

<b>I RAPPORT DE STAGE</b>		<b>II M1 /</b>
<b><u>ELEVE</u></b> Nom : BONNET                      Prénom : Lucas                      Filière : SRD		
<b><u>SUJET</u></b> « Automatisation d'un fingerprint à l'aide d'un robot mobile pour la localisation indoor »		
<b><u>ENTREPRISE</u></b> Nom: EFREI research LAB Adresse : 30 Av. de la République, 94800 Villejuif Adresse du lieu du stage si différent :		
<b><u>DATE DU STAGE</u></b> Date de remise du rapport aux membres du Jury : du : 08/11/21                      au : 01/04/22                      durée effective en semaines : 20		
<b><u>SOUTENANCE</u></b> Date :                      Heure : Composition du Jury : - Président (responsable EFREI ou ESIGETEL) : - Responsable du stage (Entreprise) : - Invité(e) :		
<b><u>PUBLICATION DU RAPPORT DE STAGE</u></b> Le Responsable du stage :                      autorise le stagiaire à publier le rapport de stage sur l'Intranet de l'Ecole. Signature		
<b>Mots clés</b>		

## Sommaire :

1. Introduction
2. Présentation de l'entreprise
  - 2.1. Efrei
  - 2.2. L'Efrei Research LAB
3. Projet de stage
  - 3.1. Description du projet
4. Méthode de travail
  - 4.1. Environnement social
  - 4.2. Environnement Technique
5. Travail Réalisé
  - 5.1. Prise en main du matériel et des logiciels
  - 5.2. Caractérisation des erreurs de déplacement du robot
  - 5.3. Synchronisation de la prise de mesure
6. Focus sur la question managériale
7. Pour conclure

## Introduction

Etudiant en M1 Système Robotique & Drone. J'ai eu la chance durant cette année estudiantine, d'effectuer un stage de novembre à mars au laboratoire recherche AllianSTIC, qui est un présent au sein même de l'école. A noter que le laboratoire a changé de nom pendant mon stage et se nomme à présent L'Efrei Research LAB. J'ai pu découvrir le monde de la recherche et la façon dont est réalisé le travail dans ce milieu. J'ai pu aussi comprendre comment ce monde est organisé.

Mon projet de stage est nommé « Automatisation d'un fingerprint à l'aide d'un robot mobile pour la localisation indoor ». Cette recherche a pour finalité de réaliser dans des lieux clos, des mesures de signaux émis par un système de communication sans-fil à plusieurs emplacements précis en utilisant un robot. Cette étude permettra de savoir s'il est possible d'utiliser un tel système pour localiser une personne dans un endroit fermé.

Ces 5 mois m'ont permis de mettre en application les enseignements, les compétences et les soft-skills que j'ai pu acquérir durant ma formation. Dans ce contexte, j'ai pu travailler avec du matériel comme un robot mobile ou encore un système de communication sans-fil. J'ai dû utiliser des logiciels et des langages de programmation que je connaissais, mais j'ai aussi dû apprendre et utiliser de nouveaux logiciels, de nouvelles librairies de programmation ou encore de nouveaux langages.

## Présentation de l'établissement

### Efrei

Je suis conscient que vous connaissez déjà l'Efrei, mais faisons tout de même un petit rappel du chemin parcouru ; puis je vous présenterai l'école aujourd'hui et enfin je vous donnerai quelques informations sur le laboratoire de recherche.

### Le chemin parcouru

L'Efrei qui est l'acronyme de l'Ecole Française d'Electronique et de l'Informatique a été créé en 1936 par Ernest Lavigne. A cette époque, l'école se nomme l'Ecole Française de Radioélectricité (EFR) et se situe dans le 5<sup>e</sup> arrondissement de Paris. Elle formait ses étudiants dans le milieu de la radioélectricité comme décrit dans son nom. Elle est reconnue par l'état 9 ans plus tard en 1945. En 1969, les cours d'informatique sont introduits. Quelque temps après, les cours de réseaux sont eux aussi inclus dans le programme. L'année suivante, en 1970, l'école se renomme EFRE pour l'Ecole Française de Radioélectricité et d'Electronique. Et 3 ans plus tard, le nom change de nouveau pour l'Efrei qui à cette époque signifie l'Ecole Française de Radioélectricité, d'Electronique et d'Informatique. L'école ouvre en 1987 son deuxième campus à Villejuif qui deviendra en 2001 son campus principal d'une superficie de 10 000 m<sup>2</sup>. On peut voir que l'école s'est petit à petit agrandi et a avec le temps adapté les programmes proposés afin de suivre les demandes du marché de l'emploi <sup>1 2</sup>.

Certains des anciens élèves qui sont passés par l'Efrei sont devenus notoires et ont aussi fait la renommée de l'école. On peut citer André Truong qui a co-inventé le 1<sup>er</sup> micro-ordinateur en 1972, Mathieu Nebra, créateur d'OpenClassrooms ou encore Sylvain Anichini co-créateur du décodeur de Canal +.

### De nos jours

L'école continue de s'agrandir, en 2017 l'Efrei fusionne avec l'ESIGETEL, les choix de formation possibles pour ses étudiants sont de plus en plus grands et l'école propose pour son diplôme d'ingénieur des classes préparatoires intégrées ainsi que 13 majeurs dans des domaines différents comme la robotique, la cybersécurité, ou encore la réalité virtuelle. Des partenariats sont aussi signés afin que les étudiants puissent réaliser des doubles diplômes comme avec Centrale Paris, GEM Grenoble EBI. Mais l'Efrei propose aussi d'autres formations comme des BTS, licences, bachelors ou encore des Mastères. Le nombre d'étudiants en 2018 est alors de 2400. Pour remédier au manque de place lié au nombre d'étudiants, d'autres campus sont ouverts en région parisienne à Paris et à Villejuif et un site ouvre en 2020 à Bordeaux.

---

<sup>1</sup> Efrei Paris-Panthéon-Assas Université, « 85 ans D'histoire Efrei », en ligne.

<sup>2</sup> Wikipédia, « EFREI Paris », en ligne.

Cette année, toujours dans l'objectif de s'agrandir, l'Efrei a rejoint l'université Paris-Panthéon-Assas afin de s'associer avec des écoles formant dans d'autres thématiques comme le droit ou la justice.

Au niveau du classement, l'école est depuis quelques années toujours classée dans les premières écoles d'ingénieurs en France que ce soit le classement de *L'Etudiant*, *l'Usine Nouvelle* ou encore celui du *Figaro Etudiant*, dans ce dernier l'Efrei est même classée première école d'ingénieurs en informatique privée. Ce qui montre l'amélioration et la réussite que l'école a eu durant toutes ces années.

### L'Efrei Research LAB

Le laboratoire de recherche a été créé dans les premières années de l'école. Comme pour celle-ci, le laboratoire s'est développé avec le temps. En 2011, 6 ans avant que l'Efrei et ESIGETEL ne fusionnent, les laboratoires des deux écoles se sont associés et ont créé un groupement d'intérêt scientifique afin de mettre leurs forces en commun, nommé AlliansTIC.

En 2022, à la même période que l'annonce de l'association avec Paris-Panthéon-Assas, le laboratoire se renomme L'Efrei Research LAB.

### Identification des thématiques & Organisation du laboratoire

Le laboratoire concentre ses recherches sur 2 domaines d'actualité. Le premier est la science du vivant, le deuxième est la transformation des entreprises et innovation. Ces domaines regroupent des sujets vastes et variés et peuvent être étudiés de plein de manières possibles. Afin de réaliser des travaux de manière organisée et se concentrer sur des points précis, le laboratoire a fait le choix de se concentrer sur 4 thématiques, chacune d'entre elles a un ou une responsable désigné.e :

#### Le pôle data & IA – responsable Katarzyna Wegrzyn-Wolska

La **data** est le terme signifiant données en anglais. D'après le *Cambridge Dictionary*, c'est une information, notamment des nombres, collectée pour être examinée, considérée et utilisée afin d'aider à prendre des décisions, ou/et c'est une information qui a une forme électronique qui peut être stockée et utilisée par les ordinateurs.

L'**IA** signifie Intelligence Artificielle ; c'est un algorithme ou un ensemble d'algorithmes ayant une ou plusieurs capacités comme comprendre des langages, reconnaître des images, résoudre des problèmes ou encore apprendre.

Ce pôle travaille sur le vaste sujet de la donnée et ce qui tourne autour d'elle. Les domaines étudiés sont le Big Data, le web et l'intelligence artificielle comme décrit sur le site de l'Efrei :

*« La croissance exponentielle, ces dernières années, des données diffusées et récoltées a légitimement conduit à s'interroger sur les moyens à mettre en oeuvre pour traiter, comprendre, classifier, qualifier et exploiter utilement ces données. C'est l'avènement du Big Data, domaine auquel s'intéresse le laboratoire AlliansTIC. En parallèle et avec le développement rapide d'internet, la nouvelle génération de produits, systèmes, services et activités s'appuyant sur le Web, la Web Intelligence (WI) a été récemment reconnue comme un nouveau domaine de recherche visant à explorer aussi bien les rôles fondamentaux que les impacts pratiques des technologies avancées de l'Information et de l'Intelligence Artificielle (représentation des connaissances, découverte de connaissances, fouille de données, agents intelligents, réseaux sociaux). »<sup>3</sup>*

Le pôle réseaux de communication – responsable Dario Vieira

Le deuxième pôle se concentre sur la communication entre machine et les infrastructures réseaux. Les recherches réalisées sont sur des thèmes comme la 5G et le haut débit mobile, l'IoT, le dynamisme et la sécurité des réseaux. Ces thèmes sont reliés à des sujets comme l'e-santé, les villes intelligentes ou les véhicules intelligents.

L'IoT ou Internet of Things ou encore Internet des objets en français. Il représente les objets contenant des appareils électroniques capables de se connecter et d'échanger des données via Internet.

Le pôle sécurité et confiance numérique – responsable Layth Sliman

Ensuite, le troisième pôle, lui, travaille sur la thématique de la sécurité et le partage de données dans des collaborations, afin de permettre l'association d'organisations pour réaliser des travaux communs. Les sujets de recherche peuvent être l'IoT la cybersécurité etc...

Le pôle systèmes embarqués intelligents – responsable : Elizabeth Colin

Enfin, le dernier pôle travaille sur les systèmes embarqués en lien avec des domaines comme : « l'industrie, la robotique, l'automobile, l'aérospatial, la défense, la santé/ bien être, l'agriculture »<sup>3</sup>

Pour être plus précis, les travaux de recherches sont axés sur des points comme :

*« Les services d'assistance (ex : détection, localisation) en environnements complexes, les environnements intelligents (re)connaissant l'utilisateur et son état (ex : fatigue, stress) L'objectif de cette thématique est de proposer des systèmes électroniques capables de traiter des signaux de communication (5G, Wifi, Bluetooth, etc.) ou des flux de données sensorielles (vision, audio, température), faibles, bruités et souffrant d'interférences, en vue de détecter*

---

<sup>3</sup> Efrei Paris-Panthéon-Assas Université, « Thématiques de recherche », Recherche & Innovation, en ligne.

*des événements, des comportements, des situations permettant l'identification du contexte ou environnement. »<sup>3</sup>*

Au niveau de l'organisation, le laboratoire est composé d'un directeur Recherche et Valorisation nommé Etienne Pernot et d'une directrice de la recherche, Katarzyna Wegrzyn-Wolska, précédemment citée, car elle est aussi la directrice du pôle data & IA.

Au total, le laboratoire compte une cinquantaine de membres dont une vingtaine d'enseignants-chercheurs, une vingtaine de doctorants et plusieurs stagiaires travaillant tous sur des sujets différents.

#### Exemple de travaux effectués

Bien sûr, beaucoup de sujets de recherche mêlent plusieurs pôles et sont donc réalisés par plusieurs membres avec des connaissances différentes. Des associations avec des membres d'autres laboratoires sont aussi très fréquentes.

On peut par exemple évoquer les travaux qui sont effectués ou qui ont été réalisés sur des sujets comme le programme Health Multi-Omics qui a pour but d'améliorer « la santé humaine, grâce au développement de méthodes d'intelligence artificielle » ou encore pour Science 2024, qui est un :

*« Programme de recherche dont l'objectif est d'accompagner les sportifs de haut niveau à améliorer leurs performances grâce à la science et l'innovation, en vue des Jeux olympiques et paralympiques de Paris<sup>4</sup>. »*

On peut aussi citer des projets de recherche qui ont été commencés il y a quelques années. Comme cHiPSet<sup>5</sup>, PHC POLONIUM<sup>6</sup>, PNAPI<sup>7</sup> ou encore Thomas Jefferson Fund<sup>8</sup>.

---

<sup>4</sup> Efrei Paris-Panthéon-Assas Université, Op. Cit.

<sup>5</sup> Katarzyna Wegrzyn-Wolska, Imen Rached, Lamine Bougueroua, Catherine Marechal et Joanna Kolodziej, « cHiPSet High-Performance Modelling and Simulation for Big Data Applications », ICT COST Action IC1406, Projet de recherche, [PDF], 2015.

<sup>6</sup> Katarzyna Wegrzyn-Wolska, Lamine Bougueroua, Catherine Marechal, « STUDY AND CONTEXTUAL ANALYSIS OF EMOTIONS BASED ON MULTIMODAL SIGNALS », PHC Polonium, Projet de recherche, [PDF], Janvier 2018

<sup>7</sup> Jean-Charles Huet, BOUGUEROUA Lamine, WEGRZYNWOLSKA Katarzyna, Alexandre Dangléant, « PNAPI - « Plateforme Numérique d'accompagnement des APiculteurs » », CASDAR projet RT 2018 (recherche technologique), Projet de recherche, [PDF], 2019.

<sup>8</sup> Dario Vieira, Alain Moretto et Catherine Marechal, Alexander-Paz, « Study of Advanced Mobility and Traffic Safety Technologies using a Virtual Reality and Motion-based Driving Simulation Environment », Recherche - Thomas Jefferson Fund, Projet de recherche, [PDF], 2017.

## Projet de stage

### Description du projet

J'ai intégré le laboratoire afin de réaliser un stage nommé « Automatisation d'un fingerprint à l'aide d'un robot mobile pour la localisation indoor ». Ce projet rentre dans un des axes du pôle système embarqué qui est « les services d'assistances en environnements complexes ». Il a aussi un lien avec la majeure dans laquelle je me forme qui est Système robotique et drone.

### Contexte

Aujourd'hui, il n'y a aucun système qui permet de détecter des personnes précisément dans un bâtiment. Le GPS que l'on utilise habituellement pour se localiser en extérieur ne fonctionnant pas à cause des murs qui réduit voir annule le signal. C'est pour cela que d'autres technologies sont testées afin de connaître leurs possibilités. Pourtant, ce système pourrait permettre de faire un bond en avant et pourrait être utilisé dans beaucoup de domaines.

Un fingerprint est une technique permettant de connaître la position en fonction de la puissance d'un signal récupéré. Ici, on va tester plusieurs fois la valeur que l'on récupère afin d'être sûr de la valeur liée à la position à laquelle nous sommes. Ensuite, on va comparer la valeur avec une base de données dans laquelle nous avons la puissance du signal par rapport à une position. Cette technique va nous le moyen de savoir si la technologie que l'on utilise va nous permettre de nous localiser.

Seulement, un fingerprint prend beaucoup de temps à être réalisé ; par exemple le temps nécessaire pour connaître les valeurs des signaux à chaque position dans une salle le temps se compte en jours. Après avoir analysé une position, il faut que la personne réalisant ces tests déplace le lecteur sur une autre position afin de recommencer d'autres tests.

### La solution proposée

Pour remédier à ce problème, on va automatiser les tests afin de gagner du temps et permettre à la personne de travailler sur d'autres points pendant ce temps-là. Pour automatiser ces tests, on va utiliser un robot mobile qui aura pour but de se déplacer de point en point afin de récupérer les valeurs.

Seulement, le robot utilisé dérive en roulant et n'est pas précis dans ses mouvements et ses déplacements ne sont pas synchronisés avec la prise de mesure.

### Objectifs principaux à atteindre

Mon objectif principal est donc de trouver un moyen de corriger cette dérive. Pour cela, j'ai dû lire beaucoup d'articles de recherches afin de m'appuyer sur les techniques qui ont pu être utilisées pour résoudre des problématiques similaires. J'ai dû aussi effectuer différents tests afin de visualiser la dérive du robot et ainsi pouvoir la corriger. Après cela, je vais devoir synchroniser les programmes permettant de déplacer le robot et la prise de mesure afin



qu'elle ne se fasse qu'à l'arrêt du robot. Et enfin, je vais devoir réaliser des fingerprints automatisés.

## Méthode de travail

### Environnement social

Mes tutrices de stage, Laurie Contevelle et Elizabeth Colin, m'ont dans un premier temps présenté à chaque personne travaillant au laboratoire. Elles m'ont aidé à m'insérer au sein des équipes. Durant mon stage, j'ai partagé une salle avec d'autres stagiaires ce qui m'a permis aussi de m'intégrer, nous avons pu communiquer, et même s'ils travaillaient sur d'autres projets, nous avons pu échanger et nous entraider dans nos travaux respectifs.

Comme dit précédemment, le laboratoire est composé de 4 pôles, mais les projets reliant à chaque fois des personnes de pôle différent, les limites entre les pôles ne sont finalement que très peu visibles. Certaines personnes, travaillant sur des sujets complètement différents venaient discuter afin de voir mon avancée et me donnaient des astuces afin de m'aider dans mon travail.

Dans l'organisation du travail, nous faisions avec Mme Contevelle et Mme Colin des réunions hebdomadaires pour faire des bilans du travail réalisé et fixer de nouveaux objectifs. J'étais libre durant la semaine d'organiser mon travail comme je le voulais tant que cela me permettait de réaliser les objectifs demandés.

J'ai pu recevoir de l'aide d'autres personnes du laboratoire comme Elias Hatem, un doctorant qui a travaillé sur une autre partie de ce projet et qui a pris le temps de m'expliquer certains points comme l'utilisation du lecteur RFID.

### Environnement technique

#### Matériels et logiciels utilisés pour le robot

Le robot que j'ai utilisé durant mon stage est le Pioneer 3 DX. C'est un robot mobile qui a été créé par l'entreprise Mobile Robot, cette entreprise a dû fermer, ce qui m'a compliqué le travail pour prendre en main le robot et les logiciels liés à celui-ci.



Pioneer 3-DX

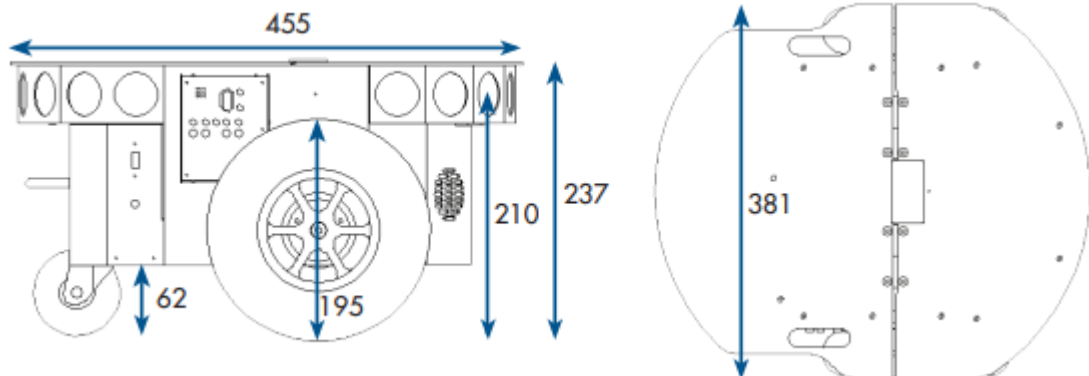
Ce type de robot est appelé robot plateforme à cause de sa forme et de son utilité. En effet, le robot permet de mettre en place sur son toit des équipements comme une caméra ou un bras robotique (voir ci-dessous).



Ce robot est équipé de deux roues motrices et une roue secondaire située à l'arrière. Il est aussi équipé de bumpers et de 16 capteurs ultrasons qui sont disposés tout autour du robot. Ces capteurs ultrasons permettent de récupérer la distance entre le robot et les obstacles. Ils permettent au robot de ne pas percuter d'objet ou de mur par exemple.

Autres caractéristiques :

- Vitesse maximum vers l'avant et l'arrière : 1,2 m/s
- Vitesse de rotation max : 300 °/sec
- Hauteur du robot : 237 mm
- Longueur du robot : 455 mm
- Largeur du robot : 381 mm
- Diamètre des roues : 195 mm
- Nombre de batteries d'alimentation : 3
- Caractéristique des batteries : 12V, 2,5 A



Dimension du robot en mm

Pour programmer le robot, j'ai eu besoin de plusieurs logiciels. Le premier est VMWare qui est un logiciel permettant de créer et d'utiliser des machines virtuelles. Ici, on va utiliser une machine virtuelle sous Linux qui contient un logiciel nommé ROS. C'est un ensemble d'outils et de bibliothèques permettant de faciliter la programmation et la communication avec le robot. L'entreprise a donc créé une bibliothèque sur ce logiciel nommé ROSAria. Elle a aussi créé une bibliothèque dans le langage de programmation C++ nommé Aria. Nous allons aussi utiliser ce langage et cette bibliothèque. En plus des bibliothèques, l'entreprise a créé des logiciels nommés MobileSim et Mapper3. Ces logiciels permettent dans l'ordre de simuler les programmes, le deuxième permet de créer des cartes pour la simulation.

Afin de modéliser l'erreur du robot, j'ai aussi utilisé Matlab.

#### Matériels et logiciels utilisés pour la partie RFID

La technologie testée à l'aide du fingerprint s'appelle RFID. La RFID est une technologie permettant de communiquer des informations entre un émetteur et un récepteur. Cette technologie est utilisée dans différents systèmes comme les passeports, les puces d'animaux de compagnie ou encore les transpondeurs pour le péage. La puissance du signal changeant en fonction de la distance, nous voulons donc tester si ce changement est assez grand et assez précis pour pouvoir localiser avec exactitude notre position.

Pour réaliser les tests, j'ai eu besoin de plusieurs balises RFID, d'un programmeur de tag et d'un lecteur RFID. Ces balises enverront des informations au récepteur, nous pourrons ainsi récupérer des données comme son ID, la puissance du signal, la date à laquelle a été envoyé le signal.

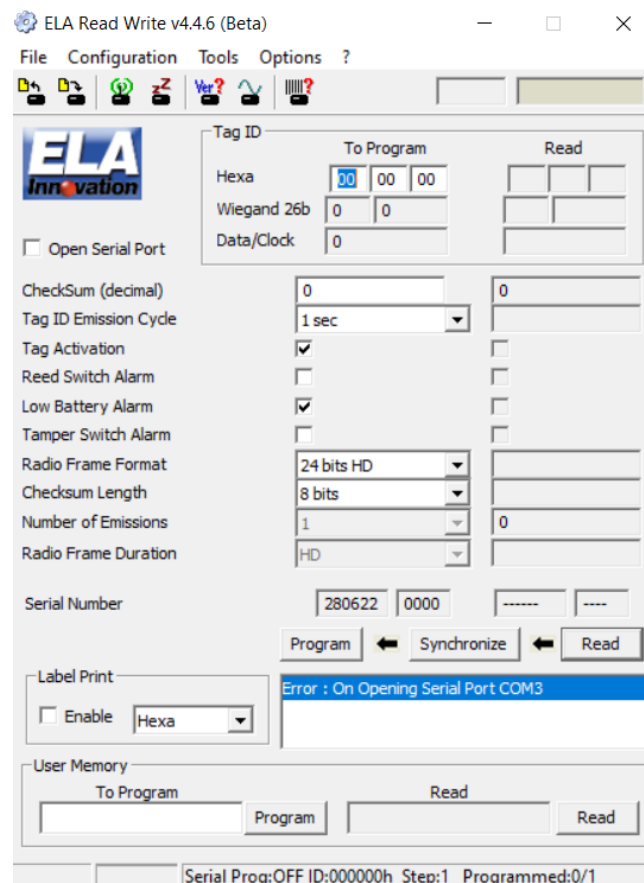


Lecteur RFID



Balise RFID

A l'aide du programmeur et d'un logiciel nommé ERW, que l'on peut voir ci-dessous, on va pouvoir allumer et éteindre les balises, modifier leurs ID, la fréquence d'envoi des informations, etc...



Logiciel ERW

Une fois les balises configurées, il n'y a plus qu'à lancer le programme voulu. Les programmes permettant de récupérer les données sont réalisés en C#. Le lecteur va collecter les mesures envoyées par les balises. On peut récupérer toutes ces données collectées dans le fichier

*Measure.xml* dans lequel on peut retrouver les paramètres voulus comme l'ID de la balise, la date et la puissance du signal mesuré par chacune des antennes du lecteur comme ci-dessous.

```
<Measure numero="1" x="0" y="0" teta="0" repere="0" Present_X="0" Present_Y="0" id="000022" date="03/03/2022 10:12:58:257" value="132/186">
</Measure>
```

## Travail réalisé

### Prise en main du matériel et des logiciels

J'ai dû prendre en main le matériel et les logiciels afin de réaliser mon travail. Cela s'est passé en deux temps, dans un premier temps, au début de mon stage, j'ai pris en main le robot et les logiciels allant avec. La prise en main m'a pris à peu près 3 semaines, le temps de me former sur ROS et sur les librairies que je ne connaissais pas. Cela m'a pris autant de temps à cause de problèmes d'installation.

La deuxième prise en main s'est passée après 4 mois de stage. J'ai commencé à utiliser le matériel et les logiciels pour la partie RFID. J'ai dû apprendre les bases du C# en très peu de temps, car je ne connaissais pas ce langage.

Après avoir essayé les programmes sur le simulateur, j'ai voulu tester les programmes que j'ai réalisés sur le robot. Le premier programme testé est la connexion avec le robot. Tout s'est bien passé. J'ai alors testé de faire rouler le robot en ligne droite. J'ai ainsi pu voir la dérive qu'a le robot en roulant. Le robot tourne petit à petit et après avoir parcouru un peu plus de 15 m, le robot a dérivé de deux mètres sur la gauche.

### Caractérisation des erreurs de déplacement du robot

#### Explication

Comme expliqué juste au-dessus, en lançant un programme qui fait rouler en ligne droite le robot sur plusieurs mètres, celui-ci dérive vers la gauche. Cette dérive durant le déplacement est un problème très fréquent sur les robots mobiles. Elle est due à plusieurs erreurs différentes que l'on peut scinder en deux catégories, les erreurs systématiques et les erreurs non-systématiques<sup>9</sup>.

Premièrement, les erreurs systématiques sont les erreurs présentes sur tous les robots et elles vont avoir un impact à chaque fois que le robot roule. Ces erreurs peuvent venir par exemple d'une taille des roues différentes, la répartition du poids du robot ou encore de l'alignement des roues. La deuxième catégorie sont les erreurs non-systématiques, elles ne sont pas sûres d'arriver, elles peuvent venir du fait que les deux roues ne roulent pas sur le même type de

---

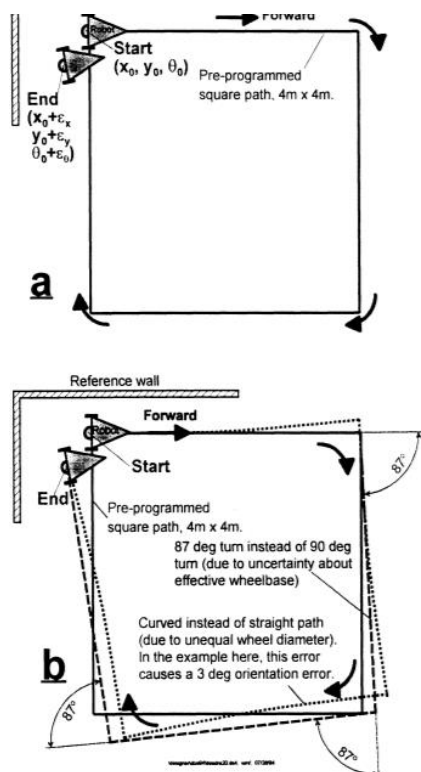
<sup>9</sup> Johann Borenstein, en ligne, « *Internal Correction of Dead-reckoning Errors With the Smart Encoder Trailer* », International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '94)- Advanced Robotic Systems and the Real World., Munich, Germany, September 12-16, 1994, pp. 127-134.

sol, de la ou des roues secondaires du robot (roues non motrices), d'objet au sol ou d'autres possibilités.

Dans notre cas, nous voulons réaliser un fingerprint, le robot doit alors se déplacer précisément et s'arrêter à des points précis afin de prendre des mesures. C'est pour cela que nous voulons supprimer cette dérive, qui, nous le savons, est constituée des deux catégories d'erreurs précédemment citées. Nous pouvons voir cela, car la dérive se ressemble à chaque fois que nous utilisons le robot, mais ce n'est pas exactement la même chose, nous pouvons donc en conclure que nous avons des erreurs systématiques, plus conséquentes que les erreurs non-systématiques. C'est pourquoi nous pouvons corriger cette dérive. Il a alors fallu chercher et réaliser plusieurs tests différents afin de modéliser cette erreur et pouvoir la corriger.

### Tests effectués

Dans un premier temps, j'ai effectué un test nommé UMBMark<sup>10</sup>, celui-ci est très souvent utilisé pour ce genre de problème et est très souvent cité. Il consiste à créer un carré de 4x4m. Le robot commence d'un coin du carré et doit suivre le tracé de ce carré et revenir à sa position initiale voir ci-dessous.



**Figure 3.1:** The unidirectional square path experiment.  
a. The nominal path.  
b. Either one of the two significant errors  $E_0$  or  $E_d$  can cause the same final position error.



Photo prise durant le test  
UMBMark

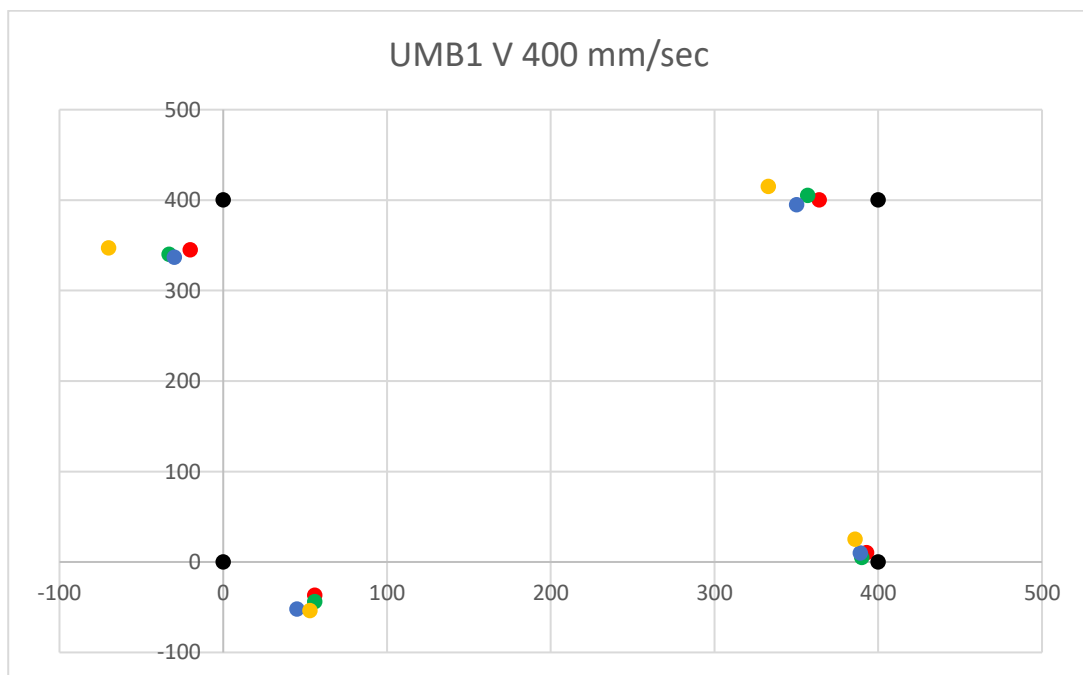
<sup>10</sup> Johann Borenstein et Liqiang Feng, The University of Michigan, en ligne, « UMBmark: A Benchmark Test for Measuring Odometry Errors in Mobile Robots », November 17, 1995.

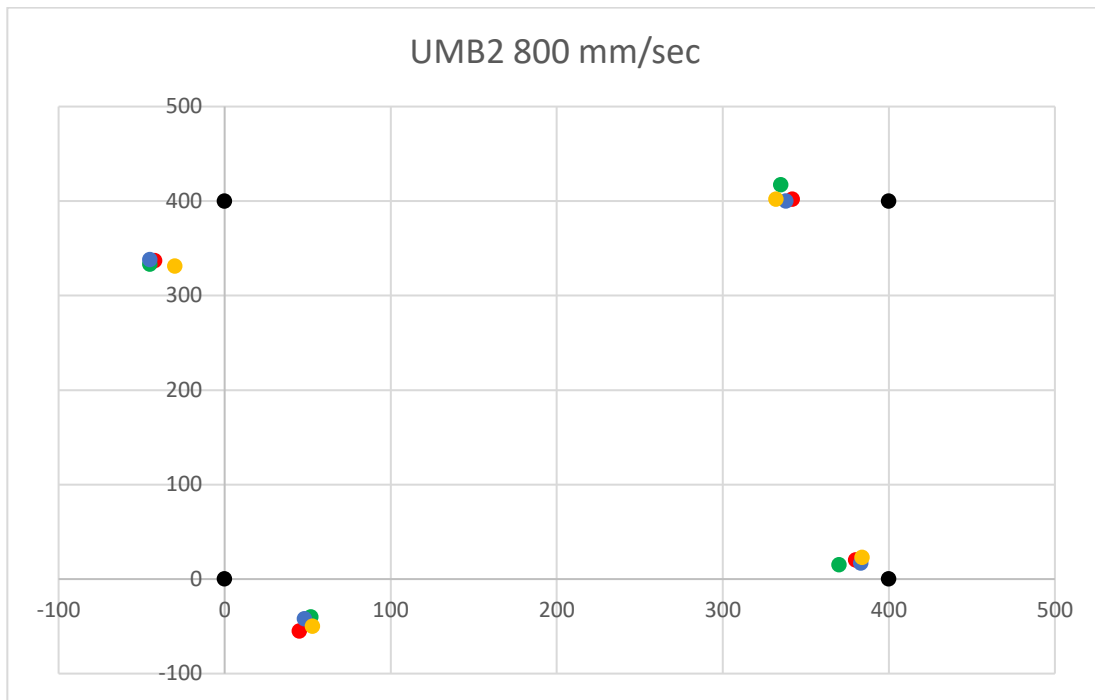
## Explication du test UMBMark

Le test permet de voir trois types d'erreurs du robot : quand il se déplace, quand il tourne et quand il s'arrête. Le robot peut en additionnant les erreurs, revenir à sa position de départ sans être précis durant son trajet. C'est pour cela que l'on récupère la position du robot à chaque coin du carré afin de voir la différence par rapport à la position où il devrait être.

J'ai réalisé les tests dans une salle de classe avec 5 options différentes, chaque option a été réalisée 4 fois. Le robot part à chaque fois du point (0,0) et tourne dans le sens anti-horaire. Les résultats obtenus pour deux des 5 options sont ci-dessous. Chaque couleur correspond à un des 4 tests, les points noirs correspondent aux coins des carrés et à l'endroit où le robot devrait s'arrêter. J'ai d'abord testé avec 2 vitesses différentes pour savoir si la vitesse a une influence sur l'erreur, pour le troisième test, j'améliore la façon dont le robot effectue sa rotation. Au quatrième test, j'utilise l'option précédente, que j'améliore en changeant le comportement du robot pendant son déplacement. Pour le dernier, je change le comportement du robot pendant son déplacement, mais je n'améliore plus la façon dont tourne le robot.

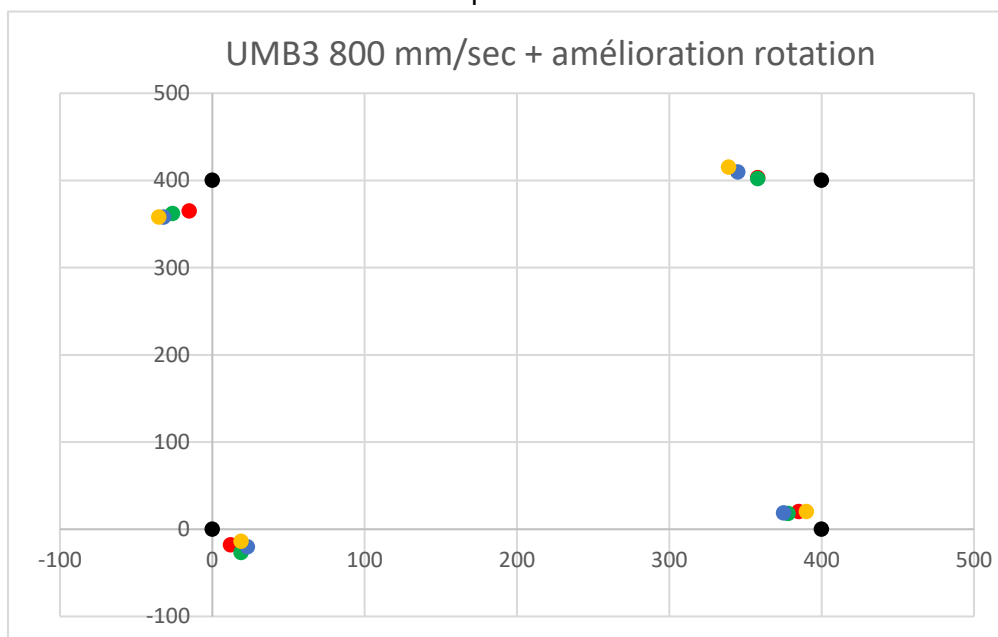
### Option n°1





Les tests n°1 et n°2 ont été faits avec des vitesses différentes, mais sans autres améliorations particulières. Je voulais voir si la vitesse influençait la façon qu'avait le robot de se comporter. Les résultats sont très similaires entre les deux options même si l'option n°1 est mieux. On peut aussi voir grâce au test représenté en jaune sur le graphique n°1 que le cumul d'erreurs peut vraiment donner des résultats critiques. Le troisième test lui a été fait avec une amélioration quand le robot effectue une rotation.

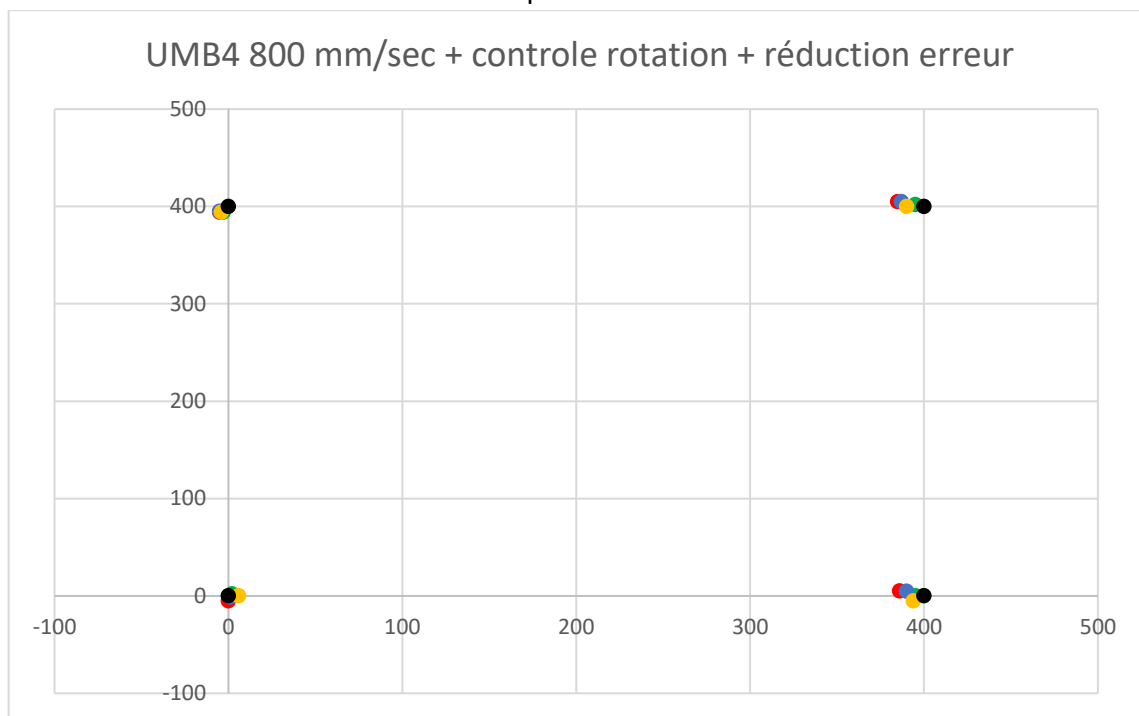
### Option n°3





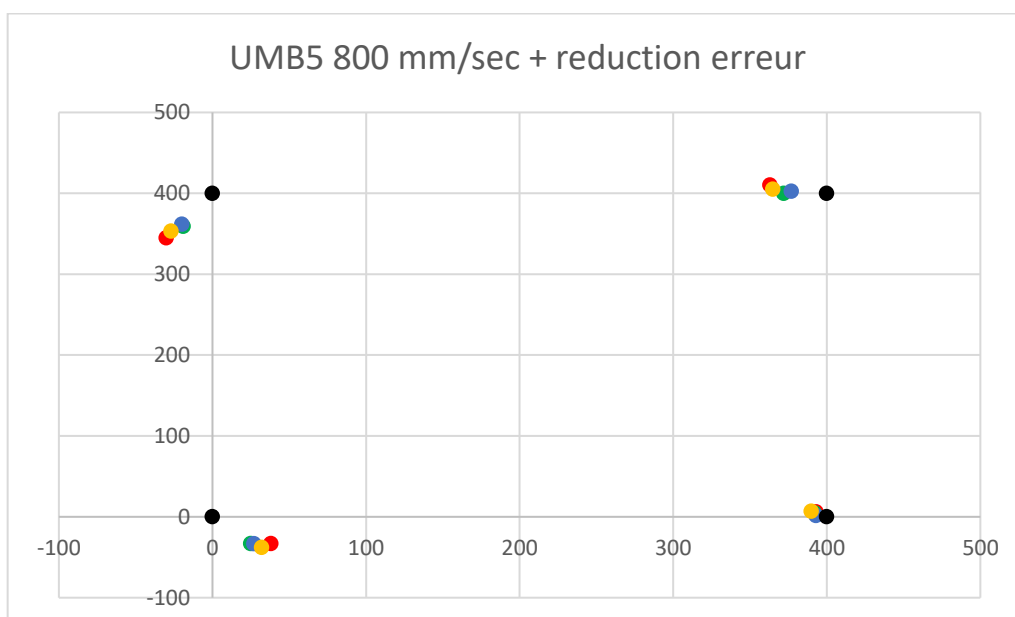
Le troisième test quant à lui, a été fait avec une amélioration quand le robot effectue une rotation. J'ai fait en sorte que plus le robot est proche de son but plus il ralentit, grâce à ça, la précision est améliorée.

#### Option n°4



Ici, en plus de l'amélioration de l'option n°3, j'ai ajouté une vitesse de rotation de  $1^\circ$  durant 1 m pour chaque côté du carré afin de réduire l'erreur de déplacement et voir si cela améliore les résultats.

#### Option n°5

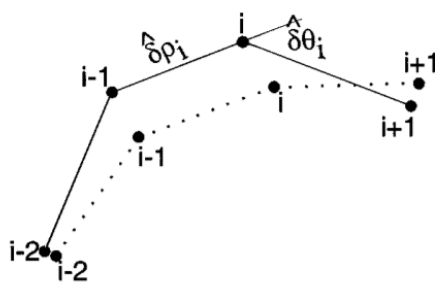


Pour finir, j'ai réalisé les tests en gardant l'amélioration de l'option n°4 qui impact sur l'erreur de déplacement et en enlevant l'amélioration de l'option n°3 qui impact l'erreur quand il tourne.

Nous pouvons voir sur les résultats des trois dernières options, une amélioration significative. Le fait d'améliorer même de façon imprécise la manière dont se comporte le robot nous donne de meilleurs résultats. L'option 3 améliore de 30 cm les résultats pris au point (0,400) et au dernier point. L'option 5, elle améliore de 20 cm. L'option 4 qui combine les deux nous donne de très bons résultats et ne dépasse pas 16 cm d'erreur sur tous les tests et est en moyenne à 8 cm des points où il devrait être.

Ces tests sont très encourageants, mais ont un inconvénient. En effet, on veut modéliser l'erreur de déplacement, or le fait que le test soit fait en carré nous oblige à prendre en compte l'erreur due à l'imprécision de la rotation et des arrêts durant lesquels le robot se dandine. C'est pour cela, que nous ne pouvons pas modéliser l'erreur avec ce type de test. Mais ils nous ont permis d'avoir un premier aperçu sur les problèmes du robot.

La deuxième batterie de tests effectués, sont faits en allant en ligne droite avec des arrêts réguliers définis et marqués au sol<sup>11</sup>. Dans notre cas, le robot va parcourir 15 m au total et s'arrêter tous les mètres. Les tests ont été réalisés dans un couloir de 2 m de large, en plaçant toujours au même point de départ le robot. Il commence à 30 cm du mur de droite, je prends la distance avec le mur de droite à chaque arrêt afin de connaître la dérive. Le fait d'arrêter le robot à des points intermédiaires permet de voir comment se comporte le robot et permet aussi de voir l'évolution de l'erreur en fonction de la distance comme sur l'image ci-dessous.



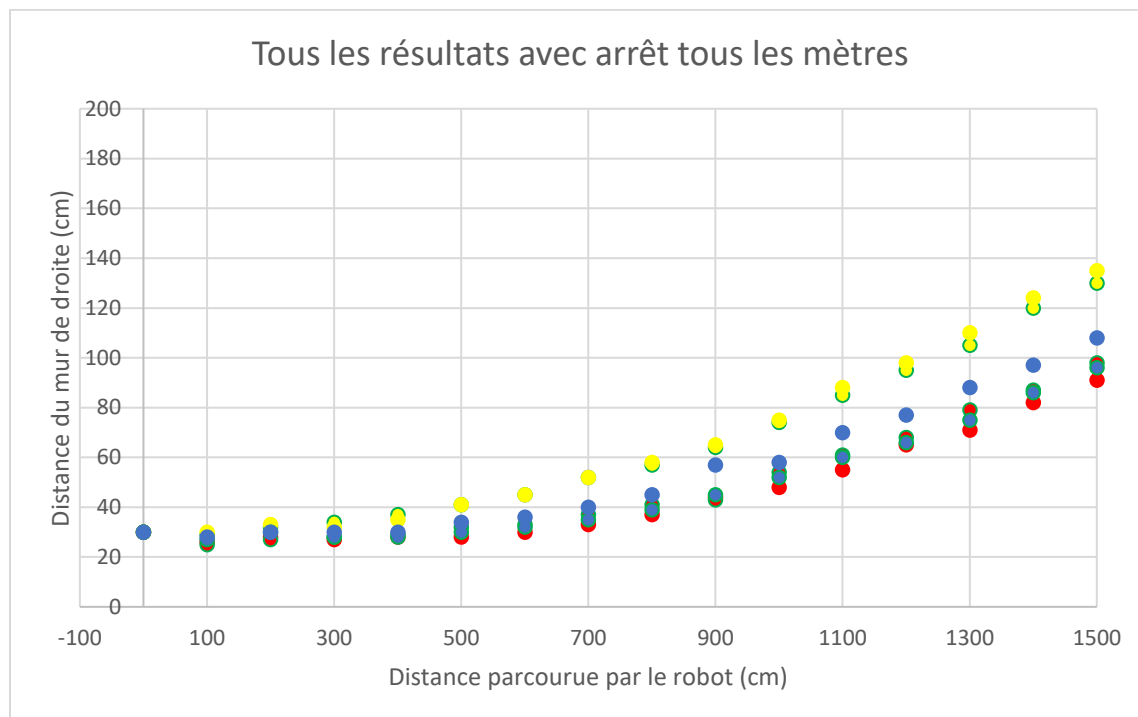
Ligne continue : trajet effectué par le robot

Ligne pointillée : trajet demandé

<sup>11</sup> Agostino Martinelli, en ligne, « *The Odometry Error of a Mobile Robot With a Synchronous Drive System* », IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS AND AUTOMATION, VOL. 18, NO. 3, JUNE 2002.

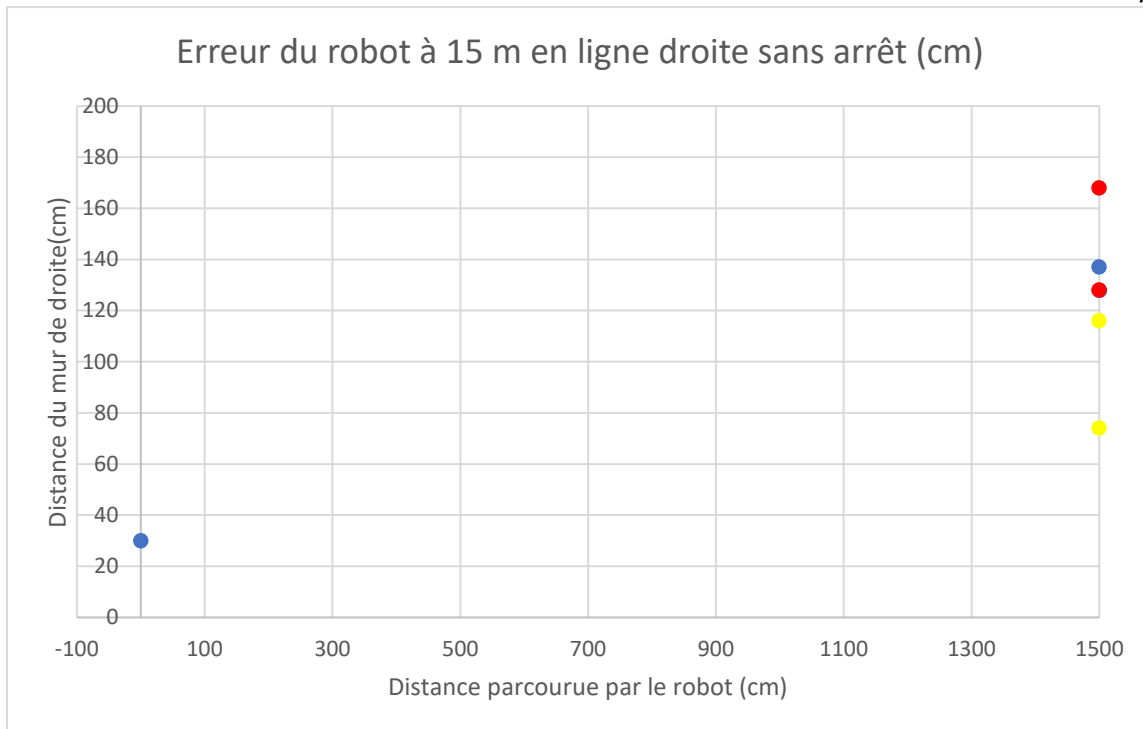
Les erreurs de rotation présentes pour les tests UMBmark ne le sont plus. Il est alors plus simple de faire la modélisation de l'erreur. Chaque test a été réalisé deux fois avec trois vitesses différentes 400, 600 et 800 mm/sec encore une fois pour voir si la vitesse influence sur l'erreur.

Sur le graphique ci-dessous, le 0 de l'axe des ordonnées représente le mur de droite et à 200 cm se trouve le mur de gauche.



Les résultats en jaune représentent les tests effectués à une vitesse de 400mm/sec, en rouge ceux fait à une vitesse de 600 mm/sec et en bleu ceux fait à une vitesse de 800mm/sec. Pour distinguer les résultats d'une même vitesse, les couleurs du contour des points ont été changées.

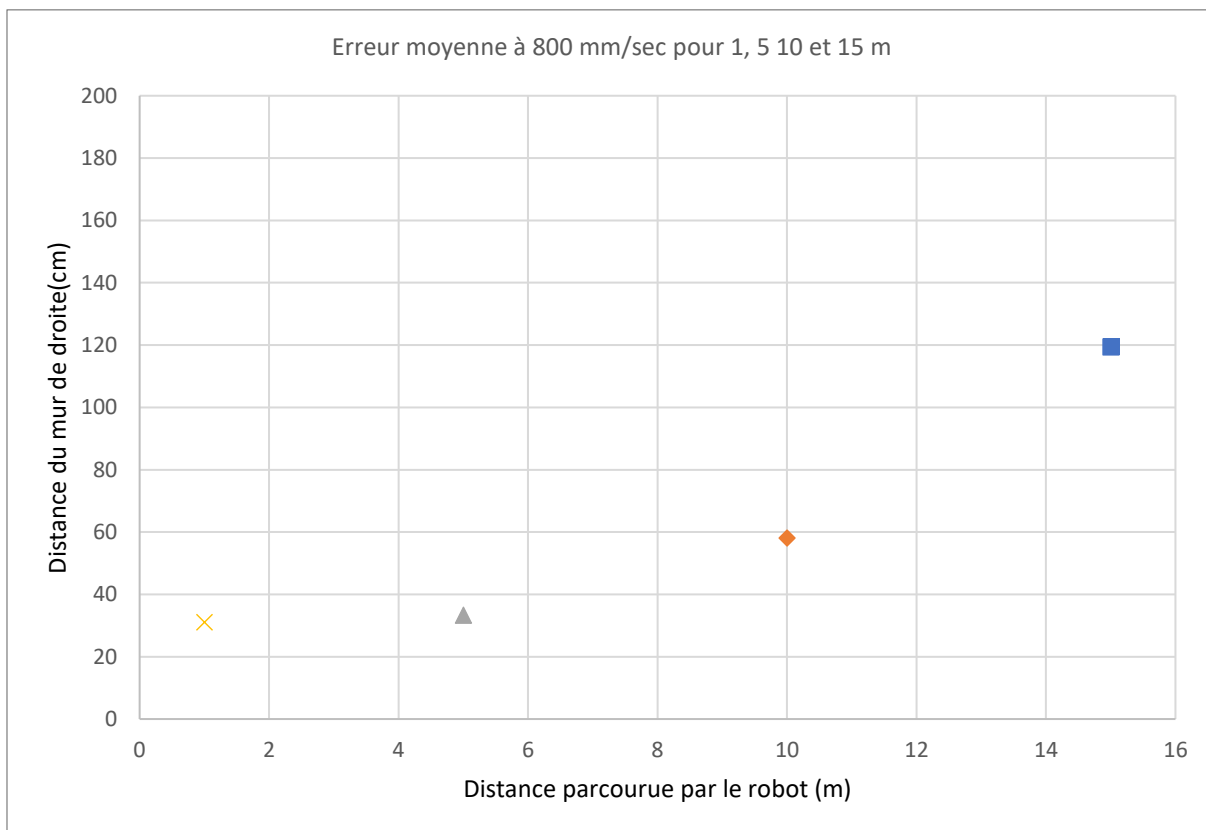
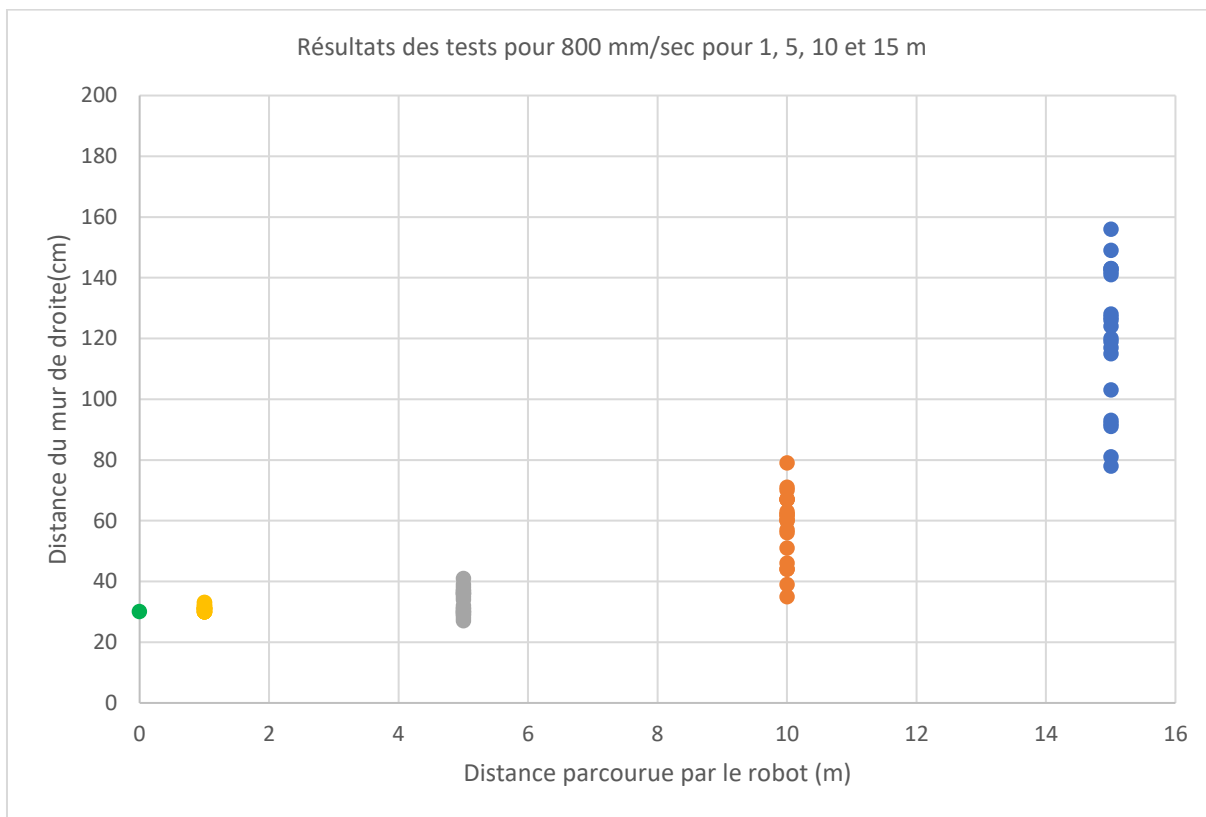
Comme on peut le voir ci-dessus, les résultats ont tous la même façon d'évoluer même s'il y a des écarts faibles entre les résultats d'une même vitesse. Nous étions juste de penser que l'erreur est modélisable, car même s'il y a des écarts, l'erreur se reproduit à chaque essai d'une même vitesse, et même de vitesses différentes. On ne peut pas conclure sur la modification de l'erreur en fonction de la vitesse, car il n'y a pas assez de tests réalisés. Surtout, que juste après, j'ai réalisé des tests pour chaque vitesse qui ont pour but de parcourir une distance sans arrêt. (Voir ci-dessous)



Les résultats obtenus sont complètement inversés avec ceux fait juste avant, cette différence peut venir de l'arrêt du robot, mais aussi du peu de tests effectués pour vérifier cela, je vais réaliser une autre batterie de tests d'une façon différente afin de comparer les résultats obtenus.

Dû à l'addition d'erreurs qu'engendrent les arrêts, nous avons pensé à faire les tests d'une autre façon afin de supprimer les erreurs liées à l'immobilisation du robot. Le robot va donc réaliser la distance entière et se stopper à la distance voulue.

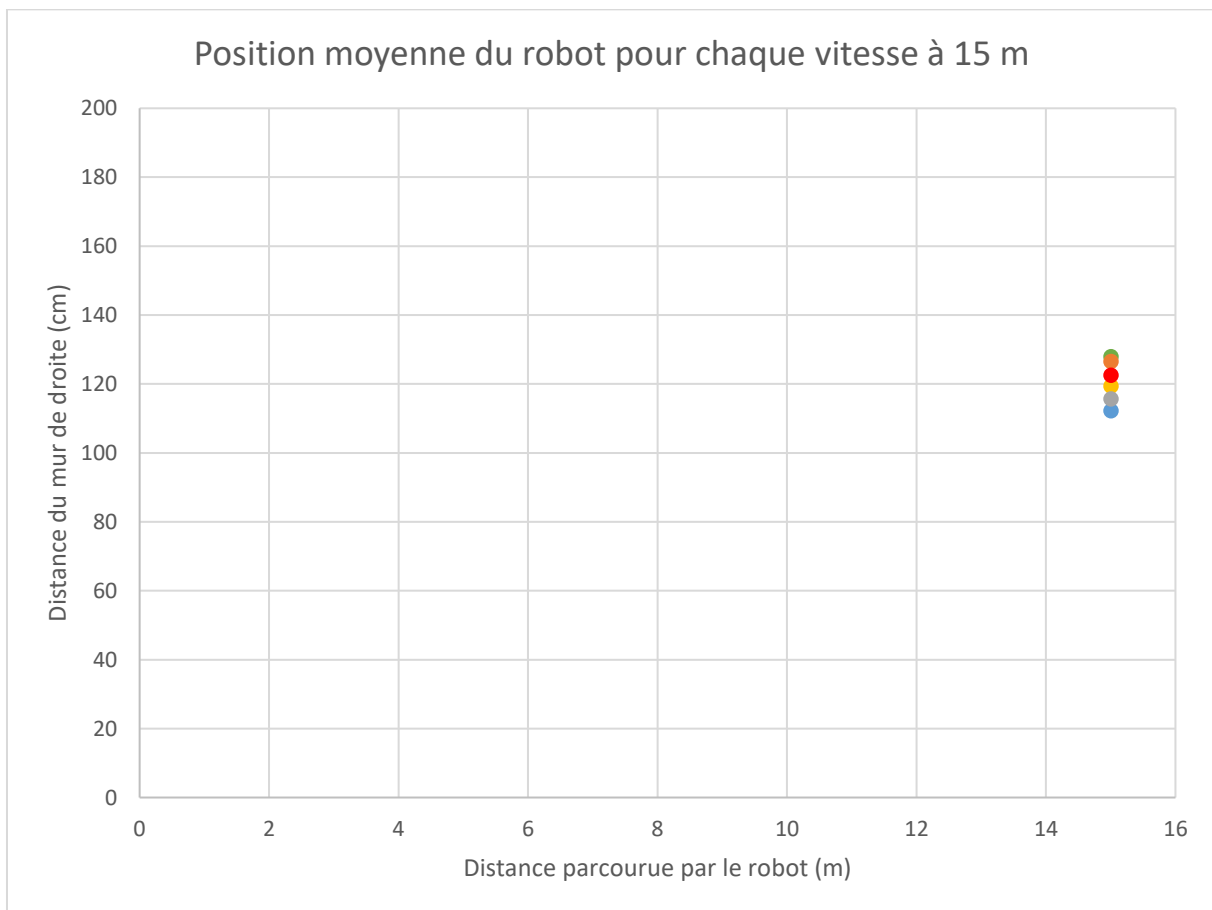
J'ai réalisé ce type de test dans les mêmes conditions de départ que le précédent, en plaçant le robot dans un long couloir de 2 m de large à 30 cm du mur de droite. J'ai réalisé les tests avec 5 vitesses différentes 200, 400, 600, 800 et 1000 mm/sec. Le robot à 4 distances différentes qui sont 1, 5, 10 et 15 m. Pour chaque vitesse et chaque distance, j'ai effectué 20 tests. Ci-dessous, vous trouverez les résultats obtenus et la moyenne des résultats pour une vitesse de 800 mm/sec :



Ces résultats montrent que pour une même vitesse, les résultats à 15 m peuvent avoir une différence importante avec un écart maximum entre deux résultats de 113 cm (résultats pour une vitesse de 200 mm/sec).

Cet écart est dû aux erreurs non-systématiques, on peut s'apercevoir que plus le robot fait de distance plus il y a un écart important entre les résultats. Pour chaque mesure, je pense avoir une marge d'erreur d'environ 3 cm à cause de l'erreur humaine, du matériel, du mur qui n'est pas droit ainsi qu'aux erreurs de placement du robot au départ.

Bien que les résultats soient très dispersés pour une même vitesse, les résultats moyens de chaque vitesse sont très proches, nous avons 14 cm d'écart au maximum (au bout de 15 m) sur ces résultats moyens comme nous pouvons le voir sur le graphique ci-dessous.



Code couleur : vert= 1200mm/sec, orange= 400mm/sec, rouge= 200mm/sec, jaune= 800mm/sec, gris= 600mm/sec, bleu= 1000mm/sec.

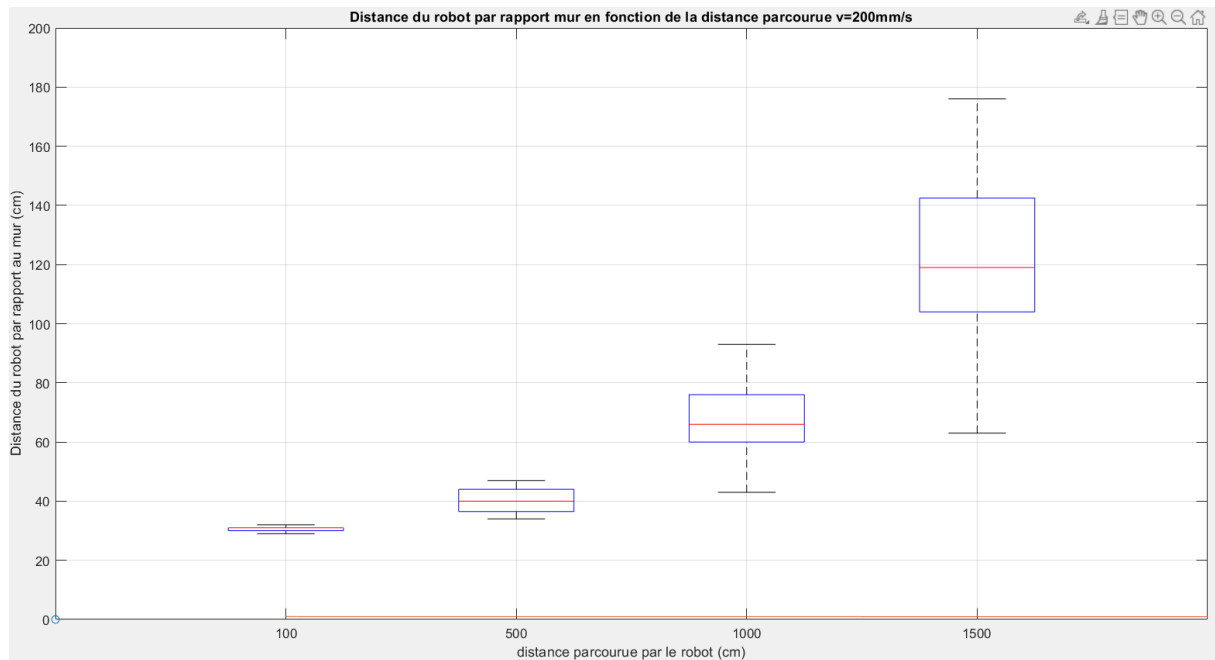
Le robot étant parti à 30 cm du mur de droite.

On remarque avec ces résultats que l'erreur n'est pas due à la vitesse, car les résultats à 200 mm/sec sont meilleurs que 400 mm/sec, mais moins bon que 600 mm/sec. On peut en

conclure que la vitesse n'a pas d'impact sur l'erreur du robot. Grâce à ces résultats, on peut modéliser l'erreur moyenne et ainsi pouvoir récupérer la fonction de cette dérive.

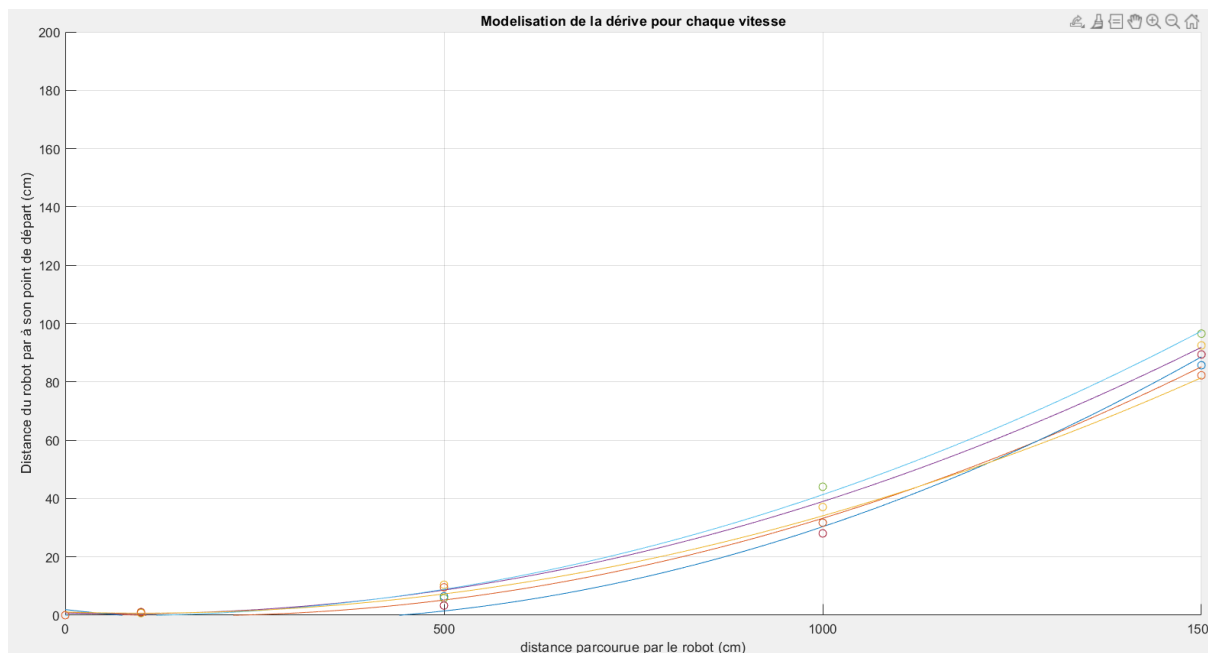
### Correcteur

Pour réaliser le correcteur, j'ai utilisé Matlab. Ce logiciel m'a permis d'analyser nos résultats et de modéliser l'erreur grâce à la fonction nommée *Polyfit*. Mais dans un premier temps, nous avons utilisé la fonction *boxplot* afin d'afficher la médiane des résultats en rouge, les cotés en haut et en bas du rectangle nous donnent les percentiles 25 et 75, les traits noirs horizontaux nous donnent les valeurs maximum et minimum comme nous pouvons le voir sur le graphique ci-dessous. Cela nous permet de voir si les résultats sont contenus dans une petite zone ou alors s'ils sont très éparpillés.



Résultats obtenus avec la fonction *boxplot*.

Dans un second temps, j'ai modélisé l'erreur moyenne pour chaque vitesse comme on peut le voir ci-dessous afin de vérifier que la dérive du robot se ressemble pour chaque vitesse.

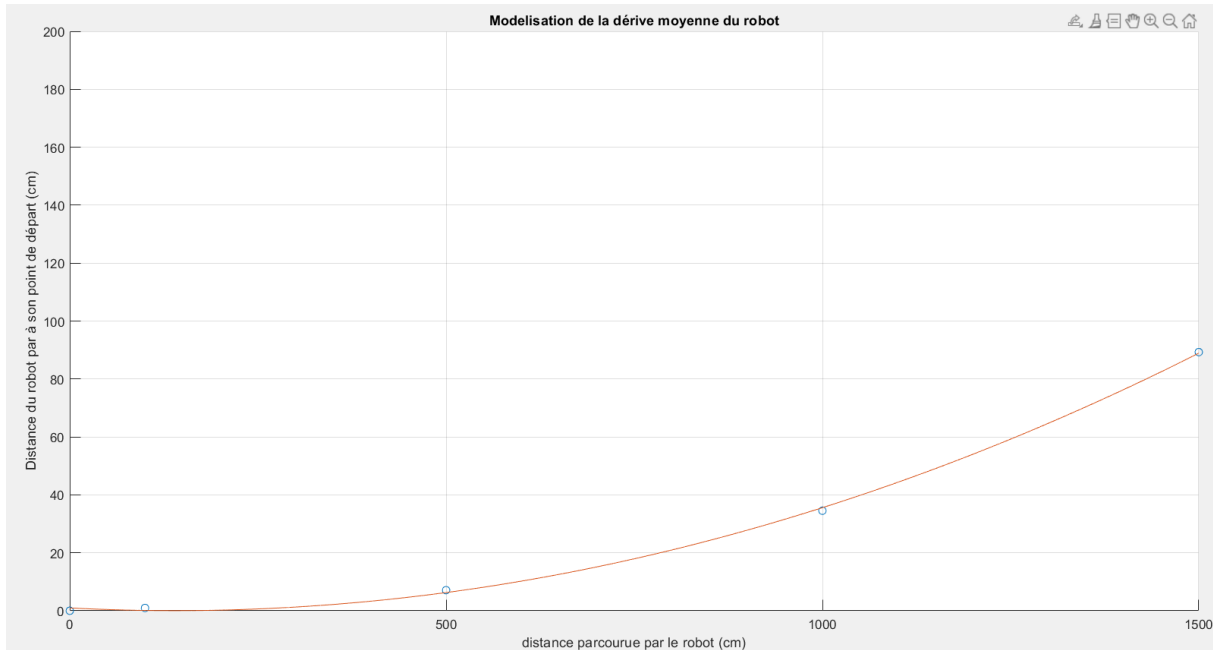


Vitesse du robot pour chaque fonction de haut en bas : 1- 400 mm/sec 2- 200 mm/sec 3- 800 mm/sec 4- 600 mm/sec 5- 1000mm/sec

Pour créer ces courbes, nous avons utilisé les fonctions *polyfit* et *polyval*, la première permet de récupérer les coefficients d'un polynôme, la deuxième permet de donner les valeurs du polynôme à chaque instant et nous permet de créer la courbe. Le polynôme est la représentation mathématique de la fonction. Polyfit nous donne un résultat de type :  $p(x) = p_1x^n + p_2x^{n-1} + \dots + p_nx + p_{n+1}$ .

Ensuite, j'ai appliqué cette fonction à une moyenne globale contenant tous les résultats obtenus à chaque distance sans se soucier de la vitesse, car comme précisé dans la partie précédente, la vitesse n'influe pas ou très peu sur la dérive du robot. Voici le résultat obtenu :





Courbe représentant la dérive moyenne du robot, les cercles bleus représentent la valeur moyenne calculée à cette distance.

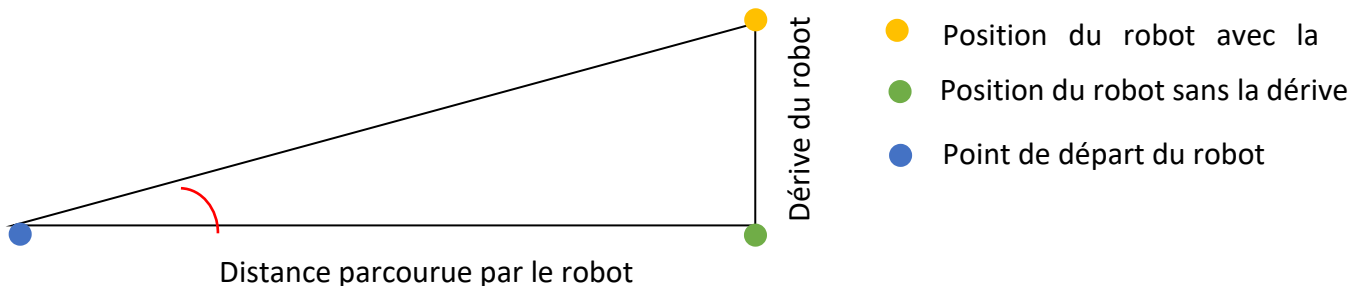
On peut observer que la courbe obtenue est bonne même si elle ne passe pas exactement par chaque cercle bleu, elle semble bien définir la dérive moyenne du robot. Nous n'avons plus qu'à récupérer les coefficients de notre polynôme stockés dans la variable `pall1` afin de l'utiliser dans notre code.

Notre polynôme sera de la forme suivante :  $p(x) = a * x^2 + b * x + c$  avec  $p1 = 4.8009 * 10^{-5}$ ,  $p2 = -0.0134$  et  $p3 = 0.9805$  avec  $a$ ,  $b$  et  $c$  qui sont des coefficients.

La dérive du robot est donc représentée par la fonction :

$$p(x) = 4.8009 * 10^{-5} * x^2 + -0.0134 * x + 0.9805$$

Ces coefficients permettent d'avoir la position du robot en fonction de la distance qu'il a parcouru. Mais nous devons trouver une façon d'implémenter l'opposé de cette fonction afin d'enlever l'erreur. Nous avons choisi d'influencer l'angle du robot à partir de ce polynôme, en effet à chaque instant, nous pouvons récupérer la distance parcourue par le robot et sa dérive ce qui nous permet de former un triangle rectangle comme ceci :



L'angle que nous voulons récupérer est représenté en rouge sur la figure ci-dessus, pour trouver sa valeur, il faut appliquer les fonctions de trigonométrie. Avec les valeurs que nous avons, nous allons récupérer la tangente et nous allons ensuite écrire un programme permettant d'annuler la dérive.

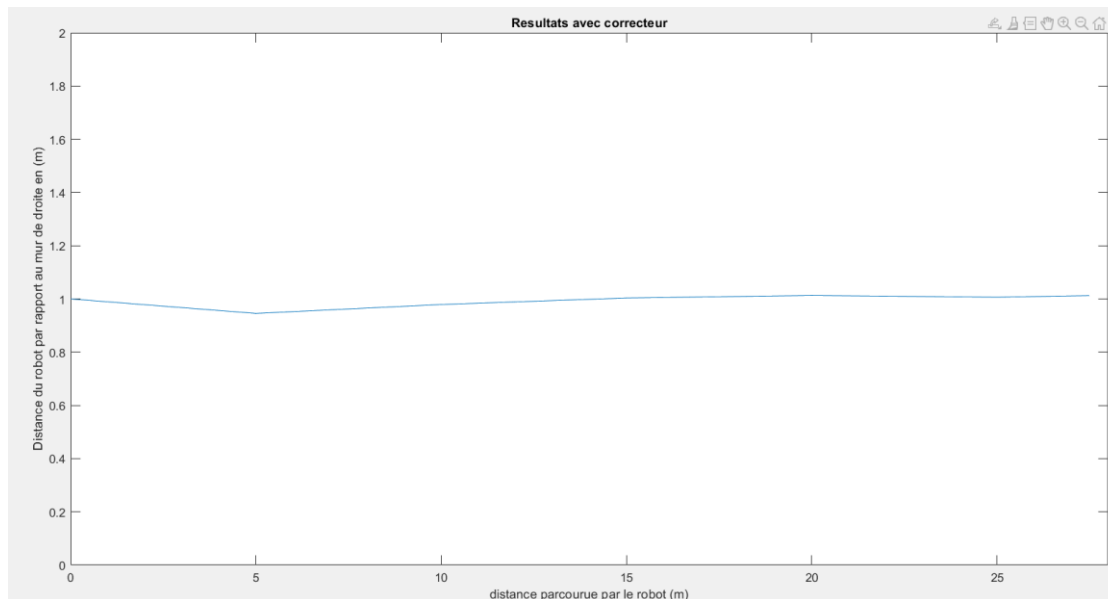
A cette étape, nous nous sommes rendu compte de 3 problématiques :

- Premièrement, si nous effectuons le calcul de l'angle avec seulement  $X_{tan}$  (abscisse de la droite) comme nous voulions le faire au départ, nous allons commettre une erreur en effet nous aurions calculé l'angle au point  $X_{tan}$ , or le calcul de l'angle avec la tangente se fait au croisement de l'abscisse par la droite.
- En second, aucune fonction n'existe sur ce robot pour donner un angle, la seule possibilité est de donner une vitesse angulaire.
- La fonction permettant de donner une vitesse angulaire ne prend pas des valeurs plus faibles que 1. Etant donné que nous actualisons nos valeurs très fréquemment, la vitesse que nous allons donner sera inférieure à 1.

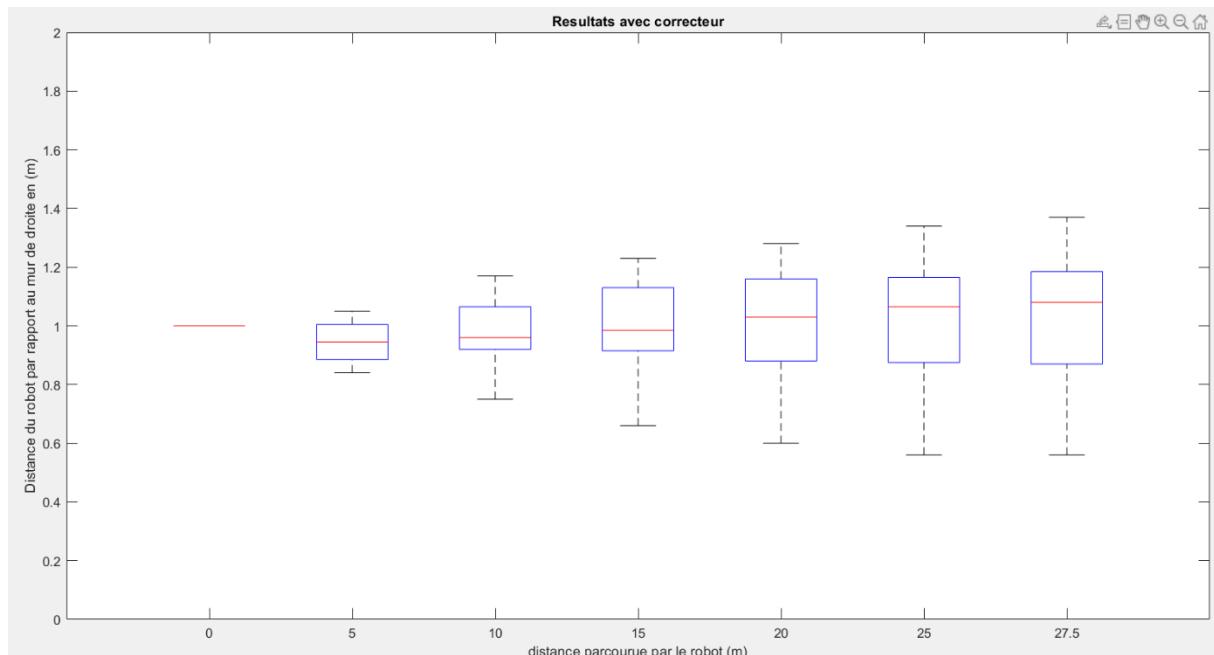
J'ai donc réglé un à un les problèmes ci-dessus. Premièrement, j'implémente un calcul permettant de connaître l'angle en fonction de la dérive du robot, la distance parcourue et la valeur de  $X_{tan}$ . Pour la seconde problématique, étant donné que nous avons une vitesse angulaire et pas un angle, nous allons récupérer l'angle précédent et faire la différence entre l'angle calculé à l'instant présent et l'angle précédent. La solution mise en place pour la troisième problématique va nous servir pour régler des problèmes possibles avec cette solution. Elle va permettre de changer la vitesse angulaire en cas de retard ou d'avance. En effet, si l'angle du robot est plus grand que celui calculé, la vitesse angulaire est mise à 0. Si l'angle du robot est plus petit que celui de calculé alors nous mettons à -1 la vitesse de rotation. Sinon nous attribuons la valeur calculée pour résoudre la seconde problématique qui est l'opposé de la valeur calculée. Pourquoi mettre l'opposé ? Il ne faut pas oublier que la valeur que l'on calcul est l'angle venant de la dérive du robot, or nous voulons son opposé pour trouver le correcteur. Mettre une valeur négative dans la fonction le fait tourner à droite.

J'ai ensuite testé dans un premier cas notre correcteur sur une ligne droite sans arrêt. Le test a été concluant, nous avons réussi à faire rouler le robot sur une longueur d'un peu moins de 30 mètres et le robot semblait suivre une ligne droite. Pour en être sûr, j'ai effectué 20 tests en ligne droite en arrêtant le robot à 5, 10, 15, 20,25 et 27,5 mètres.

Résultats :



On peut voir sur le graphique ci-dessus, qu'en moyenne durant les 5 premiers mètres le robot va un peu sur la droite puis il dévie petit à petit vers la gauche en restant dans la zone des 1 m. Les tests ayant été faits dans un couloir de 30 m de longueur, nous ne savons pas comment se comporte le robot après. J'ai encore une fois utilisé la fonction *boxplot* pour pouvoir afficher plus d'informations :



On peut voir que plus le robot s'éloigne, plus la zone où il peut se situer est grande. À 27,5 m, dans 50 % des cas (valeurs comprises entre le percentile 25 et 75), le milieu robot se situe entre 1,18 m et 0,87 m du mur de droite. Le résultat médian étant de 1,08 m.

Ces résultats sont très bons étant donné que le robot fait 38 cm de long, cela veut dire qu'après 27,5 m de distance parcourue, dans 50% des cas, le point voulu est sous le robot. Dans les autres cas, la position du robot a dévié de 44 cm vers la droite ou 37 cm vers la gauche (voir schéma ci-dessus). La valeur de la dérive a été prise au milieu du robot. Soit une dérive d'environ 1 robot.

L'amélioration obtenue grâce au correcteur est très importante, avant d'avoir été mise en place quand le robot roulait en ligne droite sur une distance de 15 m, nous étions obligés de le mettre le plus proche du mur de droite, car il dérivait de 90 cm sur la gauche. Entre 15 et 20 m, le robot prenait quasi tout le temps le mur si nous ne l'arrêtons pas. Maintenant, à 15 m, le robot a une dérive maximum de 34 cm vers la droite et 23 cm vers la gauche avec une position moyenne à 1 m. Nous allons donc pouvoir réaliser notre fingerprint avec une bonne précision, car le robot est tout le temps au-dessus du point voulu même si des améliorations sont possibles, car le milieu du robot n'est pas exactement au-dessus du point.

## Synchronisation de la prise de mesure

Pour effectuer le fingerprint, nous devons accrocher une ou plusieurs balises sur les murs, mettre le lecteur sur le robot. Ensuite, nous avons besoin de lancer nos programmes permettant de récupérer les données à l'aide du lecteur RFID et lancer le programme permettant de faire avancer le robot, mais nous avons un problème. En effet, nous voulons que la prise de données se fasse seulement quand le robot est arrêté. Les programmes n'étant pas sur la même machine. D'un côté le programme permettant la récupération des données se trouvant sur l'ordinateur (Windows) et est codé en langage C#. De l'autre, le programme contrôlant le robot est en C++, utilise ROS et ne peut être lancé que sous une machine Linux. Il a fallu trouver une façon de synchroniser les programmes.

L'idée que nous avons trouvée est d'utiliser les sockets afin de communiquer entre les deux programmes, la machine virtuelle utilisée étant sur le même ordinateur que la machine sous Windows, nous pouvons alors communiquer entre les deux. Notre but est que le client qui sera le programme pour le RFID envoie un message au serveur qui est le code contrôlant le robot. Le programme RFID récupère les données à la position initiale, puis, dès qu'il a fini, il envoie un message, à l'arrivée de celui-ci, le robot se déplace jusqu'au point suivant et renvoie une donnée au client qui effectue de nouveau la récupération de données et ainsi de suite.

J'ai donc implémenté cette idée dans le code contrôlant le robot, j'ai réussi à communiquer entre les deux machines à l'aide d'un second programme. Ce second programme n'est pas implémenté dans le programme permettant la réception des valeurs envoyées par les balises. Je n'ai pas pu l'implémenter, car mon stage, c'est terminé avant.

## Focus sur la question managériale

Etudiant en M1 en Système Robotiques et Drones (SRD) à l'EFREI Paris, j'ai effectué un stage de 5 mois de novembre à mars inclus à l'EFREI research lab qui est le laboratoire de recherche de l'école.

Efrei Paris est une école qui est organisée en équipes/groupes qui ont chacun leurs fonctions. Il y a pour n'en citer qu'une partie, l'équipe de recherche, une équipe service informatique, le service administratif, une équipe commerciale et bien d'autres encore. Chacun de ces services à une équipe de direction constituée d'une ou plusieurs personnes. Bien sûr, l'organisation de l'école est régie par un directeur général qui a un pouvoir sur toutes les équipes du groupe et qui est entouré d'associés, de conseillers et d'un secrétariat général. Il y a donc un management hiérarchique, mais aussi un management transversal, car des équipes sont amenées à travailler ensemble ou certains services viennent aider et résoudre des problèmes pour d'autres. Je pense par exemple au service informatique qui vient en aide à tous les autres services.

Dans l'équipe de recherche, on peut aussi distinguer 4 équipes en fonction de leurs thématiques de recherche :

- Data & IA
- Sécurité et confiance numérique
- Système embarqués intelligents
- Réseaux de communication

C'est dans ces 4 équipes que j'ai constatés le plus le management transversal, premièrement, car c'est avec eux que j'ai le plus travaillé, mais aussi, car il y a un échange d'idées et d'informations sur l'avancée des projets. Ces thématiques pouvant être liées entre elles suivant les sujets, les personnes sont vouées à travailler ensemble.

Le management transversal à la différence du management hiérarchique consiste à faire travailler un groupe de personnes venant de différentes équipes, cette équipe a pour rôle de travailler pour un objectif commun. Cela permet d'enlever les frontières qu'il y a entre plusieurs équipes et créer des synergies afin de résoudre plus rapidement et efficacement un travail complexe.

Je n'ai vu aucune grande adhésion de plusieurs équipes sur un projet. Les seules adhésions que j'ai vues sont des équipes qui vont apporter des aides qui sont très peu coûteuses que ce soit matériel, en temps, en argent ou humainement. Entre équipes, les aides sont spécifiques et règlent des problèmes mineurs et durent au maximum 2 h. Je ne peux donc pas expliquer l'adhésion des équipes au projet.

Je ne sais pas si ce que je vais dire fait partie de la culture de l'entreprise ou de l'équipe, mais durant tout mon stage, j'ai travaillé en grande partie seul. Cela n'est pas un reproche, car mes tutrices de stage étaient présentes pour me conseiller, me donner des idées, me mettre sur la voie et faire un point sur mon avancée, mais j'ai dû appréhender seul les problèmes et trouver

comment les problèmes. Cela m'a beaucoup fait progresser d'un point de vue soft-skills, mais aussi d'un point de vue technique, cela m'a permis d'être plus concentré sur mon travail, d'être plus organisé dans ma façon de travailler.

J'ai trouvé que l'organisation était vraiment bien pour un groupe contenant autant de personnes que ce soient les employées, mais aussi les étudiants. L'organisation dans l'équipe est elle aussi très bien faite avec par exemple des réunions hebdomadaires pour suivre l'avancée du projet. Un point négatif qui m'a montré qu'il est compliqué d'avancer quand la communication est coupée est en lien avec les accès aux différentes salles. En effet pour pouvoir ouvrir ou réserver des salles, il faut une carte ayant ces droits, ce que je n'ai pas eu. Mes tutrices ont fait la demande au moins 5 fois au service se chargeant de ce travail, les deux premières fois, au début du stage, la réponse a été positive en disant qu'il ferait le nécessaire. Après un mois, cela n'était toujours pas fait, trois relances ont été envoyées afin de savoir où en était l'avancé de la carte. Aucune réponse ne nous a été donnée que ce soit pour moi ou pour mes tuteurs et pareils pour les autres stagiaires présents avec moi.

Un autre point que j'ai trouvé positif est le fait de connaître les horaires et les lieux de chacune des personnes travaillant au laboratoire de recherche. Cela permet de savoir si la personne travaille en présentiel ou en distanciel et de s'organiser en fonction.

Il n'y a pas de règle entre les différentes équipes et les relations sont bonnes, car, même si comme je l'expliquais au-dessus la communication a été coupée avec un service, il semble tout de même que les personnes se connaissent et s'apprécient. Tous les jours, des personnes d'un même service et de service différent mangent ensemble et les personnes ne mangent pas toujours avec les mêmes collègues, même si bien sûr il y a des affinités.

A mon arrivée dans le laboratoire, on m'a présenté les personnes travaillant dans l'équipe et les locaux dans lesquelles j'allais travailler. On m'a aussi présenté aux autres équipes, on m'a ensuite donné mon matériel et on m'a montré où m'installer. Cela a été la même chose pour chaque stagiaire. Il n'y a donc pas d'événement particulier à l'arrivée d'un nouvel employé.

Je ne vois pas vraiment de régulation faite par les membres de l'équipe. Sur mon projet, il y avait des réunions hebdomadaires afin de voir les avancées et le travail à effectuer. Chaque semaine, il y avait aussi une réunion avec toutes les personnes du laboratoire de recherche pour échanger les informations de la semaine.

Je n'ai pas vu de conflits durant mon stage, il y a eu quelques désaccords, mais qui ont été résolu par des preuves visuelles ou mathématiques. Comme la fois où j'ai expliqué un calcul que j'utilisais dans mon code, il y a eu un désaccord qui a été réglé par la démonstration du calcul

Le fait que je connaisse déjà les personnes avec qui je travaille, car ce sont mes enseignants et le fait que je connaisse déjà certain des stagiaires qui étaient avec moi m'ont permis de

faciliter mon intégration. A l'inverse, le fait que tous les stagiaires ont été mis dans une pièce séparée du reste des employés ne nous a pas permis une meilleure intégration.

Les bureaux des employés sont toujours ouverts et sont toujours prêts à aider. S'ils ne connaissent pas votre sujet, ils vous écoutent et vous exposent leurs points de vue extérieurs afin de vous permettre d'avancer.

## Pour conclure

Mon objectif principal, qui était de régler les problèmes de dérive sur le robot, a été atteint. Ce travail m'a pris quasi la totalité du stage mais je suis content personnellement d'avoir réussi à réaliser un projet comme celui-ci.

Je n'ai malheureusement pas eu le temps d'intégrer la partie client dans le code côté RFID. Dès que cette intégration sera faite, il sera normalement possible de réaliser un fingerprint de façon automatiser. Après cela des améliorations seront possibles que ce soit coté RFID ou coté robot.

Nous pourrons ensuite faire les tests effectués par Elias HATEM de nouveau pour comparer nos valeurs. Les tests de fingerprint pourront être fait de plusieurs manières afin de voir s'il y a des différences. Les changements peuvent être par exemple dans le nombre de balises utilisées ou la façon dont elles sont positionnées. Nous pouvons aussi voir s'il y a une différence dans nos valeurs en fonction du parcours effectué par le robot. Ce qui nous permettrait de trouver la meilleure façon d'effectuer le fingerprint. Nous pourrons alors tester avec une autre technologie que la RFID comme le Bluetooth.

Il y a encore beaucoup de travail à effectuer sur ce projet, mais si ce projet va jusqu'au bout, il a moyen d'avoir un grand impact sur le monde futur. On pourrait par exemple connaître la position exacte d'une personne lors d'un incendie afin de la secourir. Cela peut aussi être utilisé afin de connaître les endroits les plus fréquentés d'un magasin ou d'un centre commercial et permettrait de créer des heatmap avec une grande précision.

Le retard que j'ai pris sur mes tâches a été dû à plusieurs points, tout d'abord la documentation a été compliqué à trouver à cause de la fermeture du site de l'entreprise. J'ai dû installer et prendre en main ROS ce qui m'a aussi pris quelque temps. Le passage en comodal, c'est-à-dire 2 jours sur le lieu de travail, 3 jours depuis chez soi à cause du COVID-19 est arrivé au mauvais moment. En effet, cela est tombé en janvier, au même moment que la réalisation des tests avec le robot pour connaître la dérive. D'un point de vue personnel, je pense que j'aurai pu avancer plus vite sur certaines parties. Pour la partie programmation en C#, le fait d'avoir plus de compétences dans ce langage et/ou de commencer à me former plus

tôt avec la partie déjà mise en place m'aurait permis de finir la synchronisation des programmes et ainsi de réaliser un fingerprint.

Ces 5 mois, m'ont permis de mettre en application les enseignements, les compétences et les soft-skills que j'ai pu acquérir durant ma formation. Dans ce contexte, j'ai pu travailler avec du matériel comme un robot mobile ou encore un système de communication sans-fil. J'ai dû utiliser des logiciels et des langages de programmation que je connaissais, comme Matlab ou le C++ ce qui m'a poussé à approfondir mes compétences. Mais j'ai aussi dû découvrir et utiliser de nouvelles librairies de programmation et de nouveaux logiciels comme ROS, ce logiciel me sera inévitablement utile dans le futur si je continue de travailler dans le monde de la robotique. Ce logiciel m'a aussi permis d'augmenter mes compétences sur l'utilisation des machines Linux. J'ai aussi beaucoup aimé programmer en C# et j'aimerais, dans le futur, utiliser à nouveau ce langage afin de voir ce qui peut être réalisé.

Cela m'a aussi permis de voir comment fonctionnait le monde de la recherche, un monde qui n'est pas bien mis en avant. J'ai pour projet de réaliser mes prochains stages dans des milieux différents comme des entreprises afin de voir la différence. Cela m'aidera à faire un choix dans mon travail dans le futur, car pour l'instant je laisse toutes les portes ouvertes afin de me faire un avis. J'aimerais aussi voir comment se passe le travail dans le secteur de la robotique ou de l'électronique à l'étranger.



## Bibliographie

Efrei Paris-Panthéon-Assas Université, 85 ans D’histoire Efrei, en ligne <URL :

<https://www.efrei.fr/histoire-efrei-paris/> > ,

Wikipédia, EFREI Paris <URL : [https://fr.wikipedia.org/wiki/EFREI\\_Paris](https://fr.wikipedia.org/wiki/EFREI_Paris) > , en ligne.

Efrei Paris-Panthéon-Assas Université, Thématiques de recherche, Recherche & Innovation, en ligne <URL : <https://www.efrei.fr/innovation-recherche/thematiques-de-recherche/> > .

Katarzyna Wegrzyn-Wolska, Imen Rached, Lamine Bougueroua, Catherine Marechal et Joanna Kolodziej, cHiPSet High-Performance Modelling and Simulation for Big Data Applications, ICT COST Action IC1406, Projet de recherche, <URL: [https://www.efrei.fr/wp-content/uploads/2019/03/Chipset\\_2015-2019-1.pdf](https://www.efrei.fr/wp-content/uploads/2019/03/Chipset_2015-2019-1.pdf)>, [PDF], 2015.

Katarzyna Wegrzyn-Wolska, Lamine Bougueroua, Catherine Marechal, STUDY AND CONTEXTUAL ANALYSIS OF EMOTIONS BASED ON MULTIMODAL SIGNALS, PHC Polonium, Projet de recherche, <URL : [https://www.efrei.fr/wp-content/uploads/2019/03/PHC\\_Polonium\\_2018\\_2019.pdf](https://www.efrei.fr/wp-content/uploads/2019/03/PHC_Polonium_2018_2019.pdf) >, [PDF], Janvier 2018

Jean-Charles Huet, BOUGUEROUA Lamine, WEGRZYNWOLSKA Katarzyna, Alexandre Dangleant, PNAPI - « Plateforme Numérique d’accompagnement des APiculteurs » , CASDAR projet RT 2018 (recherche technologique), Projet de recherche, <URL : [https://www.efrei.fr/wp-content/uploads/2022/01/Projet\\_PNAPI\\_2019-2022.pdf](https://www.efrei.fr/wp-content/uploads/2022/01/Projet_PNAPI_2019-2022.pdf) >, [PDF], 2019.

Dario Vieira, Alain Moretto et Catherine Marechal, Alexander-Paz, Study of Advanced Mobility and Traffic Safety Technologies using a Virtual Reality and Motion-based Driving Simulation Environment, Recherche - Thomas Jefferson Fund, Projet de recherche, <URL : [https://www.efrei.fr/wpcontent/uploads/2019/03/Thomas\\_Jefferson\\_Fund\\_2017\\_2019\\_DV.pdf](https://www.efrei.fr/wpcontent/uploads/2019/03/Thomas_Jefferson_Fund_2017_2019_DV.pdf) >, [PDF], 2017.

Johann Borenstein et Liqiang Feng, The University of Michigan, UMBmark: A Benchmark Test for Measuring Odometry Errors in Mobile Robots, en ligne <URL : <http://www-personal.umich.edu/~johannb/Papers/paper60.pdf> >, November 17, 1995.

Agostino Martinelli, The Odometry Error of a Mobile Robot With a Synchronous Drive System, en ligne <URL : <https://hal.inria.fr/inria-00359947/document>>, IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS AND AUTOMATION, VOL. 18, NO. 3, JUNE 2002.

Johann Borenstein, Internal Correction of Dead-reckoning Errors With the Smart Encoder Trailer, en ligne <URL : <http://www.valentiniweb.com/piermo/robotica/doc/Borenstein/paper53.pdf>> ,

International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '94)- Advanced Robotic Systems and the Real World. , Munich, Germany, September 12-16, 1994, pp. 127-134.

Yong Liu, Robert L. Williams II, J. Jim Zhu, Jianhua Wu, Omni-directional mobile robot controller based on trajectory linearization, en ligne < URL : <https://www.ohio.edu/mechanical-faculty/williams/html/PDF/JRAS08.pdf> >, Robotics and Autonomous Systems 56 (2008) 461–479.

Kok Seng CHONG, Lindsay KLEEMAN, Accurate Odometry and Error Modelling for a Mobile Robot, en ligne <URL : <https://ecse.monash.edu/centres/irrc/LKPub/MECSE-1996-6.pdf> >, Accurate Odometry and Error Modelling for a Mobile Robot, MECSE-1996-6.

Sung Kyung Hong and Sungsu Park, Minimal-Drift Heading Measurement using a MEMS Gyro for Indoor Mobile Robots , en ligne <URL : <https://www.mdpi.com/1424-8220/8/11/7287/htm> >, Published: 17 November 2008.

ROS, ROS – Robot Operating System, en ligne <URL : <https://www.ros.org/> >.

Joaquín Ballesteros, Moodle, IA et ROS (M2 -2021S9), en ligne <URL : [https://moodle.myefrei.fr/pluginfile.php/171097/mod\\_resource/content/1/Part\\_2\\_2020.pdf](https://moodle.myefrei.fr/pluginfile.php/171097/mod_resource/content/1/Part_2_2020.pdf) >.

VMWare, en ligne <URL : <https://www.vmware.com/fr.html> >.

University of Missouri, Vigir Missouri, Vision-Guided and Intelligent Robotics Laboratory, Software, en ligne <URL : <http://vigor.missouri.edu/~gdesouza/Research/MobileRobotics/Software/> >.

University of Missouri, Vigir Missouri, Vision-Guided and Intelligent Robotics Laboratory, Pioneer 3 Operational Manual, en ligne <URL : <http://vigor.missouri.edu/~gdesouza/Research/MobileRobotics/Software/P3OpMan5.pdf> >.

MobileRobots, Pioneer Research/Academic Customer Support, en ligne <URL : [https://web.archive.org/web/20160329153917/http://robots.mobilerobots.com/wiki/Main\\_Page](https://web.archive.org/web/20160329153917/http://robots.mobilerobots.com/wiki/Main_Page) >.

Web Archive, Internet archive way back machine, en ligne <URL : <https://web.archive.org/> >.

Wiki ROS, ROSARIA, en ligne <URL : <http://wiki.ros.org/ROSARIA>>.

Aria overview, MobileRobots Advanced Robotics Interface for Applications (ARIA) Developer's Reference Manual, en ligne <URL : [https://www.eecs.yorku.ca/course\\_archive/200910/W/4421/doc/pioneer/aria/main.html#areport](https://www.eecs.yorku.ca/course_archive/200910/W/4421/doc/pioneer/aria/main.html#areport) >.

Adept mobilerobots, Pioneer 3-DX, en ligne <URL :

<https://www.generationrobots.com/media/Pioneer3DX-P3DX-RevA.pdf> >.

Cyberbotics, Adept's Pioneer 3-DX, en ligne <URL :

<https://cyberbotics.com/doc/guide/pioneer-3dx> >.

Stackoverflow, en ligne< URL : <https://stackoverflow.com/> >.

Lime Parallelogram, Socket Tutorial P.2 -- Communicating Between A Windows C# Client And A Python Server, en ligne <URL : <https://www.youtube.com/watch?v=k-E5GbOeQg> >.

Sloan Kelly, Creating a TCP Server in C++ [Linux / Code Blocks], en ligne <URL :

<https://www.youtube.com/watch?v=cNdlrbZSkyQ> >.

## Table des matières

Introduction.....	3
Présentation de l'établissement .....	4
Efrei.....	4
Le chemin parcouru .....	4
De nos jours .....	4
L'Efrei Research LAB .....	5
Identification des thématiques & Organisation du laboratoire .....	5
Exemple de travaux effectués.....	7
Projet de stage .....	8
Description du projet.....	8
Contexte .....	8
La solution proposée.....	8
Objectifs principaux à atteindre .....	8
Méthode de travail.....	9
Environnement social .....	9
Environnement technique .....	9
Matériels et logiciels utilisés pour le robot .....	9
Matériels et logiciels utilisé pour la partie RFID .....	11
Travail réalisé.....	13
Prise en main du matériel et des logiciels .....	13
Caractérisation des erreurs de déplacement du robot .....	13
Explication.....	13
Tests effectués .....	14
Correcteur.....	23
Synchronisation de la prise de mesure .....	28
Focus sur la question managériale.....	29
Pour conclure .....	31
Bibliographie .....	33