

# RAPPORT DE STAGE

---

Erwan MARTIN

Maître de stage: Fabrice DUVAL  
Pilote de formation : Aurélien MARTIN

---

Stage de deuxième année  
Du 06 avril au 30 Juillet 2021

## FICHE DE CONFIDENTIALITE DES RAPPORTS ET MEMOIRES NON-DISCLOSURE AGREEMENT

CE DOCUMENT DOIT ETRE COMPLETE POUR TOUT RAPPORT OU MEMOIRE DIFFUSE A CESI ECOLE D'INGENIEURS ET CONTENANT DES  
INFORMATIONS SUR L'ENTREPRISE D'ACCUEIL

CE DOCUMENT EST ETABLI EN TROIS EXEMPLAIRES : UN SERA CONSERVE PAR CESI ECOLE D'INGENIEURS, UN AUTRE PAR L'ENTREPRISE, LE  
TROISIEME DEVRA IMPERATIVEMENT ETRE INTEGRE AU RAPPORT PAR L'ELEVE.

**THIS PAGE MUST FEATURE IN ANY DOCUMENT PRODUCED FOR EVALUATION PURPOSES AT CESI GRADUATE SCHOOL OF ENGINEERING  
AND CONTAINING INFORMATION ABOUT A HOST COMPANY.**

**IT IS ESTABLISHED IN THREE COPIES: ONE FOR THE SCHOOL'S RECORDS, ONE FOR THE COMPANY, AND ONE IMPERATIVELY INCLUDED IN THE  
STUDENT'S REPORT.**

Titre du rapport ou du mémoire/ Title of the document :

Rapport de stage

Nom et prénom de l'étudiant/ Intern's Name : MARTIN Erwan

Formation suivie/ Course at CESI : CPI A2 spécialité informatique

Nom du maître de stage/ Intern's Supervisor : DUVAL Fabrice

Structure d'accueil/ Host Company : CESI LINEACT

### Confidentialité du rapport ou du mémoire (soutenance)

Confidentiality of the document produced for evaluation purposes

#### ☒ Diffusion libre / Full disclosure

Les rapports / mémoires sont conservés en archives et ils peuvent être librement consultés. Ils peuvent être utilisés  
par les destinataires, les études peuvent faire l'objet de publication ...

The documents are kept in the school's archives and can be consulted freely. They can be used by whomever receives  
them and the studies they contain can be published...

#### ☐ Diffusion restreinte / Limited disclosure

Les rapports / mémoires **sont restitués à l'entreprise à l'issue** de la soutenance. Aucune reproduction n'est  
autorisée. La responsabilité de cette opération est confiée au stagiaire.

The documents **are given back to the company** at the end of the viva voce. No copy is allowed. The retrieval of the  
document is the full responsibility of the intern.

Dans le cadre de la politique de lutte contre le plagiat, les rapports / mémoires seront susceptibles d'être analysés  
pour en vérifier les sources et ceci quel que soit le mode de diffusion prévu ci-dessus.

As part of our policy against plagiarism, reports are likely to be analyzed to verify the sources regardless of the level of  
confidentiality specified above.

Date : 16/06/2021  
L'entreprise/ the company

Date : 16/06/2021  
Le stagiaire / the intern

Date :  
L'école / the school

## Remerciements

J'adresse mes remerciements aux personnes qui m'ont aidé dans la réalisation de ce rapport.

Je voudrais tout d'abord remercier Mr DUVAL Fabrice, mon maître de stage, pour m'avoir guidé dans mon travail, pour m'avoir fait confiance et pour m'avoir permis de m'améliorer lors de ce stage.

Je souhaite particulièrement remercier Mr BRIANT Nicolas, ingénieur de recherche, pour ses précieux conseils lors de la réalisation de mes projets.

Je remercie également l'équipe pédagogique qui m'a encadré cette année et en particulier Mr COMA Roland et Mr BLONDEL Sébastien, directeur de CESI Rouen pour la confiance qu'ils m'ont accordée et pour m'avoir recommandé pour ce stage.

**Ce stage est financé grâce à un soutien financier de 3,9 millions d'euros du Fonds européen de développement régional fourni par le programme Interreg V France Manche Angleterre dans le cadre du projet Corot**

## Sommaire

<b>Remerciements</b> .....	3
<b>Introduction</b> .....	5
<b>Présentation de l'entreprise</b> .....	5
Présentation du projet Corot .....	10
<b>Travail effectué :</b> .....	12
Sujet du stage : .....	12
Mission .....	13
Enjeux .....	14
Organisation du travail : .....	14
Outils mis à ma disposition : .....	15
Description du travail effectué : .....	15
Turtlebot3 Waffle Pi .....	15
Robotnik SUMMIT XL STEEL .....	21
<b>Bilan</b> .....	23
<b>Conclusion</b> .....	23
<b>Résumés</b> .....	24
Fr .....	24
En .....	24
<b>Glossaire</b> .....	25
<b>Bibliographie :</b> .....	27

## Introduction

Ayant pour but de me spécialiser dans la robotique, un stage dans le domaine est l'occasion idéale pour me former. Mr COMA Roland m'a parlé en début d'année d'une possibilité de stage au CESI LINEACT qui innove sur des projets en robotique. C'était l'occasion parfaite pour moi, j'y ai donc montré toute ma motivation.

## Présentation de l'entreprise

CESI est un groupe d'enseignement supérieur créé en 1958 par des grandes entreprises industrielles françaises SNECMA, Renault, Télémécanique, Chausson et CEM pour pallier la pénurie d'ingénieurs en France et permettre à leurs techniciens supérieurs et à leurs agents de maîtrise d'accéder à une fonction d'ingénieur.



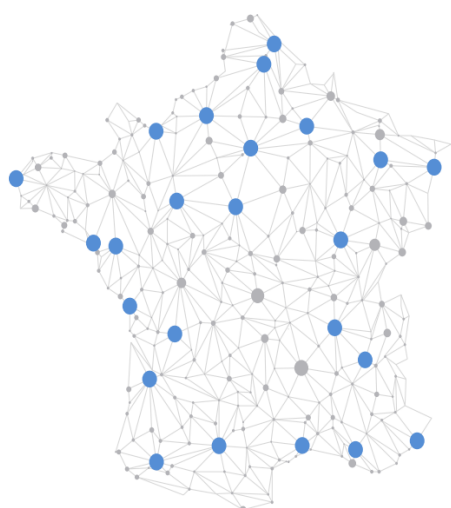
Entreprises industrielles liées à la création de CESI

Réseau de campus d'enseignement supérieur et de formation professionnelle, CESI poursuit sa mission sociétale en permettant à des étudiants, alternants et salariés de devenir acteurs des transformations des entreprises et de la société, grâce à :

- Ses Écoles d'Ingénieurs
- Son École de Formation des Managers
- Son École Supérieure de l'Alternance
- Son activité de Certification.

Pionnier en France dans les méthodes de pédagogie active et tourné vers l'innovation et les technologies, CESI opère dans tous les secteurs d'activités et forme aux métiers et compétences de demain dans l'industrie et les services, le bâtiment et la ville du futur. Il mène des activités de recherche dans son Laboratoire d'Innovation Numérique (LINEACT).

CESI regroupe 25 centres de formation en France et 3 sites à l'international en Espagne, Algérie et Cameroun



Carte centres CESI et chiffres clés



Fruit du rapprochement de l'ei.CESI et de l'exia.CESI, CESI École d'Ingénieurs permet à chaque élève ingénieur de construire un parcours personnalisé dont il est acteur, en cinq ans, sous statut étudiant, en apprentissage ou en formation continue ; 33 options et 25 campus en France.

- 2 400 ingénieurs diplômés chaque année
- 4 spécialités : généraliste, informatique & numérique, BTP et systèmes embarqués
- 33 options
- 12 Mastères Spécialisés labellisés par la CGE
- 80 universités internationales partenaires
- 1/4 des ingénieurs diplômés en apprentissage en France sont issus de CESI École d'Ingénieurs.



Première école 100% alternance, CESI École Supérieure de l'Alternance offre aux talents de niveau bac à bac + 5 une formation en alternance sans cesse renouvelée, dont les parcours s'adaptent en permanence aux évolutions des métiers grâce à un réseau de 9 000 entreprises partenaires.

Ses formations reconnues par l'État sont garantes d'une forte employabilité.

- 10 600 étudiants formés
- 94% de réussite
- 88% des diplômés en poste dans les 6 mois suivant la formation
- 3100 diplômés en 2019
- 6 filières d'excellence
- 26 cursus professionnalisants



CESI École de Formation des Managers forme aux principales fonctions de l'entreprise au travers de parcours diplômants et personnalisés. Elle propose 15 cursus diplômants, enregistrés au Répertoire National des Certifications Professionnelles (RNCP), éligibles au CPF, et individualisés selon les compétences de chacun. CESI École de Formation des Managers propose des cursus reconnus par l'État et garants d'une évolution professionnelle.

- 7 000 managers formés chaque année
- 15 cursus diplômants éligibles au CPF
- 97% de réussite
- 500 formations
- 6 secteurs d'activités



Fondée au Mans en 1987 par la Chambre de Commerce et de l'Industrie du Mans et de la Sarthe, l'ISMANS a rejoint CESI en 2016 pour former l'ISMANS CESI, lui permettant de mutualiser ses ressources et d'augmenter le rayonnement de l'école.

L'ISMANS CESI forme des ingénieurs en mécanique & calcul de structure et des ingénieurs en génie mécanique & productique. Elle propose une pédagogie active, dans le cadre d'une école en 5 ans, sous statut étudiant ou en alternance en dernière année.

- 1 140 diplômés
- 100% des diplômés en poste 6 mois après la formation
- 17 universités partenaires dans le monde
- 40 intervenants
- 100 entreprises partenaires



Laboratoire d'Innovation Numérique, LINEACT CESI anticipe et accompagne les mutations technologiques des secteurs et des services liés à l'industrie et au BTP. LINEACT CESI est organisé autour de deux thèmes scientifiques interdisciplinaires "Apprendre et Innover" et "Ingénierie et Outils Numériques" et de deux domaines applicatifs que sont l'Industrie et la ville du futur.

En mars 2015, la Chaire d'enseignement et de recherche CESI-Cisco-Vinci Energies intitulée « Industries et services de demain » a été créée. Les problématiques de recherche actuellement traitées portent sur les architectures et le traitement de données distribuées, ou encore les usages de la réalité virtuelle appliqués à nos deux domaines d'application.

Depuis le 1er janvier 2019, LINEACT CESI – Laboratoire d’Innovation Numérique pour les Entreprises et les Apprentissages au service de la Compétitivité des Territoires – formant l’unité de recherche de CESI, a été labellisé Équipe d’Accueil – EA 7527 – pour la qualité des travaux de recherche de ses équipes par le ministère de l’Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l’Innovation.

- 60 enseignants-chercheurs, ingénieurs de recherche, techniciens & doctorants
- 3 plateformes de recherche et de transfert

### **Reconnaitances de CESI**

CESI est reconnu par différents organismes de certification pour répondre aux exigences des apprenants et des entreprises



Organismes de reconnaissance CESI

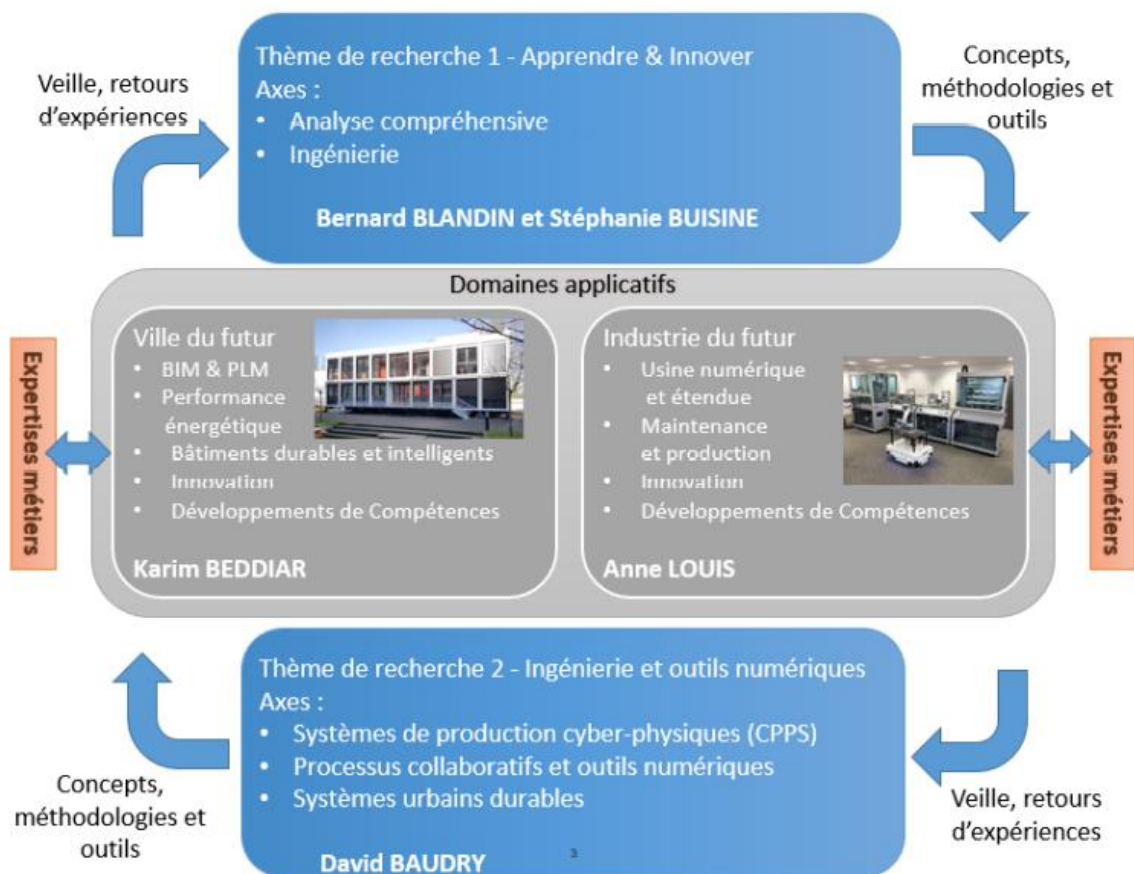


Laboratoire d’Innovation Numérique, LINEACT CESI anticipe et accompagne les mutations technologiques des secteurs et des services liés à l’industrie et au BTP.

LINEACT CESI est organisé autour de deux thèmes scientifiques interdisciplinaires "Apprendre et Innover" et "Ingénierie et Outils Numériques" et de deux domaines applicatifs que sont l'Industrie du Futur et la Ville du Futur. Ces derniers correspondent aux besoins des territoires sur lesquels opèrent les entreprises partenaires de CESI et s’inscrivent également dans les axes de recherche des pays de l’OCDE.

Trois plateformes de recherche et de transfert viennent soutenir l'ensemble de ces travaux : deux sont consacrées à l’usine du futur sur les campus de Rouen et Toulouse, et une au bâtiment du futur sur le campus de Nanterre.





Domaines applicatifs Recherche CESI

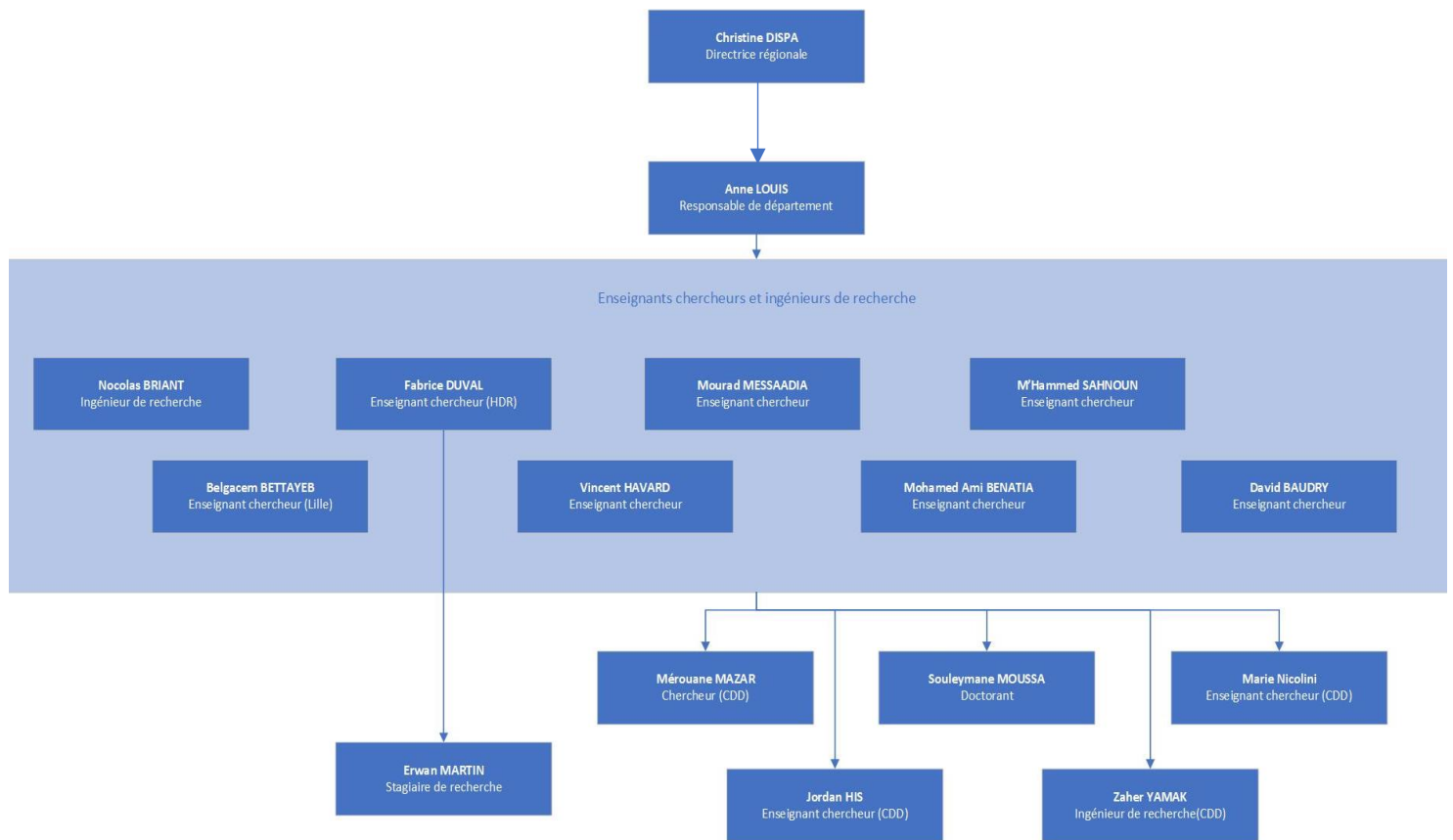
Le pôle de recherche a été créé pour permettre à CESI de développer et de maintenir les compétences et l'expertise de son corps enseignant, d'accompagner nos apprenants dans le cadre de leurs formations et notamment de la pédagogie par projets, d'apporter un appui aux formations proposant un parcours dédié à l'innovation et d'être un démonstrateur pour ses journées portes ouvertes et autres manifestations par le biais du démonstrateur Usine du Futur.

Une direction nationale de la Recherche et de l'Innovation, dirigée par Bélahcène MAZARI (Directeur national de la Recherche et de l'Innovation), a été mise en place pour décliner la recherche dans les régions en cohérence avec la stratégie nationale. Les correspondants Recherche, dans chacune des 6 régions du CESI, assurent la coordination et la diffusion des différentes actions vers les équipes régionales. Une cellule de développement et gestion des programmes complète le dispositif en lien avec la direction financière du CESI.

Des FabLab ou ateliers de prototypage complètent le dispositif afin de déployer des situations d'apprentissage instrumenté dans le cadre de pédagogies actives. Ils sont également le lieu d'une activité de recherche et de transfert avec l'appui d'un démonstrateur Usine du futur avec ses outils numériques. Ces FabLabs permettent :

- - La réalisation de prototypes d'objets 3D en plastique,
- - La création de maquettes numériques à partir de numérisation de pièces,
- - La programmation de systèmes embarqués open source pouvant comporter des capteurs et actionneurs.

## Organigramme de l'entreprise :



## Présentation du projet Corot

Corot – Improving the design of flexible and responsive manufacturing systems involving autonomous and Collaborative Robots (Amélioration de la conception de systèmes de production flexibles et réactifs impliquant des robots autonomes et collaboratifs)

Lancé au premier trimestre de 2017 par Interreg VA France Manche Angleterre, le projet Corot est un projet financé par l'union européenne. Il y a un budget global de 3.9 millions d'euros et une durée de 42 mois.

Partenaires du projet Corot :



Corot vise à développer une nouvelle technologie de robot autonome pour contribuer à améliorer la compétitivité des PME de la Manche. En développant des logiciels et du matériel robotique innovants et abordables pour les petites entreprises, ce projet permettra aux PME de devenir plus flexibles et réactives aux demandes.

Il s'agit donc d'une étape importante de la compétitivité des PME car les robots existants déjà sur le marché sont souvent trop chers et trop complexes pour que les petites entreprises les intègrent dans leur processus de production.

Les robots utilisés et développés sont connectés à une base de données afin de pouvoir recevoir des ordres. Une fois qu'ils ont reçu un ordre, ou un ensemble d'ordres ils doivent pouvoir communiquer entre eux et avec les autres éléments de l'entreprises (machines, passages restreints, etc...), tenir compte de leurs positions afin de se coordonner et prendre en compte d'éventuels obstacles.

Afin d'être simple d'utilisation, une interface de commande a été développée pour faciliter l'attribution d'ordres aux robots, ce qui va permettre de les piloter plus facilement.

L'objectif du stage, développé dans la partie qui suit, est d'intervenir sur l'automatisation des déplacements du robot ainsi que sur l'écoute des ordres de la base de données, mais également de fournir une documentation technique qui permettra de simplifier l'ajout de nouveaux robots dans l'usine en utilisant la base de données et ROS. Nous allons donc dans la suite, nous concentrer sur ces sujets.

## Travail effectué :

### Sujet du stage :

Mon stage se déroule du 4 avril au 30 Juillet, ce qui représente 15 semaines de travail.

### Sujet :

Travail sur un projet de recherche appelé : Interreg VA CoRot

Ce stage est financé grâce à un soutien financier de 3,9 millions d'euros du Fonds européen de développement régional fourni par le programme Interreg V France Channel England dans le cadre du projet CoRoT.

Dans le cadre de sa thématique de recherche sur l'industrie du futur et du projet européen Interreg VA CoRoT, le laboratoire LINEACT de CESI, développe un système de transport autonome dédié à un atelier de production flexible. CESI dispose de robots autonomes MIR, mais souhaite adjoindre d'autres robots pour des tâches plus ponctuelles. Plusieurs travaux de recherche liés à l'industrie du futur ont déjà permis de définir le méta système d'exploitation ROS (<https://www.ros.org/>) comme une base de travail incontournable. Le projet Corot est également une base structurante sur les méthodes de discussion entre les robots, les IHM, les humains et la gestion de l'ensemble. Par l'accès à une base de données ouverte, la structure de discussion entre les acteurs de l'usine du futur est facilement liés à tout nouveau robot. Plusieurs robots ne sont pas encore opérationnels et font l'objet de ce travail de stage. Des Turtlebot (<https://turtlebot.com/>) n'ont pas pu être intégré pour l'instant et un Robotnik (<https://robotnik.eu/>) n'a pas les performances attendues. Il s'agit de permettre l'usage de ces robots au même titre que les robots MIR (<https://www.mobile-industrial-robots.com/fr/solutions/>) actuellement utilisés.

Objectif : Ce stage consiste à mettre en place les robots Turtlebot en suivant les didacticiels des fabricants. Une fois cette étape maîtrisée, il s'agira de rendre les robots totalement autonomes en supprimant les interfaces graphiques nécessitant trop de ressource de calcul. Enfin, il faudra porter les codes permettant la liaison avec la base de données depuis les MIR vers les Turtlebot.

Etude et mise en application des didacticiels des Turtlebot

Etude des tâches mise en service et simplification de celles-ci Optimisation des codes ROS en ne laissant que les tâches nécessaires en fonctionnement

A toutes ces étapes, il faut souligner l'importance de la documentation à fournir pour pouvoir appliquer la méthodologie à d'autres futurs robots.

## Mission

L'objectif primaire est de rendre le turtlebot3 Waffle pi complètement autonome au même titre que le robot de [MIR](#) et de le faire interagir dans le même environnement.

On a donc les contraintes suivantes :

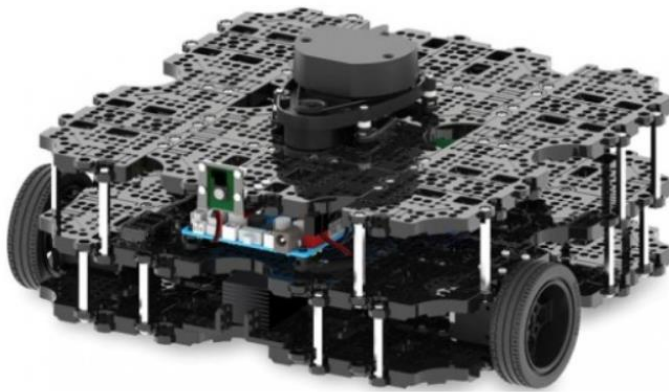
- Utiliser la même lecture des ordres dans la base de données
- Utiliser la même cartographie
- Utiliser un système de navigation similaire
- on est sur un [Raspberry pi](#), donc le tout ne doit pas consommer trop de ressources afin de ne pas le surcharger.

En termes de besoin :

- le robot doit pouvoir naviguer de manière autonome.
- Le robot doit pouvoir prendre en compte les obstacles
- le robot doit utiliser ROS, afin de permettre une visualisation en direct et une potentielle communication avec d'autres robots.

Il était également très important de faire une documentation afin que n'importe qui puisse réinstaller mon travail sur un autre robot tout en évitant de recommencer le travail de recherche à zéro.

Image du Waffle pi :



Reprogrammer le waffle pi était l'objectif primaire de mon stage. Toutefois, ayant avancé rapidement, il m'a été confié d'autres missions :

J'ai notamment effectué une programmation similaire sur le robot de Robotnik, le summit XL steel, c'est-à-dire que je l'ai reconfiguré afin qu'il interagisse avec ROS et la base de données du projet.

Image du Robotnik Summit XL :



## Enjeux

Les Robots MIR sont automatisés de manière à pouvoir communiquer avec une base de données. Ils peuvent lire les ordres qu'on leur donne depuis cette base, et c'est sur ces fonctionnalités que les recherches ont été portées .

Le projet Corot vise à appliquer cette méthode non seulement sur les robots MIR mais sur de nombreux robots différents de façon à rendre cette méthode presque universelle.

Ainsi en automatisant d'autres robots et en les faisant communiquer de la même façon avec la base de données, on pourra s'assurer que la communication avec cette base s'appliquera peu importe le robot et on aura donc la preuve que la méthode de communication entre l'utilisateur et les robots est valide et que tout le travail réalisé précédemment ne doit pas être refait.

## Organisation du travail :

La recherche étant basée sur des pratiques empiriques, ni mon tuteur ni moi n'avions de planning prédéfinis, je me fixais donc des objectifs chaque fin de semaine, pour la semaine suivante en fonction de mon avancement sur le projet. J'étais donc libre dans la répartition de mon travail mais bien évidemment mon maître de stage me donnait périodiquement les objectifs qu'il aurait aimés que j'atteigne.

Tous ces objectifs sont notés sur mon journal de bord. J'ai fait un exemple en Excel du type d'objectif que je me fixais :

Column1	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Semaine 5		
Objectif de la semaine	Prendre en main ROS pour pouvoir travailler sur le robot	essayer de comprendre/maitriser le mapping et le système de localisation du robot	Essayer de faire une autolocalisation forcée du robot afin qu'il se repère automatiquement sur la carte au démarrage	Compréhension du code de lecture et écriture dans la base de données et gérer les ordres/déplacements	Finir de gérer l'autonomie du robot + commencer un guide d'installation		
	Travail sur le Waffle Pi						
Semaine 6	Semaine 7	Semaine 8	Semaine 9	Semaine 10	Semaine 11	Semaine 12	Semaine 13
Continuer le guide d'installation tout en commençant l'étude du Robotnik	Modifications sur le Waffle + retouches qui vont avec sur le guide d'installation	Dernières retouches sur le waffle + étude du robotnik, recherche des packages et de ressources sur les drivers des moteurs	Installation d'un nouvel OS ubuntu, pour faire tourner le robot sur une version de ROS plus récente	Etude des drivers du robotnik, objectif faire tourner une roue directement depuis le driver sans ros sans odometrie			
Guide d'installation+ début Robotnik		Travail sur le Robotnik			Encore indéterminé		

Tout au long du stage, je réussissais globalement à dépasser les objectifs que je me fixais chaque semaine et j'ai beaucoup appris dans le domaine de la robotique.

Cela m'a aussi permis d'apporter ma contribution à l'entreprise, ceci sera détaillé dans la partie suivante.

### Outils mis à ma disposition :

Afin que je puisse effectuer les missions qu'on m'a confié, je me suis installé dans le laboratoire de CESI LINEACT, où j'ai eu accès aux ordinateurs ainsi qu'à plusieurs écrans, aux robots Turtlebot3 Waffle Pi et Robotnik Summit XL steel. Un accès au réseau m'a été fourni afin que je puisse utiliser [SSH](#) pour me connecter aux robots et utiliser ROS.

### Description du travail effectué :

#### Turtlebot3 Waffle Pi

Dans le cadre du projet européen Corot, j'ai travaillé sur le Waffle Pi de turtlebot3 qui a été financé par celui-ci.

Afin d'assurer une navigation, une lecture dans la base de données et d'autres fonctionnalités, nous devons gérer plusieurs actions simultanées qui vont dépendre les unes des autres. Pour y arriver on a utilisé le méta système d'exploitation ROS (robotic operating system) dont je vais faire une explication globale :

Les fonctionnalités de ROS :

De nombreuses fonctionnalités permettent de faciliter le développement

- Architecture de communication inter-processus et inter-machine  
Via les nodes et les topics, un node lancé sur une machine peut écouter un topic où un node lancé une autre machine peut publier. Mais deux nodes lancés sur une même machine peuvent également communiquer entre eux. Cela sert notamment pour faire des diagnostics ou mettre des états a notre système.
- Serveur de paramètre  
Les nodes lancés utilisent le serveur de paramètre pour stocker et récupérer des paramètres lors de leur exécution.
- Système d'enregistrement et de rejeu  
On peut enregistrer les mouvements que va faire notre robot afin de le « rejouer » ou le répéter en boucle. Cela peut être utile par exemple pour un robot industriel intervenant dans une chaine de production.
- Système de test  
Permet de tester l'intégration d'un package(groupe de programmes réalisés afin de donner des fonctionnalités a un robot) dans ROS si on veut le rendre publique.
- Simulateur  
Permet de Simuler un robot si on ne l'a pas physiquement, on aura une visualisation 3D du robot sans même l'avoir physiquement.

Nous avons des outils utilisés pour créer, lancer et distribuer des logiciels basés sur ROS. Nous avons également des commandes permettant la création simplifiée de paquets et des outils simplifiant la navigation dans le système de fichier, il existe aussi des commandes permettant de lancer des programmes dans des paquets spécifiques :

Par exemple : « `roslaunch paquet1 node1` » lancera le node `node1` situé dans le paquet `paquet1` et on peut lancer la commande ou que l'on se situe dans le système de fichier linux.

Dans ces paquets, on a les différents programmes qui permettent d'opérer tout en communiquant, on utilise en général les langages : C++(utilisant la bibliothèque `roscpp`) et python (utilisant la bibliothèque `rospy`).

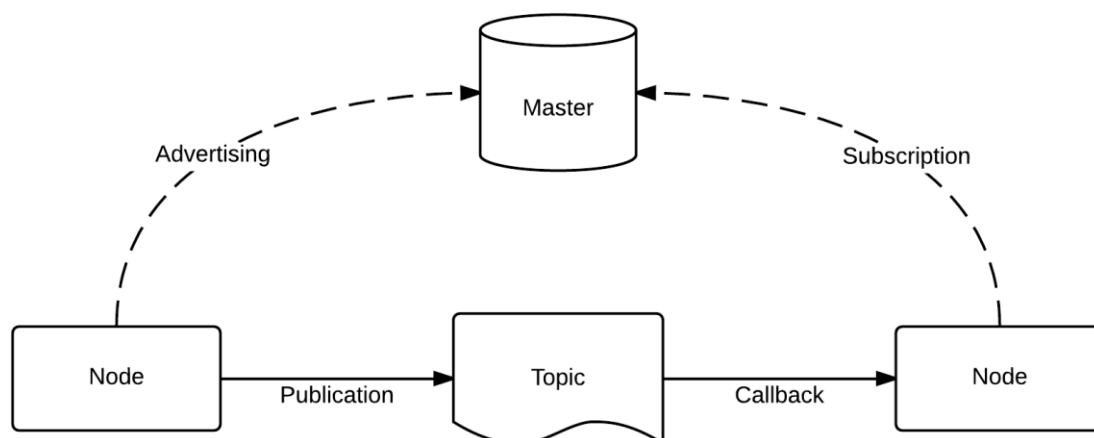
Au niveau de la communication, l'architecture est plutôt simple. On définit tout d'abord une machine « maître » :le `rosmaster`. Cette machine gèrera toutes les nouvelles communications. Par la suite, les programmes que l'on va lancer vont s'appeler des nodes, on les distingue en deux catégories :

- Les nodes Publisher qui vont publier dans un ou des topics.
- Les nodes Subscriber qui vont écouter un ou des topics.

Un topic sera donc une place où on envoie des messages. Un node peut être à la fois Publisher et Subscriber, il peut donc écouter et recevoir de plusieurs topics en même temps.

L'intérêt consiste à faire de la communication interne dans la machine afin de coordonner nos programmes mais également externe afin de coordonner différentes machines connectées à un même `rosmaster`.

Schéma de fonctionnement sous master de ROS :



Ainsi nous voilà avec une idée un peu plus claire de ce qu'est le ROS, revenons donc sur le Waffle.



Le Waffle pi de turtlebot3 est un robot qui fonctionne avec un [Raspberry pi](#), un ordinateur miniature avec une puissance relativement réduite par rapport à une machine classique. Lors d'une installation classique définie dans les didacticiels du fournisseur, il est programmé pour ne pas être rosmaster, mais pour fonctionner en communication avec une machine externe.

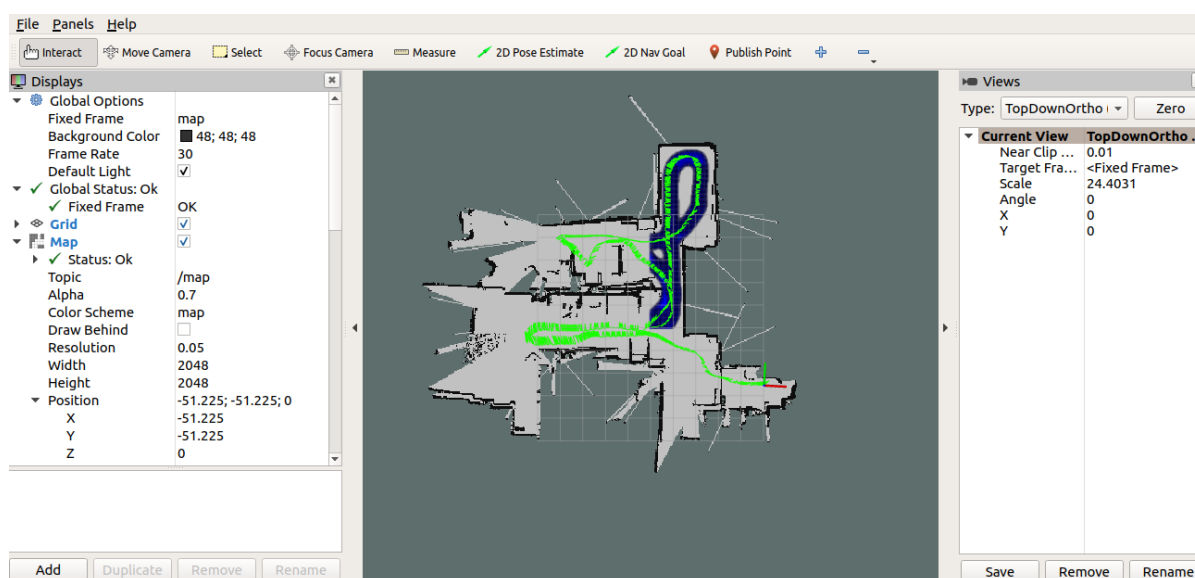
Le but étant d'avoir un robot autonome il fallait donc en priorité régler ce problème. A ce stade, l'objectif de mon stage est d'y trouver une solution.

Dans un premier temps, j'ai dû apprendre ROS, j'y ai donc consacré toute une semaine. j'ai ensuite dû comprendre comment faire bouger le robot de manière simple à l'aide de ROS.

J'ai ensuite testé le système de navigation du robot et je me suis aperçu que le robot naviguait de manière manuelle sur un ordinateur distant utilisant Rviz.

Rviz est un logiciel qui utilise la communication de ROS afin de permettre une visualisation 2D/3D.

Exemple de visualisation 2D sur Rviz :



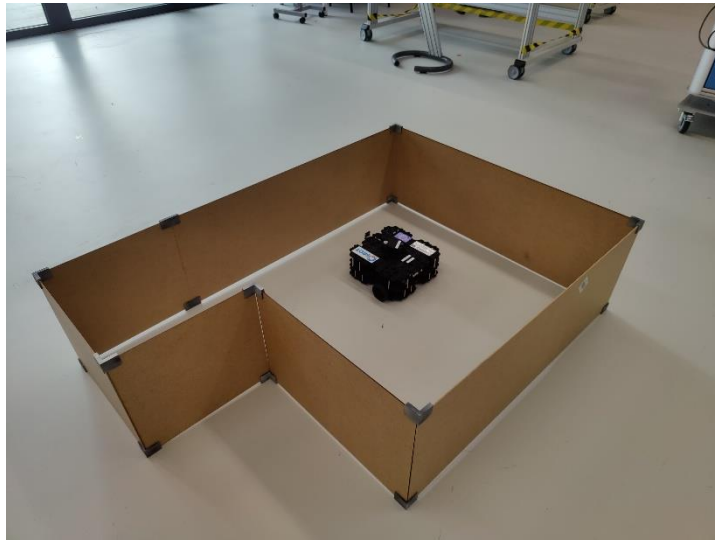
Ici, j'ai compris une des causes du problème, Rviz consomme bien trop de ressources pour le Raspberry pi. Il fallait donc trouver le moyen de faire fonctionner la navigation sans utiliser Rviz.

Il a donc fallu étudier chacun des nodes de navigation afin d'en comprendre le fonctionnement.

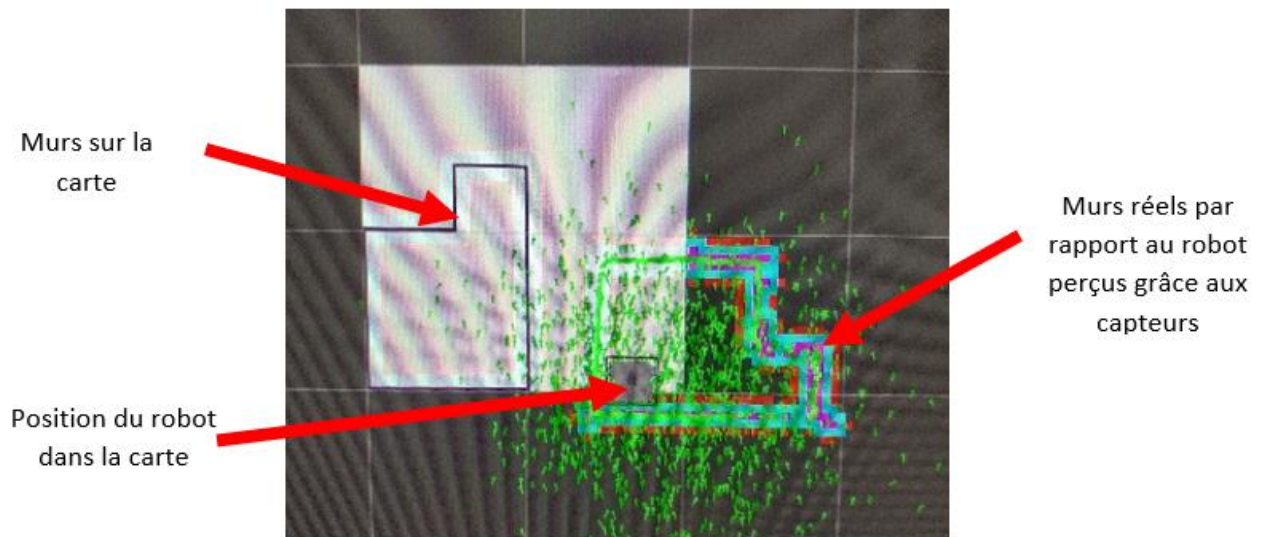
Rviz se trouve en bout de chaîne j'en ai donc conclu qu'il n'est pas nécessaire et qu'en reproduisant les messages qu'il envoie via ROS, je pourrais reproduire une navigation et de fait le rendre autonome.

J'ai ensuite construit un petit environnement de test pour le robot afin d'y faire des essais sur la navigation autonome, et j'ai fait une image de la carte pour la mettre en navigation au niveau du robot.

Voici à quoi ressemble l'environnement de test :

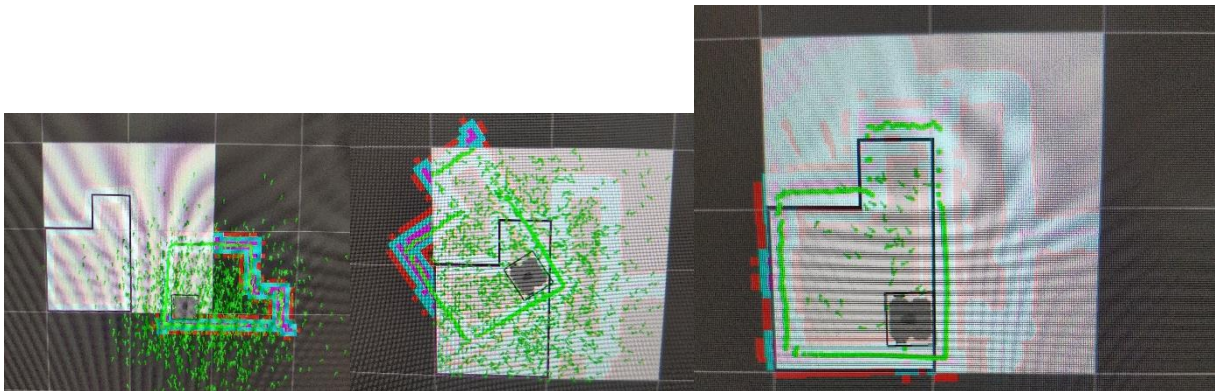


Lorsqu'on visualise avec Rviz, on obtient un résultat comme ceci :



Les murs que le robot perçoit devraient se superposer avec les murs sur la carte. On s'aperçoit ici que le robot n'est pas à la bonne place, son [lidar](#) (mesures laser à 360° permettant le repérage dans la cartographie et le repérage des obstacles) lui permet de visualiser les murs mais il ne se recalibre pas par rapport à la carte. J'ai ensuite trouvé le moyen de forcer les relocalisations qui se font petit à petit et qui donc doivent être lancées plusieurs fois. Afin d'automatiser le processus.

### Processus de relocalisation automatique du robot.



Les fonctionnalités principales de navigation, relocalisation et de mouvements fonctionnant sur le robot, tout était donc opérationnel dans mon environnement de test. Les fonctionnalités principales de la navigation étaient appliquées sur le robot et non plus sur un ordinateur distant.

Cependant lorsque je suis passé sur l'environnement réel, le laboratoire, le lidar avait une trop faible portée pour repérer les murs lointains. J'ai donc dû trouver un autre moyen de localiser le robot au démarrage car la précédente ne fonctionnait pas.

Il a d'abord fallu connecter le robot à la base de données afin de lui faire écouter les ordres qu'on lui donnait, transmettre ses états à la base, pour ensuite le faire fonctionner comme les robots MIR.

Par la suite j'ai fait en sorte qu'il reprenne sa dernière position dans la base de données, la relocalisation ne pose alors plus de problème. On peut également à distance lui remettre une position cohérente via Rviz sur une machine distante, s'il est perdu.

Dès lors, j'avais mis en place la plupart des fonctionnalités du robot. Je n'avais plus qu'à le programmer afin qu'il lance tous les nodes au démarrage, ce qui m'a appris à manipuler des fichiers systèmes Linux.

La solution finale du lancement du robot fonctionne globalement comme ceci :



Il était également primordial de fournir une documentation sur l'installation des fonctionnalités et de mes programmes sur le robot. J'ai donc réalisé un guide tutoriel d'un peu moins de 20 pages. Dès lors, ma mission initiale lors de ce stage était terminée.

**Ce que cette mission m'a apportée :**

- J'ai acquis de nombreuses connaissances dans le domaine de la robotique et appris toutes les bases de ROS.
- J'ai travaillé sur des systèmes linux et renforcé mes connaissances sur le sujet.
- Les nodes en python/C++ que j'ai réalisés m'ont fait travailler ces langages.

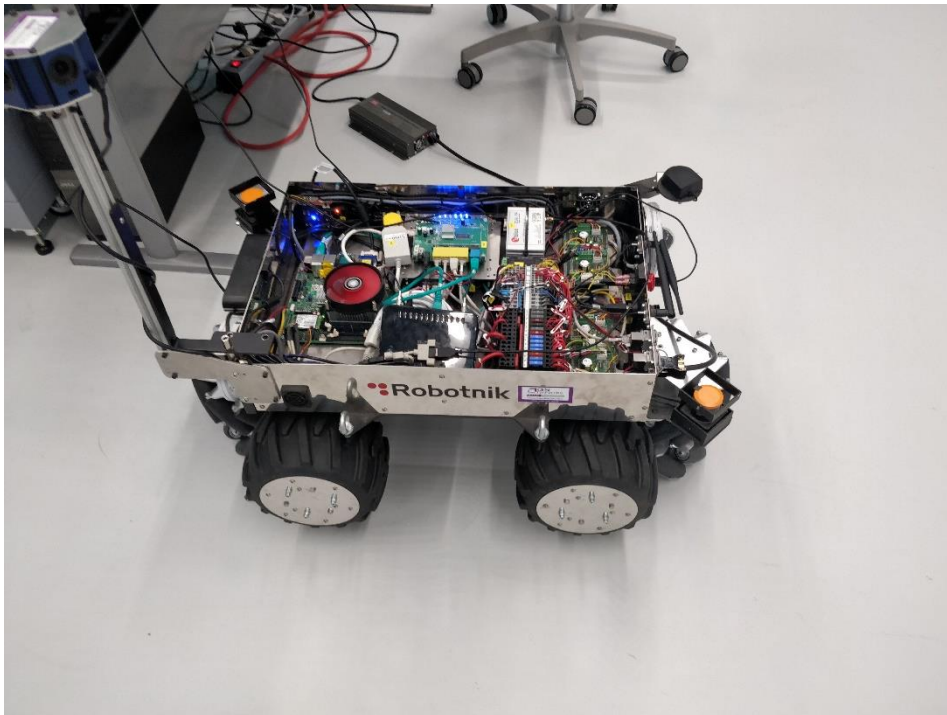
**Ce que j'ai apporté à l'entreprise avec cette mission :**

- J'ai réussi à terminer la mission avant le temps imparti, ce qui me permet de travailler sur un autre robot donc une autre mission.
- J'ai réalisé cette mission en autonomie, je n'allais voir mon maître de stage que si j'étais réellement bloqué, cela lui a permis de se concentrer sur ses missions. L'entreprise a donc bénéficié grâce à mon travail d'un gain de temps considérable.
- La documentation que j'ai fournie va permettre de refaire les installations sur le robot et également de comprendre mon travail pour y apporter des modifications si besoin.

Ayant fini cette mission, une autre m'a alors été confiée, il s'agit de reprogrammer un robot de zéro afin qu'il arrive aux mêmes fonctionnalités que le Waffle et le MIR : le Summit XL Steel de Robotnik.

## Robotnik SUMMIT XL STEEL

Le Robotnik SUMMIT XL STEEL est un robot utilisé en logistique, en transport intérieur, en R&D, dans le domaine militaire et en surveillance. Sa structure interne est bien plus complexe que celle du Waffle :



On a à l'intérieur un ordinateur relié par USB et RJ45 aux différentes parties du robot, comme les drivers des moteurs ou les caméras. En faisant un état général du robot, j'ai remarqué que :

- Le système d'exploitation du robot était obsolète.
- La version de ROS du robot était obsolète.
- La navigation indoor du robot n'est pas optimisée sur les courtes distances
- Il n'y a pas de sécurité pour éviter les humains, il faut donc en faire une.
- Certains composants du robot sont connectés via des câbles rj45, donc en réseau et non à l'USB. Cela apporte une difficulté supplémentaire

Tous ces soucis combinés nous ont fait prendre la décision de tout reprendre de zéro sur ce robot, réinstaller un système d'exploitation et mettre une version plus récente de ROS.

En m'inspirant des anciens programmes et drivers, le but est de créer des programmes pour gérer indépendamment chaque roue du robot, cela m'apporterait un meilleur contrôle qui me permettra de gérer la vitesse du robot en toute circonstance (présence d'obstacle ou d'humain).

Il faut également appliquer un limiteur de vitesse car le robot peut aller jusqu'à 10m/s soit 36Km/h, ce qui est beaucoup trop rapide et bien trop dangereux avec ses 80 Kg.

Pour des mesures de sécurité, le robot a été surélevé afin que les roues tournent dans le vide.

**Ce que cette mission m'a apporté :**

-Tout reprendre de zéro sur ce robot m'a permis d'approfondir mes connaissances autant sur la partie physique qu'informatique.

.

**Ce que j'ai apporté à l'entreprise avec cette mission :**

-La mission étant encore en cours, j'ai tout de même bien avancé et m'apprête bientôt à commencer une documentation sur ce robot, ce qui va permettre à l'entreprise de profiter de mes recherches dessus.

-Si je parviens à finir avant la fin de mon stage, l'apport que fournirait ce robot serait extrêmement bénéfique, car il a de meilleures capacités que la plupart des robots présents dans le laboratoire (vitesse de déplacement/charge supportée, etc.)

## Bilan

### Ce que j'ai acquis :

Des méthodes de travail en recherches  
De nouvelles bases ainsi que de l'expériences en robotique  
Plus d'expérience en développement dans différents langages

### Ce que j'ai apporté :

Modifications à un robot existant pour le rendre opérationnel par rapport au reste du projet Corot et compétitif par rapport à la concurrence notamment en termes de faible coût.  
La validation de la méthode de communication entre robot étudié dans le cadre du projet Corot  
J'ai pu utiliser ma progression rapide afin d'apporter mes nouvelles compétences sur d'autres missions.

## Conclusion

Je suis globalement satisfait de mon stage. Les efforts que j'ai fournis m'ont permis d'acquérir de nouvelles connaissances et compétences pour apporter tout ce que j'ai pu à l'entreprise. Les différents blocs étudiés cette année m'ont tous servis dans mes missions pour les aspects réseaux et développement.

Pour cette deuxième année de « prépa », cette expérience a été très enrichissante et va me permettre d'enrichir mon CV pour les années à venir, ce qui va élargir mes possibilités dans mon projet professionnel.

Finalement le stage a conforté mon idée de me spécialiser dans le domaine de la robotique, il y a encore beaucoup de choses à découvrir et un gros potentiel d'évolution, c'est ce qui me plaît dans le domaine.



## Résumés

### Fr

J'ai effectué mon stage dans l'Entreprise CESI LINEACT a saint Etienne du Rouvray (Campus de CESI Rouen), mon maître de stage était Mr DUVAL Fabrice qui m'a énormément appris lors de ces quatre mois.

Le stage consistait à reprogrammer des robots de zéro afin de les faire naviguer de manière autonome dans le cadre du projet Corot (projet Européen visant a développer la robotique dans l'industrie et de fournir des robots abordables aux PME). Ces missions m'ont fait progresser dans la robotique, j'y ai compris le fonctionnement de ROS (robotic operating system) qui est très répandu et presque universel dans le domaine. J'y ai aussi amélioré mes compétences en C++, Python, Linux et fonctionnalités réseau.

J'ai appris à travailler avec des méthodes de recherche tout en apportant mon savoir-faire à l'entreprise. Ayant terminé ma mission initiale, j'ai pu travailler sur d'autres missions afin d'apporter tout ce que j'ai pu au projet.

Finalement le stage a conforté mon idée de me spécialiser dans le domaine de la robotique, il y a encore beaucoup de choses à découvrir et un gros potentiel d'évolution, c'est ce qui me plait dans le domaine.

### En

I have done my internship with CESI LINEACT in Saint-Etienne du Rouvray (in the CESI Rouen's campus), Mr DUVAL Fabrice was my internship supervisor taught me a lot of things during those four months.

The main point of this internship was to reprogram robots from zero in the aim to make them navigate in complete automation within the context of the Corot project (European project that has for goal to develop robotics in the industry and provide abortable robots for the smaller companies). Those missions made me improve myself in robotics, it permitted me to understand the ROS (Robotic operating system) main functionalities that are very used in this field. I also improved my Python, C++, Linux, and network skills as well.

I learned to work with some searchers methods while also bringing my knowledge and skills to the company. My initial missions finished, I could work on other missions in the aim to bring all that I could to the company and to the project.

In the end, this internship reaffirmed my idea to specialize in robotics, there are still many things to discover and a big evolution potential, that is what I like in this field.



## Glossaire

**MIR** : Le Mobile Industrial Robot, est un robot qui a les équipements nécessaires afin de fonctionner avec ROS, naviguer de manière autonome et ainsi permettre la réalisation de projets cobotiques.



Plus d'information sur : <https://www.mobile-industrial-robots.com/fr/solutions/>

**Raspberry Pi** : Le Raspberry Pi est un nano-ordinateur a bas prix qui est un peu plus grand qu'une carte de crédit. Autrement dit, c'est un ordinateur de poche, il est très utilisé dans les projets de robotique ou de systèmes électroniques embarqués.

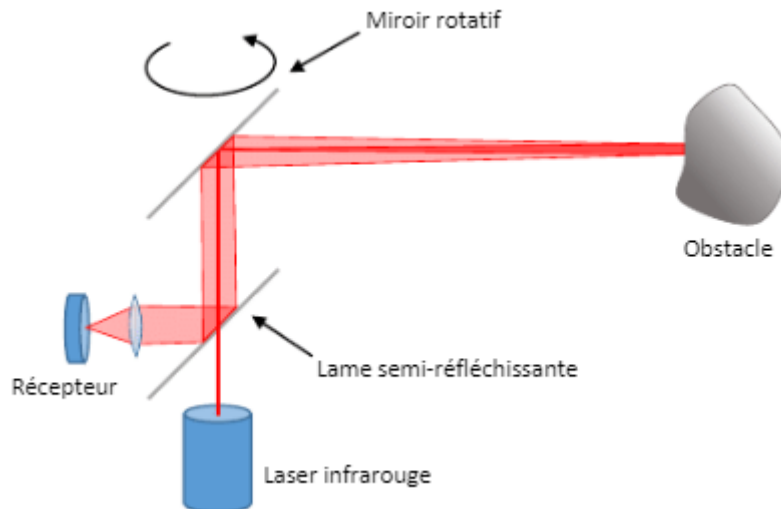


Plus d'informations sur <https://www.raspberrypi.org/> .

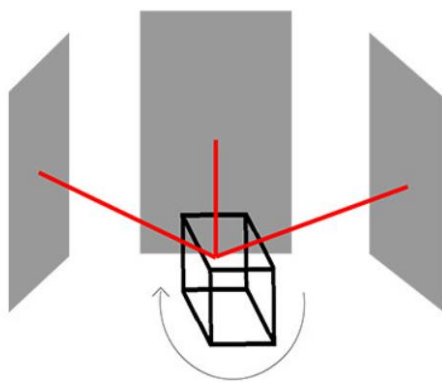
### **Lidar :**

L'acronyme LiDAR signifie Light Detection And Ranging. Il s'agit d'une méthode de calcul qui permet de déterminer la distance entre le capteur et l'obstacle visé. Un LiDAR utilise un faisceau laser pour la détection, l'analyse et le suivi.

La lumière est émise par le LiDAR et se dirige vers sa cible. Elle est réfléchiée sur sa surface et revient à sa source. Comme la vitesse de la lumière est une valeur constante, le LiDAR est capable de calculer la distance le séparant de la cible



Pour un LiDAR 2D, un seul faisceau laser est nécessaire. En effet, il pulse suivant un mouvement de rotation sur le plan horizontal et calcule la distance des obstacles, nous obtenons des données sur les axes X et Y. C'est d'ailleurs ce qui est utilisé sur le Waffle Pi pour faire la cartographie.



Sur l'exemple de gauche, on a les lignes rouges représenté par nos laser, les parallélogrammes gris sont les obstacles et le solide du milieu est notre système. Par une rotation du lidar sur le plan horizontal, on peut faire une mesure à 360 degrés et ainsi réaliser une cartographie.

**SSH** : Le Secure Shell Protocol est à la fois un programme informatique et à la fois un protocole de communication. SSH consiste à pouvoir ouvrir un terminal (ou l'on peut écrire des lignes de commandes) d'une autre machine à distance en passant par le réseau et de manière sécurisée car des clés de chiffrement sont utilisées.

## Bibliographie :

ROS : <https://www.ros.org/>

Raspberry Pi : <https://www.raspberrypi.org/>

CESI: <https://www.cesi.fr/>

Projet Corot : <https://www.corot-project.org/>

Lidar :

[https://www.researchgate.net/publication/305258615 Correction de nuages de points lidar embarque sur vehicule pour la reconstruction d%27environnement 3D vaste](https://www.researchgate.net/publication/305258615_Correction_de_nuages_de_points_lidar_embarque_sur_vehicule_pour_la_reconstruction_d%27environnement_3D_vaste)

MIR : <https://www.mobile-industrial-robots.com/fr/solutions/>