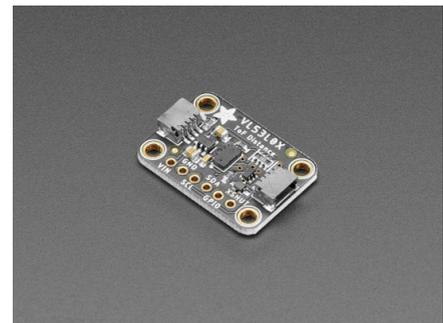
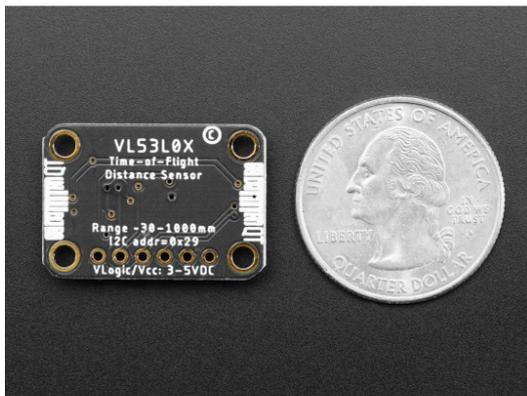
### **CARACTERISTIQUES TECHNIQUES**

- Plage de mesure absolue: 30 à 1000mm
- Plage de mesure du mode "par défaut": 50 à 1200mm
- Mesure maximum en mode "long range": 1.5 à 2m
- Précision: 3 à 12%
- Communication I2C (adresse 0x29, modifiable en soft)

- Dimensions: 20x18x4mm
- Poids: 2g

## LIENS/TUTORIELS DE SON UTILISATION COMPLETE

- Datasheet (anglais): [Datasheet STMicro](#)
- Tutoriel (anglais): <https://learn.adafruit.com/adafruit-vl53l0x-micro-lidar-distance-sensor-breakout/overview>
- Librairie Adafruit pour Arduino: [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_VL53L0X](https://github.com/adafruit/Adafruit_VL53L0X)
- Librairie Pololu pour Arduino: <https://github.com/pololu/vl53l0x-arduino>



# Annexe Technique : Conception et Implémentation du Système de Contrôle

Cette annexe détaille les étapes de conception et les considérations techniques relatives au développement du système de contrôle du fauteuil roulant intelligent, en mettant l'accent sur les aspects logiciels et la communication BLE.

## A. Code du Capteur TOF (Time-of-Flight)

### 1. Inclusion des bibliothèques et configuration

- Inclusion des bibliothèques `bluefruit.h`, `Adafruit_LittleFS.h`, `InternalFileSystem.h`, `BLEUuid.h` et `ToF.h`.
- Définition des constantes de configuration dans `config_capteur.h`.
- Initialisation du capteur TOF et vérification de son fonctionnement.
- Configuration des services BLE (DFU, Device Information, UART, Battery).

### 2. Mesure de la distance

- La fonction `measure_distance()` utilise le capteur TOF pour mesurer la distance.
- Gestion des erreurs de mesure et conversion de la distance en une valeur adaptée à l'application.

### 3. Communication BLE UART

- La fonction `loop()` vérifie la connexion BLE et envoie la distance mesurée au capteur central si connecté.
- Affichage de messages de débogage sur le moniteur série.

### 4. Gestion de la connexion BLE

- Les fonctions `connect_callback` et `disconnect_callback` gèrent les événements de connexion et de déconnexion.
- Contrôle de la LED BLE en fonction de l'état de la connexion.

### Considérations de conception

- Modularité et réutilisation du code.
- Gestion des erreurs pour assurer la fiabilité.
- Messages de débogage pour faciliter le développement.
- Évolutivité grâce à l'utilisation de services BLE standard.
- Sécurité potentielle de la communication BLE (authentification et chiffrement).

### Comportement

- La LED BLE indique l'état de la connexion.
- Le capteur TOF effectue des mesures périodiques et envoie les données au capteur central.
- Des messages de débogage sont affichés sur le moniteur série.

## B. Code du Capteur Central

Ce code est responsable de :

1. Se connecter aux capteurs TOF.
2. Recevoir les données de distance.
3. Calculer les vitesses des roues.
4. Transmettre les commandes aux roues.

### Fonctions clés

- `scan_callback`: Détecte les périphériques BLE et initie la connexion.
- `findConnHandle`: Identifie le périphérique connecté.
- `blink_timer_callback`: Gère le clignotement des LEDs.
- `connect_callback` et `disconnect_callback`: Gèrent les événements de connexion et de déconnexion.
- `relaySpeedToPeripheral`: Formate et envoie les commandes de vitesse aux roues.
- `bleuart_rx_callback` et `bleuart_rx_callback_wrapper`: Reçoivent et traitent les données des capteurs TOF.
- `setup` et `loop`: Initialisent le système et gèrent la communication et le contrôle en continu.

### Comportement de la LED

- Rouge : Clignote deux fois par connexion établie.
- Verte : Clignote pour indiquer le mode central.
- Bleue : Clignote pendant le scan des périphériques.

### Robustesse et aspects de conception

- Gestion centralisée pour une coordination efficace et une sécurité renforcée.
- Communication BLE UART pour une transmission directe et efficace des données.
- Gestion des erreurs pour améliorer la fiabilité.
- Évolutivité pour ajouter de nouvelles fonctionnalités.
- Messages de débogage pour faciliter le développement et le test.

## C. Code des Roues

Ce code contrôle les moteurs des roues en fonction des commandes reçues du capteur central.

### Fonctions clés

- `findConnHandle`: Identifie le capteur central connecté à partir de son id et de son nom.
- `startAdv`: Configure et démarre la publicité BLE.
- `loop`: Affiche la vitesse de la roue gauche.
- `connect_callback` et `disconnect_callback`: Gèrent les événements de connexion et de déconnexion.
- `bleuart_rx_callback` et `bleuart_rx_callback_wrapper`: Reçoivent et traitent les commandes de vitesse.

### Importance

- Reçoit et décode les commandes de vitesse du capteur central.
- Contrôle les moteurs des roues pour assurer le mouvement du fauteuil.

Cette annexe technique présente les détails de conception et d'implémentation du système de contrôle du fauteuil roulant intelligent, mettant en évidence les choix techniques, les fonctions clés et les considérations de robustesse et d'évolutivité. Ce système, basé sur une architecture centralisée et une communication BLE UART optimisée, offre un contrôle précis, intuitif et sécurisé, ouvrant la voie à de futures améliorations pour l'autonomie et le confort des utilisateurs de fauteuils roulants.