

Université de Poitiers

Faculté des Sciences Fondamentales et Appliquées

Master 1 Ingénierie de Conception – Ingénierie Biomécanique

RAPPORT DE STAGE

Sujet : Pré-étude d'un jeu virtuel pour pédalier à main pour une salle de sport adaptée aux fauteuils roulants



Étudiant : ANDRIEU Corentin

Association : AUTONABEE

Maitre de stage : PACORET Cécile

Sous la direction de : CAILLE Laeticia

Année 2021-2022

Table des matières

Remerciements	3
Introduction.....	4
I – Présentation de l'association AUTONABEE	5
A – Présentation de l'Association.....	5
B – Structure et organisation interne de l'association	6
II – Le sujet du stage : le Maindalier	7
A – Rédaction du cahier des charges	7
Atouts du maindalier.....	7
La salle de sport adaptée ANTS.....	8
Analyse du besoin	8
B – Étude réalisée après avoir défini le cahier des charges.....	9
Codage du programme pour récupérer les données de l'IMU sur Arduino.....	9
Codage du programme pour récupérer les données du capteur SEN0203 sur Arduino.....	10
Fusion des deux programmes	11
Passage sur les ESP-8266.....	11
Conception du boîtier.....	12
Test du système	13
C – Les difficultés rencontrées / les solutions apportées	17
D - La suite du projet.....	18
III – Les apports du stage - Capitalisation d'expériences	20
A – Les apports pratiques et intellectuels.....	20
B – Les compétences acquises et développées	20
C – Les missions secondaires et les compétences acquises « extra-stage ».....	21
Conclusion.....	22
Résumé	23
Abstract	24
ANNEXES	25
Annexe 1 - Interview semi-directif des APA.....	25
Annexe 2 - Questionnaire donné dans la salle de sport aux pratiquants du maindalier	27

Remerciements

Je souhaite tout d'abord remercier Mme PACORET Cécile, enseignante chercheuse entrepreneure en robotique neurosciences, nouvelles pédagogies et fabrications numériques et Présidente, Fondatrice de l'association AUTONABEE qui a accepté de m'accueillir en tant que stagiaire pendant 8 semaines.

Je remercie l'équipe pédagogique de l'université de POITIERS pour m'avoir apporté l'aide théorique et pratique nécessaire au bon déroulement du stage.

J'adresse également toute ma gratitude à l'ensemble des bénévoles de l'association pour leur accueil chaleureux et les conseils prodigués tout au long de mon immersion.

Introduction

Dans le cadre du master 1 Ingénierie de Conception parcours Biomécanique de l'université de POITIERS, j'ai effectué mon stage au sein de l'association AUTONABEE à VILLEURBANNE (69) du 19/04/2022 au 13/06/2022.

J'ai choisi cette entreprise pour la nature même de ses projets et les valeurs de ses développements. Le secteur d'activités et le sens donné à leurs créations sont totalement en adéquation avec les miennes. Je veux œuvrer pour des projets qui soient en totale adéquation avec mes valeurs fondamentales : concevoir avec la vocation d'assistance et de bienveillance. Je retrouve ces mêmes qualités au sein d'AUTONABEE.

Durant mon stage, j'ai été épaulé par mon maître de stage et présidente de l'Association, Cécile PACORET. Elle m'a immédiatement positionné en totale immersion dans le métier d'ingénieur de conception, elle m'a initié à la pratique professionnelle et m'a permis de découvrir différentes facettes de la profession. Les conditions de stage ont été particulièrement favorables. En effet, j'ai été autonome très rapidement, une confiance s'est créée et m'a permis de répondre à la mission qui m'était confiée : la pré-étude d'un jeu virtuel pour un pédalier à main situé dans une salle de sport adaptée aux personnes en fauteuils roulants.

Le stage m'a également permis de découvrir le modèle associatif. Je ne réalisais pas toutes les facettes que nous retrouvons dans l'organisation d'une association. J'ai dû m'imprégner du rôle de chaque membre. J'ai dû également travailler en étroite collaboration avec des personnes à mobilité réduite, j'ai dû me mettre à leur portée, me positionner face à leurs besoins en faisant preuve de compassion afin d'être acteur de l'amélioration de leur mobilité.

Le stage a été riche et intensif, riche dans l'apport de connaissances pour mon futur métier, riche par le lien que j'ai pu avoir avec les personnes que j'ai côtoyées. Je vais aborder ma deuxième année de Master avec une totale confiance en moi et la certitude de mon orientation professionnelle.

I – Présentation de l'association AUTONABEE

A – Présentation de l'Association

L'association AUTONABEE est basée à Lyon-Villeurbanne (69).

Cette association a vu le jour grâce à sa fondatrice et présidente Cécile PACORET, ingénieure-enseignante-chercheuse en systèmes intelligents et neurosciences. La passion et les convictions que portent Cécile PACORET sur les nouvelles technologies a abouti à la création d'AUTONABEE ; Elle s'investit dans cette association dans le seul but de combler le manque conséquent de recherches participatives dans le secteur du handicap : « *Seul on est rien, ensemble on peut tout* ».

Les missions fondamentales sont la recherche et le développement de solutions afin de compenser, d'améliorer l'autonomie, l'accessibilité et la qualité de vie des personnes en situation de handicap.

Les missions d'AUTONABEE sont centrées sur :

- L'apprentissage par « le faire ensemble » : ateliers, travail en équipe, ... faire de l'innovation participative,
- La réalisation de projets personnalisés, de prototypage en collaboration avec des porteurs de projet, Co-construire des solutions sur mesure,
- L'organisation d'évènements pour faire connaître leurs actions et collecter les besoins,
- La sensibilisation à l'accessibilité, promouvoir l'inclusion et ainsi changer la vision du handicap,

L'objectif est de fédérer les acteurs qui œuvrent en solo face aux démarches entrepreneuriales. L'association offre un regroupement dans un lieu commun afin d'avancer en équipe et de bénéficier d'entraide sur leurs innovations. L'association veut aboutir à un modèle d'insertion par l'activité économique. AUTONABEE se porte garant d'un accompagnement, d'une rétribution et d'une reconnaissance des compétences en les fédérant. Le seul mot d'ordre : **le Collectif** pour progresser vers un but commun.

C'est une association qui peut être encore considérée comme naissante de par sa date de création mais qui est en pleine croissance. Le nombre de bénévoles, de prestations déjà réalisées, la multiplicité des partenaires et surtout l'éventail de projets à réaliser en sont la preuve évidente :

- 30 membres actifs,
- 6 porteurs de projet,
- 9 utilisateurs experts,
- 40 partenaires,
- 127 étudiants.

Les porteurs de projet

 <p>Youssef Membre fondateur</p> <p>Go One Game</p> <p>Manette de jeu vidéo à 1 seule main</p>	 <p>Héléne</p> <p>Lab à cannes</p> <p>Réinvention de l'image de la canne</p>	 <p>Djébrine</p> <p>Actif Citoyen</p> <p>Accessibilité des programmes électoraux</p>	 <p>Marie-Christine</p> <p>Heat & Roll</p> <p>Co-construire à l'école pour et avec les experts des fauteuil roulant</p>	 <p>Geoffrey</p> <p>SLAM pour tous</p> <p>L'expression orale</p>
---	---	---	---	---

B – Structure et organisation interne de l'association

Le bureau



Cécile Pacoret, Ph.D.
Fondatrice et présidente

Couteau-suisse technique,
Ingénieure-chercheuse-entrepreneure en systèmes intelligents et robotique



Héléne Guennec
Vice-présidente

Porteuse du projet Lab à Cannes, rêve de remettre les cannes à la mode
Ingénieure-entrepreneure, maman de 2 enfants
Aime fabriquer et discuter technologies à plusieurs



Laura Lemahieu
Secrétaire

Ingénieure-chercheuse entre sciences physiques et sociologie du handicap
Motrice, autodidacte et créative
Rêveuse de lendemain innovant dans une équipe de R&D inclusive



Jonathan Basso
Trésorier

Orthopédiste-orthésiste aux multiples facettes
Artisan des solutions accessibles de demain

II – Le sujet du stage : le Maindalier

La mission principale qui m'a été confiée a été de réaliser la pré-étude d'un jeu virtuel pour un pédalier à main situé dans une salle de sport adaptée aux personnes en fauteuils roulants. Le but de la mission était de modifier un appareil de musculation appelé maindalier afin de créer une interaction où les données recueillies permettraient de contrôler un jeu qui motiverait le pratiquant durant son effort.

Ce projet de maindalier connecté a pour but de rendre un exercice de musculation plus attractif et surtout moins fastidieux. Afin de rendre cette activité plus intéressante nous avons pensé à intégrer différents capteurs à l'appareil pour d'obtenir des informations telle que la vitesse, la force, la puissance, ... A l'heure actuelle l'appareil ne transmet à l'utilisateur aucun retour sur ces performances.

L'objectif de ce projet est donc de mettre en place des capteurs afin de renvoyer à l'utilisateur des informations sur sa performance comme par exemple sa vitesse de rotation, sa puissance développée, sa fréquence cardiaque, son nombre de calories dépensées, etc.

A – Rédaction du cahier des charges

Atouts du maindalier

La rééducation fonctionnelle et posturale est fondée sur le mouvement. Bien souvent, les exercices font appel à la répétition d'un mouvement et à la recherche d'une augmentation d'amplitude, d'une diminution de la douleur, et d'une reprogrammation d'un schéma moteur. Mais ces exercices, répétitifs, sont parfois lassants et aboutissent à une démotivation voire un abandon des thérapies des patients.

Le maindalier est un parfait exemple, il est très important dans la rééducation des patients puisqu'il apporte de nombreux bienfaits et pourtant il est très peu utilisé ou mal utilisé car il n'est pas stimulant à pratiquer.

Depuis quelques années, les jeux vidéo et la réalité virtuelle s'invitent dans les cabinets de kinésithérapeutes. On appelle ces jeux basés sur le mouvement des Physio-Games ou Exergames. Ils peuvent être utilisés dans de nombreux contextes liés à la santé, tels que la rééducation.

Le Physio-Gaming est l'utilisation de jeux vidéo pour augmenter les capacités de mouvements d'une personne dans le cadre d'une activité physique (adaptée, de rééducation, de recherche de performance).

C'est un jeu vidéo basé sur le mouvement à des fins médicales pour la santé de l'utilisateur. Cette pratique permet l'apprentissage ou le réapprentissage du mouvement de manière tout à fait ludique. Le développement de ces nouvelles technologies permet aujourd'hui de produire de véritables outils thérapeutiques aux contenus ludiques adaptés.

Le maindalier est un exercice qui apporte des nombreux bienfaits. Il permet d' :

- Améliorer la circulation sanguine,
- Entretenir les muscles des bras, du dos, des épaules, des abdominaux,
- Assouplir et tonifier les muscles,

- Renforcer l'équilibre du corps,
- Augmenter le niveau de résistance,
- Brûler des calories.

Le maindalier sur lequel le projet porte appartient à l'association ANTS.

La salle de sport adaptée ANTS est une association qui a été créée en 2015. Vance BERGERON, en allant à l'ENS où il occupe la fonction de chercheur a été victime d'un accident de la route. Il s'est retrouvé en fauteuil roulant. Face à son handicap, il fait le constat qu'il n'existe aucune possibilité de pratiquer du sport à l'extérieur des centres de rééducation ou de traitement. Il a donc fait de nombreuses recherches pour lister ce qui existait sur le marché. L'électro-musculation externe l'a particulièrement intéressé.

Ainsi, en septembre 2018, la 1^{ère} salle de sport totalement accessible aux personnes en situation de handicap moteur voit le jour. Elle propose de l'électrostimulation. Elle a ouvert au public en mars 2019.

La salle est en relation avec les HCL et l'hôpital Henry Gabriel pour servir de lien entre les recherches cliniques des laboratoires et les utilisateurs.

Le succès d'ANTS a inspiré d'autres porteurs de projets. Ils reçoivent de nombreuses sollicitations extérieures (à la cadence minimal d'une fois par semaine) pour la création de projets similaires voire complémentaires. Un gros projet autour de Grenoble devrait voir le jour très prochainement.

Les pratiquants de la salle sont des personnes souffrant de diverses pathologies : paraplégie, tétraplégie, sclérose en plaque, maladies neurodégénératives, maladies rares, séquelles d'accident cérébraux ... Toute personne est en droit de venir pratiquer dans cette salle moyennant la condition sine qua non d'une pathologie entraînant un handicap moteur.

Aujourd'hui, ANTS représente 64 adhérents et sur l'année 80 personnes pratiquent la salle (en comptant ceux qui ne viennent que sur un laps de temps court). Il y a un peu plus d'hommes que de femmes dont l'âge oscille de 18 à 80 ans. En moyenne, 50% des personnes qui participent à la séance d'initiation prennent une adhésion. Les membres viennent en moyenne 2 fois par semaine. Certains font une heure de route pour progresser et améliorer leur condition.

ANTS met à disposition deux enseignants spécialisés en sport adapté à temps complet. Les pratiquants bénéficient d'un accompagnement total : visite de la salle, rendez-vous test, puis séances d'électrostimulation ou de musculation. Tout est prévu pour une rééducation et un suivi pour faire évoluer l'activité. La salle est totalement adaptée pour les personnes à mobilité réduite.

Analyse du besoin

Le maindalier est un exercice relativement simple d'utilisation. Les personnes arrivent en fauteuil et s'installent devant la machine. De base, l'utilisation du maindalier est sur une table, pour faire travailler les bras, ou positionné au sol pour faire travailler les jambes. La salle ANTS travaille avec l'ENS qui leur a conçu un support qui porte l'appareil. Il est adapté pour qu'un fauteuil puisse s'insérer et permet un réglage de la hauteur en fonction de la morphologie de chaque personne.

A l'heure actuelle l'appareil ne transmet à l'utilisateur aucun retour sur ces performances.

Pour compenser ce déficit, les pratiquants ont installé une montre sur la machine afin de pouvoir se chronométrer sur la durée de l'exercice. C'est la seule donnée dont ils disposent pour évaluer leurs efforts.

Pour permettre d'analyser au mieux les besoins, j'ai réalisé une interview semi-directif auprès des éducateurs APA (voir annexe 1). J'ai également mis en place un questionnaire que j'ai distribué dans la salle de sport ANTS auprès des utilisateurs du maindalier (voir annexe 2). Il ressort de ce questionnaire que les pratiquants ont dans un premier temps besoin d'un premier retour assez basique pour permettre de renvoyer à l'utilisateur des informations simples comme la vitesse à laquelle il pratique l'exercice, le temps d'effort écoulé, le nombre de calories dépensées, ...

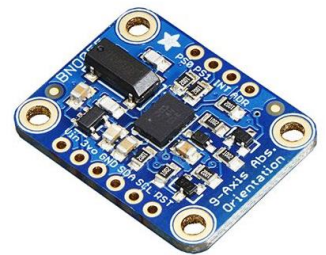
B – Étude réalisée après avoir défini le cahier des charges

Codage du programme pour récupérer les données de l'IMU sur Arduino

Le capteur principal que nous avons choisi d'intégrer au maindalier est un IMU nommé capteur BNO055. Il est doté d'un accéléromètre, d'un gyroscope et d'un magnétomètre.

Nous l'avons choisi car il est très complet et capable de percevoir différentes données :

- L'orientation absolue (avec les angles d'Euler ou de Quaternion),
- L'orientation sur trois axes basés sur une sphère à 360°,
- La vitesse angulaire,
- La vitesse de rotation (en rad/s) sur les 3 axes,
- Le vecteur accélération,
- Les 3 axes d'accélération (gravité + mouvement linéaire en m/s^2),
- La température en degré Celsius,



Un code sous le compilateur ARDUINO a été réalisé afin d'obtenir les différentes informations du capteur BNO055.

Figure 1 IMU BNO055

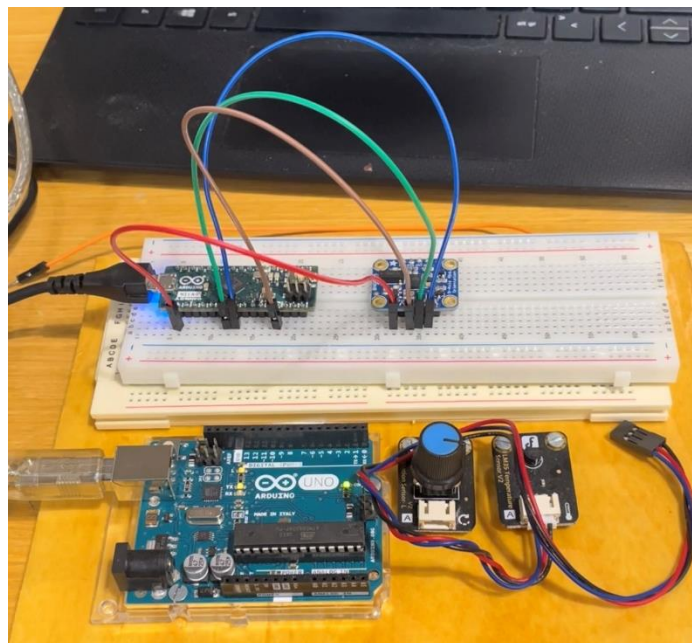


Figure 2 Branchements Arduino / IMU

Après avoir terminé la programmation du code et réalisé mes branchements j'ai pu obtenir toutes les informations du capteur qui se présentent sous la forme suivante :

```
COM8
14:52:30.538 -> temperature: 29
14:52:30.538 ->
14:52:30.538 -> Calibration: Sys=3 Gyro=3 Accel=0 Mag=3
14:52:30.538 -> --
14:52:30.690 -> Orient: x= 168.25 | y= -6.75 | z= 4.00
14:52:30.690 -> Gyro: x= 0.00 | y= -0.00 | z= 0.00
14:52:30.690 -> Linear: x= 0.00 | y= 0.13 | z= -0.21
14:52:30.690 -> Mag: x= -1.19 | y= -23.00 | z= -38.56
14:52:30.690 -> Accl: x= -1.15 | y= -0.54 | z= 9.50
14:52:30.690 -> Gravity: x= -1.15 | y= -0.68 | z= 9.71
14:52:30.690 ->
14:52:30.690 -> temperature: 29
14:52:30.690 ->
14:52:30.690 -> Calibration: Sys=3 Gyro=3 Accel=0 Mag=3
14:52:30.690 -> --
14:52:30.787 -> Orient: x= 168.25 | y= -6.75 | z= 4.00
14:52:30.787 -> Gyro: x= 0.00 | y= 0.00 | z= 0.00
14:52:30.787 -> Linear: x= 0.02 | y= 0.13 | z= -0.19
14:52:30.787 -> Mag: x= -0.50 | y= -24.50 | z= -38.56
14:52:30.787 -> Accl: x= -1.10 | y= -0.53 | z= 9.50
14:52:30.787 -> Gravity: x= -1.15 | y= -0.68 | z= 9.71
```

Figure 3 Informations données par l'IMU

[Lien vers une vidéo de démonstration du capteur que j'ai réalisé pour l'association une fois le code fonctionnel](#)

Les données recueillies par le capteur devront être analysées. Le capteur est capable de nous renvoyer un grand nombre d'informations mais toutes ne seront pas nécessaires dans le projet du maindaliier connecté.

Codage du programme pour récupérer les données du capteur SEN0203 sur Arduino

Ce capteur SEN0203 est un capteur de fréquence cardiaque. Il fonctionne par principe optique qui permet de détecter les changements de volume sanguin dans le lit microvasculaire des tissus.

Il dispose de deux trous que l'on peut utiliser pour attacher au doigt, au poignet ou au lobe de l'oreille.

Même principe que pour le précédent capteur, j'ai réalisé un code qui permet de percevoir les informations du capteur sur le moniteur Arduino de l'ordinateur.



Figure 4 Capteur SEN0203

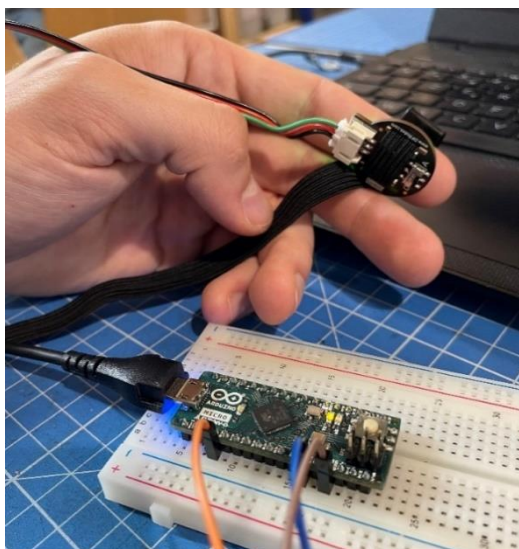


Figure 6 Branchements Arduino / SEN0203

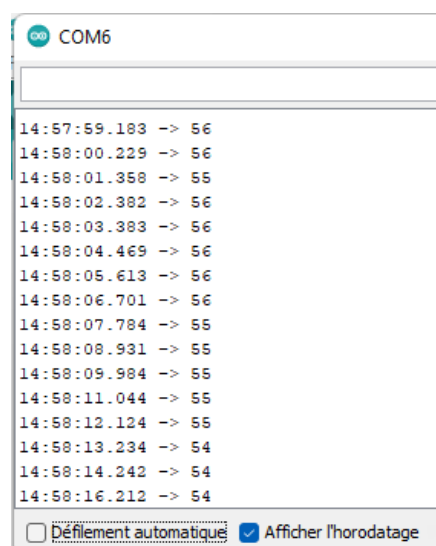


Figure 5 Informations données par le SEN0203

Fusion des deux programmes

Une fois que les deux programmes, celui de l'IMU ainsi que celui de capteur de fréquence cardiaque ont été fonctionnels, j'ai développé un nouveau programme qui permet d'obtenir à la fois les données du BNO055 et celles du SEN0203.

Passage sur les ESP-8266

Arduino était une première étape apprenante pour que je prenne en main les capteurs, et que je vérifie que mon système soit fonctionnel. Dès le départ, j'avais la notion qu'il faudrait changer de microcontrôleur. Nous ne pouvons pas conserver un Arduino comme microcontrôleur puisque notre système doit être autonome avec une batterie et doit pouvoir communiquer sans fil.

C'est pour ces différentes raisons que nous avons opté pour un ESP-8266 qui est doté d'un système wifi (sans besoin de rajouter un module comme sur un Arduino). De plus, il est très simple de rajouter une batterie à ce dispositif. Un autre avantage est qu'il est beaucoup moins demandeur en énergie. Pour rappel et d'après le cahier des charges, le dispositif devrait pouvoir tenir idéalement toute la journée. Le cahier des charges nous impose aussi des limites dans le dimensionnement du dispositif puisqu'il doit être le plus petit possible pour son esthétique et surtout qu'il ne dérange en rien la pratique de l'utilisateur sur le maindaliier. Sur ce point l'ESP-8266 a de plus petite dimension qu'une carte Arduino, ainsi la boîte qui maintien le dispositif sera donc de dimension moins importante afin que tous les éléments s'insèrent à l'intérieur.

Le passage sur un ESP-8266 implique un changement dans l'architecture finale du programme. La solution la plus simple et la plus rapide que nous avons retenue fonctionne avec deux microcontrôleurs. Le premier se trouve dans le boîtier sur le maindaliier et est connecté à l'IMU et au capteur de fréquence cardiaque. Ce microcontrôleur va transcrire les données perçues sur un navigateur web (<http://...>). Le second ESP va venir récupérer ces informations écrites par le précédent ESP et l'afficher sur le port COM.

Ci-dessous un schéma représentant schématiquement l'architecture du programme :

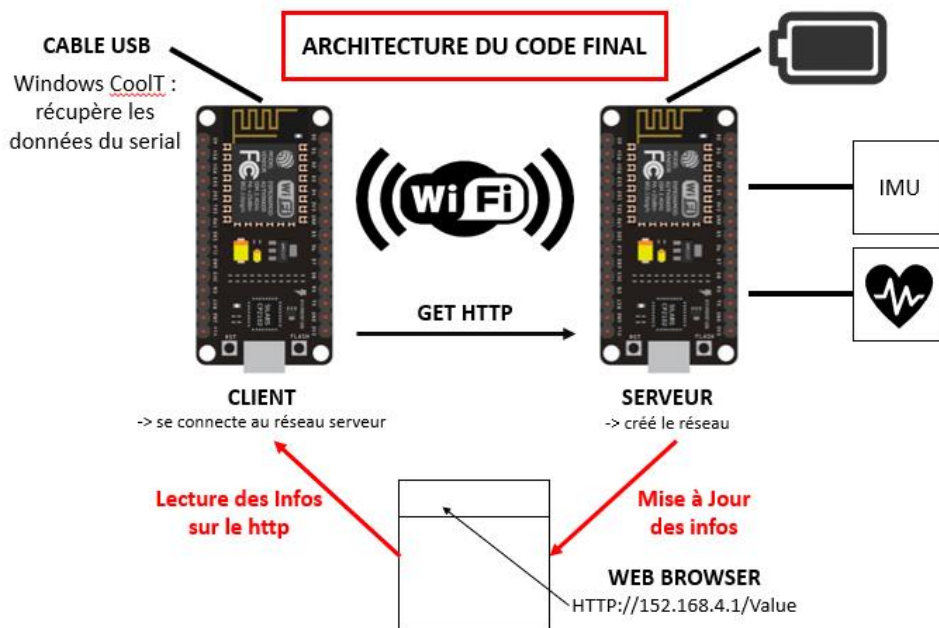


Figure 7 Architecture du code final

Comme évoqué précédemment l'IMU est capable de capter une multitude d'informations, mais dans le cadre de ce projet nous avons besoin essentiellement de la vitesse angulaire. C'est pour cela que le port COM n'affichera que la valeur du gyroscope (qui nous donne la vitesse angulaire en rad/s) sur les 3 axes X, Y et Z.

Conception du boîtier

Afin de maintenir et de protéger l'ensemble des éléments nécessaires : le microcontrôleur, la batterie et le capteur de fréquence cardiaque, j'ai conçu un boîtier qui se fixe directement sur la manivelle du maindallier :

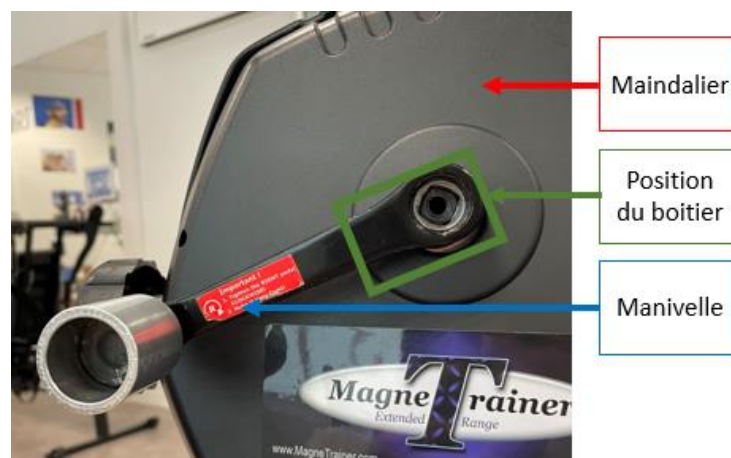


Figure 8 Schéma du positionnement du boîtier

La conception de boîtier a été faite de telle sorte à ce que l'IMU soit positionné parfaitement sur le centre de rotation du pédalier afin que les données obtenues ne soient que sur un seul axe : l'axe de rotation du système.

Voici l'assemble final de modèle numérique réalisé sur SolidWorks :

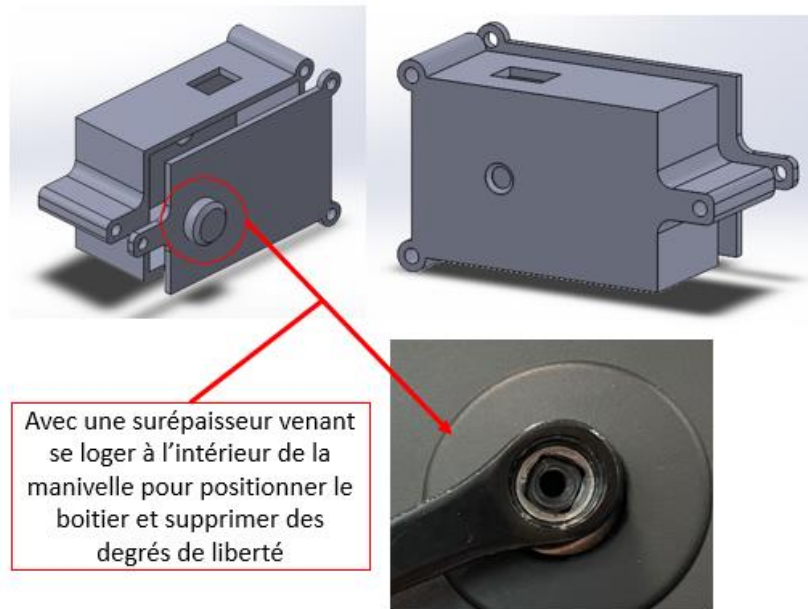


Figure 9 Images de la conception 3D du boîtier

Voici le prototype obtenu suite à une impression 3D :

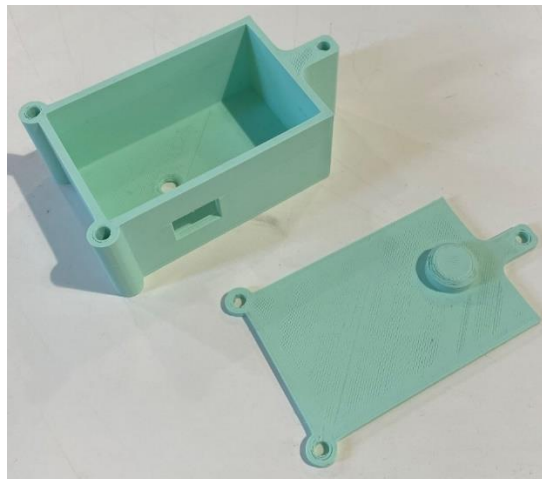


Figure 10 Boîtier après impression 3D

A présent que nous avons un prototype, nous amorçons la phase de tests.

Test du système

Afin de réaliser les premiers tests de notre dispositif, j'ai assemblé l'ensemble des éléments pour vérifier que tous les composants du système rentrent dans le boîtier et soient bien positionnés.

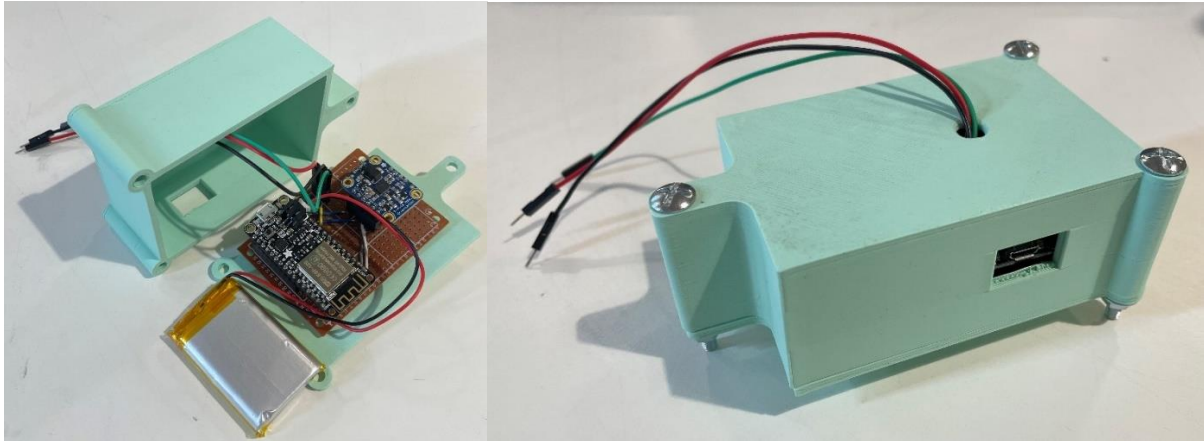


Figure 11 Montage de l'électronique dans le boîtier

Une fois le dispositif assemblé nous avons pu procéder aux premiers tests. Le maindallier se situant dans la salle de sport ANTS et étant souvent sollicité en journée, nous avons réalisé les premières mesures expérimentales sur un vélo qui possède un pédalier similaire à celui du maindallier.

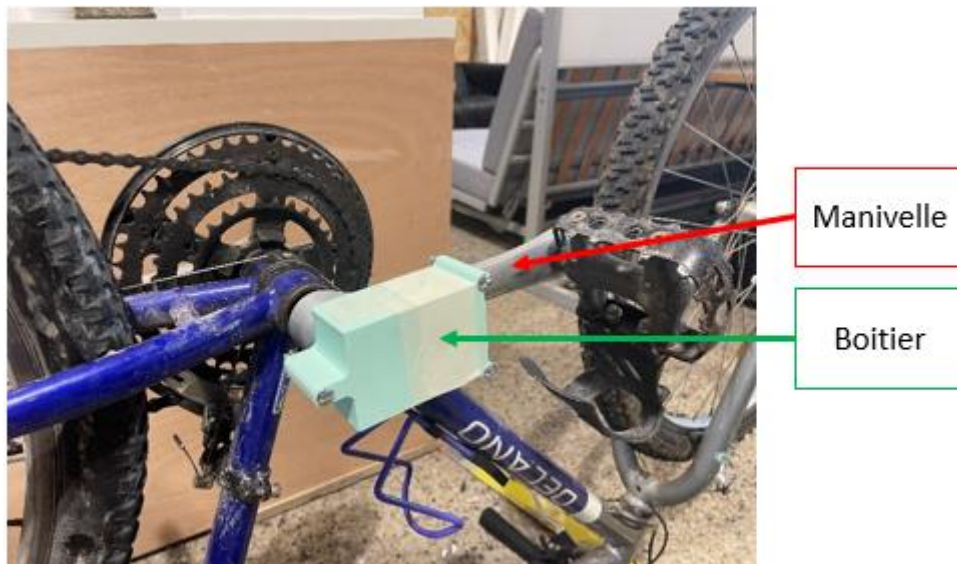


Figure 12 Montage du boîtier sur le vélo

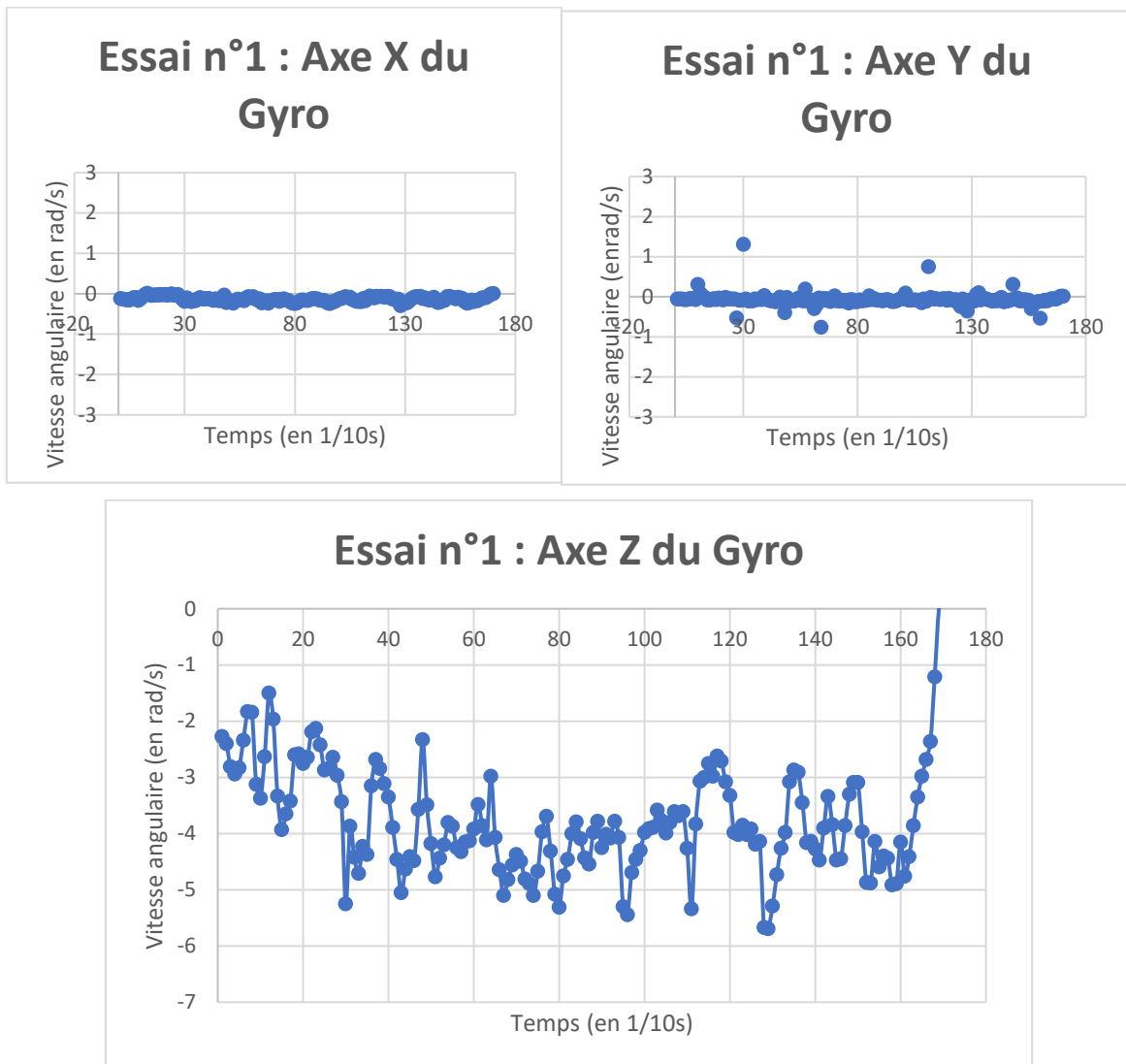
Le capteur de fréquence cardiaque fonctionnant, nous avons décidé de tester seulement l'IMU au cours de cette démarche expérimentale.

Essai n°1 : Test en pédalant à la main

Le premier test a été réalisé en tournant manuellement la manivelle pendant 10 tours.

[Lien vidéo du test n°1](#)

Courbes obtenues :



Résultats :

Sur les axes X et Y les courbes restent nulles. Ces résultats correspondent à nos attentes. En effet, si la calibration du dispositif est de bonne qualité l'IMU doit détecter des variations que sur un seul axe, l'axe Z. La dernière courbe de l'axe Z nous confirme les mouvements sur cet axe. Mais la courbe obtenue ne peut pas être exploitée car il n'y a aucune régularité. Cependant, les valeurs sont correctes car si on effectue le calcul nous avons effectué 10 tours en 17s et on obtient une vitesse moyenne de 3,17 rad/s qui correspond aux valeurs obtenues.

Ces données irrégulières viennent du fait que la manivelle soit tournée manuellement. Pour la prochaine expérimentation nous devons trouver une autre solution pour faire tourner le pédalier de manière plus régulière.

Lors des prochaines expérimentations nous négligerons les axes X et Y que l'on suppose nuls. Au vu des résultats obtenus de la première expérience qui ne permettent pas d'affirmer que notre système soit bien calibré.

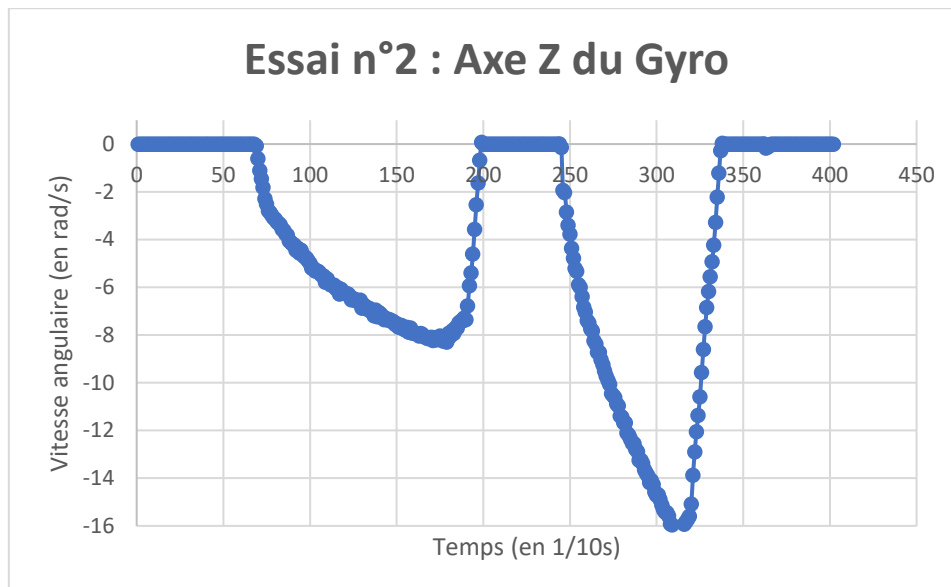
Essai n°2 : Test avec un dremel

Pour cette seconde expérience nous allons nous munir d'un dremel qui viendra en appui contre la roue arrière du vélo afin de donner un mouvement plus régulier au pédalier.

Contrairement à l'essai n°1, nous allons lancer les mesures des données avant de faire tourner la roue pour être certain de capter l'intégralité des informations. Après ce temps de mesure sans mouvement nous allons faire tourner le dremel à une faible vitesse pendant 10 tours, puis stopper la roue et attendre quelques secondes sans mouvement. Ensuite nous relançons le dremel à une vitesse plus importante pendant 10 tours avant de le stopper et d'attendre à nouveau quelques secondes avant de mettre fin à l'expérimentation.

[Lien vidéo du test n°2](#)

Courbe obtenue :



Résultats :

La courbe que nous obtenons est beaucoup plus lisible. Nous pouvons observer les deux pics correspondant au 2x10 tours à différentes vitesses. Les trois « phases d'attente » sont aussi très bien visibles ou à l'inverse l'IMU ne capte aucune information. La roue a été stoppée une fois que le nombre de tours a été atteint. C'est pour cela que la décélération est très rapide. On peut observer que la deuxième phase est beaucoup plus courte que la première. On remarque également que la valeur de l'accélération angulaire de la deuxième phase est nettement supérieure. Cela s'explique puisque le dremel était réglé à une vitesse plus importante.

Ces résultats sont très encourageants, ils nous permettent d'affirmer que notre dispositif est capable de capter en temps réel les accélérations de la manivelle.

Le reproche que l'on peut faire à cette expérience est que durant ces deux phases le dremel est en régime transitoire puisque l'accélération augmente encore lorsqu'on stoppe la roue. Il

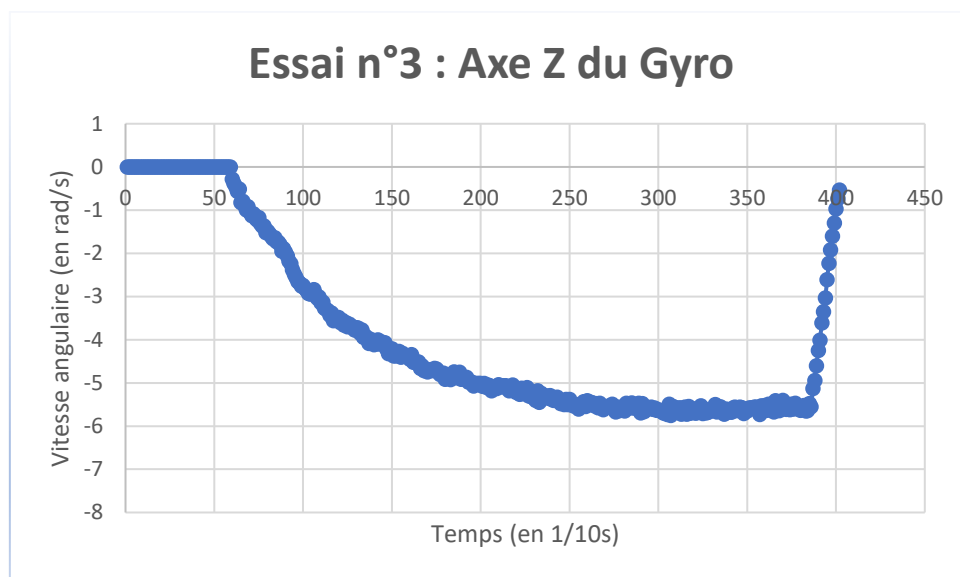
serait intéressant de vérifier si l'IMU capte le régime permanent lorsque le dremel atteint sa vitesse maximale.

Essai n°3 : Test avec le dremel fixé

Pour cette troisième expérience nous allons fixer le dremel à un tabouret afin que la pression appliquée sur la roue du vélo reste constante. Lors de cet essai nous faisons tourner le dremel à une faible vitesse mais sur une durée plus longue que lors des expériences précédentes. L'intérêt sera ici de capter une phase où l'accélération sera constante. Dans les expériences précédentes nous tournions pendant 10 tours de roues, ce qui n'était pas suffisant pour que le dremel atteigne son régime permanent.

[Lien vidéo test n°3](#)

Courbe obtenue :



Résultats :

La courbe obtenue nous permet de valider les informations captées par notre gyroscope. En effet, on constate que la courbe est constante entre 35 et 38 secondes, nous sommes donc dans le régime permanent de le dremel qui a atteint sa vitesse maximale.

C – Les difficultés rencontrées / les solutions apportées

J'ai rencontré quelques difficultés lors de mon stage. Ces difficultés se trouvent notamment dans une matière où j'avais déjà des lacunes pendant mes temps d'étude théoriques : la programmation. Je maîtrise peu les différents langages. Durant les différentes matières cette année j'ai pu développer mes compétences sur Matlab et sur Python. Durant mon stage, pour mener à bien mes missions j'ai dû programmer sur Arduino, un langage que je connaissais très superficiellement.

Pour y remédier, j'ai trouvé des solutions à mes carences en cherchant sur des informations, des documents sur internet, sur des forums ... Arduino possède une grande communauté qui est

très apprenante et facilite l'entraide entre utilisateurs. Mon maître de stage, ainsi que des membres de l'association m'ont aussi apporté leurs savoirs face à mes difficultés.

D - La suite du projet

La première phase de tests sur notre prototype a été réalisée et nous a permis d'obtenir des résultats très prometteurs quant à la fiabilité du système. A présent la suite du travail consistera à refaire des tests mais cette fois-ci sur le véritable maindaliier qui se situe dans la salle de sport d'ANTS. Nous n'avons pas pu le tester directement sur l'appareil car le délai avant la fin de mon stage ne nous le permettait pas mais le capteur est adapté pour aller sur cette machine, tout a été anticipé.

Les tests que j'ai réalisés m'ont permis de constater d'ores et déjà quelques problèmes dans la conception du boîtier. En effet, l'IMU est doté d'un thermomètre qui nous indique en temps réel la température. Je me suis aperçu au cours des expériences que la température augmente lors du fonctionnement. Le prochain prototype devrait être doté de trou ou d'une grille d'aération afin que le système ne surchauffe pas.

Un second problème vient de la fixation des composants à l'intérieur du boîtier. Pour ces premiers tests l'ensemble des éléments étaient simplement placés dans le boîtier mais ils n'étaient pas fixés. Malgré que les données perçues soient fiables au vu des expériences que nous avons réalisé il faudra trouver un moyen de fixer la carte électronique. Elle possède à chacun de ses angles des perçages que l'on pourrait utiliser.

Des tests sur l'autonomie du système devront être effectués afin de vérifier si le système est capable de tenir une journée entière correspondant à l'amplitude d'ouverture de la salle de sport comme le cahier des charges l'impose.

Un autre point clef dans l'évolution du système sera l'interface entre le microcontrôleur et les pratiquants. Voici un exemple que j'ai réalisé sur Matlab :

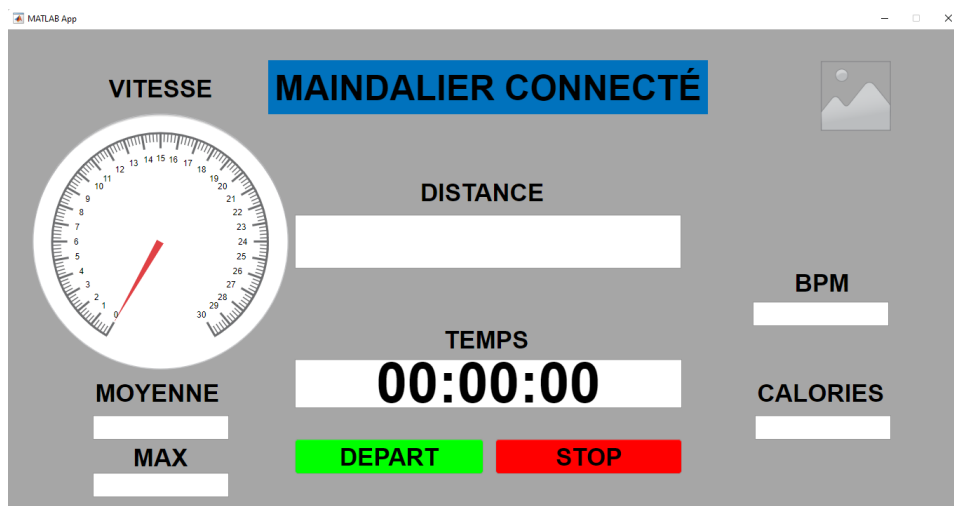


Figure 13 Éventuelle interface utilisateur

Cette interface pourrait même être encore plus enrichie avec l'aide des deux éducateurs APA (Activités Physiques Adaptées) pour permettre des créer une page d'accueil proposant

différents programmes de sport. Ce choix motiverait les sportifs à pratiquer le maindaliér et aboutirait à plus d'autonomie sans avoir besoin de solliciter l'aide d'un professionnel de la salle.

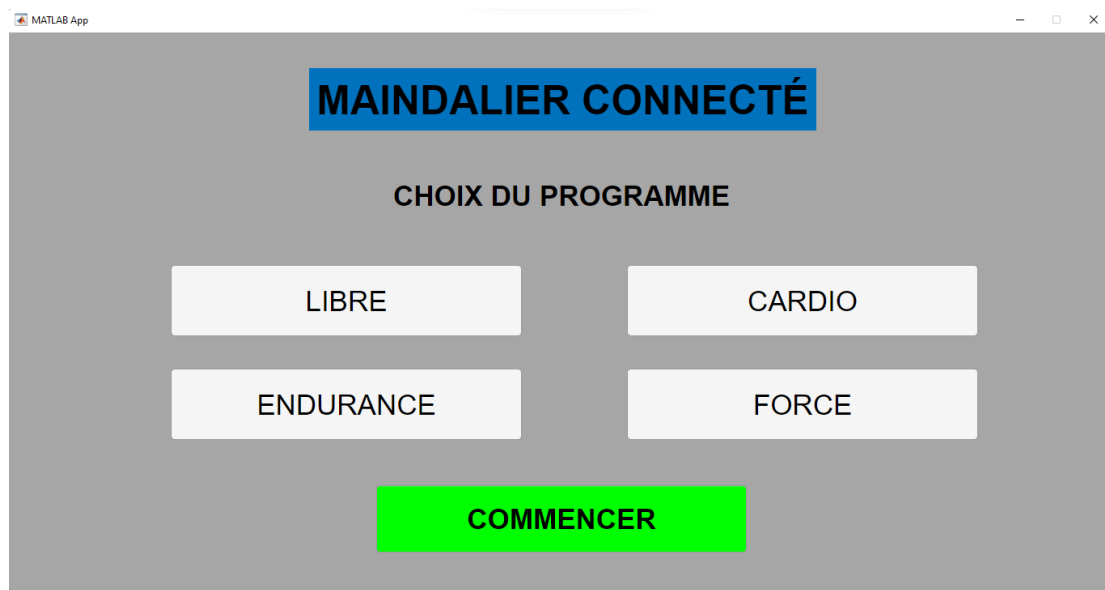


Figure 14 Proposition d'interface d'accueil

III – Les apports du stage - Capitalisation d’expériences

A – Les apports pratiques et intellectuels

Les bénéfices que m’ont apporté le stage sont divers et tous enrichissants. Au cours de cette immersion, j’ai pu mettre à profit la théorie apprise à la pratique concrète sur le terrain.

En effet, grâce à mes acquis théoriques, j’ai réussi mon challenge qui était d’avancer dans le projet destiné au maindalier. Pour rappel ce projet était en partenariat avec l’association ANTS à Lyon. Cette étude revêt toute son importance puisqu’elle reflète d’une part, l’intérêt d’une totale synergie entre une salle de sport qui recherche constamment des solutions pour s’adapter à leur public en situation d’handicap et qui veut diversifier son offre en privilégiant une prestation de qualité. Et, d’autre part, on retrouve AUTONABEE l’association dans laquelle j’effectue mon stage qui apporte son savoir-faire, sa technicité et son ingénierie. Cette symbiose entre ces acteurs a été très enrichissante et encourageante pour ma première immersion professionnelle.

Ce travail m’a également sensibilisé aux différents besoins des personnes qui souffrent au quotidien du fait que notre monde n’est pas adapté aux personnes à mobilité réduite. Ce stage m’a permis l’accès tant à la réflexion, à la technicité qu’aux valeurs humaines que je désire défendre dans mes futures conceptions professionnelles.

B – Les compétences acquises et développées

Au cours de ce stage, j’ai acquis des compétences diverses et variées qui me serviront tant sur un plan professionnel que personnel :

L’autonomie : mes missions étaient claires, je devais réaliser un prototype permettant de renvoyer des informations à l’utilisateur concernant sa performance. Pour mener à bien mes missions j’ai dû faire preuve d’organisation afin de définir l’ensemble des tâches à réaliser. Ensuite, j’ai pris l’initiative de prendre des rendez-vous avec les responsables de la salle de sport, auprès des éducateurs sportifs et des pratiquants pour assimiler concrètement leurs besoins et réaliser le cahier des charges afin qu’ils correspondent parfaitement à leur manque. J’ai voulu qu’ils soient partie prenante dans l’aboutissement du projet.

Par ailleurs, j’ai pu consolider des compétences : mes lacunes en programmation qui étaient un frein dans mon avancée m’a conduit à faire des recherches, me former, apprendre et donc acquérir des compétences dans le langage Arduino.

En parallèle aux propres missions demandées, j’ai acquis de la rigueur. J’ai vu l’intérêt et la nécessité que peut apporter le fait d’être consciencieux, réfléchi, méticuleux et organisé pour rendre un travail de qualité.

C – Les missions secondaires et les compétences acquises « extra-stage »

J'ai tout de suite été positionné comme acteur dans la vie de l'association, dans sa croissance mais aussi dans le développement de son modèle économique et commercial.

J'ai été missionné dans l'organisation d'un salon professionnel de grande envergure. Ma tutrice de stage étant très occupée elle m'a confié la lourde responsabilité d'assister aux réunions d'organisation. J'ai été amené à présenter devant tous les organisateurs les missions de l'association AUTONABEE, récupérer toutes les informations informationnelles et pratiques nécessaires au bon fonctionnement de notre présence au salon.

Ce fût une lourde responsabilité puisque ce salon avait pour but de faire connaître l'association afin de favoriser son développement, sa notoriété. C'était une mission d'un enjeu majeur.

J'ai eu également une délégation totalement imprévue : la visite d'une plateforme immobilière car l'association est à la recherche d'un local pour son siège social et pour faire office d'atelier. Derrière cette mission se cache la responsabilité de faire un contre rendu précis et objectif. L'association qui est en plein essor est amené à recevoir du public à mobilité réduite ce qui nécessite de lourds critères. Cette visite était organisée par des élus de la ville de BRON (située aux portes de LYON) dont l'objectif est de redynamiser un quartier. J'ai donc présenté et vendu tous les atouts de l'association pour susciter leur attention et les convaincre qu'AUTONABEE est une association d'intérêt général. Je les ai sensibilisés à la cause défendue par l'association. J'ai aussi eu un rôle de commercial en devant user d'arguments positifs et convaincants.

Conclusion

En conclusion, ce stage a été plus qu'enrichissant et apprenant. Il m'a permis de me surpasser sur des domaines multiples et variés auxquels je ne m'attendais pas. Il fut riche et très prenant ; j'ai été sollicité sur de multiples versants qui font le quotidien d'une association.

Je m'attendais à œuvrer sur un versant technique. J'ai mis à profit tout mon enseignement théorique acquis. J'ai même dû acquérir de nouvelles compétences que je ne maîtrisais pas, notamment en programmation.

Ce stage m'a permis une totale immersion dans le milieu associatif, dans leurs secteur d'activités avec la connaissance de la région lyonnaise. J'ai fait le constat qu'on peut être amené à interagir dans des domaines totalement distincts et variés mais qui nécessaires à la survie d'une entreprise.

J'ai dû réaliser dans un premier temps le cahier des charges en me basant sur des interviews auprès des dirigeants de la salle, des éducateurs sportifs ainsi qu'auprès des pratiquants. J'ai fait l'équivalence d'une étude de marché.

Grâce à ce stage, j'ai appris à travailler en totale autonomie, j'ai réalisé un projet de A à Z, de sa conception jusqu'à son prototype.

J'ai apporté à l'association ma disponibilité, mon esprit jeune, dynamique et compétitif. J'ai parfaitement su m'intégrer au sein de la structure. Je me suis pleinement impliqué dans le projet qui m'a été confié. Je me suis surpassé pour être à la hauteur et concrétiser la mission qui m'a été confiée.

Résumé

La mission principale qui m'a été confiée a été de réaliser la pré-étude d'un jeu virtuel pour un pédalier à main situé dans une salle de sport adaptée aux personnes en fauteuils roulants. Le but de la mission était de modifier un appareil de musculation appelé maindalier. Ce projet connecté a pour but de rendre un exercice de musculation plus attractif afin de créer une interaction où les données recueillies permettraient de stimuler le pratiquant pendant son effort.

Pour susciter plus d'intérêt nous avons pensé à intégrer différents capteurs à l'appareil afin d'obtenir des informations telle que la vitesse de rotation, la force, la puissance développée, la fréquence cardiaque, le nombre de calories dépensées..., à l'heure actuelle l'appareil ne transmet à l'utilisateur aucun retour sur ses efforts.

J'ai tenu à rédiger un cahier des charges afin que les utilisateurs aient, un retour concret d'informations sur leurs besoins avant d'envisager de développer un jeu.

J'ai établi un questionnaire, procédé à des interviews afin de m'assurer de leurs véritables besoins. C'est ainsi que j'ai pu appréhender que leurs premières nécessités étaient d'avoir un retour immédiat sur l'effort physique en obtenant leur vitesse, la distance qu'ils ont parcourue, leur fréquence cardiaque, ... J'ai conçu le prototype. Ce prototype est un boîtier qui se fixe sur la manivelle du pédalier du maindalier. Il est doté d'un microcontrôleur ESP-8266 relié à un IMU qui nous renvoie les accélérations angulaires. Il est aussi composé d'un capteur de fréquence cardiaque. J'ai réussi à faire aboutir le projet jusqu'à la première phase de tests du prototype. Ces tests ont permis de valider le bon fonctionnement du dispositif. Il est capable de transmettre la fréquence cardiaque de l'utilisateur mais également son accélération en direct.

Il reste encore quelques finitions pour que le projet soit complètement achevé ; il faut adapter le boîtier et réaliser une véritable interface homme/machine pour rendre l'outil plus compréhensible et plus esthétique. Les avancées sur le projet ont été notables, j'ai totalement rempli les objectifs qui m'étaient demandés tout en concrétisant le désidérata des utilisateurs.

Abstract

The main mission that I was given was to realize the pre-study of a virtual game for a hand pedalboard located in a gym adapted to people in wheelchairs. The goal of the mission was to modify a weight training device called hand pedal. This connected project aims to make a weight training exercise more attractive in order to create an interaction where the data collected would allow to stimulate the practitioner during his effort.

To create more interest we thought of integrating different sensors to the device in order to obtain information such as the speed of rotation, the strength, the power developed, the heart rate, the number of calories burned..., at the moment the device does not transmit to the user any feedback on his efforts.

I wanted to write a specification so that users would have concrete feedback on their needs before considering developing a game.

I set up a questionnaire and conducted interviews to make sure of their real needs. This is how I was able to understand that their first needs were to have an immediate feedback on their physical effort by obtaining their speed, the distance they ran, their heart rate, ... I designed the prototype. This prototype is a box that is fixed on the crank of the main crankset. It is equipped with an ESP-8266 microcontroller connected to an IMU that sends us the angular accelerations. It also has a heart rate sensor. I succeeded in bringing the project to the first phase of testing the prototype. These tests allowed to validate the good functioning of the device. It is able to transmit the heart rate of the user but also his acceleration in direct.

There are still a few finishing touches to be made before the project is completely finished; the box needs to be adapted and a real man/machine interface needs to be created to make the tool more understandable and more aesthetic. The progress on the project was notable, I totally fulfilled the objectives that were asked of me while concretizing the desiderata of the users.

ANNEXES

Annexe 1 - Interview semi-directif des APA

- *Pourquoi l'exercice du maindalier est-il important ? A quel type de pratiquants est-il destiné ? Qu'est-ce qu'il permet d'apporter aux pratiquants ?*

Le maindalier est important pour travailler l'endurance et la capacité aérobie. C'est un exercice spécifique pour les personnes souffrant d'une lésion à la moelle épinière. Ce ne sont pas que leurs muscles qui ne fonctionnent plus mais également leur système respiratoire. Cet exercice va leur permettre d'accélérer leur respiration.

C'est une machine majoritairement destinée aux personnes ayant une paralysie des membres inférieurs.

- *Combien de temps devraient-ils le pratiquer ? A quelle fréquence ? A quelle intensité ? Autres bénéfices ?*

Le temps de pratique du maindalier varie selon les pratiquants. Cet exercice fait office d'échauffement (pendant 10 mn). Il peut servir de séance cardio (jusqu'à 2030 mn) ; c'est très rare car pas très attractif.

La fréquence d'utilisation de la machine est en moyenne de 1 à 2 fois par semaine.

- *Comment est réglée la force ? qui décide ? est-ce imposé ou préconisé ? Est-ce que ce réglage est important et peut avoir un impact sur le programme sportif du pratiquant ?*

Lorsque l'utilisateur est novice, les éducateurs règlent la force. Ensuite, les pratiquants règlent la molette en fonction de leur ressenti. Il faut savoir que le réglage est très approximatif sur cette machine.

Selon les desideratas de l'utilisateur, soit on travaille l'endurance par le biais d'un effort sur la durée moyennant une faible force de résistance ; sinon on travaille la force par un effort plus restreint mais moyennant un réglage de la force de résistance plus élevée.

- *Comment procèdent les éducateurs lorsque le handicap de la personne engendre une diminution de ses performances ?*

Pour une personne qui pratique régulièrement les éducateurs n'ont encore jamais constaté ce problème. S'ils sont confrontés à cette situation, leur rôle sera de les motiver afin de poursuivre et ainsi ne pas régresser.

- *Quels indicateurs de performances vous semblent importants ? (dans le cas d'une pratique plaisir, athlète, motivée pour compenser la dégénérescence de leur maladie, ...)*

Les indicateurs révélateurs aux éducateurs sont : la distance parcourue, la vitesse, la puissance développée, le temps d'exercice et le rythme cardiaque.

- *Quels mouvements pourraient être autorisés et surtout bénéfiques pendant l'exercice ? Postures de tête, Haut/Bas, Inclinaison à Gauche/Droit ?*

Le mouvement de tête de gauche à droite est plus accessible à tous comparé au mouvement haut/bas, mais le mouvement ne doit pas dépasser les épaules.

- Avez-vous des intuitions/envies sur la gamification de l'exercice afin qu'ils prennent du plaisir à proposer ces jeux.

Par expérience avec le vélo à électrostimulation apprécient de se promener, se balader. Un jeu similaire à Mario Kart peut leur convenir. On pourrait envisager deux modes différents : un mode compétition avec un challenge ou un mode plus individuel.

- Quel est l'endroit où l'emplacement du boîtier électronique serait le plus efficace pour la pratique de la machine, sur la pédale ou sur le bras ?

Tout dépend de la taille du boîtier, même positionné sur la machine il ne dérange pas.

- Est-ce que les pratiquants ont différentes orientations des mains ? Est-ce un critère à rendre plus stable ?

L'orientation du poignet du pratiquant va déjà dépendre s'il utilise les gants ou pas. Que le poignet reste fixe ou non n'implique aucune gêne. C'est en fonction des mouvements que le pratiquant agit.

- Est-ce qu'ils constatent au quotidien des mauvais usages de la machine ? des situations que l'on pourrait corriger avec les consignes du jeu.

Le seul mouvement parasite constaté par les éducateurs est la position du haut du corps qui a tendance à s'affaisser vers l'avant. Les pratiquants ont le réflexe d'accompagner le mouvement et donc de se pencher en avant.

- Auriez-vous un deuxième maindallier qui ne soit pas utilisé afin de le présenter, le regarder ? Seraient-ils d'accord pour qu'on consulte le système ?

Non nous ne possédons pas de deuxième maindallier. Par contre, il est possible de le réquisitionner une demi-journée afin de pouvoir analyser son fonctionnement.

Annexe 2 - Questionnaire donné dans la salle de sport aux pratiquants du maindancier

Questionnaire

Bonjour,

Le questionnaire que vous nous demandons de participer a été créé afin de **développer un pédalier à main**. Nous vous invitons à répondre **le plus sérieusement possible** aux questions qui vont être posées.

Vos réponses ne seront traitées qu'à des **fins statistiques** et ce de manière **totalement anonyme**.

Pour chacune des questions la sélection des réponses peut être multiple : on peut choisir une ou plusieurs options parmi les choix proposés.

Merci d'avance pour votre aide et votre collaboration.

- **Etes-vous un homme ou une femme ?**

Homme Femme

- **Dans quelle tranche d'âge vous situez-vous ?**

de 0 à 15 ans de 15 ans à 30 ans de 30 à 45 ans
 de 45 ans à 60 ans de 60 à 80 ans plus

- **Vous êtes atteint d'un handicap :**

Affectant les membres supérieurs
 Affectant les membres inférieurs
 Temporaire
 Permanent
 Dégénératif
 Aucun

Pour quelle(s) raison(s) pratiquez-vous le pédalier à main ?

Me muscler Garder la forme Perdre du poids Prendre du poids
 Me défouler Me sentir en forme Parce qu'on me l'a conseillé
Pour me préparer à une épreuve sportive Pour m'échauffer Autre :
.....

• **Combien de fois par semaine pratiquez-vous cet exercice ?**

- 1 fois 2 fois 3 fois 4 fois 5 fois +

• **Êtes-vous motivé à exercer cet exercice ?**

- Pas du tout Un peu Moyennement Très motivé

• **Pendant combien de temps réalisez-vous cet exercice ?**

- De 0 à 5 min De 5 à 10 min De 10 à 15 min De 15 à 20 min
+

Au bout de combien de temps ressentez-vous une lassitude ?

- En moins de 2 min En moins de 5 min En moins de 10 min
 En moins de 15 min Je ne m'en lasse pas

• **Qu'est-ce que vous reprochez à cet exercice ?**

.....
.....
.....
.....

• **A l'inverse, qu'est-ce que vous appréciez dans la réalisation de cet exercice ?**

.....
.....
.....
.....

• **Qu'est ce qui est pour vous un critère de performance ?**

- Améliorer son endurance
 Améliorer sa vitesse
 Obtenir un score et pouvoir l'améliorer
 Pouvoir comparer ses performances
 Pratiquer à plusieurs
 Dépenser des calories
 Autre :

- **Qu'est ce qui pourrait vous aider à vous surpasser pendant cet exercice ?**

- Avoir des informations mécaniques (Vitesse, réglage de la force)
- Avoir des informations physiologiques (Fréquence cardiaque, calories dépensées)
- Participer à un jeu pendant l'activité
- Avoir un suivi sur une application mobile et pouvoir comparer ses performances
- Autre :

- **Si un jeu est mis en place, par quel(s) type(s) de jeu seriez-vous intéressé(s) ?**

- Un jeu d'action (type collecte de pièces)
- Un jeu de course (type moto, kart, vélo, ...)
- Un jeu de quêtes (où il faut chercher des objets ou des personnages, résoudre des énigmes)
- Un jeu de simulation (sport, vol, conduite, instrument de musique)
- Un jeu de combat
- Autre :

- **Jouez-vous à des jeux vidéo ?**

- Jamais Rarement De temps en temps Régulièrement

Nous vous remercions du temps consacré à répondre à ce questionnaire.