

**Rapport de stage**  
**Rapport de stage au LABRI / RHOBAN**  
**8/01/2024 – 19/04/2024**

LABRI  
Talence  
Ly Olivier

Laplace Hugo  
Fise A3 informatique  
Rocher Tatiana

Diffusion libre

## Sommaires

Présentation de l'entreprise .....	3
Rhoban .....	3
Pourquoi ce stage ? .....	5
Rapport d'étonnement .....	5
Mission principale .....	6
Marche d'un robot quadrupède .....	7
Démarche basée sur les capteurs de pression.....	7
Démarche basée sur le Zero-Moment Point (ZMP).....	7
Démarche basée sur le modèle Spring-Loaded Inverted Pendulum (SLIP).....	7
Démarche basée sur le modèle Mass-Mass-Spring (MMS) .....	7
Démarche basée sur la démarche rampante (Creeping gait) .....	8
Bilan .....	8
MétaBot .....	9
MégaBot .....	11
Fonctionnement général d'un Vérin .....	13
Caractérisation des vérins.....	14
Caractéristique des vérins initiaux .....	14
Protocole de test .....	14
Problèmes d'enregistrement.....	15
Conclusion de l'analyse.....	17
Bilan .....	20
Missions annexes .....	21
Installation des LED .....	21
Ordinateur de bord.....	22
Routage câble.....	23
Planification .....	26
Illustrations.....	27
Sources .....	28
Conclusion .....	29

## Présentation de l'entreprise

J'ai réalisé mon stage au laboratoire Bordelais de recherche informatique plus communément appelé LABRI. Ce Laboratoire est très reconnu en France et dans le monde, il est composé de 5 départements de recherche :

- Combinatoire et Algorithmique (CombAlgo)
- Image et Son (I&S)
- Méthodes et Modèles Formels (M2F)
- Systèmes et Données (SeD)
- Supports et Algorithmes pour les Applications Numériques hautes performances (SATANAS)

Le Labri soutient également activement la recherche dans des domaines de recherche annexes telles que l'intelligence artificielle (IA) et la santé numérique.

Le Labri est situé sur le site de l'université de Talence. Il est composé au 1<sup>er</sup> janvier 2024 de 104 enseignants chercheurs, 47 chercheurs et de 117 doctorants/post-doctorats.

## Rhoban

Rhoban est un groupe de recherche du LABRI en robotique autonome, de l'ENSEIRB-MATMECA et du CNRS.



*Figure 1: Logo RHOBAN*

Le principal thème de recherches de Rhoban est les robots humanoïdes autonomes, en particulier ceux liés à la [RoboCup](#) (dont la finale mondiale s'est tenue à Bordeaux en 2023). Rhoban travaille également à la recherche sur la robotique agricole.



*Figure 2 : Les robots Sigmaban concourent pour Rhoban au sein de la Robocup*

Rhoban est financé principalement par l'Université de Bordeaux mais aussi par la Région Nouvelle-Aquitaine, l'ANR, le CNRS et l'ENSEIRB-MATMECA.

Rhoban est un groupe composé d'une quinzaine de personnes parmi lesquelles notamment :

- Olivier Ly, Professeur et directeur de l'équipe
- Grégoire Passault, Professeur associé et maitre de conférences
- Julien Allali, Maitre de conférences à Enseirb-Matmeca

Dans le cadre de ce stage et au sein de Rhoban, sous la direction de Julien Allali, j'ai travaillé sur le robot MégaBot, un des projets de recherche de RhoBan. Le robot en question est un quadripode de 2m50 d'envergure et de 250kg. Il est situé au Fablab de l'Enseirb -Matmeca où j'ai effectué le stage.

Le Fablab de l'Enseirb est géré par l'association Eirlab qui y mène de très nombreux projet et qui rend le Fablab accessible au plus grand nombre d'étudiants possibles, mais aussi au curieux de tout horizon.



*Figure 3 : logo Eirlab, association du fablab de l'Enseirb*

## Pourquoi ce stage ?

Pour ma 3<sup>ème</sup> année je voulais faire un stage dans l'informatique embarquée, malheureusement les dates de stages ne collaient pas avec les demandes des grandes entreprises avec lesquels j'ai eu des entretiens, j'ai donc vu avec Olivier Ly que je connaissais par la RoboCup. Il m'a donc proposé ce stage a Rhoban. Le projet proposé consistait à améliorer les algorithmes de contrôle du robot Mégabot, ce qui m'a immédiatement plu.

## Rapport d'étonnement

Au début de mon stage, j'ai rédigé un rapport d'étonnement, je ne vais pas le détailler ici mais seulement présenter une synthèse et sa conclusion.

« Avant le stage, je connaissais déjà mon responsable, je suis donc venu un peu avant le stage pour discuter des missions. Mon intégration s'est faite via quelques échanges par mail avec l'administration du LABRI et de l'université de Bordeaux.

Pour le premier jour de mon stage, après un café, je me suis directement mis au travail. On fait des points réguliers sur mon avancée et mes missions avec mon encadrant et mon tuteur.

Comme je travaille sur un projet pédagogique, je n'ai pas de vue à moyen terme. Je travaille sur un projet, par exemple le routage des câbles sur le robot. Une fois terminé, on me donne un autre sujet à traiter. Je n'ai donc pas de vision globale du projet.

Je travaille en parallèle d'un projet réalisé par deux autres étudiants, étudiants en 1<sup>er</sup> année de cycle ingénieur informatique en option robotique. J'interagis donc régulièrement avec eux.

Dans la vie du Fablab, j'aide également les étudiants notamment sur les imprimantes 3D. »

## Mission principale

Pendant ce stage, le cœur de mon travail a porté sur le robot MégaBot, le Mégabot est un projet de recherche qui n'a donc aucun objectif commercial à court, moyen ou long terme.

Le robot a pour objectif de tester des concepts de déplacements d'un robot à 4 pattes, à taille humaine (le robot avec c'est 2m50 de large et ses 250kg est en effet capable de transporter une personne) les concepts de déplacements ont été formalisés par Grégoire Passault dans sa thèse Optimisation de la locomotion de robots bas coût à pattes.

C'est un robot qui a été fabriqué par Julien Allali et qui est au Fablab de l'Enseirb, il est la version agrandie du Métabot.



Figure 4 : Robot MégaBot

## Marche d'un robot quadrupède

Il existe plusieurs types de démarches possibles pour un robot quadrupède, nous allons ici rapidement parcourir certaine démarche possible et expliquer celle privilégier par le MégaBot, pour comprendre l'importance de connaître la vitesse des actuateurs en l'occurrence des vérins.

Ces sujets sont des sujets d'études beaucoup plus complexes et plus vastes, nous allons donc juste les parcourir.

### Démarche basée sur les capteurs de pression

La démarche basée sur l'utilisation de capteurs de pression offre l'avantage d'améliorer la stabilité latérale et l'équilibre du robot, en permettant des ajustements dynamiques pendant la marche, notamment sur des terrains inégaux. Cependant, son principal inconvénient réside dans le coût élevé de l'intégration de ces capteurs, ce qui peut rendre cette approche peu accessible, en particulier pour des projets universitaires ou à budget limité comme le MEGABOT.

### Démarche basée sur le Zero-Moment Point (ZMP)

L'approche basée sur le ZMP offre une solution efficace pour maintenir la stabilité du robot en optimisant la position du ZMP à l'intérieur du polygone de support. Cela permet une marche stable même sur des surfaces irrégulières. Cependant, cette méthode peut être limitée dans des environnements très dynamiques où le robot doit s'adapter rapidement à des changements imprévus. En d'autres termes, le ZMP est le point où le robot exerce une pression égale sur tous ses supports, permettant de stabiliser sa posture.

### Démarche basée sur le modèle Spring-Loaded Inverted Pendulum (SLIP)

La démarche SLIP offre des avantages en termes de réduction des chocs et d'économie d'énergie, imitant la dynamique naturelle de la locomotion animale. Cependant, son inconvénient majeur réside dans le fait qu'elle est plus adaptée à une marche rapide, ce qui peut être difficile à réaliser pour des robots de grande taille comme le MEGABOT.

### Démarche basée sur le modèle Mass-Mass-Spring (MMS)

L'approche MMS permet des mouvements plus naturels et efficaces en tenant compte de la masse des jambes et en intégrant une colonne vertébrale flexible. Cela améliore la stabilité et l'agilité du robot. Cependant, son inconvénient réside dans la complexité de sa mise en œuvre et ses exigences en termes de matériel, ce qui peut rendre cette méthode moins accessible pour certains projets.

## Démarche basée sur la démarche rampante (Creeping gait)

La démarche rampante offre une stabilité maximale en se concentrant sur un objectif de stabilité plutôt que de rapidité ou d'adaptabilité. Cela garantit une marche stable où le robot maintient toujours au moins trois points d'appui au sol. Cependant, cette méthode peut être moins efficace en termes de vitesse de déplacement et d'adaptabilité à des environnements changeants.

## Bilan

Le choix de démarche privilégié pour le MEGABOT est une approche plus élémentaire basée sur la stabilité, en se concentrant sur une allure patte par patte. Cette décision garantit une marche stable et équilibrée, où le MEGABOT maintient toujours au moins trois points d'appui au sol, renforçant ainsi le triangle de sustentation. Bien que cette approche offre une stabilité accrue, elle peut être moins efficace en termes de vitesse et d'adaptabilité par rapport à des modèles plus complexes comme le SLIP ou le MMS. Cependant, étant donné les contraintes mécaniques actuelles du robot et les limitations financières du projet universitaire, cette démarche plus simple est jugée plus réalisable et économique.

L'objectif du MEGABOT est de tester cette démarche sur un robot à taille humaine.



## MétaBot



Figure 5 : MétaBot

Le MétaBot est un robot open-source pour l'éducation, tous les fichiers nécessaires à la fabrication de ce robot sont disponibles en ligne gratuitement, il a permis de tester certains concepts de la marche autonome a 4 pattes.

Il est constitué de 4 pattes chacune de 3 moteurs et d'un corps avec un microcontrôleur (arduino nano), une batterie et une puce xbee.

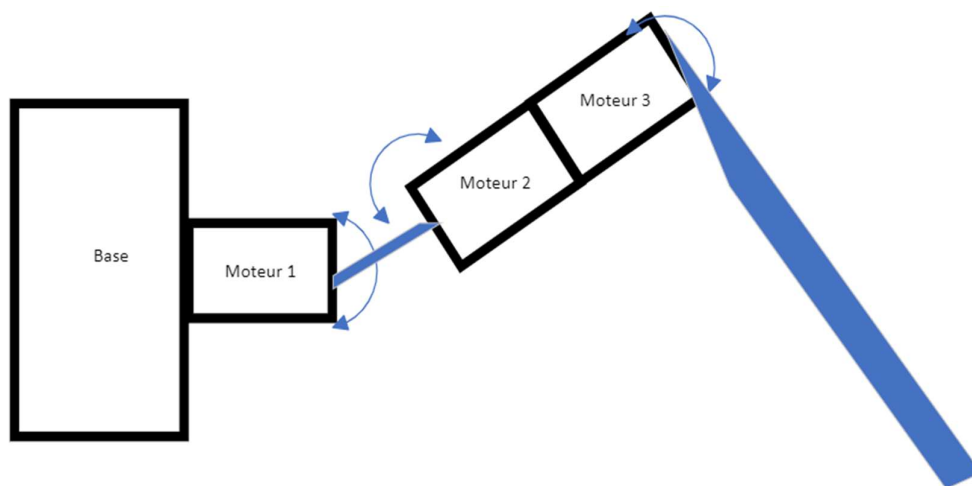
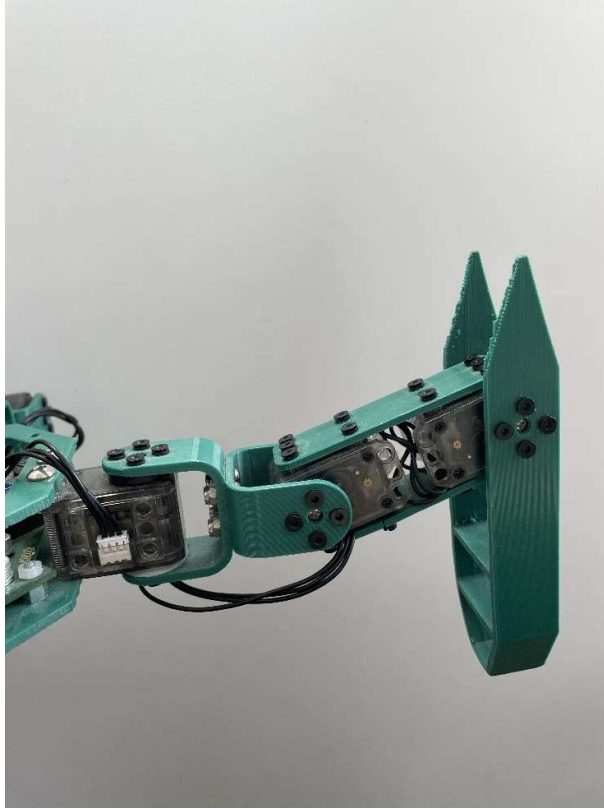


Figure 6 : schéma patte du métabot

Comme on peut le voir sur ce schéma, le moteur 1 du robot est fixé sur la base et son mouvement de rotation est parallèle au plan, le moteur 2 est fixé au premier par une pièce 3D. Les moteurs 2 et 3 sont quant à eux fixés entre eux, une dernière pièce 3D à l'extrémité va servir de patte et être en contact avec le sol.



*Figure 7 : patte du métabot*

## MégaBot

Le MégaBot, tout comme son petit frère est constitué d'un corps contenant la partie électrique et 4 pattes. Ici en l'occurrence le robot embarque deux contrôleurs STM32 et 2 batteries de voitures

Cependant les pattes ici ne sont pas constituées de moteurs proposant une rotation mais de vérins proposant une translation, ce qui change la dynamique et donc le contrôle des pattes et par conséquence de la marche globale.

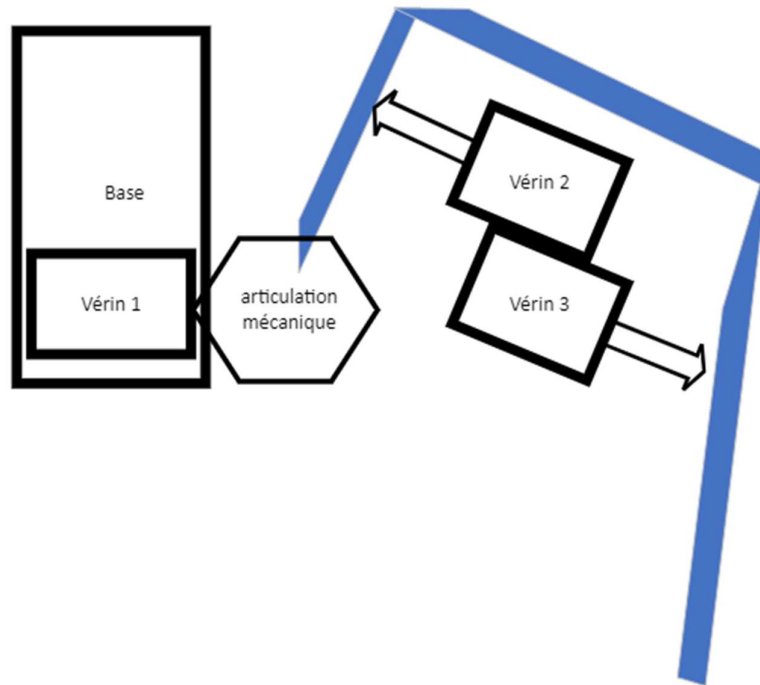


Figure 8 : schéma de fonctionnement patte du MégaBot

Les vérins 1 et 3 ont besoin de plus de puissance que le vérin 2. En effet, les vérins 1 et 3 sont respectivement soumis aux contraintes de la base et du sol, tandis que le vérin 2 est un intermédiaire.

Sur un projet de cette taille l'inconvénient des moteurs rotatifs est tout simplement leur taille. En effet mettre des moteurs même avec un système d'engrenage (système de réduction) aurait constitué un encombrement bien supérieur à des vérins et aurait tout simplement rendu le projet impossible à cette échelle, sans parler du rapport poids / puissance.



*Figure 9 : Jambe Mégabot avec vérin 2 sorti et 3 rentré*



*Figure 10 : Jambe Mégabot avec vérin 2 rentré et 3 sorti*

## Fonctionnement général d'un Vérin

Pour rappel un vérin est composé d'un moteur et d'un système d'engrenage qui permet de transformer le mouvement de rotation du moteur en mouvement de déplacement linéaire.



Figure 11 : Vérin utilisé sur le Mégabot

- 1 – tige de sortie, la tige peut se déployer entre 0 et 20cm, ici elle est sortie de 5cm. Sur ce modèle de vérin la tige a pour particularité de garder sa position une fois le vérin étend.
- 2 – Moteur 12V / 160W entraînant le système d'engrenage contenu dans la chambre (4).
- 3 – Crochet de fixation
- 4 - Chambre d'engrenage

Pour permettre des vitesses de déplacement plus rapides du vérin, les moteurs de certains vérins ont été modifiés en amont de mon arrivée pour passer sur des moteurs 24V / 400W. Il a donc fallu qu'on les caractérise pour trouver leur vitesse, et ensuite intégrer cette donnée dans le logiciel de guidage du robot.

## Caractérisation des vérins

Une des missions principales qui a occupé tout le début de mon stage a été la caractérisation des vérins du robot.

### Caractéristique des vérins initiaux

Les vérins initialement présents sur le robot étaient des LA50-1 en positions 1 et 3 et les vérins en positions 2 étaient des LA50-A tous deux de la marque gomotorworld. Ils étaient équipés de moteur 12V, 160W leur vitesse en sont détaillés dans le tableau ci dessous :

Référence	Vitesse à vide (m/s)	Vitesse en charge (m/s)
LA50-1 (12V 160W)	0,16	0,08
LA50-A (12V 160W)	0,065	0,03

Les vérins ici utilisés sont autobloquant c'est-à-dire que mécaniquement le système d'engrenage à l'intérieur garde la position auquel le la tige a été amenée même une fois débranchée, la vitesse en montée et en descente est censée être donc sensiblement similaire car le vérin n'est pas « tiré vers le bas » sous l'effet de la charge.

### Protocole de test

Nous avons donc mis en place pour cela un protocole de test. Nous avons fixé le vérin sur un portique et nous fixions des poids de musculation sur le vérin, en augmentant petit à petit la masse.

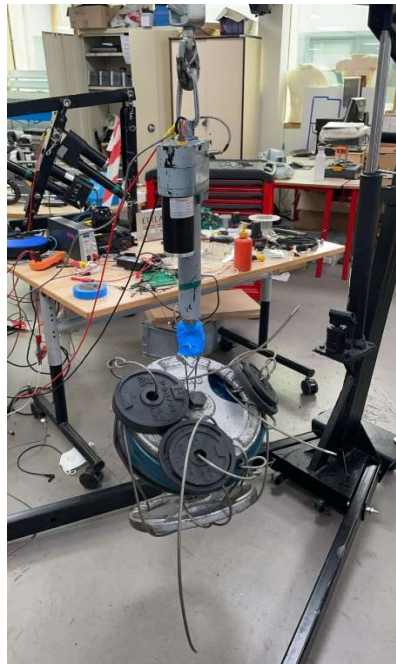


Figure 12 : Installation pour la caractérisation du vérin

Pour chaque masse nous faisons entre 3 et 5 acquisitions. Une acquisition se compose de 5 allers-retours de haut en bas.

La course du vérin de bas en haut était la donnée la plus importante de l'acquisition car cela nous permet de voir de la meilleure manière l'influence de la charge sur la puissance du vérin.

La descente du vérin de haut en bas est théoriquement censée être beaucoup plus linéaire. En effet comme expliqué plus haut les vérins sont mécaniquement autobloquant donc la vitesse de descente est censée être toujours la même.

Nous avons ensuite répété le protocole une deuxième fois car nous avions 2 vérins à caractériser :

- Le vérin 2.2, présent au milieu de la patte du robot et nécessitant moins de vitesse
- Le vérin 2.3 présent en bout de patte du robot et nécessitant plus de vitesse

Il y a dans chaque vérin une carte Arduino nano qui renvoyait des données collectées par le potentiomètre du vérin sur le comportement du moteur du vérin.

Toutes ces données transitaient vers le contrôleur STM32 qui lui-même renvoyait ces données par le port série en USB à l'ordinateur qui les enregistrait dans des fichiers au format txt.

Dans ce cas d'usage, nous aurions pu brancher directement l'Arduino Nano à l'ordinateur. Cependant, afin de vérifier le bon fonctionnement de la chaîne de traitement, nous avons décidé d'utiliser le STM32 comme relais. Cela nous a permis de tester correctement le bon fonctionnement de ladite chaîne.

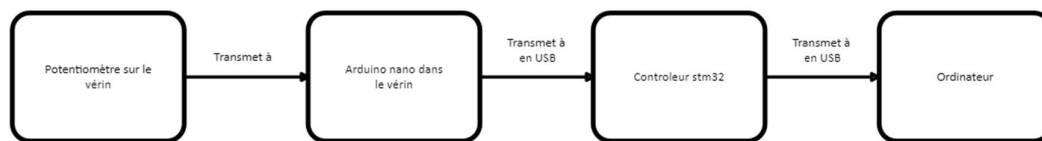


Figure 13 : Chaîne de traitement des données lors des test du vérin

## Problèmes d'enregistrement

Lors de l'enregistrement des données nous avons des problèmes réguliers de perte pendant des durées variables souvent de 2 dixièmes de secondes, ce qui sur l'étude d'un mouvement de 2 à 3 secondes est un vrai problème. J'ai donc dû reprendre toute la chaîne de traitement pour essayer d'isoler le problème, pour cela il m'a fallu changer toutes les pièces une par une, utiliser un autre vérin puis changer l'Arduino, essayer avec un autre contrôleur puis avec un autre ordinateur. Malgré ça le problème persistait. Il a finalement été fait comme hypothèse que le problème était un problème de bruit électromagnétique dans la structure des câbles entre l'arduino et le contrôleur.

Il m'a donc fallu pour remédier à ce problème refaire des câbles en reprenant toutes les soudures une par une sur les câbles équipés de connecteurs avioniques.



*Figure 14 : connecteur avionique male 4 pins*

Ce qui une fois bien soudé et les soudures bien isolées, a permis de régler le problème de bruit.



## Conclusion de l'analyse

Après avoir corrigé les données enregistrées, en modifiant les fichiers txt, j'ai pu établir ces courbes bilan :

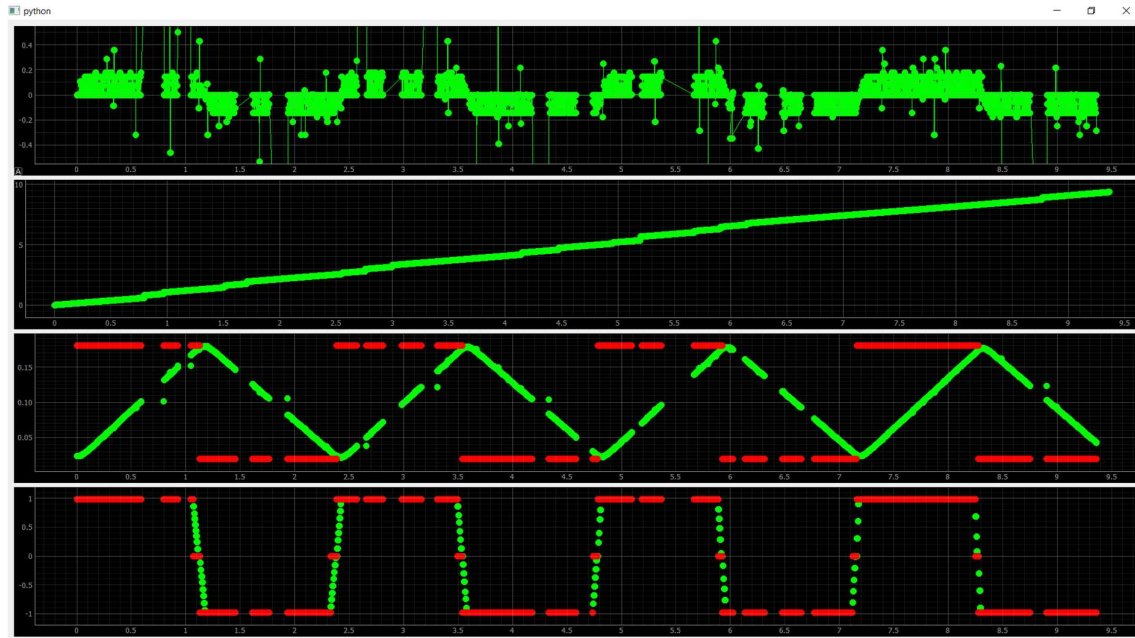


Figure 15 : Bilan des tests à 1kg

La première courbe représente des enregistrements de vitesse en m/s, les enregistrements ne sont ici pas filtrés et sont mesurés avec la dérivée point à point des positions.

La deuxième courbe représente l'évolution du timestamp dans le temps (est-ce que les données temporelles sont bien reçues à l'instant où on les attend). Cette courbe n'étant pas une droite parfaite, cela nous met en avant les moments où nous avons eu des pertes de données (chaque petite bosse sur la courbe).

La troisième courbe représente les positions en centimètre en fonction du temps. En rouge, on trouve les positions cibles et en vert, les positions réelles. Les trous et les décalages qu'on peut voir dans les courbes sont là encore des pertes de données.

La quatrième courbe représente la pwm (Pulse Wide Modulation) en fonction du temps, en rouge les cibles et en verts les réelles.

Comme expliqué plus haut, pour trouver ces vitesses j'ai utilisé la dérivée des positions point par point, ce qui a donné des vitesses environ 4 fois inférieures aux vitesses attendues. Il a donc fallu que je filtre manuellement tous les échantillons pour mesurer la vitesse crête à crête pour avoir un delta de positions en montée et en descente. Sur l'exemple précédent ça aurait donné ça :

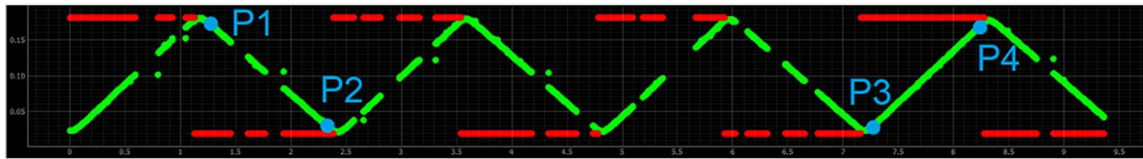


Figure 16 : Calcul de la vitesse crête à crête

Entre P1 et P2, j'ai une séquence de distance dont je peux calculer la vitesse tout comme entre P3 et P4 ou cette fois-ci j'ai une vitesse de montée.

J'ai essayé d'automatiser un maximum ce travail en me basant sur la pwm cible qui est la meilleure donnée de référence dont je disposais. Malheureusement malgré l'usage d'un filtre que j'ai développé en Python ce travail a demandé beaucoup d'ajustement manuel et il a fallu que je reprenne beaucoup de choses à la main. Ça a été un travail très long et très fastidieux qui m'a finalement permis d'aboutir à ces courbes bilans :

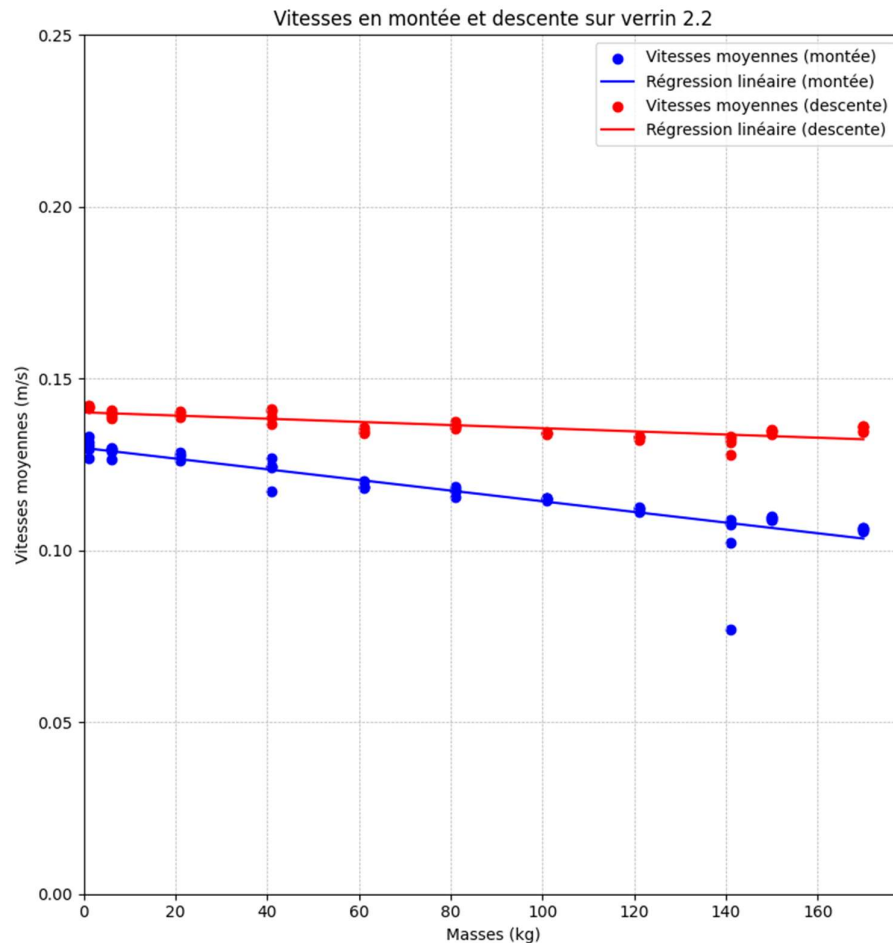


Figure 17 : courbes bilan vérin 2.2

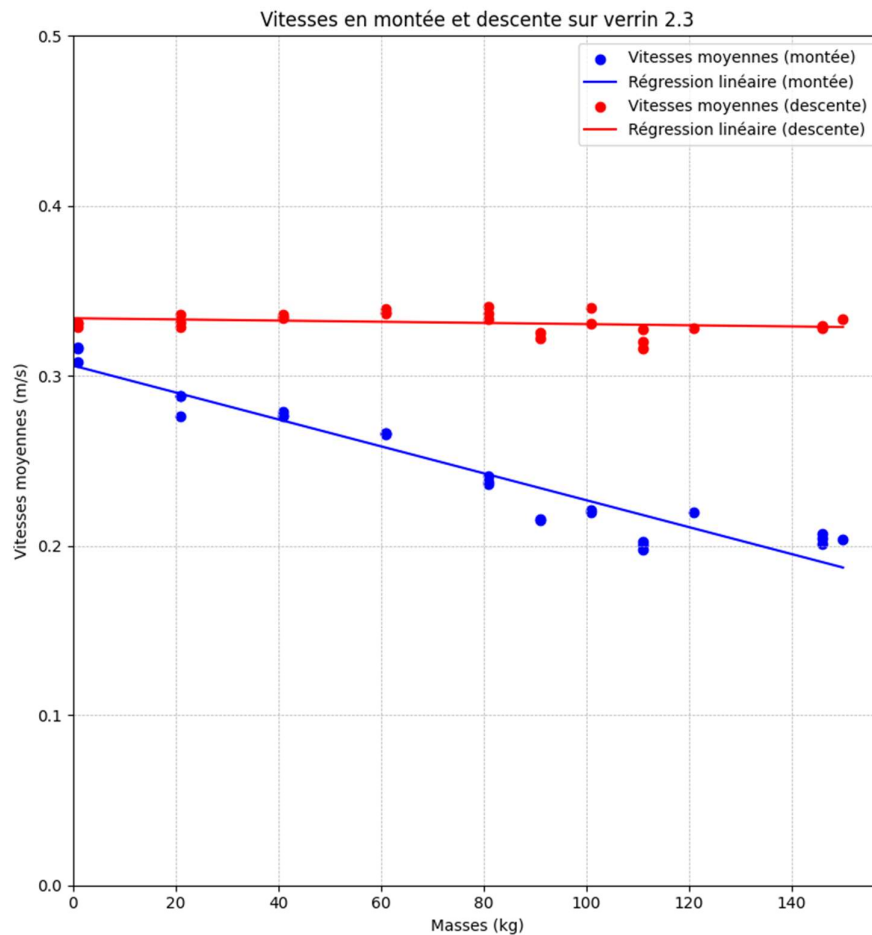


Figure 18 : courbe bilan vérin 2.3

Ce graphique montre les vitesses de vérins modifiés, chaque point mesure un enregistrement. En rouge, ce sont les vitesses en descente, les vérins étant censé garder leur position mais sous contrainte la linéarité de ces courbes et leurs faibles décroissances et plutôt très cohérentes.

Les courbes en bleu montrent la vitesse du vérin lorsque celui-ci remonte donc avec la charge tirant vers le bas on peut voir que pour le vérin 2.2 cette vitesse est d'environ 0,13 m/s et sur le vérin 2.3 cette vitesse est d'environ 0,3m/s. Plus le vérin va être chargé plus cette vitesse va diminuer, pour atteindre sur le 2.2, 0,11m/s et sur le 2.3 0,2m/s.

## Bilan

A partir des données traitées nous avons pu établir ce tableau bilan, pour rappel les 2 premières lignes sont les données des vérins avant modification des moteurs, les données viennent du site du fabricant gomotorworld.

Référence	Vitesse à vide (m/s)	Vitesse en charge (m/s)
LA50-1 (12V 160W)	0,16	0,08
LA50-A (12V 160W)	0,065	0,03
LA50-1 (24V 400W) – Vérin 2.3	0,3	0,16
LA50-A (24V 400W) – Vérin 2.2	0,13	0,11

On peut donc bien voir que les vitesses ont fait pratiquement toutes X2 est même pratiquement X3 sur le LA50-A en charge.

## Missions annexes

Au-delà de ce travail sur les vérins du robot qui a occupé une bonne partie du début de mon stage (détaillé dans la partie Planification), j'ai également eu à réaliser plusieurs autres missions toutes en lien avec le robot. Ça m'a permis de me rendre compte de la pluridisciplinarité de l'informatique embarqué et en l'occurrence de la robotique.

### Installation des LED

Pour des besoins de démonstrations il a été décidé d'installer des rubans LED sur les pattes du robot cette tâche bien qu'assez simple a demandé l'appel à plusieurs compétences, parmi lesquels :

- Prototypage de PCB (Printed Circuit Board), utilisations de plusieurs types de connecteurs (XT-60, connecteur avioniques).
- Modélisation et impression 3D
- Communication via le port série avec Python

L'idée de ce mini-projet est d'avoir un contrôleur (en l'occurrence un ESP32) qui reçoit des commandes de l'ordinateur du robot pour allumer un segment de ruban led correspondant à un vérin en mouvement.



Figure 19 : Boîtier de contrôle des LED

Cette mission bien qu'assez simple m'a permis de mettre en pratique mes compétences en électronique et d'en apprendre encore un peu plus, pour être le plus polyvalent possible en tant qu'ingénieur en informatique embarqué et plus particulièrement en robotique.

## Ordinateur de bord

Une autre mission qui a occupé une partie de mon stage a été l'installation de l'ordinateur de bord sur le Mégabot. En effet comme détaillé dans la chaîne de traitement plus haut (Figure 13 : Chaîne de traitement des données lors des test du vérin), le Mégabot nécessite un ordinateur pour fonctionner. Plutôt que d'utiliser un ordinateur portable, il a été décidé d'installer un ordinateur de bord qui resterait en permanence sur le robot.

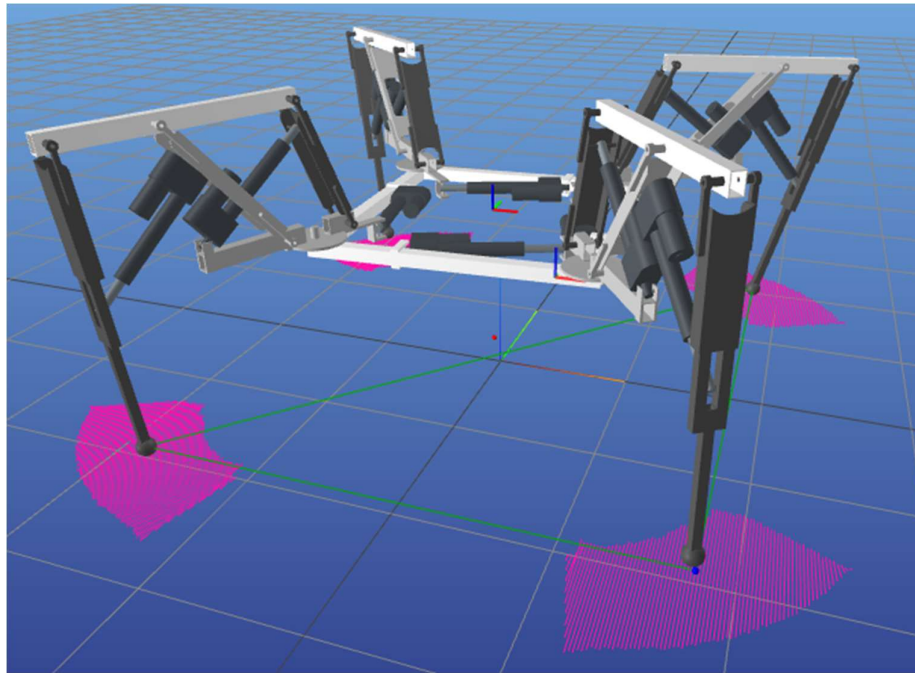


Figure 20 : Capture d'écran du logiciel Placo (logiciel de simulation du robot)

Ce pc est un pc au format nuc qui est configuré avec un ubuntu 20.04 LTS, il m'a fallu en plus de trouver un système de fixation pour le pc, le configurer avec toutes les librairies Python nécessaires mais aussi régler certains problèmes de compatibilité entre un système qui a été développé sous Windows pour le rendre compatible avec un linux, que ce soient des problèmes de compatibilités de librairie comme des problèmes d'encodage.



*Figure 21 : Pc Nuc et boîtier LED sur leur plaque support*

J'ai également dû usiner une plaque d'acier pour fixer le pc et le boîtier LED, pour cela j'ai utilisé un logiciel de modélisation 3D pour faire un fichier SVG que j'ai ensuite envoyé dans une machine de découpe à jet d'eau / sable.

## Routage câble

Pour rappel le robot étant un prototype en développement permanent il est actuellement statique, posé sur des chandelles pour voitures, les câbles étaient donc mis de manière aléatoire. Il m'a donc fallu trouver une solution pour faire quelque chose de propre au niveau du routage des câbles, car au-delà du côté esthétique du problème, il faut quelque chose de fonctionnel, un câble mal routé qui passe dans une articulation peut être abîmé, voir sectionné. J'ai donc fabriqué plusieurs pièces que j'ai imprimées en 3D pour que les câbles passent proprement le long du robot



Figure 13 : Ensembles des pièces 3D passe câbles pour le MegaBot



Malgré ces pièces, il m'a également fallu raccourcir certains câbles pour éviter d'avoir à enrouler les câbles sur eux même.



*Figure 22 : rendu final avec câble correctement routé le long de la patte du robot*

## Planification

Pendant ce stage une difficulté que j'ai rencontrée a été l'organisation dans la réalisation des tâches. En effet quand je suis arrivé, j'ai commencé directement sur la caractérisation des vérins ensuite j'ai eu à mener en parallèle les rubans led et le routage des câbles. Puis j'ai fini sur le nouvel ordinateur. Concrètement les missions m'ont été données au fil de l'eau, ce qui n'a pas favorisé la vision globale du projet. J'ai pris cela comme un challenge. C'était à moi de m'adapter et d'aller chercher les informations manquantes et de poser les bonnes questions pour obtenir la vision globale des besoins d'évolution du robot.

Afin de m'organiser, j'ai réalisé un diagramme kanban pour découper chacune de mes missions en plus petites tâches. C'est un outil très utile pour mener plusieurs objectifs en parallèle.

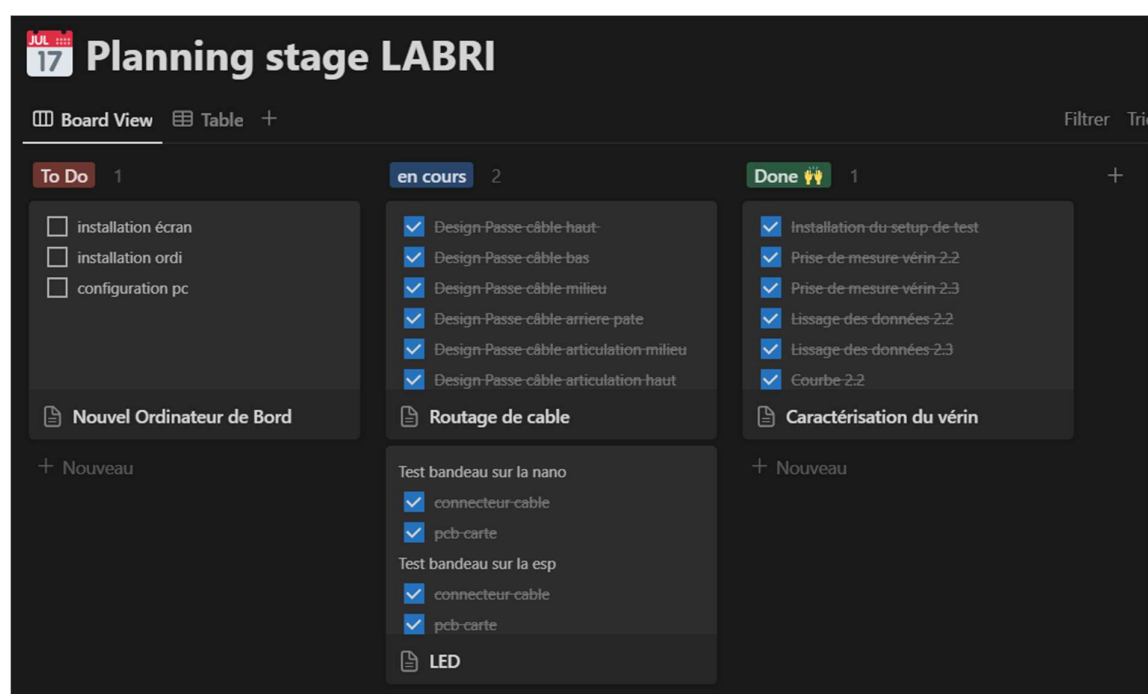


Figure 23 : planning organisationnelle début mars

Au-delà de mes missions j'ai aidé dans la vie du Fablab que ce soit sur la formation sur les imprimantes 3D et leur entretien. Je suis aussi intervenu sur la fabrication de nouveaux meubles de rangement à partir de profilés alu en utilisant le matériel du labo.

# Illustrations

Figure 1: Logo RHOBAN .....	3
Figure 2 : Les robots Sigmaban concourent pour Rhoban au sein de la Robocup .....	4
Figure 3 : logo Eirlab, association du fablab de l'Enseirb .....	4
Figure 4 : Robot MégaBot .....	6
Figure 5 : MétaBot.....	9
Figure 6 : schéma patte du métabot .....	9
Figure 7 : patte du métabot .....	10
Figure 8 : schéma de fonctionnement patte du MégaBot .....	11
Figure 9 : Jambe Mégabot avec vérin 2 sorti et 3 rentré .....	12
Figure 10 : Jambe Mégabot avec vérin 2 rentré et 3 sorti.....	12
Figure 11 : Vérin utiliser sur le Mégabot.....	13
Figure 12 : Installation pour la caractérisation du vérin .....	14
Figure 13 : Chaîne de traitement des données lors des test du vérin .....	15
Figure 14 : connecteur avionique male 4 pins .....	16
Figure 15 : Bilan des tests à 1kg.....	17
Figure 16 : Calcul de la vitesse crête a crête.....	18
Figure 17 : courbes bilan vérin 2.2 .....	18
Figure 18 : courbe bilan vérin 2.3 .....	19
Figure 19 : Boitier de contrôle des LED.....	21
Figure 20 : Capture d'écran du logiciel Placo (logiciel de simulation du robot) .....	22
Figure 21 : Pc Nuc et boitier LED sur leur plaque support.....	23
Figure 22 : rendu final avec câble correctement routé le long de la patte du robot .....	25
Figure 23 : planning organisationnelle début mars .....	26

## Sources

Thèse : Vérins hydrauliques par Robert AFFOUARD,

<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/mecanique-th7/transmission-de-puissance-hydraulique-et-pneumatique-42187210/verins-hydrauliques-b6040/>

Thèse : Conception et développement d'un robot mobile innovant à manipulateurs parallèles intégrés par Titouan Le Marec,

[https://publications.polymtl.ca/5453/1/1972427\\_TitouanLeMarec.pdf](https://publications.polymtl.ca/5453/1/1972427_TitouanLeMarec.pdf)

Thèse : Optimisation de la locomotion de robots bas coût à pattes par Grégoire Passault,  
<https://theses.fr/2016BORD0297>

Etat de l'art du projet MEGABOT par Floris JOUSSELIN & Mathilde POMMIER :

[https://github.com/robotcopper/project\\_megabot\\_robotics\\_and\\_learning/blob/main/docs/report/Megabot\\_StateOfArt.pdf](https://github.com/robotcopper/project_megabot_robotics_and_learning/blob/main/docs/report/Megabot_StateOfArt.pdf)

Article Modélisation des robots humanoïdes issu de Automatique – Robotique par Gabriel ABBA, Yannick AOUSTIN : <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/automatique-robotique-th16/conception-modelisation-et-commande-en-robotique-42398210/modelisation-des-robots-humanoides-s7753/>

# Conclusion

En conclusion de ce rapport, je veux remercier :

Olivier Ly, pour m'avoir accueilli en stage à Rhoban

Julien Allali, pour son encadrement au Fablab de l'Enseirb

Mathilde et Floris pour le travail que nous avons effectué ensemble

Ce stage m'a permis de me conforter dans mon projet de devenir ingénieur en informatique embarqué / robotique.

Travailler dans un laboratoire de recherche est aussi une expérience très intéressante, la perception des enjeux n'est pas du tout la même, en effet le MégaBot est un démonstrateur dont la construction a commencé en 2016. Les enjeux ne sont donc pas du tout les mêmes qu'en entreprise, ce qui crée une atmosphère de travail différente, plus propice à la compréhension en profondeur des sujets.

J'ai été très fortement séduit par la pluridisciplinarité de ce métier, par la grande variété de missions que j'ai eu à réaliser.

Je pense avoir acquis de nouvelles compétences en électronique ce qui est une discipline très importante en informatique embarquée.