

Etudiant :

HART Tristan

Tuteurs :

ASTORI Rodolphe

VANTROYS Thomas

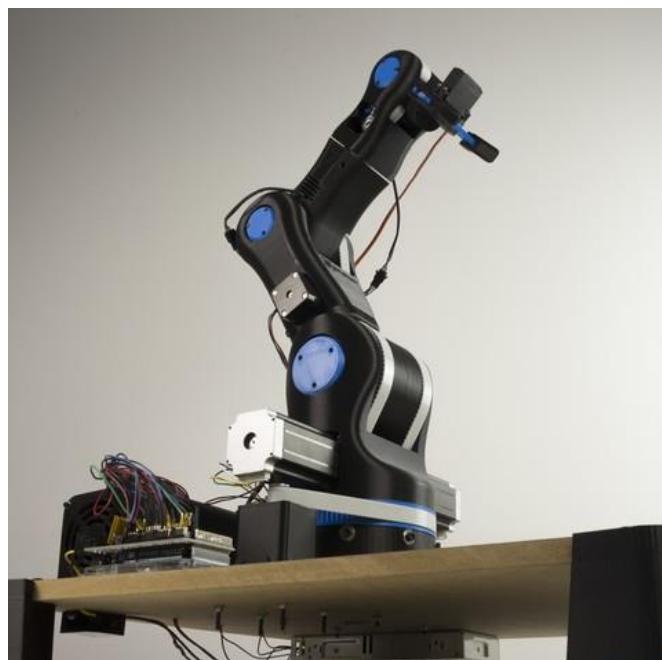
BOE Alexandre

REDON Xavier

INGÉNIEUR POLYTECH LILLE
Département Informatique Microélectronique Automatique

Mémoire intermédiaire de PFE

DEVELOPPEMENT D'UN COBOT



Année universitaire 2017-2018

SOMMAIRE

Introduction	Page 3
1. Présentation du projet	Page 4
a) Qu'est- ce que la cobotique ?	Page 4
b) Cahier des charges	Page 5
2. Travail effectué	Page 8
a) Conception du bras robotique	Page 8
b) Motorisation du bras robotique	Page 9
c) Difficultés rencontrées	Page 11
3. Suite du projet	Page 12
a) Travail restant	Page 12
b) Planning prévisionnel	Page 12
Conclusion	Page 14
Bibliographie	Page 3
Annexes	Page 3

INTRODUCTION

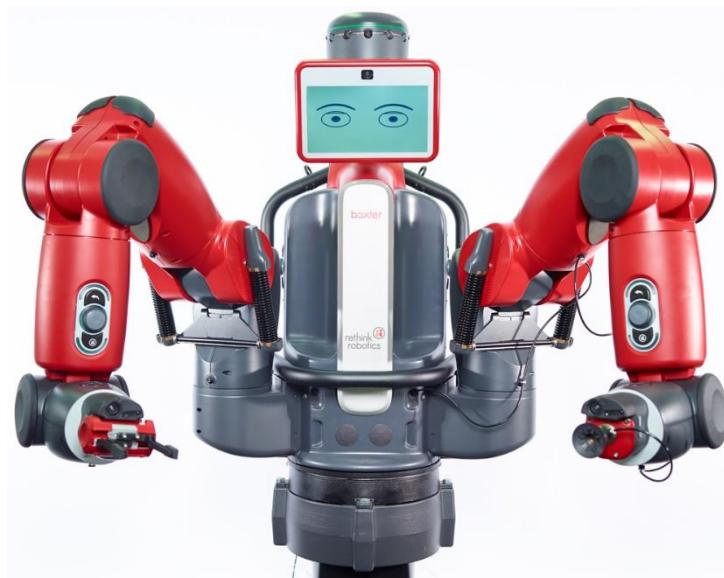
Ce projet se déroule dans le cadre de ma formation ingénieur Informatique Microélectronique Automatique à l'Ecole Polytechnique Universitaire de Lille. Lors de cette formation, il m'est demandé de travailler sur un projet de fin d'étude. J'ai choisi de travailler sur le développement d'un robot collaboratif, ou cobot, à partir d'un bras robotique open source intégralement imprimé à l'imprimante 3D. Mon choix s'est porté sur ce sujet pour plusieurs raisons. Tout d'abord, car la cobotique est un sujet qui me fascine, ce projet était donc pour moi une occasion d'assouvir ma curiosité à propos de domaine. De plus, la cobotique est en pleine croissance dernièrement, on peut dire que la cobotique est un des éléments clés de l'usine du futur. C'était donc pour moi l'occasion de me former sur ce sujet à la fois réaliste et innovateur.

Ce rapport apparaît dans le cadre de ce projet de fin d'étude afin de rendre compte, à la moitié du temps alloué, du travail effectué lors de mes séances de projet. Ainsi, plusieurs points seront abordés dans ce rapport, comme le cahier des charges, le travail effectué, les difficultés rencontrées ou encore le travail restant à effectuer. Bien entendu, ce rapport viendra se clore avec une conclusion faisant la synthèse de ce dossier et résumant la suite de ce projet.

I/ PRESENTATION DU PROJET

a) Qu'est-ce que la cobotique ?

Les robots industriels font partie intégrante de notre paysage industriel. Ils sont de véritables machines capables d'effectuer des tâches en suivant un programme de façon automatique. Ainsi, la robotique joue un rôle majeur au sein des industries en permettant d'automatiser des tâches pénibles, d'améliorer la productivité et la qualité de la production. Pourtant, la robotique industrielle « Traditionnelle » comporte certaines faiblesses : elle demande un investissement lourd, une mise en place complexe et est surtout peu flexible.



à de multiples projets et non pas être simplement cantonné à une tâche unique.

Le cobot est également plus économique. En effet, le robot traditionnel, pour des mesures de sécurité, doit être entouré de barrières, ce dispositif couteux n'est pas obligatoire dans les projets intégrant un robot collaboratif. Les cellules robotiques collaboratives permettent ainsi de gagner 30 à 40% de surface au sol par rapport à une cellule classique.

C'est dans ce contexte qu'intervient le robot collaboratif. Une des forces importantes du robot collaboratif est sa facilité de programmation. Le cobot est très simple à programmer et permet ainsi pour des fonctionnalités simples de programmer soi-même le robot. À titre d'exemple, le robot collaboratif est capable d'apprendre par le geste, l'opérateur effectuera les mouvements souhaités avec le bras du robot, qui se souviendra de ces gestes et pourra ainsi les répéter. Il peut être facilement déplacé, réinstallé et reprogrammé, peut alors être intégré

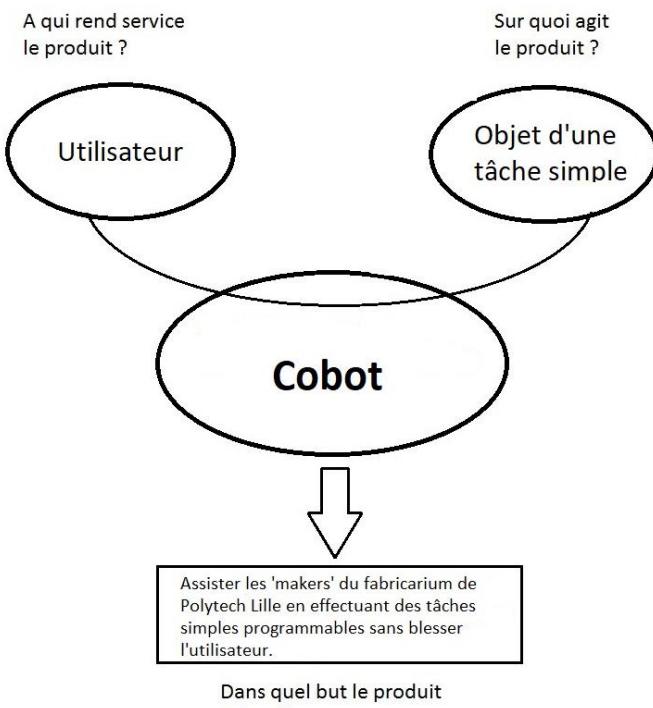


Enfin, majoritairement à cause de la panoplie de capteurs embarqués sur un cobot, il reste moins rapide en termes de vitesse de mouvement comparé à un robot classique. D'un point de vue conception, le cobot est également moins robuste que le robot industriel.

b) Cahier des charges

Comme pour tout projet, il faut définir un cahier des charges permettant de d'identifier le projet et toutes ses spécificités. Pour cela, je me sers de l'analyse fonctionnelle, une démarche qui consiste à rechercher et à caractériser les fonctions offertes par un produit pour satisfaire les besoins de son utilisateur. Pour le projet, je me sers de la 'bête à corne', du diagramme 'pieuvre', du diagramme 'FAST' et d'un diagramme de Gantt.

DIAGRAMME BETE A CORNES



Le diagramme 'Bête à corne' ci-contre sert à mettre en évidence le but du projet, à bien définir les acteurs et les objectifs d'un produit.

Ci-dessous, le diagramme 'pieuvre' sert à identifier chaque fonction du projet et de les séparer en fonctions principales, qui sont les buts des relations créées par l'objet entre au moins deux éléments de son milieu extérieur, et fonctions contraintes, qui sont des exigences d'un élément contraignant du milieu extérieur.

Ici, nos fonctions sont :

FP1: Assister l'utilisateur dans la réalisation d'une tâche.

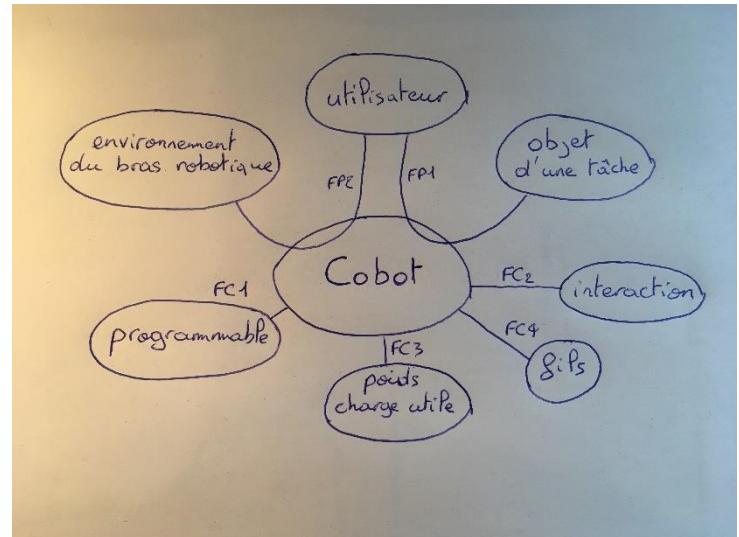
FP2: Préserver l'environnement du bras (humain ou matériel).

FC1: Être programmable.

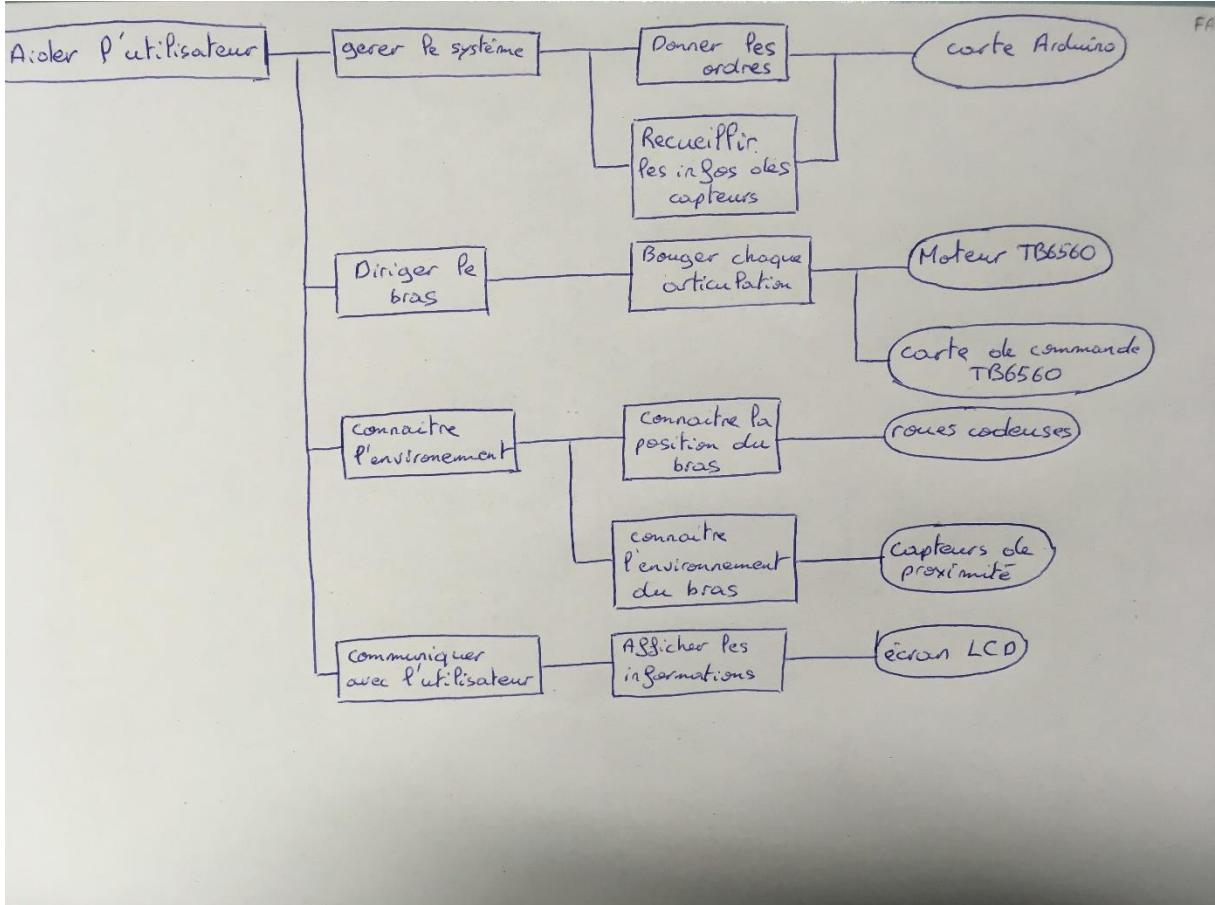
FC2: Interagir avec l'utilisateur.

FC3: Doit savoir soutenir une charge.

FC4: Protéger le câblage apparent.



Le diagramme 'FAST' ci-dessous me sert à définir en amont le matériel qui sera nécessaire à la réalisation du projet. En partant d'un objectif du projet, on répond en se déplaçant sur la droite avec la question 'comment ?'. On en vient donc à faire un choix préliminaire du matériel assurant chaque besoin.



Le matériel nécessaire que j'ai choisi avant le lancement réel du projet est donc le suivant :

- Le bras robotique open source Moveo BC3ND partiellement monté.
- Une carte Arduino MEGA 2560 afin de pouvoir modifier la position du robot.
- Un joystick shield arduino afin de pouvoir contrôler le robot et le faire bouger.
- Des moteurs pas-à-pas afin de motoriser le bras robotique de façon précise.
- Des cartes de commandes TB6560 afin de contrôler les moteurs par le biais de l'arduino.
- Des capteurs de types roues codeuses afin de pouvoir récupérer la position du robot.
- Un écran LCD pour arduino afin de renseigner l'utilisateur sur le mode de fonctionnement.
- Des capteurs de proximités afin de connaître l'environnement du robot.
- Des sondes de courant, afin d'effectuer le monitoring du courant dans les moteurs et détecter une collision.
- Un accéléromètre afin de détecter une éventuelle détection.

Maintenant que le projet est bien compris, je peux créer un planning prévisionnel ayant pour but de définir comment les tâches vont se suivre afin de parvenir à l'aboutissement du projet. Dans mon cas, je dois commencer par terminer de concevoir mon bras robotique qui n'est que partiellement monté. Afin de bien maîtriser sa programmation et sa dynamique, je le programmerai en chaîne cinématique ouverte (axe par axe) avant d'implémenter la partie capteur relative au cobot. Puis j'implémenterai la partie capteur sur un premier axe, puis sur un deuxième etc... jusqu'à gérer tout le robot.

Les tâches de mon projet, avec leurs dates prévisionnelles de début et de fin sont résumées sur le tableau suivant :

GANTT project				
	Nom	Date de début	Date de fin	Durée
• Tâches Préliminaires		25/09/17	20/10/17	20
• Cahier des charges & Bibliographie		25/09/17	29/09/17	5
• Terminer la conception du bras robotique.		02/10/17	06/10/17	5
• Motorisation du bras robotique.		09/10/17	20/10/17	10
• Partie 1: Base du Mouvement:		23/10/17	10/11/17	15
• Mouvement du bras sur 1 axe en boucle ouverte	23/10/17	01/11/17	8	
• Mouvement du bras en chaîne cinématique ouverte	02/11/17	10/11/17	7	
• Partie 2: Mode collaboratif sur 1 axe:		13/11/17	15/12/17	25
• Détection d'un obstacle sur le premier axe.	13/11/17	01/12/17	15	
• Reprise du mouvement après obstacle.	04/12/17	15/12/17	10	
• Partie 3: Mode collaboratif sur 2 axes:		08/01/18	26/01/18	15
• Détection d'un obstacle sur le deuxième axe.	08/01/18	12/01/18	5	
• Reprise du mouvement après obstacle.	15/01/18	19/01/18	5	
• Fusion des programmes	22/01/18	26/01/18	5	
• Partie 4: Robot global:		29/01/18	16/02/18	15
• Détection sur les autres axes.	29/01/18	02/02/18	5	
• Reprise du mouvement après obstacle.	05/02/18	09/02/18	5	
• Fusion des programmes	12/02/18	16/02/18	5	

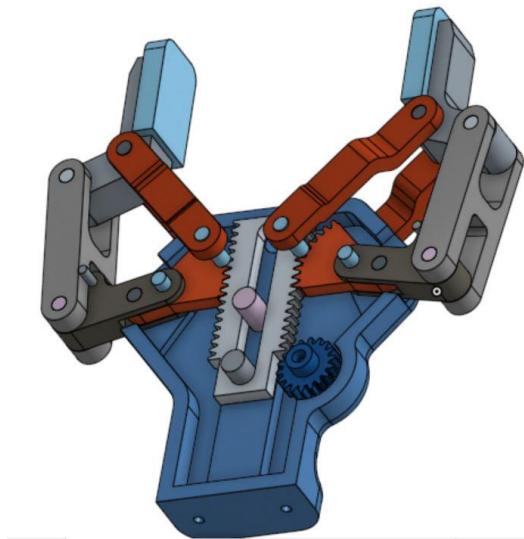
Maintenant que le projet est compris, que mes premiers choix sont validés par mes tuteurs et que ma trame de travail est définie, je peux commencer à réellement travailler sur mon robot en commençant par la fin de sa conception.

II/ TRAVAIL REALISE

a) Conception du bras robotique

Afin de terminer la conception du bras robotique Moveo BCN3D présent au Fabricarium, il convient d'achever la création de plusieurs éléments du bras. Il faut entre autres créer le préhenseur venant se placer au bout du bras ainsi que la base sur laquelle viendra se fixer notre robot démonstrateur.

Pour le préhenseur du bras, je pensais réutiliser le préhenseur que j'ai dû designer lors des séances "d'initiation à la mécatronique" lors du dernier semestre. Ce préhenseur (présenté ci-dessous) a été réalisé sous le logiciel de CAD en ligne 'Onshape'. Ce logiciel a pour intérêt de sauvegarder chacune des créations sur un cloud, ce qui nous permet d'accéder à nos fichiers depuis n'importe quel PC.

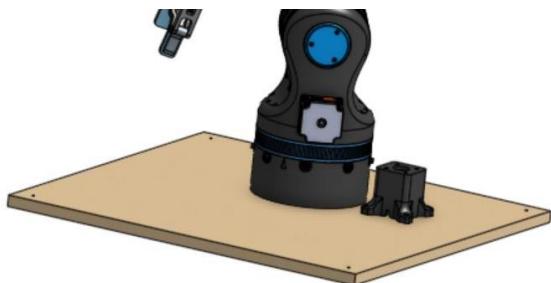


Le point fort de ce type de préhenseur est qu'il peut prendre des objets ronds ou plats grâce aux biellettes qui permettent à la pince de se courber pour s'adapter à la forme de l'objet. Néanmoins, il est nécessaire d'utiliser des élastiques sur la vraie pince afin d'éviter que la pince ne se mettent en position 'prise d'objet arrondi' à cause des frottements plastique-plastique.



J'ai rajouté des capteurs de force au bout des doigts de la pince (photo de droite). Leur intérêt est de mesurer la force appliquée à l'objet entre les doigts et donc de savoir si on exerce une trop grosse pression sur l'objet. Les 2 câbles de chaque capteur ont été collés ensemble avec du chatterton afin d'éviter leur dispersion et ainsi diminuer le risque qu'ils s'arrachent durant une tâche.

Pour ce projet, il faut également créer une base pour accueillir le bras. Cette base devra être assez lourde et assez solide afin de supporter le poids du robot ainsi que de sa charge. Cela devrait suivre l'exemple suivant :



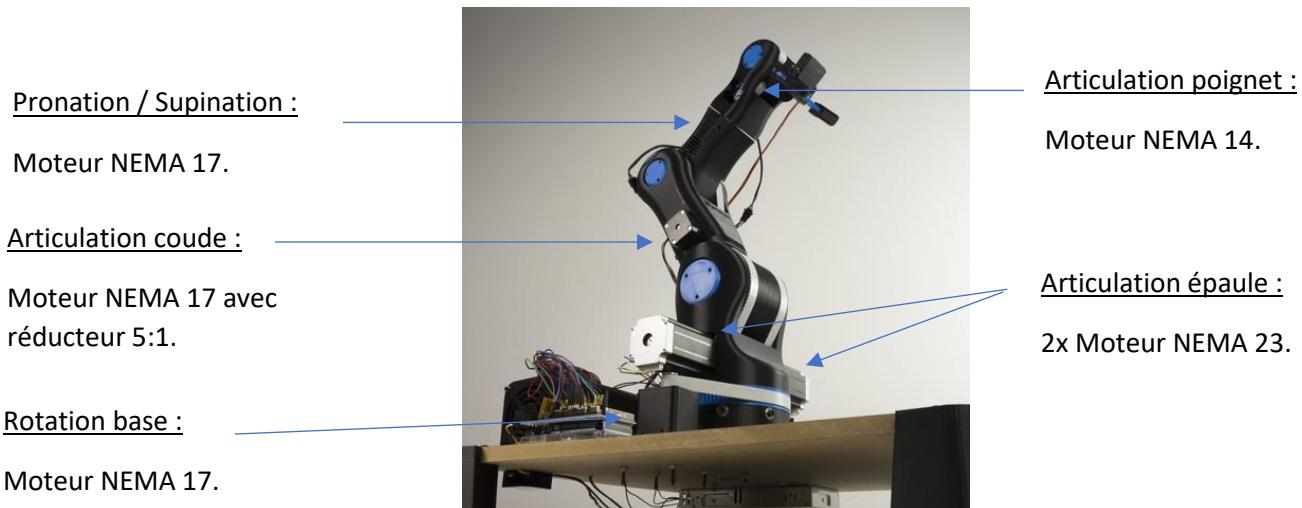
Un plan de menuiserie a donc été réalisé et a été envoyé au menuisier de Polytech.

La planche fait 55cm x 50cm et est réalisée en contreplaqué 15 mm, ce qui la rend assez lourde pour empêcher le robot de basculer en cas de port de charge lourde.

Maintenant que le robot est fini et qu'il a été installé sur son support, il faut le doter de ses 6 moteurs afin qu'il puisse se mouvoir.

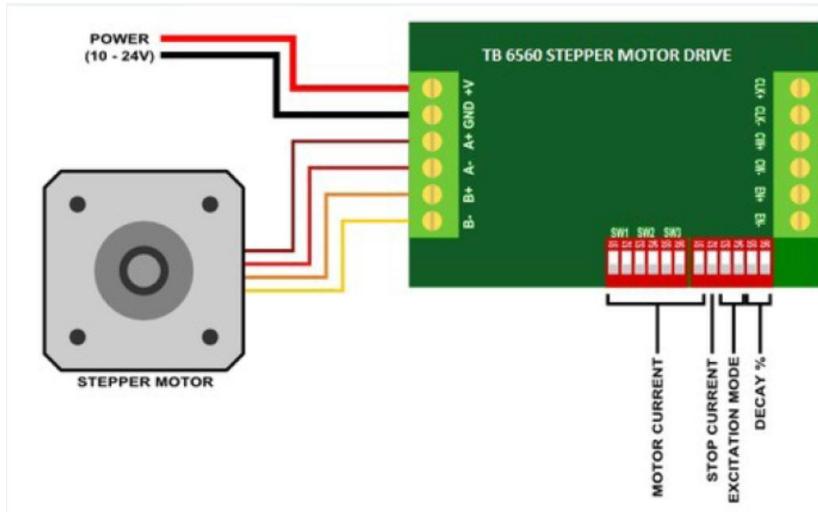
b) Motorisation du bras robotique

Le bras robotique Moveo BCN3D est doté de 6 emplacements moteurs prédéfinis. C'est un bras robotique avec 5 degrés de liberté. Chaque articulation est bougée via un système de poulies-courroies qui permettent un meilleur contrôle sur la position du robot.



Le schéma ci-dessus montre les types et les localisations des moteurs sur le bras robotique. Chacun de ces moteurs est contrôlé par un driver de moteur TB6560. Ce dernier sert à garder une commande de courant à injecter dans le moteur afin d'avoir un couple de maintien au niveau de l'articulation. Le robot garde donc sa position même si les moteurs ne sont pas utilisés.

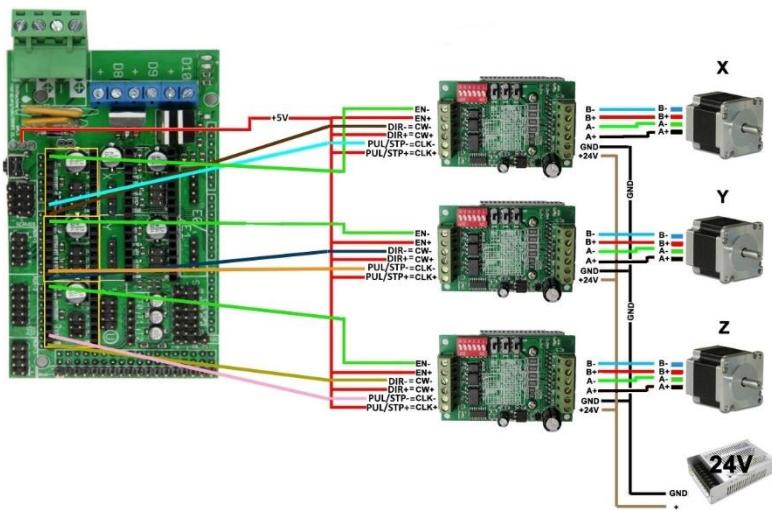
Les cartes TB6560 sont connectées selon le schéma suivant :



La tension d'alimentation de la carte est faite via un transformateur 24V se servant du réseau. La carte est quant à elle configurée pour des pas de 1/16', ce qui correspond à la précision de pas du moteur pas-à-pas.

Les 6 cartes TB6560 sont quant à elle commandées grâce à une carte Ramps V1.4. Son intérêt est qu'elle permet d'interfacer différents périphériques qu'on utilise souvent, comme des moteurs pas à pas, des dispositifs de puissances ou des contacts ou des servo-moteur. La carte est alimentée en 12V et est montée sur la carte Arduino Mega 2560.

La carte Ramps et les drivers TB6560 sont cablés selon l'exemple suivant :



Pour une question d'esthétisme, le bloc d'alimentation 220V->12V a été fixé sous le socle du robot. Une boîte a également été réalisée afin de stocker les 6 drivers ainsi que pour stocker le Ramps. Le but étant de cacher ces drivers entourés de câbles tout en les laissant à proximité du bras sans trop les éloigner.

A cause d'un problème de référence du fournisseur pour la comptabilité de l'école, un seul driver a été acheté pour l'instant et il manque encore le moteur de l'articulation du coude. Néanmoins, cela n'est pas handicapant car avec un driver, il m'est possible de commencer la programmation du bras en commençant par la base. Ce qui me permettra d'acquérir la méthode de programmation que je pourrai répliquer lorsque la totalité de mon matériel sera disponible.

Cela clôture la partie sur le travail réalisé, le reste du travail à faire sera décrit plus loin dans ce rapport.

c) Difficultés rencontrées

Comme lors de tout projet, j'ai été, ou je suis encore confronté à quelques difficultés. En effet, j'ai été confronté à 2 problèmes, un majeur et un mineur.

Le problème majeur que j'ai rencontré concerne le matériel nécessaire à la motorisation du bras. Le design du bras est fixé et ne peut plus être modifié. Les moteurs et l'ensemble de l'électronique autour sont donc également imposés. Lors de mon lancement de projet, un devis avait été lancé chez un fournisseur qui proposait un kit comportant tous les éléments nécessaires à la motorisation du bras. Malheureusement, alors que j'étais en train de faire la fin de la conception de mon bras, il a été conclu que le fournisseur, qui ne répondait pas, n'enverrait pas le kit. Il a donc fallu que j'ailles dans la BOM (Bill Of Materials) du Moveo BCN3D afin d'aller chercher chaque composant nécessaire moi-même chez des fournisseurs tels que Gotronics, RS ou Mouser. La plupart du matériel a été retrouvé mais certains composants, comme le moteur avec le réducteur 5:1 ou les drivers TB6560, n'étant pas commun, ne se retrouvaient pas chez ces fournisseurs. Ils n'ont donc pas encore été commandé. De plus, pour des raisons « d'inertie administrative », il m'a fallu un mois et demi pour recevoir mes commandes. Cela a donc fortement ralenti la progression de mon projet.

Le deuxième problème notable auquel j'ai été confronté est la recherche des datasheets des composants. En effet, l'utilisation de la carte TB6560 n'étant pas très répandue, et les projets sur la motorisation n'étant pas détaillé, j'ai rencontré pas mal de difficultés à trouver comment connecter mon TB6560 avec le Ramps et sont souvent contradictoires. L'absence de datasheet claire sur ces 2 composants a donc rendue les recherches longues afin d'être sûr du câblage a adopté. A l'heure actuelle, un montage a été effectué et aucun problème n'a été rencontré.

III/ SUITE DU PROJET

a) Travail restant

Au point actuel du projet, il reste encore beaucoup de travail à faire. En effet, le retard dû au temps de réception du matériel a occasionné énormément de retard sur le planning prévisionnel. Je ne peux donc plus me cantonner à mes heures allouées au projet pour combler ce retard. Il me faut acquérir au plus vite la méthode de programmation des moteurs afin de mouvoir le bras dans les plus brefs délais. Au plus tôt le bras bouge, au plus tôt je pourrai implémenter la partie capteur.

Lorsque les capteurs seront installés, je visionnerai la consommation de courant dans un moteur afin de détecter les pics de courant dû à une collision. En commençant par la base que je mettrai en rotation, je devrai placer un obstacle, et lorsque le robot entrera en contact avec cet obstacle. Le robot devra s'arrêter puis lorsque l'obstacle sera parti, le robot devra reprendre sa rotation. Pour cela, je compte utiliser la même méthode qu'un humain qui rencontre un obstacle. Je continuerai d'exercer une légère pression afin de connaître si l'obstacle s'est déplacé ou est parti.

Quand cette méthode aura été appliquée sur la base, il faudra réitérer cette dernière sur la deuxième articulation, puis la troisième... jusqu'à englober le robot dans sa totalité.

Deux modes de fonctionnement sont également à envisager. Un mode 'autonome' où le robot effectue une tâche de lui-même et détecte les collisions et prends connaissances de son environnement afin d'éviter les obstacles, et un mode 'apprentissage' qui serait une première version du mode où l'opérateur guide le robot lui-même en le bougeant à la main. Une acquisition de chacune des positions des moteurs est également envisagée afin de pouvoir retracer les trajectoires effectuées.

b) Planning prévisionnel

Aux vues de l'avancement du projet et du retard rencontré dans son avancement, il convient de définir un nouveau planning prévisionnel rapide décrivant la suite des évènements pour cette deuxième partie du projet.



Nom	Date de début	Date de fin
Partie 1: Base du mouvement	25/12/17	12/01/18
• Mouvement du bras sur 1 axe	25/12/17	04/01/18
• Mouvement du bras en cinématique	05/01/18	12/01/18
Partie 2: Mode collaboratif sur 1 articulation	15/01/18	26/01/18
• Détection d'obstacle sur le premier bras	15/01/18	19/01/18
• Reprise du mouvement	22/01/18	26/01/18
Partie 3: Mode collaboratif sur 2 articulations	29/01/18	02/02/18
Robot Global en collaboratif	05/02/18	16/02/18

Cette deuxième partie de projet voit ses tâches se dérouler assez rapidement. En effet, il n'y a quasiment plus de cours en cette période de l'année, ce qui va me permettre de passer plus de temps sur mon projet et ainsi avancer plus rapidement.

Pour ce planning, je fais l'hypothèse que l'implémentation de la partie collaborative sera plus longue sur la première articulation, mais qu'une fois que la méthode sera acquise sur cette dernière, elle sera plus rapidement implémentée sur les autres articulations.

CONCLUSION

Au point actuel du projet, il reste encore énormément de travail à réaliser. En effet, un élément bloquant a induit un retard notable sur l'avancement du projet. Il va donc falloir persévérer dans le travail à ne plus me cantonner aux heures allouées au projet. Mon objectif n'est pas uniquement d'acquérir la méthodologie de la robotique collaborative, mais également de pousser ce projet le plus loin possible. Je reste toutefois confiant quant à l'avancement du projet. Ce projet me démontre à quel point il est complet, m'amenant à mobiliser de nombreuses compétences autour de la mécatronique : j'ai pour l'instant eu à utiliser des compétences en conception mécanique et en électronique, des compétences en informatique et en automatique vont être mobilisées dans la suite du projet. On peut donc dire que ce projet, en plus d'être innovant, est très formateur. Le lieu où je travaille la plupart du temps, le fabricarium de Polytech, est un open space où je rencontre beaucoup de personnes d'horizons différents qui me donnent des conseils, m'aident ou me questionnent et rendent le projet encore plus enrichissant.

BIBLIOGRAPHIE

Informations sur la cobotique :

https://projets-ima.plil.fr/mediawiki/index.php/P25_D%C3%A9veloppement_d%27un_cobot

<http://www.humarobotics.com/la-robotique-collaborative/>

<http://www.mb-s.fr/robot-collaboratif-vs-robot-industriel-traditionnel.html>

<https://www.generationrobots.com/blog/fr/2015/01/robots-collaboratifs-et-robots-traditionnels-les-5-differences-cles/>

Vidéos de présentations de différents cobots :

https://youtu.be/8N9TsiMQ_el

<https://youtu.be/S4mULTknb2I>

<https://www.youtube.com/watch?v=2KfXY2SvlmQ>