

Sujet du Stage :

Conception, fabrication et mise en œuvre de trois bancs de test pour des robots de type Soccer Jr et Soccer SSL

Sous-Titre :

Rapport de Stage de fin d'étude Aéro 5

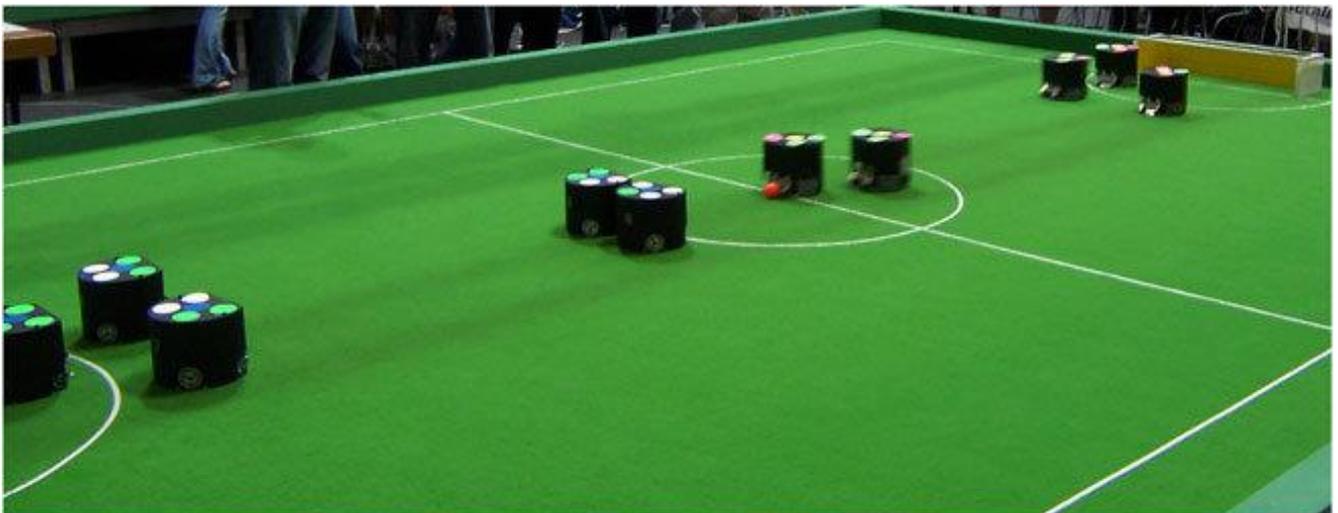


Table des matières

Introduction	1
1 Présentation de l'association et du contexte général	2
1.1 Le Fablab: La collaboration au service de la pédagogie	3
1.2 Le Technoshop: Un apport technique et technologique aux entreprises	7
1.3 La Robocup: Une compétition robotique mondialisée	11
2 La conception et la Fabrication des Bancs de test	17
2.1 Workshop ROS : Se familiariser avec les concepts Robotiques .	17
2.2 Analyse fonctionnel du robot	22
2.2.1 Module Moteur-Roue	23
2.2.2 Module Kicker	24
2.2.3 Module Dribbler	25
2.3 Cahier des Charges	26
2.4 Conception des Bancs	27
2.4.1 Résultats préliminaires	27
2.4.2 Schémas fonctionnels	30
2.4.3 Modèles CAO (Conception assistée par Ordinateur) . .	35
2.5 Plans fonctionnels avec tolérances	40
2.5.1 Pièces Tournées	40
2.5.2 Pièces Fraisées	43
2.6 Usinage des Pièces et Assemblage	45
2.6.1 Pièces Tournées	45
2.6.2 Pièces Fraisées	46
2.7 Prix de Fabrication du Prototype Opérationnel	50
2.8 Perspectives et Améliorations	52
Conclusion	55
A Annexe 1: Fiche Technique Imprimante 3D Ender 3	58
B Annexe 2: Fiche Technique Imprimante 3D Prusa i3 MK3S	59
C Annexe 3: Fiche Technique Découpeuse, Graveuse laser Trotec Speedy 300	60
D Annexe 4: Fiche Technique Fraiseuse Microcut MM430	61

E	Annexe 5: Fiche Technique Tour d'établi Siderméca TW2545G	62
F	Annexe 6: Liste Opérations Tournage extérieure	63
G	Annexe 7: Liste Opérations Tournage intérieure	64
H	Annexe 8: Fiche Technique Perceuse à colonne Creusen nKB 820	65
I	Annexe 9: Fiche Technique Scie à ruban manuelle Siderméca CY210A	66
J	Annexe 10: Table des tolérances pour alésages	67
K	Annexe 11: Table des tolérances pour arbres	68
	Bibliographie	69
	Liste des Sigles et Abréviations	70
	Lexique	71

Fiche de synthèse

Auteur : Poirier Hugo – Aéro 5 - EMO

Sujet de stage	Objectifs
<p>Conception, fabrication et mise en œuvre de trois bancs de tests pour des robots de type Soccer Jr et Soccer SSL :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Module Roue-Moteur - Module Kicker - Module Dribbler 	<p>Dimensionner l'ensemble des pièces des trois bancs.</p> <p>Dessiner les plans avec tolérances des pièces à fabriquer.</p> <p>Dessiner avec un logiciel de CAO les assemblages.</p> <p>Fabriquer les bancs de test.</p>
Client principal	Outils utilisés
<p>Robocup Soccer SSL et Robocup Junior Soccer</p> <p>Equipe bordelaise NAELIC et NAMEC</p>	<p>FreeCAD, Excel, Top Solid</p> <p>Imprimante 3D, Découpeuse laser</p> <p>Fraiseuse, Tour d'établi, Perceuse à colonne, Scie à Ruban.</p>
Etudes réalisées	
<p>Etude de certains principes de fonctionnement majeurs de la Robotique : La navigation, la manipulation, la perception, l'intégration.</p> <p>Faisabilité des systèmes développés.</p> <p>Prise en compte des tolérances normalisées lors de l'élaboration des plans de l'ensemble des pièces.</p> <p>Manipulation des machines d'usinage en respectant les règles de sécurité.</p>	
Résultats	Explications des écarts possibles
<p>Conception d'un banc unique pour les trois modules du robot.</p> <p>Rédaction des plans d'assemblage de l'ensemble des pièces du banc.</p> <p>Fabrication d'un prototype opérationnel pour le banc de test du module Roue-Moteur avec système bloquant pour la roue.</p>	<p>Cahier des charges non défini au début du stage.</p> <p>Prise en main des logiciels FreeCAD et Top Solid.</p> <p>Apprentissage des principes fondamentaux de la mécanique.</p> <p>Découverte d'un domaine technologique : la robotique.</p>
Difficultés rencontrées	Travaux à poursuivre
<p>Maîtrise des moyens de fabrications.</p> <p>Concevoir un système viable entièrement démontable et utilisable par tous en vue des déplacements liés à la compétition.</p> <p>Gestion du temps optimisable.</p>	<p>Mise en place des capteurs sur le prototype opérationnel puis réception et analyses des données.</p> <p>Fabrication des bancs pour module kicker et dribbler.</p> <p>Rédaction des codes informatiques pour la manipulation du robot.</p> <p>Mettre en place une interface ergonomique (travail préliminaire effectué)</p>

Introduction

Ce rapport s'inscrit dans un cursus ingénieur en tant que rapport de stage de fin d'études. Celui-ci s'étant déroulé du premier Mars 2021 jusqu'au 30 Septembre 2021. Le sujet du stage est le suivant : Concevoir, fabriquer et mettre en œuvre trois bancs de test pour des robots de type Soccer Jr et Soccer SSL. Le premier étant un banc avec une chaîne complète du micro-contrôleur jusqu'à la roue holonome, c'est à dire le module Moteur-Roue. Le second étant un banc avec une chaîne complète du micro-contrôleur jusqu'au module dribbler et le dernier un banc avec une chaîne complète du micro-contrôleur jusqu'au module kicker. Ce stage se déroule, au sein de l'équipe NAELIC (Nouvelle Aquitaine Électrons Libre et Innovation Club), une équipe bordelaise participant à compétition mondiale de Robotique : La Robocup Soccer SSL 2022 qui aura lieu à Bangkok en Thaïlande.

Le stage prendra place au sein du Fablab Coh@bit, situé dans l'enceinte de l'IUT de Bordeaux. L'association Coh@bit est impliqué dans la Robocup de part leurs moyens de fabrication et leur expertise technique et technologique.

La conception des bancs de test requiert de bonnes compétences en mécanique, en électronique et en programmation. Ce stage se focalisera sur la partie mécanique. L'objectif principal de ce rapport est donc la présentation des plans fonctionnels et les moyens de fabrication à utiliser pour construire les trois bancs d'essai.

Le rapport sera divisé en deux parties principales: la première présentera l'association et le contexte dans lequel le stage s'est déroulé. La seconde présentera l'ensemble des travaux effectués, ainsi que les perspectives et les potentielles améliorations à apporter au projet afin de le finaliser.

1 Présentation de l'association et du contexte général

L'association Coh@bit a été créée en 2014 au sein de l'IUT de Bordeaux par Frédéric Bos (directeur de l'IUT de Bordeaux à l'époque). Il semblait intéressant pour lui d'ouvrir un centre de ressources technologiques et pédagogiques dans un environnement polyvalent en terme de conception et de fabrication. De plus la réputation de l'IUT permet des collaborations avec les laboratoires de recherches de Bordeaux et les entreprises locales. Coh@bit est composée de deux entités, Le Fablab d'une part et le Technoshop d'autre part, prenant tous parts à la Robocup Soccer.

Les différences entre le Fablab et le Technoshop peuvent se résumer en une principale : le public visé. En effet le Fablab sera plus adapté pour des projets étudiants, personnels et professionnels ne nécessitant pas de gros moyens de production. A l'inverse, le Technoshop s'adresse plus à des entreprises, des laboratoires et des centres technologiques. Grâce à une équipe d'ingénieurs pluri-disciplinaires, le technoshop pourra répondre à des problématiques techniques précises et plus complexes.

COHqBIT
CREATIVE OPEN HOUSE
BORDEAUX METROPE TECHNOLOGY

Penser et accompagner la technologie autrement

Public visé : Entreprises / Laboratoires / Centres technologiques / Collectivités locales

TECHNOSHOP
Centre de ressources technologiques

L'OBJECTIF : placer l'innovation au cœur d'une stratégie collaborative inter-disciplinaires en alliant le potentiel humain et matériel de l'IUT, de l'université de Bordeaux et du tissu industriel régional.

Les missions du TechnoShop

APPUI AUX LABOS

- Développement de solutions technologiques
- Aide à la valorisation des résultats de recherche

PROJETS B2B

- Intégration et développement de solutions innovantes pour les différents acteurs économiques
- Prototypage de solutions technologiques
- Soutien technologique aux start-ups

PROJETS COLLABORATIFS

- Maturation de projets de la recherche vers l'industrie pour les TPE/PME
- Accompagnement de projets collaboratifs à forts TRL
- Promotion de l'approche collaborative pour le développement des projets technologiques innovants

R&D

- Ressourcement technologique

Partenaires TechnoShop
CANOE, Laboratoires de recherche

Partenaires communs aux deux structures

Public visé : Étudiants / Jeunes des missions locales / Grand public / Entreprises primo-innovantes

FABLAB
La technologie pour tous

L'OBJECTIF : Repenser les pratiques expérimentales dans une approche d'apprentissage par "le faire" et favoriser la transition numérique dans une démarche collaborative.

QU'EST CE QU'ON Y TROUVE ?
Un espace ouvert sur des moyens de fabrication numériques pour prototyper par soi-même des solutions technologiques.

Les missions du FabLab

LA FORMATION

- Formation technologique pour tous (machines, méthodes, Cao...)
- Pédagogie par le projet - stimulation créative - déclassement des publics
- Raccrochage à un parcours professionnel : par l'acquisition de compétences - création de passerelles
- Promotion des sciences et de la technologie : par la préparation des lycéens et collégiens à la réussite

L'ACCOMPAGNEMENT À

- L'entrepreneuriat notamment étudiant
- La maturation technologique des projets de start-ups

Partenaires FabLab
Fondation Orange, IUUMM, MEDEF

ALTRAN | ARS ET MÉTIERS | erdc

Figure 1: Présentation du FabLab et du Technoshop

1.1 Le Fablab: La collaboration au service de la pédagogie

Le terme de Fablab provient d'une contraction d'un anglicisme "Fabrication Laboratory" et se définit comme un atelier ouvert à tous permettant la conception et la fabrication d'objets. C'est dans la fin des années 90 que Neil Gershenfeld, alors physicien, informaticien et professeur au MIT (Massachusetts Institute of Technology) créa le concept Fablab : l'accès à des moyens de production locaux en mettant en avant la collaboration, le partage libre des savoirs et des compétences.

Pour prétendre être un Fablab, un atelier de fabrication doit répondre à la charte des Fablabs définie par le MIT. Ainsi les responsabilités d'un Fablab sont, tout d'abord la sécurité, en formant les nouveaux adhérents à la manipulation des différentes machines disponibles afin d'éviter au maximum les accidents. Ensuite, vient le bon fonctionnement des machines c'est à dire assurer le nettoyage et la maintenance de toutes les machines mises à disposition. Enfin les connaissances, qui doivent être partagées, chaque projet fait au Fablab doit être documenté et accessible aux autres. Cependant un objet conçu et fabriqué dans un Fablab appartient toujours à son inventeur, s'il souhaite commercialiser son invention, il le peut mais il ne doit pas entrer en conflit avec les autres usagers.

Le Fablab Coh@bit répond à tous les critères de la Charte des Fablabs et pour s'en assurer, une équipe, Présidée par Estèle Jouison, encadre les adhérents et les bénévoles. Leur objectif est l'amélioration constante du laboratoire et la communication pour faire connaître les possibilités du Fablab au grand public.

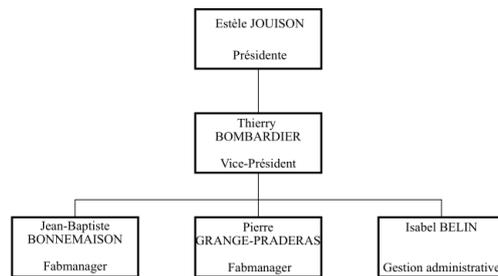


Figure 2: Organigramme du Fablab

Quotidiennement, les deux fabmanager restent disponibles et donnent notamment des formations sur les diverses machines présentes dans l'enceinte de Coh@bit. Les deux machines les plus utilisées par les adhérents du Fablab sont les imprimantes 3D et la découpe laser. Ainsi le Fablab dispose de plusieurs imprimantes 3D, d'abord des modèles Ender 3, ayant l'avantage d'être simple d'utilisation et peu onéreuse contrairement à la Prusa i3 MK3S qui offre néanmoins de meilleures performances en terme de qualité et de temps d'impression. La découpeuse laser, une speedy 300 de la marque Trotec, permet de graver ou découper des formes 2D dans divers matériaux notamment dans du MDF (Medium Density Fiberboard) un composite de fibre de bois recyclé.



Figure 3: Photo imprimante 3D Ender 3

Afin d'imprimer un objet en 3D, des étapes préliminaires sont à effectuer. Tout d'abord, il faut un modèle 3D au format STL (STereo-Lithography), un format de fichier qui ne prend en compte que la géométrie de surface du modèle, ainsi des informations comme le matériau, la densité ou la couleur par exemple ne seront pas pris en compte.

Un passage dans un logiciel d'impression 3D, un slicer comme Cura par exemple, est obligatoire afin de paramétrer l'impression, notamment le pourcentage de matière à l'intérieur de la pièce, les supports, si le modèle possède des parties non soutenues et le type de plastique utilisé. Au fablab deux types de plastiques sont privilégiés : le PLA (PolyLactic Acid) et l'ABS (acrylonitrile butadiène styrène). Le premier est un bio-plastique issu généralement d'amidon de maïs et présente l'avantage d'être le plastique le plus simple à imprimer, son principal défaut est sa faible résistance à la chaleur, en effet, des déformations sont notables à partir de 40°C. L'ABS quant à lui est issu du pétrole et présente les avantages d'être plus résistant aux chocs, à la chaleur et offre une plus grande durabilité. L'ordre de grandeur du prix de ces deux plastiques est similaire.

Après avoir paramétrer l'impression, le slicer va générer un fichier gcode, c'est à dire un document texte qui liste toutes les coordonnées de la buse afin qu'elle dépose le plastique préalablement choisi par l'utilisateur au bon endroit. Ainsi chaque couche est imprimée l'une sur la précédente : c'est le principe de l'impression additive.

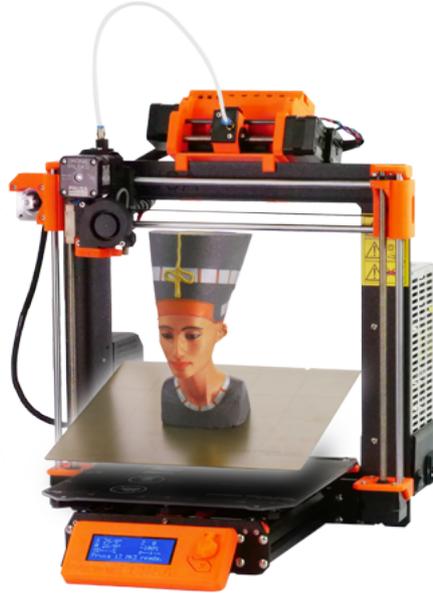


Figure 4: Photo imprimante 3D Prusa i3 MK3S

La Prusa i3 MK3S utilise le même procédé d'impression, cependant Prusa possède son propre Slicer (Prusa Slicer) et possède également un module supplémentaire permettant d'utiliser plusieurs fils différents lors d'une même impression afin de, par exemple, effectuer des pièces de plusieurs couleurs. Cette imprimante sera utilisée pour toutes les impressions effectuées durant le stage.



Figure 5: Photo Découpeuse Laser Trotec, Speedy 300

Afin de découper un objet au laser, il faut un dessin en 2D au format SVG (Scalable Vector Graphics), c'est à dire une image vectorielle, lisible par la découpeuse laser. Le logiciel recommandé pour créer de tels fichiers est Inkscape, un logiciel de dessin vectoriel libre et open-source. Après avoir réglé la hauteur du laser, ainsi que sa puissance, notamment lié à l'épaisseur de la pièce souhaitée, la découpe ou la gravure peut commencer. Les avantages d'une telle méthode de fabrication est sa vitesse d'exécution et sa précision remarquable.

Le Fablab propose ainsi des moyens de fabrication efficaces et rapides. Cependant ils restent limités et insuffisants pour la fabrication des bancs de tests. C'est pourquoi nous devons passer par le Technoshop.

1.2 Le Technoshop: Un apport technique et technologique aux entreprises

Le Technoshop est la deuxième entité de Coh@bit et est dirigé par Matthieu Faessel. Son fonctionnement est semblable à celui d'une entreprise grâce à une équipe d'ingénieurs financée pour la réalisation de projets divers. Chaque personne du Technoshop est assignée à un certain nombre de projets selon ses compétences et les gèrent selon les cahiers des charges des clients ou des dates limites imposées.

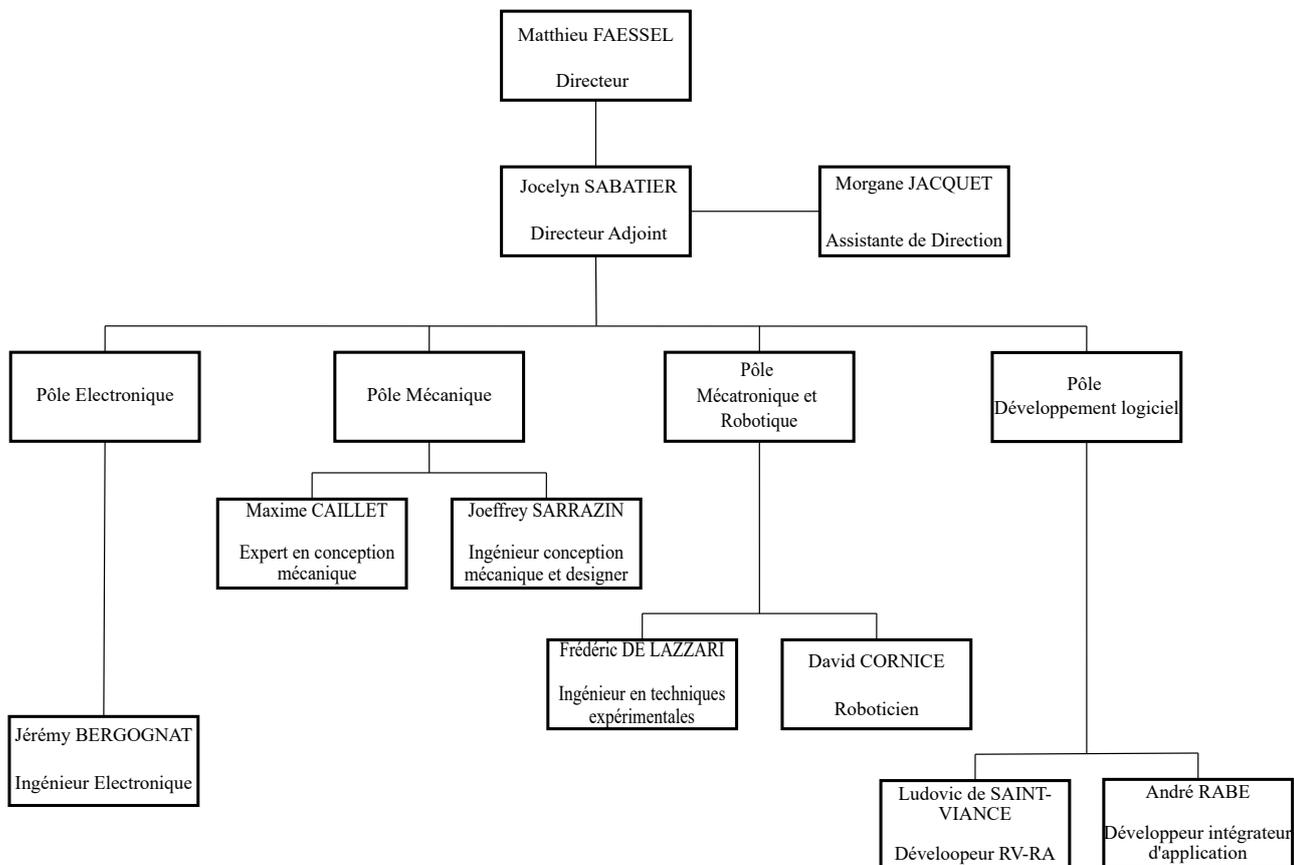


Figure 6: Organigramme Technoshop

Grâce à la Région Nouvelle-Aquitaine, le Technoshop a pu créer un parc machines offrant des possibilités de fabrication plus élaborées et plus complexes. Notamment du fraisage, du tournage, du perçage et du sciage. Ces quatre procédés seront utilisés pour la fabrication des bancs de tests.

Le principe du fraisage est de coupler un outil coupant en rotation qui se déplace, appelé la fraise, et la pièce à usiner, fixée. L'inverse est tout à fait possible. Une fraise est constituée de plusieurs arêtes coupantes dont chacune, de part leur rotation, découpe une certaine quantité de matière, qui se sépare de la pièce sous forme de copeaux. Le centre d'usinage Microcut MM430 du Technoshop possède un magasin de 24 fraises différentes. Les principaux avantages du fraisage sont tout d'abord son temps de réalisation, une bonne qualité de surface et une haute précision. Cependant, cela se paye par des coûts élevés.



Figure 7: Centre d'usinage Microcut MM430

Il est nécessaire, lors d'un fraisage de constamment refroidir et lubrifier les outils impliqués. Pour ce faire une buse projette du liquide de refroidissement tout au long du processus d'usinage. Cela permet notamment de maintenir la pièce usinée à température stable, de préserver l'outil de coupe en minimisant son usure et d'évacuer les copeaux directement après la découpe.

Le tournage fonctionne également par enlèvement de matière sous forme de copeaux. La différence avec le fraisage est que dans un tour, c'est la pièce à usiner qui tourne et non l'outil coupant. Un tour est principalement utilisé pour usiner des surfaces planes ou des surfaces de révolution. Avec un tel procédé, nous pouvons obtenir des surfaces planes, des surfaces cylindriques, des surfaces coniques, des alésages, des gorges et même des filetages. Pour ce dernier, nous utiliserons plutôt un taraud.

Le schéma ci-dessous présente un tour parallèle conventionnel.

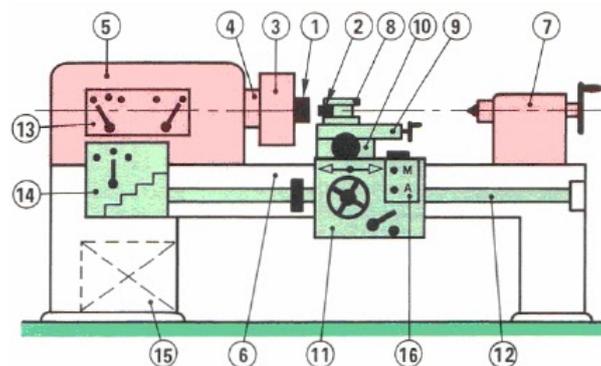


Figure 8: Schéma d'un tour parallèle

L'élément numéro 1 représente la pièce à usiner, le 2 est l'outil coupant.

Le numéro 3 est le mandrin fixant la pièce grâce à ses mors. Le mandrin est solidaire en rotation avec la broche représentée par le numéro 4. La poupée fixe est le numéro 5. Le banc, numéro 6, supporte tous les éléments du tour. La poupée mobile est représentée par le numéro 7, elle peut translater sur les glissières du tour, et permet d'assurer une concentricité suffisante. Le numéro 8 est la tourelle porte-outil. En 9 se trouve le chariot supérieur qui peut se déplacer selon le chariot transversal représenté par le numéro 10. Les chariots sont sur le trainard, le numéro 11, qui peut se déplacer selon la barre de chariotage, numéro 12. La boîte des vitesses est le numéro 13 et permet de régler la vitesse de rotation de la pièce à usiner. Le numéro 14 est la boîte des avances qui permet de régler la vitesse du trainard. En effet dans le cas d'une avancée automatique, le trainard embraye sur la barre de chariotage et ainsi permet le déplacement souhaité. En 15 se trouve le moteur, dont l'emplacement peut changer en fonction du modèle du tour. Enfin, le seizième et dernier élément est le contacteur qui permet la mise en route et l'arrêt du tour. Il est important de noter qu'il existe également un bouton d'arrêt d'urgence sur le contacteur.

Le perçage est faisable avec un tour dans le cas où le trou à effectuer est centré au milieu de la pièce. Dans les autres cas, une perceuse à colonne peut être utilisée. Dans une perceuse de ce type, un moteur va entraîner en rotation une broche solidaire à un mandrin bloquant un foret qui coupe la matière. La vitesse de rotation du forêt peut être modifiée selon le matériaux à découper, la taille du trou à faire et le forêt utilisé. Pour ce faire, un système de courroie et de poulies étagées est présent dans la tête de la perceuse. Dans notre cas, il y a trois poulies et deux courroies. La première poulie est solidaire au moteur, la seconde est une poulie intermédiaire, permettant la transmission par les courroies du mouvement à la troisième poulie, solidaire à la broche et donc au forêt. Ainsi chaque position des courroies sur les gradins correspond à une vitesse connue, définie par une table des vitesses propre à chaque modèle.

L'outil de sciage est une scie à ruban. Le principe est le suivant: La pièce à découper est fixée par un étau. Au dessus d'elle se trouve un bras ou un archet qui tend une lame entraîné par un moteur pour générer le mouvement de coupe. Un vérin hydraulique permet de contrôler la vitesse de descente du bras. Tout comme le fraisage et pour les mêmes raisons, le sciage demande un refroidissement et une lubrification constante.

Le Technoshop possède d'autres moyens de production, comme par exemple des fours à refusions, des outils de sérigraphies manuelles pour le

prototypage électronique. La spécialité du Technoshop étant l'impression 3D polymère. Mais cela n'entre pas dans la cadre des bancs de tests.

1.3 La Robocup: Une compétition robotique mondialisée

La robocup est une compétition de robotique mondiale née en 1997, au cœur de prouesses technologiques effectuées par des intelligences artificielles, c'est notamment cette année que Deep Blue a battu le champion du monde d'échecs. L'idée est née d'une ambition : battre en 2050, avec une équipe composée de robots humanoïdes autonomes, l'équipe ayant remportée la coupe du monde de football. Cette compétition rassemble environ 3500 personnes réparties en 450 équipes dans plus de 45 pays.



Figure 9: Logo officiel de la Robocup

Il existe quatre ligues majeures inscrites dans la robocup. La première, Robocup Rescue dont le but est de résoudre des situations de sauvetage variées. La seconde est la Robocup @Home, qui consiste en l'élaboration d'un robot d'assistance et développer la technologie de services. La troisième est la Robocup Industrial qui a pour objectif de faire évoluer les robots dans le cadre d'une entreprise intelligente, c'est à dire que les machines devront modifier, améliorer ou assembler des pièces entre elles. La dernière, celle dans laquelle le banc de test sera utilisé est la Robocup Soccer, elle est également la ligue la plus connue. Il est également important de notifier qu'il existe aussi la Robocup Junior, dont les participants sont âgés de 13 à 19 ans, qui reprend les règles des ligues majeures avec certaines simplifications. Par exemple au niveau de la balle, dans les ligues majeures, il s'agit d'une simple balle de golf, mais pour la Robocup Junior, la balle émet des rayonnements infrarouges, il est donc plus simple de la localiser sur le terrain.

Par la suite, nous nous intéresserons uniquement à la Robocup Soccer. Pour cette compétition, il existe quatre catégories différentes: Humanoïd, Middle Size, Small Size et Simulation. Cette dernière consiste en la manipulation de robots virtuels par un simulateur, les règles restent inchangées. A

cause de la crise sanitaire liée à la Covid-19, la Robocup 2021 était exclusivement sous cette forme. Il existe d'ailleurs deux sous-catégories pour la Simulation, 2D et 3D.

Dans la catégorie Humanoïd, les robots doivent ressembler à un être humain, c'est à dire avec deux jambes, deux bras, une tête qui doivent être attachés à un tronc. Il existe trois sous catégories pour la ligue Humanoïd: Kid Size, qui se définit par une hauteur de robots entre 40 cm et 80 cm, la Teen Size, dont la hauteur varie entre 80 cm et 140 cm et la Adult Size entre 140 cm et 200 cm. Il existe d'autres règles permettant de réguler la forme des robots pour éviter tout abus. De plus il est important de notifier que ces règles sont modifiables et peuvent ne plus être à jour lors de la rédaction de ce rapport.

Bordeaux ne concourt pas dans les catégories Teen Size et Adult Size. Cependant l'équipe Rhoban qui participe donc dans la catégorie Kid Size a été sacrée championne du monde durant quatre années consécutives (2016, 2017, 2018, 2019).

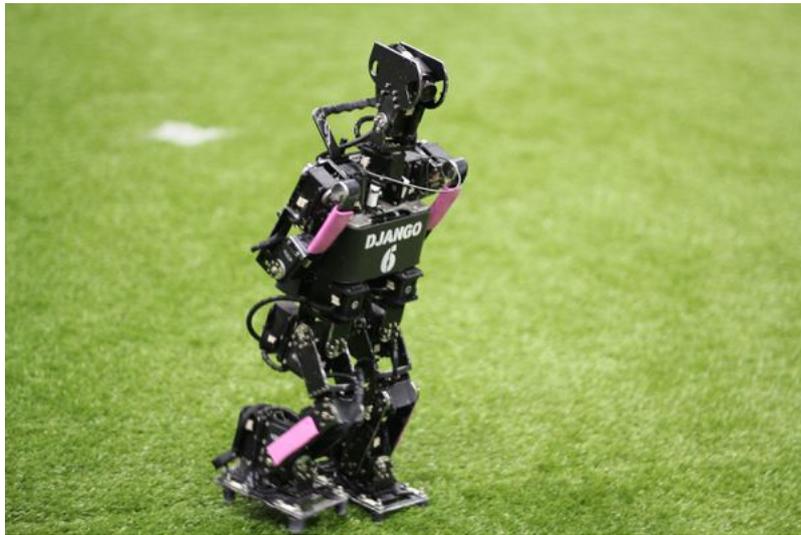


Figure 10: Photo du Robot Humanoïd Kid Size de l'équipe Rhoban

Les matchs de la catégorie Kid Size sont des 4 contre 4 dont un membre de chaque équipe doit être le gardien de but. Les principales difficultés de la ligue Humanoïd sont dans un premier temps le maintien de l'équilibre, notamment au moment d'une frappe, mais aussi la capacité à se relever en cas de chutes. La coordination de l'ensemble des moteurs doit être co-

hérente et fluide pour éviter que le robot ne tombe au sol. Dans un second temps, l'adaptation à un environnement en constant changements, notamment traduit par les déplacements incessants de la balle et des autres robots sur le terrain. Les programmes doivent allier intelligence artificielle, perception et odométrie afin de connaître les positions de tous les éléments et de s'y adapter. Néanmoins, les bancs de tests ne s'adressent pas à cette catégorie.

Dans la catégorie Middle Size, les robots doivent être complètement autonomes et avoir tous leurs capteurs à leur bord. Les équipes sont libres de la forme de leurs robots, il y a cependant des limites en terme de poids et de dimensions. Les matchs consistent en des 5 contre 5 en comptant un gardien. Cependant, Bordeaux ne possède pas d'équipe de Middle Size League.



Figure 11: Photo d'un Robot Middle Size de l'équipe de Stuttgart 2010

Les bancs de tests ne sont pas adaptés pour de tels robots. En effet, ils ont été conçus pour la dernière catégorie : La Small Size League (SSL).

Dans cette catégorie, les robots sont au nombre de six par équipe, en comptant le gardien de but. Les robots sont limités en terme de géométrie, ils doivent être plus petit qu'un cylindre de diamètre 180mm et de hauteur 150 mm. Quant à la balle, c'est une balle de golf classique. Les robots contrairement aux catégories précédentes ne sont pas autonomes. Des caméras sont fixées à 4m au dessus du terrain, ces caméras sont connectées aux ordinateurs

de chaque équipes qui traitent les données et reçues et va en conséquences contrôler les robots en temps réel. Les communications se font sans fil, par des émetteurs et récepteurs radios.

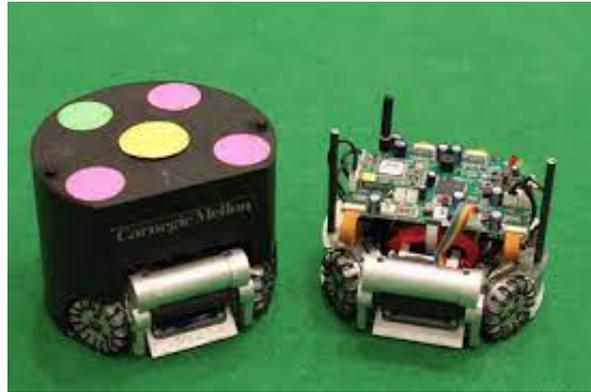


Figure 12: Photo d'un Robot SSL de l'équipe de Carnegie Mellon Uni 2015

Les pastilles de couleurs sur le robot permettent de les reconnaître. La pastille du milieu permet de connaître l'équipe du robot, les quatre autres alternent entre vert et rose et chaque combinaison de couleur représente un identifiant.

Deux équipes bordelaises participent à la Robocup Soccer SSL: NAMEC (Nouvelle-Aquitaine Mécatronique Club) et NAELIC. La première équipe a été fondée en 2017 avec le soutien de l'équipe Rhoban, l'objectif principal de cette équipe est de réunir des enseignants-chercheurs et des étudiants autour d'une passion commune, la robotique. L'équipe NAMEC a participé deux fois à la Robocup dans la catégorie SSL, la première fois en 2018, terminant 8ème sur 8 de la poule avec zéro victoire, deux nulles et quatre défaites. Il faut tout de même saluer l'unique but inscrit par les robots de l'équipe NAMEC contre l'équipe Québécoises Ultron. Néanmoins, pour sa deuxième participation en 2019 à Sydney, l'équipe bordelaise accrochera les quarts de finales.

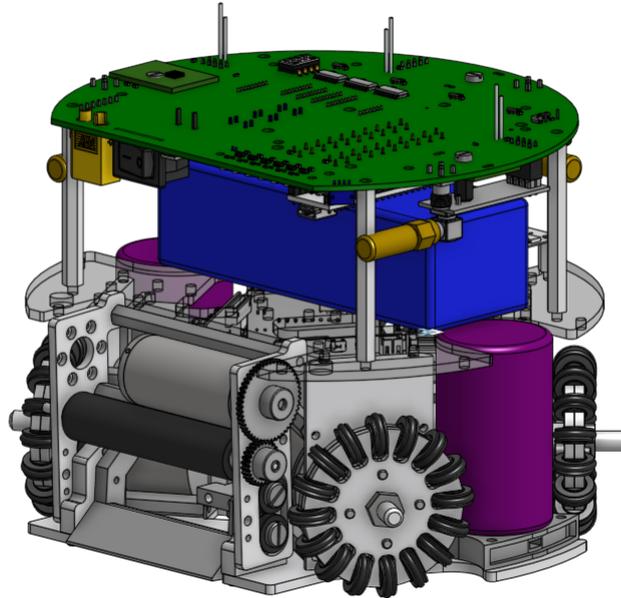


Figure 13: Modèle CAO du Robot de l'équipe NAMEC

Ce modèle nous permet de visualiser les organes principaux d'un robot Robot SSL. Il y a dans un premier temps les roues holonomes qui offrent la possibilités au robot de translater dans toutes les directions et de tourner sur lui-même. Il est nécessaire que le robot soit réactif et vif dans ses déplacements pour rivaliser avec les robots de l'équipe adverse, c'est pourquoi ce genre de roues a été adoptée. Ensuite, le dribbler qui se situe à l'avant du robot et consiste en un cylindre nervuré qui tourne dans le sens anti-horaire afin de pouvoir garder la balle à son contact. Enfin, les deux kickers, le premier est utilisé pour les frappes droites au ras du sol, le second tape dans la partie lobber et permet d'effectuer des frappes en cloche. Concernant la partie électronique, la carte mère, sur le modèle en vert, permet de centraliser l'information et de communiquer avec chaque organe distinctement. La batterie est représentée en bleu. Finalement, les condensateurs, représentés en violet, permettent de déclencher les kickers efficacement.

L'équipe NAELIC a été créée en 2020 suite à la fusion d'EleKtrons Libres, une association ayant pour objectif de permettre l'accès aux sciences à tous les jeunes de l'agglomération paloise, et le Club Innovation qui est une association étudiants de l'IUT de Bordeaux. Cependant, NAELIC n'a participé à aucune Robocup mais elle se prépare activement pour Bangkok (Thaïlande) en 2022.

Afin de concevoir leurs propres robots, NAELIC a pu avoir accès aux robots de NAMEC. Tous les projets étant en Open-Source, les plans mécaniques et les plans électroniques sont disponibles. L'idée de l'équipe NAELIC est basée, non pas sur une conception pure d'un nouveau robot, mais sur l'amélioration et l'optimisation d'un robot déjà existant. L'équipe allemande TIGERS Mannheim est également une source d'inspiration pour NAELIC. Cependant, sans compter les robots de NAMEC, l'équipe NAELIC ne possède pas de robot fonctionnel à ce jour.

Les bancs de tests s'adressent donc aux robots de la catégorie SSL, et concernent les trois organes principaux du robot : Moteur-Roue, Kicker, Dribbler. Cependant, il est important de prendre en compte que les robots susceptibles d'utiliser ces bancs de tests ne sont pas encore fabriqués ni conçus. C'est pourquoi il est nécessaire que les bancs soient modifiables pour s'adapter rapidement et efficacement.

2 La conception et la Fabrication des Bancs de test

Le contexte de la conception des bancs d'essai étant clarifié. La première étape a consisté en un regroupement des différentes sources du robot de NAMEC. C'est à dire, une liste exhaustive de l'ensemble des pièces fabriquées et achetées avec leurs plans mécaniques associés et leurs références. Les plans électroniques ont également été regroupés afin de comprendre l'ensemble de la connectique du robot. Cependant, comprendre les plans d'un robot n'implique pas la capacité de le manipuler. Une compréhension profonde des systèmes robotiques le permettrait.

2.1 Workshop ROS : Se familiariser avec les concepts Robotiques

ROS (Robot Operating System) est un "framework", pouvant être traduit par une infrastructure logicielle, conçu pour la robotique et créé en 2007 par le Stanford Artificial Intelligence Laboratory. Il s'agit d'un ensemble d'outils, de bibliothèques et de conventions ayant pour objectif de simplifier le développement d'applications pour la manipulation de robots. Reproduire des mouvements humains à l'aide de robots est une tâche très complexe et nécessite des domaines d'expertises variés, entre la cartographie, l'intelligence artificielle, la navigation et la reconnaissance pour n'en citer que quelques uns. Grâce à son développement Open-Source, ROS permet de créer une collaboration au sein de la communauté Robotique.



Figure 14: Logo de ROS

ROS peut être utilisé par plusieurs langages de programmation, les deux principaux étant Python et C++. Au travers de terminaux, l'utilisateur peut envoyer des ordres à l'ordinateur qui les exécute.

L'architecture de ROS se divise en plusieurs parties : Le Master, qui permet l'enregistrement des différents noms ainsi que l'organisation des exé-

cutables et de la communication. Les Nœuds sont d'unique programmes exécutables, qui ne peuvent faire qu'une chose à la fois. Ils désignent tous un Master, définissant ainsi les sous-ensembles robotiques ayant la faculté de communiquer entre eux en se transmettant des informations sur des canaux de communication appelés Topics. Il est, toutefois, possible qu'un programme ait recours à plusieurs Master. Enfin, les Packages représentent la façon d'organiser les programmes ROS.

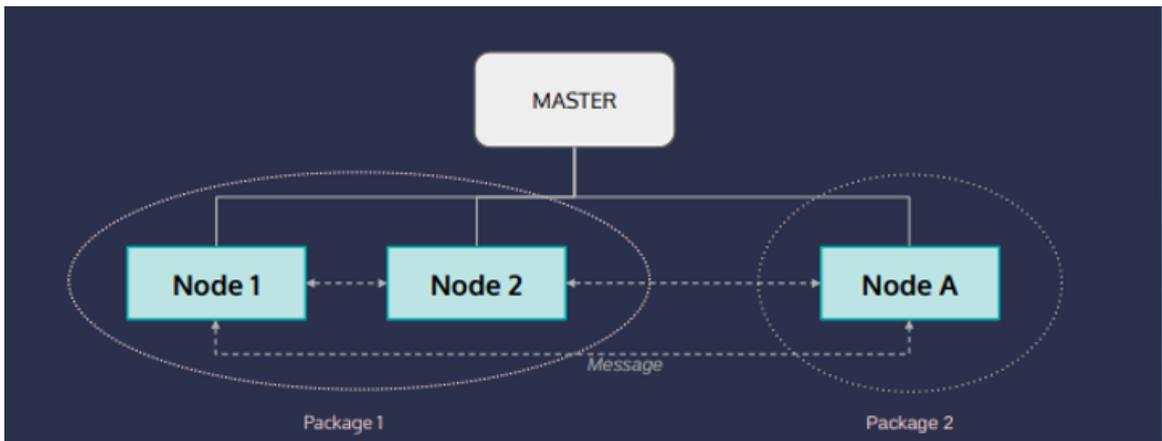


Figure 15: Schéma du fonctionnement de ROS

Au cours de la formation, quelques outils de ROS ont été explorés. Le premier étant RVIZ, qui est une interface graphique permettant la visualisation du robot en 3D. Le second était RQT plot, qui permet de tracer des graphiques selon des paramètres souhaités comme la vitesse, l'accélération, la température et d'autres paramètres. Provenant du même "package", nous avons utilisé RQT graph, offrant la possibilité de tracer les graphes de l'application, c'est à dire les différents nœuds impliqués, ainsi que leur façon de communiquer. Enfin, nous avons manipulé GAZEBO, correspondant à une plateforme de simulation en 3D.

Deux robots, compatibles avec ROS, ont été utilisés pour la formation, le Turtle Bot 3 et le Poppy Ergo JR. Le premier pouvant être caractérisé par un robot roulant équipé d'un Lidar 360° (un scanner laser bidimensionnel) utilisant le principe de triangulation pour mesurer une distance. Il possède également une Raspberry Pi 3 modèle B, une carte électronique, pouvant être décrite comme l'ordinateur propre du robot. En effet, elle possède un processeur intégré Quad-core ARM Cortex-A53 1.2 GHz, 1024 Mo de RAM, des ports HDMI, USB, Ethernet, Micro SD, Micro USB et peut être connectée par Wifi et Bluetooth. Le turtlebot possède également un micro con-

trôleur Open CR (32-bit ARM Cortex M7), qui permet le traitement des données provenant des différents capteurs afin d'envoyer des ordres adaptés aux moteurs. Ces derniers sont des Dynamixels, des moteurs adaptés et dimensionnés pour la robotique. La batterie utilisée est une Li-Fo 12V, 1800 mAh.



Figure 16: Photo d'un Turtlebot 3

Le second robot, le Poppy Ergo JR est un bras articulé robotique. Il est composé d'un embout lui permettant de saisir divers objets, d'une structure imprimée en 3D, d'une caméra, de six servomoteurs. La principale différence entre un moteur et un servomoteur est que le servomoteur ne peut tourner qu'avec un angle défini et restreint. Cette limite est, dans la plupart des servomoteurs, de 180° . Le Poppy Ergo Jr est, tout comme le Turtle bot 3, équipé d'une Raspberry Pi 3.

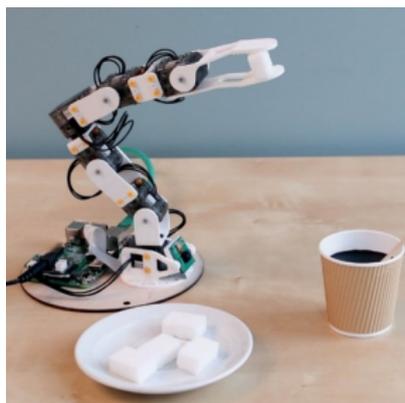


Figure 17: Photo d'un Poppy Ergo Jr

Le scénario de la formation est le suivant: Des cubes en papier sont

disposés en ligne à portée du Poppy Ergo Jr, sur les six faces de chaque cube est écrit un 1 ou un 2. Il est important de noter que le numéro a été écrit par un être humain, la typographie peut donc être trompeuse. La Poppy Ergo Jr, doit localiser les cubes, identifier les numéros, saisir le cube, le poser sur le Turtlebot qui doit l'amener au conteneur 1 ou au conteneur 2 en fonction du numéro inscrit sur le cube. Cet exercice demande ainsi quatre compétences principales : La Navigation, la Manipulation, la Perception et l'Intégration.

Pour la Navigation, trois étapes sont nécessaires pour permettre au Turtlebot de se déplacer. La première est la Téléopération, c'est à dire la faculté de contrôler le robot par Wifi, avec les touches du clavier de l'ordinateur. Une fois cette tâche effectuée, la cartographie de l'environnement peut commencer, en faisant évoluer le Turtlebot dans l'enceinte fermée de l'expérience, une carte va se créer peu à peu et sera mémorisée. Ainsi, en indiquant le point initial au robot, celui-ci pourra se déplacer dans l'environnement en évitant les obstacles : C'est la Navigation. Les principales difficultés de cette étape sont les problèmes d'odométrie c'est à dire que le robot peut se tromper sur sa position à un instant t , et donc la formation de sa carte sera fautive. Par exemple, si la roue patine ou si un obstacle vient perturber les déplacements du robot, celui-ci sera perdu et une carte incohérente ou incomplète sera générée.



Figure 18: Exemple de résultat de cartographie

Concernant la Manipulation du Poppy Ergo Jr, un outil, intégré à ROS et conçu pour la manipulation, a été utilisé : MoveIt. Ce dernier permet d'effectuer des calculs de cinématiques directs et inverses. En cinématique directe, pour générer une position particulière, les variables sont les paramètres des différentes articulations contrairement à la cinématique inverse, la position d'une articulations est fixe et la configuration du reste du corps se fait en fonction de cette même articulation. MoveIt peut aussi créer des trajectoires sans collision en prenant en compte les contraintes mécaniques et imposées. Il peut également contrôler les moteurs, notamment les vitesses et les accélérations de ces derniers. Grâce cet outil, il était possible d'enregistrer une série de mouvement précis au robot et ainsi lui donner la faculté de reproduire cet enchainement. Il a donc été possible d'enregistrer les mouvements nécessaires à la prise des cubes et de les placer sur le Turtlebot. Enfin, la dernière étape était d'utiliser la caméra afin de détecter les cubes et d'adapter les mouvements du Poppy Ergo JR en fonction du placement des cubes et du Turtlebot.

La perception nécessite deux modules Python : Keras et Tensorflow. Ils sont utilisés pour le machine learning et la création de réseaux de neurones apprenant. Une base de données composée de 12 000 photos de 1 et de 2 écrit manuellement permet d'entraîner le réseau de neurones à la reconnaissance ce ces chiffres. Plus le nombre d'échantillon est grand, plus la fréquence d'erreur est petite. 12 000 photos restent un nombre relativement faible. La première étape pour l'identification du chiffre est la définition du contour du cube. Ensuite, grâce à l'entraînement préalablement effectué, le réseau de neurones sera en mesure d'identifier soit un 1, soit un 2 et donc la lecture du chiffre sera possible.

L'intégration correspond à réunification des trois parties précédentes : Le Poppy Ergo JR localise les cubes avec ses caméras, il prend ensuite une photo et la communique avec le réseau de neurones pour déterminer le chiffre écrit. Le manipulateur saisit le cube et le dépose sur le Turtlebot. Ce dernier lit le paramètre, 1 ou 2, et se déplace jusqu'au conteneur associé.

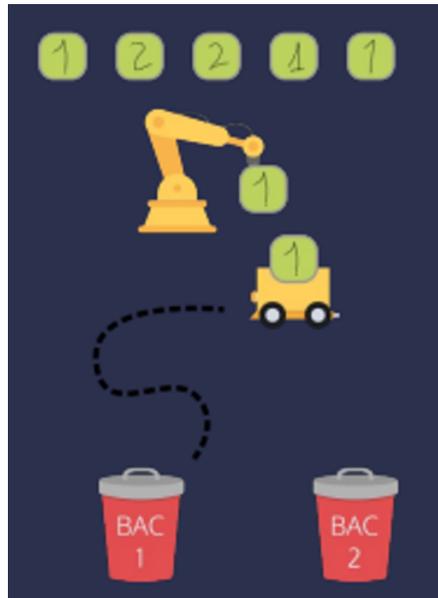


Figure 19: Représentation du Scénario

Cette formation d'une semaine a apporté des connaissances nécessaires à la compréhension profonde de la robotique et de ses difficultés. Il est maintenant possible de commencer la conception des bancs d'essai.

2.2 Analyse fonctionnel du robot

Avant de concevoir un banc de test, il est important de bien comprendre le fonctionnement du système à tester. C'est pourquoi un schéma bloc a été dessiné. Le but principal de ce schéma est de visualiser tous les éléments du robot et de déterminer le type de liaison qui existe.

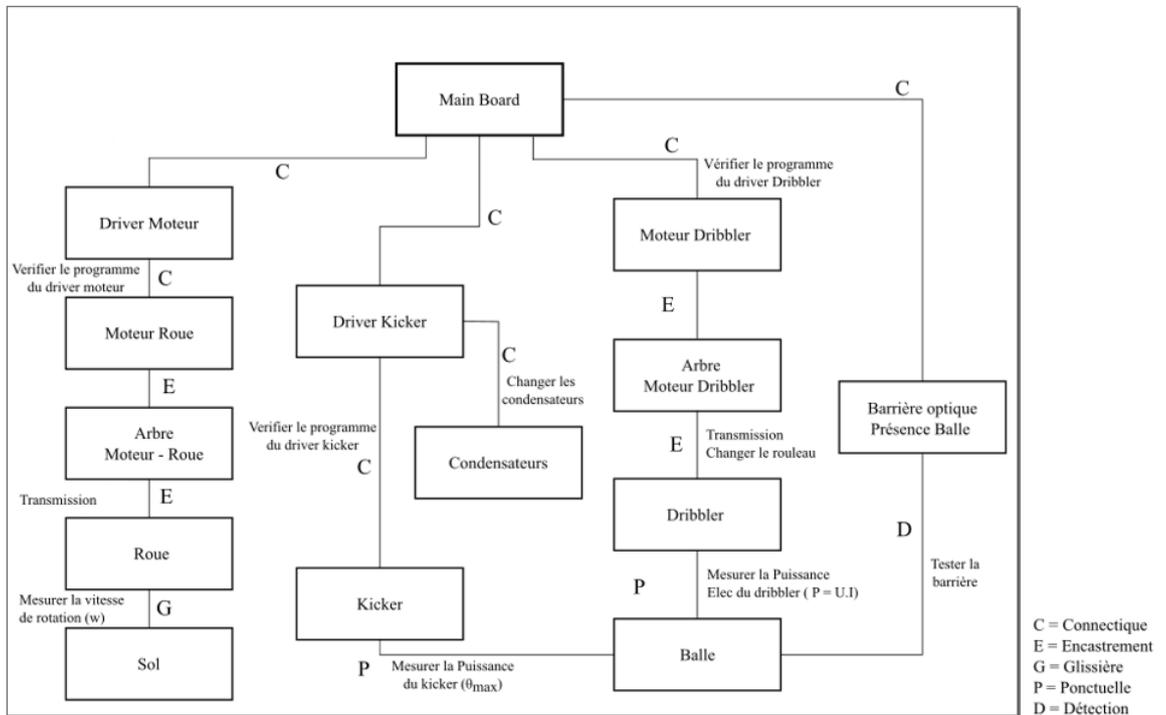


Figure 20: Schéma Bloc du Robot SSL

L'élément principal est la Main Board, ou carte mère, fabriqué par le CATIE (Centre Aquitain des Technologies de l'Information et Électroniques), elle permet la communication entre les différents organes du robot. L'équipe NAELIC a décidé de changer de Main Board par rapport à celle de NAMEC. Cependant cela n'affectera pas la géométrie globale du robot. En effet, les bancs de test seront utilisables par les deux équipes. Les trois drivers (Moteur, Kicker et Dribbler) sont également fabriqués par le CATIE. Le driver Dribbler n'apparaît pas sur le Schéma Bloc parce qu'il est intégré directement dans la Main Board sur le robot de NAELIC.

2.2.1 Module Moteur-Roue

Cette partie s'intéressera au module Moteur-Roue.

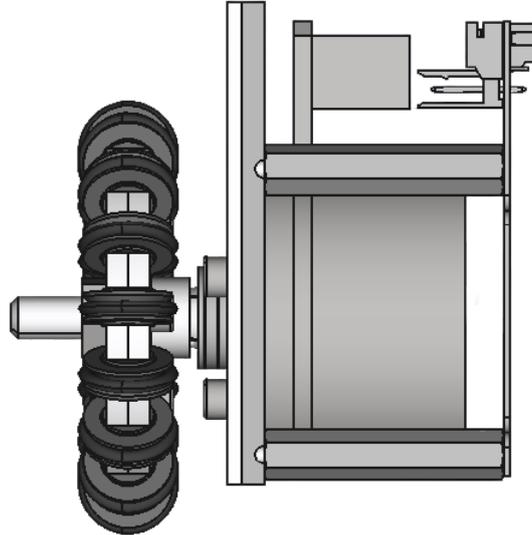


Figure 21: Modèle CAO du module Moteur-Roue

Le robot possède quatre roues holonomes et donc quatre moteurs identiques. Concernant le moteur, il s'agit d'un EC 45 flat $\varnothing 42,8$ mm, sans balais, 70 W, de la marque Maxon. Un moteur sans balais, ou brushless, est un type de moteur à courant continu qui fonctionne à l'aide de deux aimants permanents, situés à l'extérieur, appelés Nord et Sud qui représente le Rotor du moteur. Le Stator quant à lui est composé de trois bobines indépendantes situées à l'intérieur, qui, lorsqu'elles reçoivent un signal électrique, attireront les aimants permanents vers elles, engendrant le mouvement. Ce dispositif a l'avantage d'avoir une durée de vie importante, en gardant une précision élevée et une consommation plus faible que son homonyme, le moteur à balais.

Les moteurs sont connectés à un driver moteur par un port à 8 pins qui permet le contrôle du moteur. Le driver possède un connecteur lui permettant de recevoir et transmettre des données avec la carte mère. Un port assure également l'apport en électricité.

2.2.2 Module Kicker

Cette partie s'intéressera au module Kicker.

Celui-ci est composé de deux kickers, un pour les frappes à ras du sol et un autre pour les frappes en cloche. Le déclenchement de ces derniers se

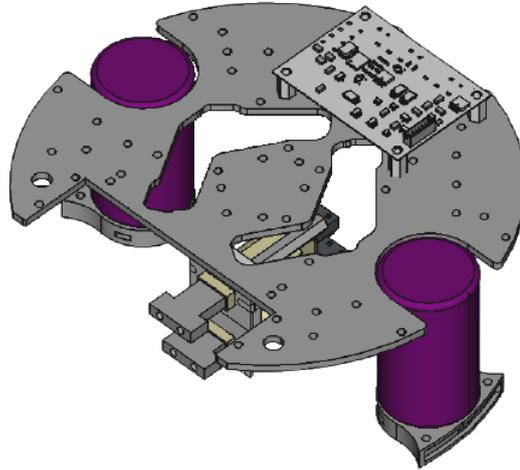


Figure 22: Modèle CAO du module Kicker

fait par un système de bobines enroulées autour des parties métalliques qui tapent dans la balle, ou dans la rampe permettant son élévation. Grâce aux condensateurs, la bobine peut recevoir un courant électrique puissant permettant un mouvement de frappe efficace. Cependant, un problème majeur était présent sur les robots de NAMEC: Le champ électromagnétique généré par les bobines créait des interférences au niveau des éléments de communication du robot. Ainsi lorsqu'un robot déclenchait un de ses kickers, il était immobilisé pendant plusieurs longues secondes. Néanmoins, afin de minimiser ce phénomène, l'équipe a enroulé les bobines dans un scotch Kapton, un isolant thermique et électrique. Cela n'était pas suffisant, c'est pour cette raison que NAELIC a décidé de changer l'architecture de son robot. La conception est encore en cours. La carte Kicker est placée sur l'étage supérieur du robot, c'est elle qui contrôle les condensateurs.

2.2.3 Module Dribbler

Cette partie s'intéressera au module Dribbler.

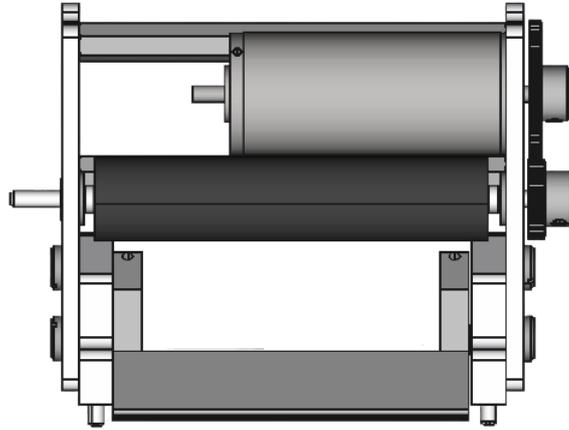


Figure 23: Modèle CAO du module Dribbler

Il est composé d'un moteur EC-max 22 \varnothing 22 mm, sans balais, 25 W de la marque Maxon également. Celui-ci entraîne un engrenage, qui entraîne un autre engrenage, solidaire en rotation avec le dribbler. Le module dribbler est également équipé de barrières optiques qui permettent notamment de détecter la balle. Un émetteur projette un rayon infrarouge parallèle à l'axe du dribbler, un receveur se trouve de l'autre côté. Tant que le rayon est perçu par le receveur, cela signifie que le robot ne possède pas la balle. Lorsque le rayon est interrompu par la balle, le receveur ne reçoit plus de signal. Le robot sait donc qu'il est en possession de la balle et peut déclencher son dribbler ou son kicker.

2.3 Cahier des Charges

Le cahier des charges s'est construit au fur et à mesure de l'avancée du projet. Au départ, l'idée était de fabriquer trois structures distinctes et indépendantes pour chacun des modules. Finalement, cette possibilité sera rapidement écartée pour laisser place à un banc unique regroupant les trois éléments à tester. Cette solution a été retenue pour sa transportabilité et sa vitesse d'utilisation arrangeante. Le banc permettra ainsi de tester à la fois l'ensemble du robot, afin d'effectuer des diagnostics rapides et efficaces, notamment lors des compétitions et des matchs d'entraînement, mais également les parties seules du robot afin de faire varier certains paramètres pour optimiser la géométrie des pièces du robot.

Concernant le module moteur-roue, le banc pourra tester les drivers moteurs et les codes informatiques liés à ceux-ci. Il sera capable de vérifier la qualité de la transmission entre le moteur et la roue. Il pourra mesurer la vitesse de rotation des roues et le couple moteur. Enfin, il mesurera la consommation électrique sur un match entier et l'appel de courant au démarrage du moteur.

Pour le module dribbler, le banc permettra de tester le driver dribbler, d'offrir la possibilité de changer le rouleau, en effet, sur le dribbler actuel, le rouleau nervuré est usiné directement autour de leur arbre. La dissociation, sans découpe ou cassure, de ces deux éléments est donc impossible. Pour finir, le banc testera l'efficacité du dribbler, c'est à dire sa capacité à garder la balle au contact.

Le troisième module et le dernier du projet est le kicker, comme les deux précédents, le banc pourra tester le driver kicker, il permettra de changer facilement les condensateurs pour notamment modifier le bobinage et la tension à leurs bornes et ainsi optimiser cet élément. Sa puissance sera également mesurée en déclenchant une frappe, permettant au passage le test des barrières optiques.

2.4 Conception des Bancs

Le cahier des charges étant défini, la conception des trois bancs peut commencer. Mais avant, il est important d'effectuer une recherche des procédés qui pourraient d'ores et déjà exister. En effet, des bancs de test Moteur-Roue existent, notamment dans l'industrie automobile. Le plus utilisé étant le banc à rouleaux. Il consiste en un blocage du véhicule par un, ou deux rouleaux, selon les mesures à faire, qui tourne à la même vitesse que les roues empêchant alors leurs translations. Ce type de banc n'est pas adapté à la situation puisque le robot SSL possède des roues holonomes. Il serait cependant intéressant de mesurer la différence de qualité de mesure entre une roue classique et une roue holonome sur ce type de banc mais cela n'a pas été effectué durant le stage.

2.4.1 Résultats préliminaires

Pour la réalisation des trois bancs d'essai, une liste de solutions a été effectuée, permettant de n'en retenir que les meilleures. Le principe du pendule a été retenu pour le banc Kicker. En effet, il permet de répondre efficace-

ment au cahier des charges, la puissance de la frappe n'étant dépendante que de l'angle maximal du pendule. De plus, les condensateurs seront plus accessibles sur le robot de NAELIC, l'utilisateur pourra aisément changer le bobinage et la tension à leurs bornes sans modifier la géométrie du banc de test.

Le banc Dribbler permettra de changer le rouleau nervuré grâce à une nouvelle méthode de fabrication. En effet, leurs fabrications seront dissociées. En moulant le rouleau indépendamment de l'arbre, il est possible d'obtenir des résultats suffisamment précis pour permettre l'assemblage des deux pièces. Quant à l'arbre, il pourra être tourné.

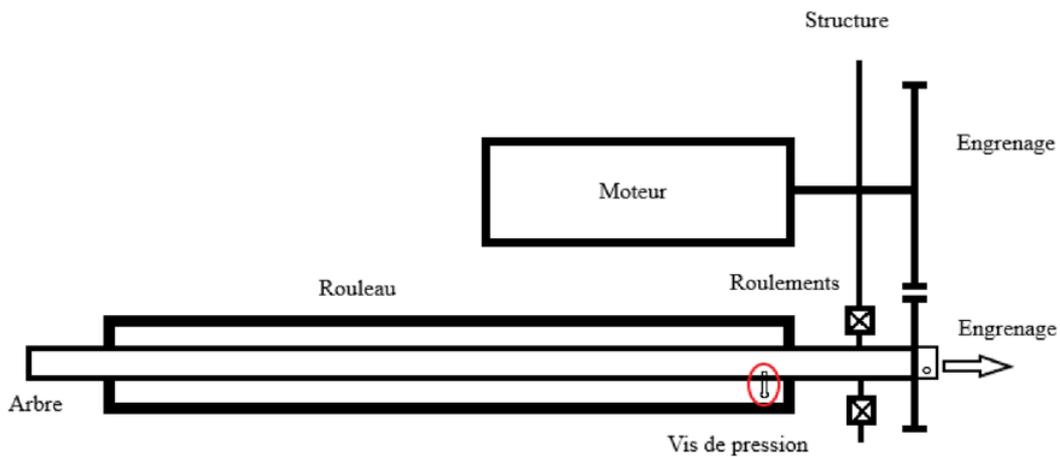


Figure 24: Schéma du banc Dribbler

Une vis de pression, placée loin du centre du dribbler, afin d'éviter de perturber le mouvement de la balle, permettra de rendre solidaire en rotation le rouleau nervuré et l'arbre du dribbler. Pour que ce genre de vis soit efficace, il est important d'aplanir l'arbre au niveau de la zone de contact. Ainsi, en dévissant cette vis, l'arbre pourra être retiré par le côté des engrenages facilement.

La réflexion autour du banc Moteur-Roue s'est divisée en deux étapes majeures: le cas où la roue est dans le vide et le cas où la roue est en contact avec le sol. Il était nécessaire que le robot reste immobile sur le banc sans que son poids soit déporté autre part qu'au point de contact entre les roues et le sol, afin de reproduire la réalité le plus fidèlement possible.

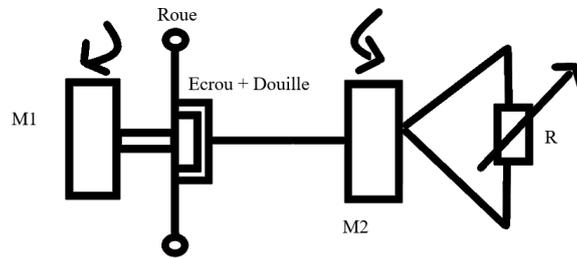


Figure 25: Schéma du banc Moteur-Roue avec roue dans le vide

Le moteur un correspond au moteur du robot entraînant sa roue. Le moteur deux quant à lui est en fonctionnement génératrice c'est à dire qu'il transforme l'énergie mécanique, donnée par le moteur un, en énergie électrique. Ainsi, en mesurant la tension électrique et l'intensité du courant aux bornes du moteur deux, il sera possible de déduire la puissance mécanique du moteur un. Une résistance électrique peut être également placée aux bornes du moteur deux, pour faire forcer le moteur un et ainsi observer comment le moteur réagit dans ce type de conditions. Le système d'attache est représenté par un écrou et une douille complémentaires mais il pourrait tout à fait être possible d'utiliser d'autres solutions offrant les mêmes résultats.

Cependant, cette solution est incomplète, puisqu'elle ne prend pas en compte le contact de la roue et du sol. C'est pourquoi, nous allons coupler cette solution avec un système de plaques tournantes, sous les roues du robot.

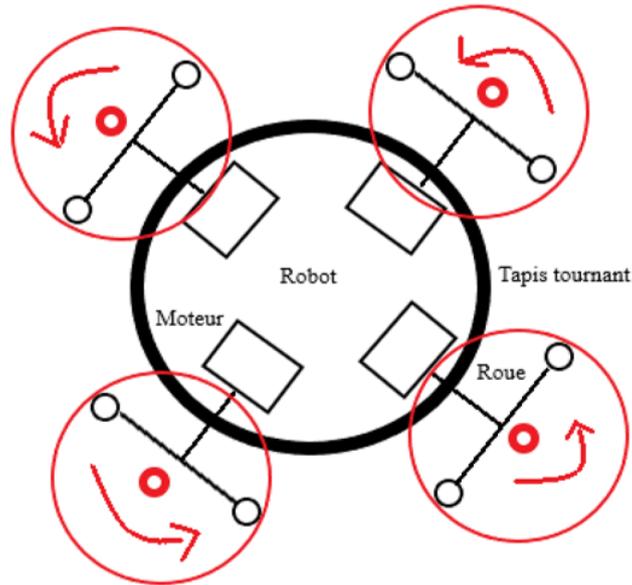


Figure 26: Schéma du banc Moteur-Roue avec roue au sol

Quatre tapis seront donc placés sous les quatre roues du robot, ces tapis seront solidaires en rotation avec l'arbre du moteur en fonctionnement génératrice. Le terme tapis est utilisé car pour reproduire au mieux l'environnement des compétitions, la matière au dessus des plaques tournantes sera celle des terrains officiels de la Robocup, c'est à dire de la moquette verte. Le principe de fonctionnement est le suivant: le moteur du robot fait tourner la roue, cette dernière entraine la plaque tournante, permettant la rotation de l'arbre du moteur en fonctionnement génératrice sur lequel l'ensemble des paramètres peut être mesuré.

2.4.2 Schémas fonctionnels

Le banc Moteur-Roue est composé d'éléments tournants, des roulements sont donc nécessaires. Il existe de nombreux types de roulements différents, notamment les roulements à billes, à rouleaux, pouvant être cylindriques ou coniques, les roulements à aiguilles etc... Cependant, les roulements à billes seront privilégiés tout au long du projet de par leur faible coût et leur efficacité suffisante. Ils sont composés de deux bagues distinctes, la bague intérieure et la bague extérieure. Afin de prolonger l'arbre du moteur deux, un accouplement flexible sera utilisé. Celui-ci rendra solidaire en rotation cet arbre moteur et l'arbre dont la rotation est engendrée par la rotation du tapis tournant, en serrant par des vis, l'étage haut et l'étage bas de l'accouplement

flexible indépendamment.

Il est possible de construire un schéma cinématique permettant de visualiser les différentes pièces et de rendre compte des rotations relatives de celles-ci.

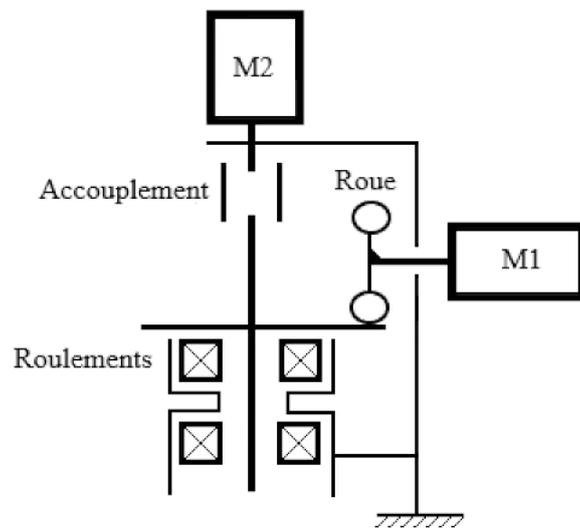


Figure 27: Schéma cinématique du banc Moteur-Roue

Sur ce schéma figure le moteur et la roue, fixés en translation. Ce qui est solidaire en rotation sont les éléments suivants : l'arbre du moteur deux, l'accouplement flexible, l'arbre du banc de test, la plaque tournante entraînée par la roue et les roulements. Ce qui reste fixe, le corps de roulement, la structure du banc et les cartes électroniques des deux moteurs.

Après avoir étudié les mouvements relatifs des pièces, il est maintenant temps de schématiser précisément le banc Moteur-Roue. Le schéma contrairement à un plan, n'est pas forcément à l'échelle réelle, c'est un outil qui permet une visualisation concrète de l'articulation des pièces et de permettre la compréhension du principe de fonctionnement de l'assemblage. Il est impératif de prendre en compte un principe fondamental de la mécanique lors de l'élaboration d'un schéma : La Mise en Position (MiP) et le Maintien en Position (MaP) de l'ensemble des pièces. Pour qu'un assemblage soit fonctionnel, chaque pièce doit être contrainte en fonction de ses degrés de liberté. La MiP, se traduit notamment par le contact de surfaces, de points

ou par des guidages dont les formes peuvent varier. Le vissage, le collage ou la soudure par exemple sont des formes de MaP.

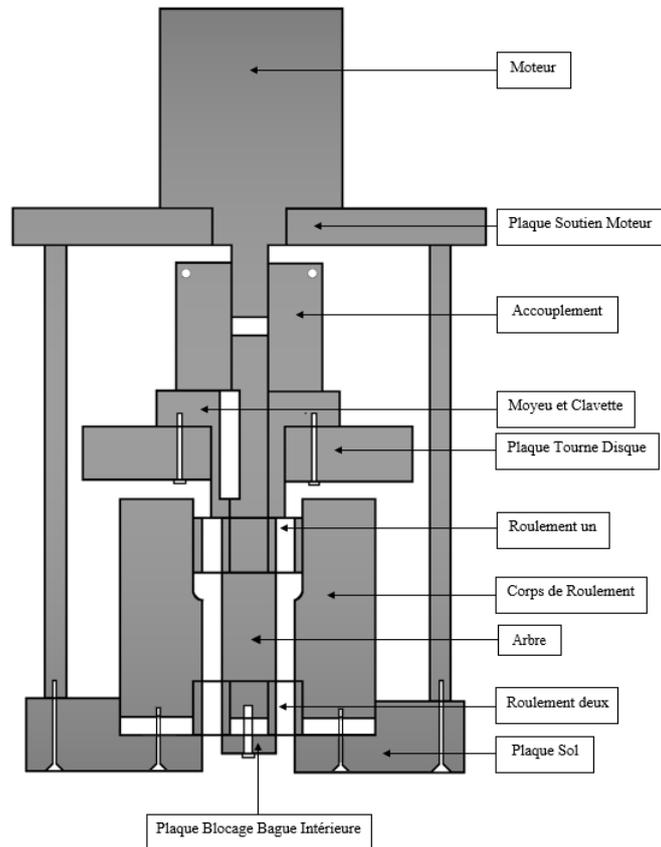


Figure 28: Schéma Banc Moteur-Roue

Ce schéma est une vue en coupe simplifiée du banc Moteur-Roue. Il est composé de onze pièces différentes. La première est le moteur qui fonctionne en génératrice, vissé à une plaque de forme triangulaire intitulée "Plaque Soutien Moteur". Dessous se trouve l'accouplement flexible. Il est important que l'arbre du banc de test et l'arbre moteur ne se touche pas à l'intérieur de l'accouplement sous peine de créer des frottements mécaniques inutiles. Au contact de l'accouplement se trouve un moyeu associé à une clavette, c'est lui qui rend solidaire l'arbre du banc et la "Plaque Tourne Disque". En effet, sous l'effet de la roue du robot, la "Plaque Tourne Disque" va tourner, entraînant avec lui le moyeu encastré. En tournant, le moyeu va appuyer sur la clavette qui va être contrainte de tourner également. L'arbre du banc, possède au niveau de la clavette, une zone plate, et donc lorsque la clavette va tourner,

elle appuiera sur les rebords de cette zone plate, entraînant ainsi sa rotation. A noter que le moyeu utilisé pour le prototype opérationnel ne sera pas avec une clavette mais avec une vis de pression. Le résultat reste le même, car pour de petits arbres ($<10\text{mm}$), il est peu courant de trouver des moyeux clavetés. Les roulements sont au nombre de deux et doivent répondre au principe du palier fixe, palier libre. C'est à dire, lors d'un montage de ce type, il est nécessaire d'avoir un palier fixe pour assurer le positionnement axial de l'arbre et un palier libre, qui permet les déplacements axiaux liés à des dilatations thermiques ou d'autres phénomènes physiques pouvant modifier la géométrie des roulements. Dans notre cas, ces phénomènes n'interviennent pas ou très peu, cependant il est important de respecter cette règle fondamentale. C'est pour cette raison que le moyeu doit être en appui sur les bagues intérieures du roulement un. De plus, un épaulement de l'arbre est nécessaire pour appuyer sur l'autre côté de la bague intérieure de roulement. Il est notable que le "Corps de Roulement", qui est la structure qui entoure les roulements n'appuie pas sur les bagues extérieures du roulement un, elle n'appuie que sur les parois du roulement. Le palier libre est donc le roulement un. En effet, concernant le roulement deux, un épaulement de l'arbre vient bloquer les bagues intérieures de roulement, tout comme une plaque intitulée "Plaque Blocage Bague Intérieure". Le "Corps de Roulement" est en contact avec les bagues extérieures du roulement deux. La "Plaque Sol" bloque l'autre bague extérieure. Ainsi, le roulement deux est le palier fixe. Il est primordial que la base du corps de roulement ne soit pas en contact avec la plaque Sol. En effet, cela enlèverait, le blocage de la bague extérieure du roulement deux. La "Plaque Soutien Moteur" est maintenu par des entretoises liées à la "Plaque Sol". Il est également important que les vis présentes dans la plaque sol aient une tête fraisée pour ne pas qu'elles dépassent du sol, cela créerait un déséquilibre dévastateur.

Concernant le banc Kicker, même si ce n'était pas spécifié dans le cahier des charges, il était nécessaire de pouvoir régler la hauteur du pendule, ainsi que la masse de la balle. Afin de déterminer l'angle maximal du pendule, nous utiliserons un encodeur.

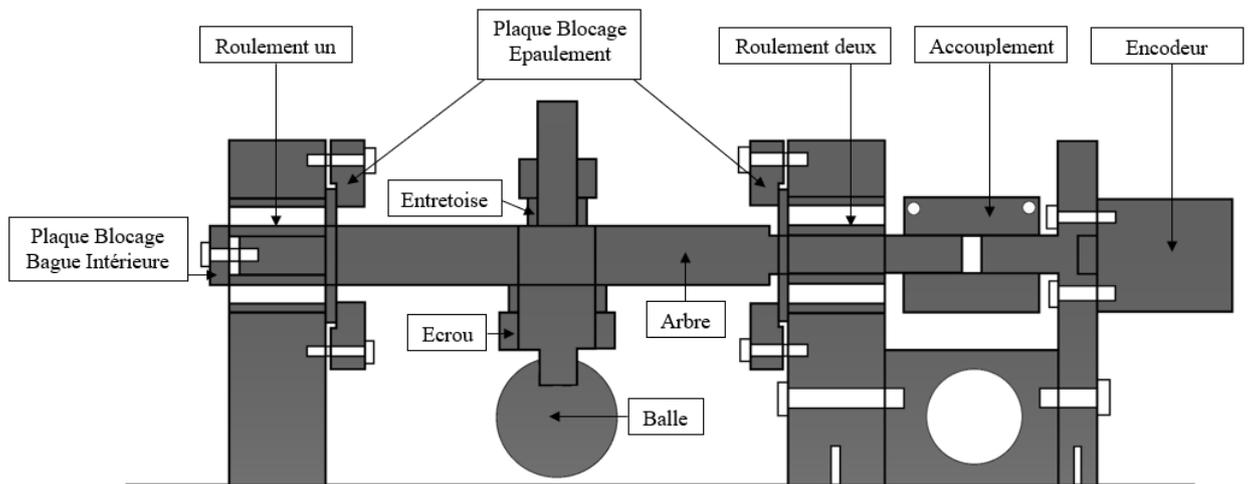


Figure 29: Schéma Banc Kicker

Ce schéma est une vue en coupe simplifiée du banc Kicker. Il est composé de deux roulements épaulés, respectant la règle du palier fixe palier libre. Le roulement un est le palier fixe, en effet, ses bagues sont toutes bloquées. L'arbre possède un épaulement qui, couplé à la plaque intitulée "Plaque Blocage Bague Intérieure" bloquent les bagues intérieures. De plus l'épaulement et la plaque nommée "Plaque Blocage épaulement", bloquent les bagues extérieures. Il est important que les plaques "Blocage Épaulement", ne touchent pas les piliers car comme précédemment, cela l'empêcherait d'appuyer sur les bagues extérieures de roulement. De l'autre côté, l'arbre ne bloque pas les bagues intérieures de roulement: C'est le palier libre. Un accouplement flexible est également utilisé pour ce banc, en effet, l'arbre de l'encodeur doit être solidaire en rotation avec l'axe du pendule afin de mesurer son angle. La gestion de la hauteur de la balle est géré par deux écrous retenus par des entretoises. Pour utiliser cette méthode, la tige du pendule doit être filetée. Ainsi, en vissant l'écrou du bas et en dévissant l'écrou du haut, la balle monte. En faisant l'inverse la balle descend. La balle, est également maintenue par un filetage.

Le banc Dribbler n'a pas pu être développé pendant ce stage, néanmoins il semble complexe de mesurer l'efficacité d'un dribbler par la simple mesure de paramètres physiques. Il a donc été retenu qu'une pente de quelques

dizaines de centimètres de longueur, dont l'angle optimisé est encore à définir et une caméra sur trépieds couplé à un logiciel d'analyse d'image développé en interne puissent offrir des résultats probants.

2.4.3 Modèles CAO (Conception assistée par Ordinateur)

Les schémas fonctionnels étant effectués, il est maintenant possible de dessiner ces bancs en 3D sur Freecad. Un logiciel libre et Open-Source de modélisation 3D créé en 2001 par Jürgen Riegel. Avant de fabriquer quatre module du banc Moteur-Roue, il a été décidé de d'abord construire un prototype opérationnel de ce banc afin d'effectuer des mesures et ainsi pouvoir commencer à développer l'acquisition des données et l'interface du banc.

Le modèle CAO du banc Moteur-Roue a été fait dans l'atelier d'assemblage de Freecad, c'est à dire que les contraintes détaillées dans le schéma fonctionnel ont été respectées. Certaines pièces seront cependant achetées dans le commerce: L'accouplement, le moyeu, les roulements, les entretoises et le moteur. Les autres pièces seront fabriquées en interne : La "Plaque Soutien Moteur", l'arbre, la "Plaque Tourne Disque", le "Corps de Roulement", la "Plaque Blocage Bague Intérieure" et la "Plaque Sol". Toutefois, le filetage n'apparaît pas sur le modèle mais il sera pris en compte sur les plans des différentes pièces fabriquées.

Il est nécessaire de dimensionner la plaque tourne disque afin de vérifier sa vitesse de rotation, en effet une vitesse de rotation trop élevée pourrait entraîner des problèmes importants empêchant la prise de mesures utilisables. La vitesse linéaire maximale du robot est de 9 m/s. Cette valeur est définie par la règle officielle de la Robocup et ne peut en aucun cas être dépassée en compétition.

La formule utilisée pour obtenir le nombre de tours est la suivante:

$$n = \frac{v_{max}}{2\pi \cdot x}$$

Avec x , la distance entre le point de contact de la roue et du sol et le centre du disque en m, n le nombre de tour par unité de temps et v_{max} valant 9m/s.

Distance contact Roue-Sol et Centre du disque : x (mm)	Nombre de tours (tr.s ⁻¹)	Nombre de tours (tr.min ⁻¹)
10	143,24	8594
20	71,62	4297
30	47,75	2865
40	35,81	2149
50	28,65	1719
60	23,87	1432
70	20,46	1228
80	17,90	1074
90	15,92	955
100	14,32	859

Figure 30: Tableau Dimensionnement Plaque Tourne Disque

Ainsi la valeur de 40mm est retenue. En effet, elle reste suffisamment faible pour ne pas être contraignante en terme d'espace et elle permet une vitesse de rotation en harmonie avec les besoins du banc. Ainsi, le banc Moteur-Roue sera conçu autour de cette valeur. La "Plaque Tourne Disque" sera donc de diamètre 50mm.

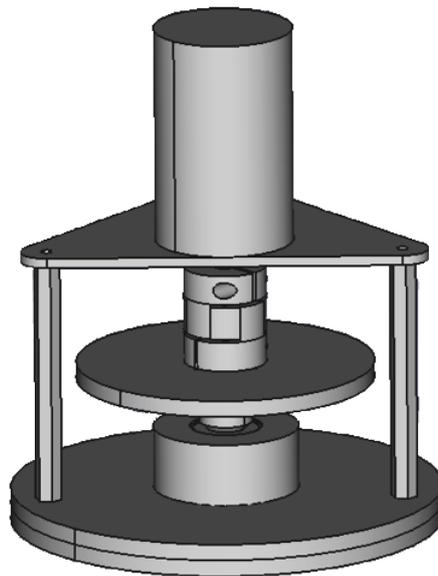


Figure 31: Modèle CAO du banc Moteur-Roue

La principale difficulté d'un dimensionnement réel est le respect de la cohérence des différentes pièces assemblées. En effet, grâce à un logiciel de CAO, il est possible de dessiner des pièces de toutes les dimensions possibles. Rien n'empêche de créer une entretoises de 17,68 mm. Cependant, lors de

l'achat de ces mêmes pièces, seules certaines dimensions normalisées sont trouvables. Le dimensionnement doit trouver un équilibre entre optimisation d'une part et cohérence d'autre part.

Le banc kicker a également été dessiné avec l'atelier d'assemblage de Freecad. Les contraintes imposées par le schéma fonctionnel ont été respectées.

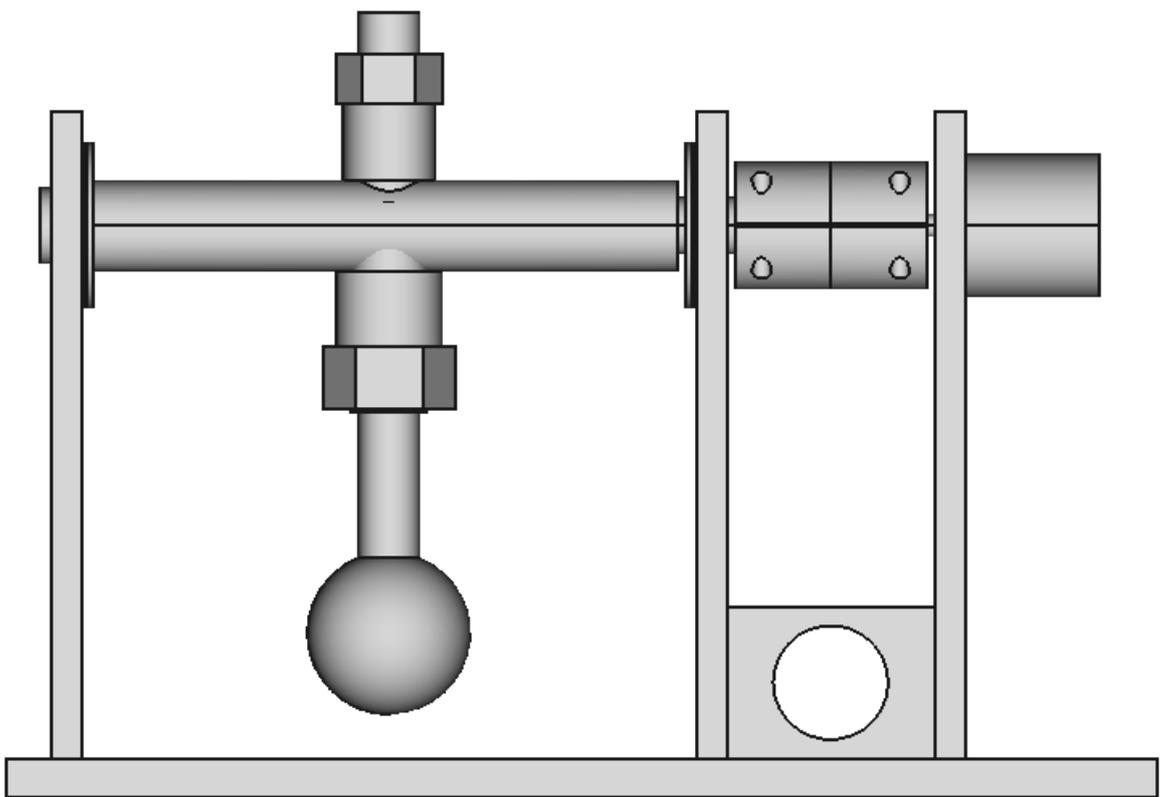


Figure 32: Schéma Banc Moteur-Roue

Ce banc ne sera pas fabriqué à l'issue de ce stage, néanmoins les dimensions sont cohérentes. Il sera sûrement nécessaire d'effectuer certaines modifications, notamment si l'encodeur possède des dimensions différentes ou si les disponibilités matérielles au moment de la fabrication imposent un changement de plan.

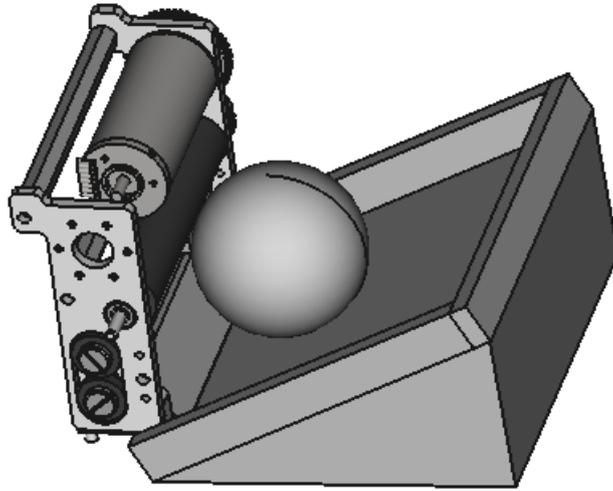


Figure 33: Schéma Banc Dribbler

Ce modèle ne permet que de visualiser à quoi pourrait ressembler le banc Dribbler, il est cependant nécessaire de développer la solution proposée avant de la fabriquer.

Le blocage de tous les degrés de libertés du robot est primordial pour que les résultats soient significatifs et utilisables. De plus, le banc a pour vocation de tester le robot dans son ensemble mais aussi chaque organe indépendamment des autres. La solution pour le blocage du robot entier nécessite la création de deux trous dans la base du robot.

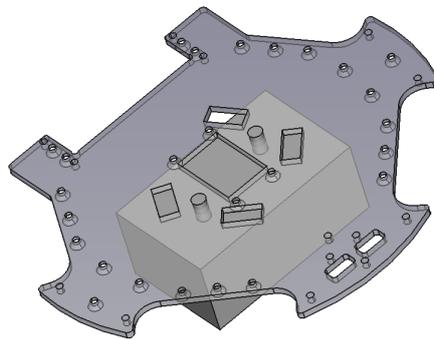


Figure 34: Modèle CAO du système de blocage du robot

Il est impératif que la plaque du robot ne touche pas le pavé, car les

points d'appuis du robot doivent être uniquement au niveau de ses roues. Si la masse se répartie autre part, les résultats ne seront pas cohérents avec la réalité et donc les tests n'auront aucun intérêt. Les deux trous sont de formes différentes, l'un est rond, bloquant les translations dans deux directions x et y , l'autre est ovale bloquant la rotation planaire. La forme ovale du trou dans le robot permet un placement beaucoup plus simple, en effet si les deux trous sont ronds, alors la marge d'erreur est de zéro. Or, lors d'une fabrication, même avec des outils très précis, il est nécessaire de prendre en considération une incertitude relative à l'outil utilisé. Dans aucun cas, cette incertitude ne peut valoir zéro. Cependant avec un trou ovale, il est possible de prendre en compte une marge d'erreur sans impacter la qualité du blocage. Les deux cylindres sont filetés, pour permettre la mise en place de rondelles et d'écrous afin de bloquer les deux rotations restantes et la translation selon z . Ainsi, le robot est complètement bloqué. Néanmoins, cette pièce ne sera pas fabriquée durant ce stage.

Maintenant qu'il est possible de bloquer le robot entier, il est temps de modéliser le système d'une roue seule.

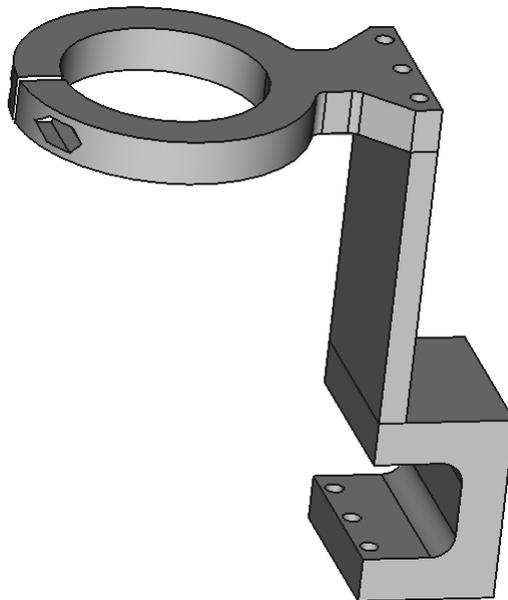


Figure 35: Modèle CAO du système de blocage d'une Roue

Ce système utilise la plaque trouée et taraudée qui permet de fixer les roues au robot. La pièce en U est vissée à la "Plaque Sol" par trois vis et est également vissée à la plaque du robot. L'utilisation de vis à tête hexagonale

est nécessaire pour ce montage afin de serrer par le côté. La pièce au dessus de la plaque est également vissée à la plaque du robot par trois vis. Cette pièce permet un serrage autour du moteur en fonctionnement génératrice et ainsi le blocage complet de la roue du robot. Le trou hexagonal permet d'introduire un écrou afin de pouvoir visser depuis l'autre côté. Un espace entre la partie de la vis et la partie de l'écrou permet d'insérer facilement la pièce autour du moteur. Cependant, ces pièces ont été conçues pour être fabriquées en impression 3D. L'accès aux machines d'usinages a été écourté, il a donc fallu s'adapter aux moyens de production disponibles. Il sera nécessaire d'adapter ces pièces en envisageant un autre moyen de fabrication que l'impression 3D.

2.5 Plans fonctionnels avec tolérances

Seul le banc Moteur-Roue a été fabriqué, ainsi les plans des pièces usinées du banc Kicker et du ban Dribbler n'ont pas été effectués. Cependant, avant de passer à la fabrication, il est nécessaire d'effectuer les plans avec les tolérances strictes et adéquates pour que l'usineur puisse fournir une pièce utilisable lors de l'assemblage. La valeur des tolérances est donnée par une table issue du Guide du dessinateur industriel écrit par André Chevalier publié en 2004 aux éditions hachette technique. Ces tables sont présentées en annexe 10 pour les alésages et 11 pour les arbres. Un alésage peut être traduit comme un élément mécanique femelle dans le cadre d'un ajustement circulaire. La différence entre arbre et alésage est spécifiée dans les plans, au niveau des tolérances, par des lettres majuscules, pour les alésages et minuscules, pour les arbres. Plusieurs lettres sont utilisables et répondent à des types de pièces différentes. Cependant, seule la lettre "h" sera utilisée car il est nécessaire que le banc soit entièrement démontable à la main sans détérioration des pièces. Concernant les arbres la tolérances h6 sera utilisée et pour les alésages la tolérances H7. Cette différence de taille s'explique par le fait que l'alésage doit être plus grand qu'un arbre, car ce dernier devra être introduit au moins en partie à l'intérieur de l'alésage. Il est également important de prendre en considération que tous les taraudages effectués sur les pièces usinées sont des taraudages M3.

2.5.1 Pièces Tournées

Les pièces tournées sont au nombre de trois: L'arbre, le "Corps de Roulement" et la "Plaque Blocage Bague Intérieure". Ainsi, le premier plan présenté est celui de l'arbre.

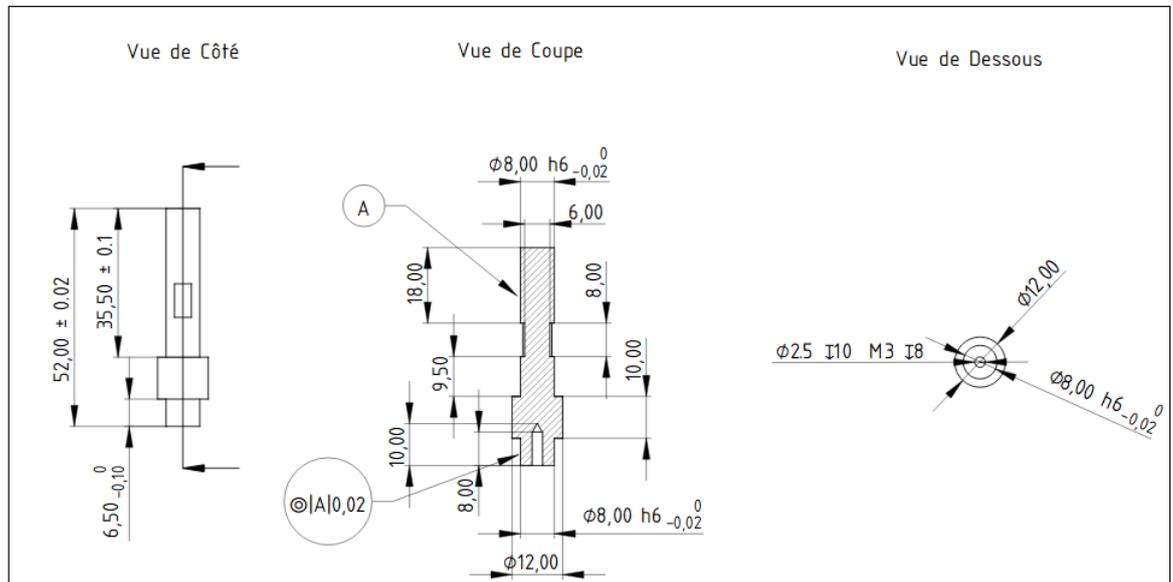


Figure 36: Plan de l'arbre

La vue de côté permet de donner les tolérances de la longueur axiale de l'arbre. Au dessus, il est important que l'arbre ne touche pas l'arbre moteur et en bas, il est impératif que les épaulements bloquent les bagues intérieures de roulement. Ce symbole \odot correspond au symbole de concentricité et signifie qu'un déplacement maximal, tout au long de l'arbre, de 0.02 mm autour de l'axe médian par rapport à l'axe de référence est toléré. Les trous de vis taraudés sont d'un diamètre de 2.5mm. En effet, la règle stipule que le diamètre du trou non taraudé doit respecté :

$$D_{trou} = d_{vis} - Pas_{vis}$$

Or, le pas d'une vis correspond à la distance relative en translation parcourue par une vis lors d'un tour complet. Pour une vis de diamètre M3, le pas est de 0.5mm. De cette manière, il a été conclu que des trous de diamètres 2.5mm seraient cohérents. Le taraudage sera effectué après l'usinage grâce à un taraud. Quant à la profondeur du trou, la règle impose qu'elle soit au moins supérieure à 1,5 fois le diamètre de la vis. Ainsi, il est nécessaire d'avoir des trous de profondeur supérieure à 4,5mm. Avec des trous de 8mm, le respect de cette règle est total. La zone plate de l'arbre correspond à la zone de pression de la vis du moyeu, cette zone permet de maximiser la surface de contact et donc l'efficacité du procédé. Les dimensions de l'épaulement sont liés directement aux roulements, en effet 12mm permet de bloquer entièrement les bagues intérieures des roulements. Enfin

un diamètre de 8mm est un compromis suffisant en terme de résistance et de taille.

La seconde pièce est le corps de roulement.

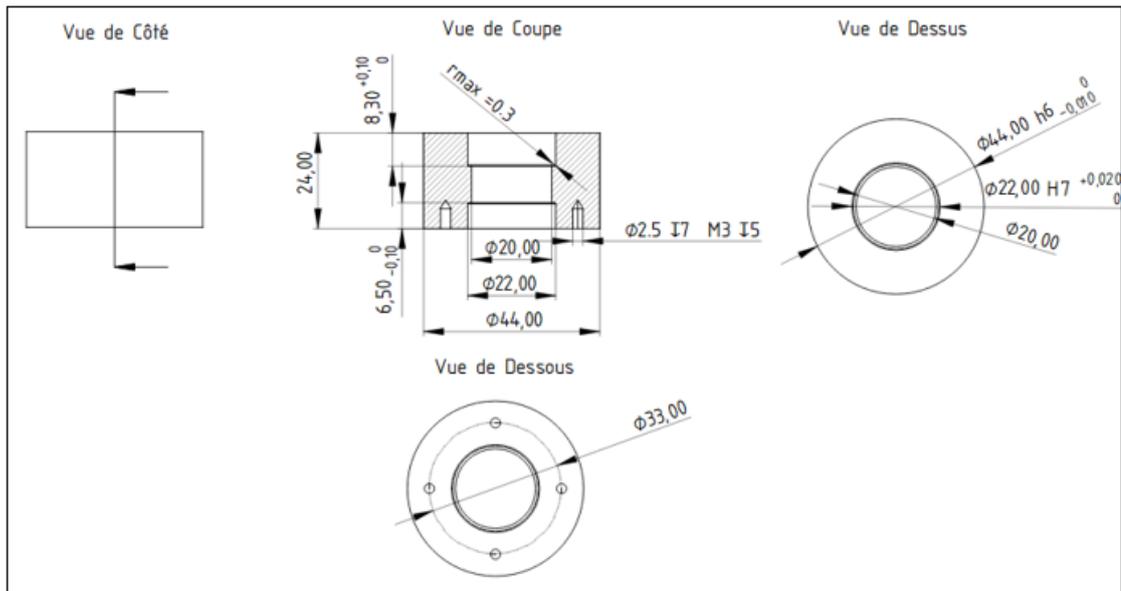


Figure 37: Plan du Corps de Roulement

Les diamètres intérieurs du corps de roulement sont dimensionnés selon les roulements. En effet, il est nécessaire que le roulement inférieur soit en appui direct avec la "Plaque Sol" tandis que le corps de roulement ne doit pas l'être. Le diamètre extérieur de 44mm permet un appui solide sur les bagues intérieurs du roulement inférieur.

La dernière pièce tournée est la "Plaque Blocage Bague Intérieure"

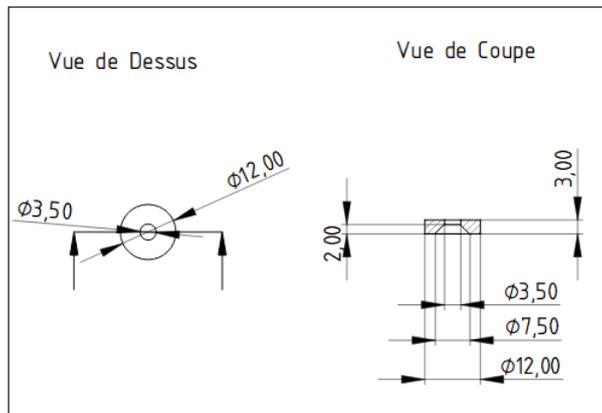


Figure 38: Plan de la plaque Blocage Bague Intérieure de roulement

L'épaisseur de 3mm est justifiée par le fait que cette pièce n'est pas soumise à des contraintes importantes. Cependant, la tête fraisée de la vis impose une épaisseur minimum : 3mm. La vis sera fixée à l'arbre.

2.5.2 Pièces Fraisées

Le tournage est terminé pour ce banc, la "Plaque Soutien Moteur", la "Plaque Tourne Disque" et la "Plaque Sol" seront fraisées. Néanmoins, quelque soit la méthode de fabrication il est utile d'effectuer les plans avec les tolérances en suivant les mêmes règles. La première pièce est la "Plaque Tourne Disque".

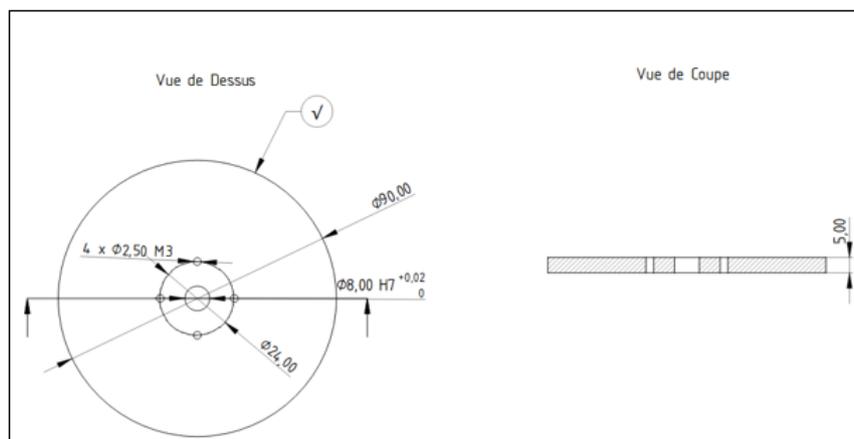


Figure 39: Plan de la Plaque Tourne Disque

Le symbole \surd signifie que la pièce peut être directement usinée à partir d'un brut, dans notre cas, un cylindre de 90mm. L'épaisseur de 5mm a été choisi car elle permet une rigidité suffisante et un volume de matière relativement faible. Les quatre trous taraudés correspondent à la fixation de cette plaque au moyeu. Le diamètre de 24mm correspond donc à l'espacement des trous non taraudés du moyeu.

La prochaine pièce est la "Plaque Soutien Moteur"

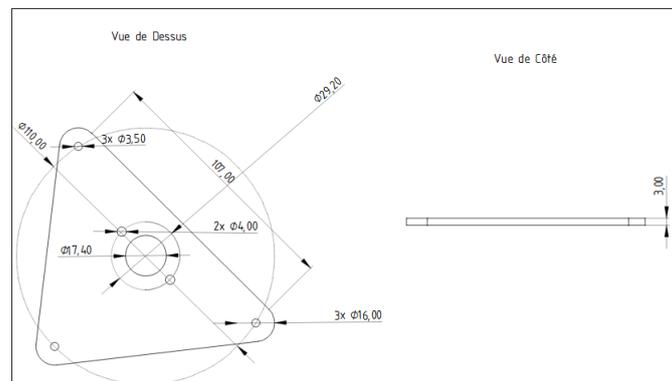


Figure 40: Plan de la Plaque Soutien Moteur

Les trous de cette plaque ne sont pas taraudés, c'est pour cette raison qu'ils possèdent un diamètre de 3,50mm et non 2,50mm. En effet, une vis M3 peut traverser ce trou sans toucher les bords mais la tête de vis ne pourra pas. L'épaisseur de 3mm a été choisi, car malgré le poids du moteur, les contraintes mécaniques liées à une éventuelle déformation resteront négligeables.

Enfin, la dernière pièce fraisées est la "Plaque Sol".

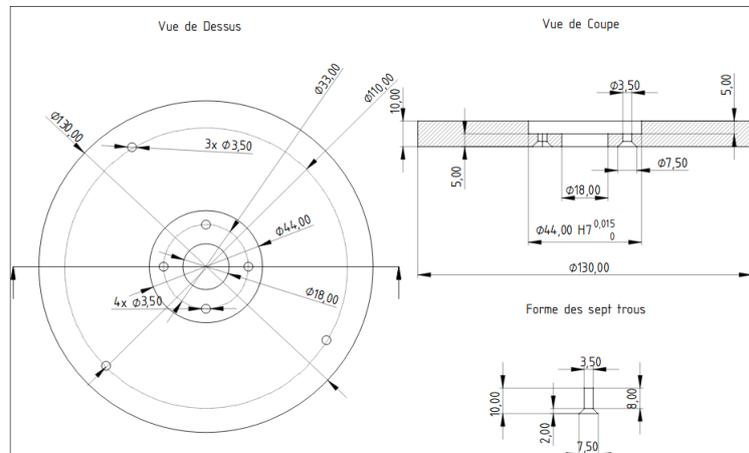


Figure 41: Plan de la Plaque Sol

Celle-ci est cylindrique pour le prototype opérationnel mais dans le cas du banc complet, il faudra modifier sa forme afin qu'elle englobe l'ensemble des modules du banc d'essai. Le diamètre des trois trous extérieurs correspondent aux entretoises liant la plaque sol et la plaque soutien moteur. Le diamètre de 33mm pour les quatre trous intérieurs sont dimensionnés pour lier la plaque sol et le corps de roulement. Le trou central a été dimensionné selon les roulements et permet notamment le placement de la bague intérieure de roulement.

2.6 Usinage des Pièces et Assemblage

Les plans sont désormais terminés, l'usinage peut commencer. Comme expliqué lors de la création des plans, sur les six pièces usinées, trois seront tournées et trois seront fraisées. Les perçages se feront avec une perceuse à colonne et les taraudages avec des tarauds adaptés aux dimensions du trou en question. L'ensemble des pièces seront en aluminium de par sa simplicité d'usinage comparé aux autres métaux et à sa disponibilité lors du projet.

2.6.1 Pièces Tournées

La méthode de tournage est similaire pour les trois pièces à usiner étant donné que ce sont trois cylindres. La liste des opérations possibles d'un tour est disponible en annexes 6 et 7. Dans un premier temps, une découpe grossière dans un brut cylindrique légèrement plus large que la pièce souhaitée est nécessaire. Il est également impératif que la longueur du brut

soit supérieure à celle de la pièce. Les ajustements de dimensions se feront à l'aide du tour. Après avoir placé le brut sur le tour et l'avoir fixé en utilisant les mors du mandrin, le dressage de la première surface peut avoir lieu. Il est ensuite nécessaire d'effectuer un centrage, permettant à la pièce d'être tenu des deux cotés et donc d'être plus stable pour le chariotage. Il est pertinent, pour cette étape, d'effectuer plusieurs petites longueurs, pour ne pas franchir la valeur du diamètre extérieure imposée. Ainsi, l'utilisateur chariote, puis mesure à l'aide d'un pied à coulisse, si le diamètre est encore trop grand, il chariote à nouveau et répète ces étapes jusqu'à obtention d'un diamètre convenable.

Le perçage central peut maintenant être effectué en sachant que la profondeur des trous est définie par les plans. Dans le cas du "Corps de Roulement", il est nécessaire d'effectuer un alésage afin d'effectuer le congé sur la surface intérieure de la pièce. Quant à la plaque blocage bague intérieure, le trou doit être chanfreiné, concluant par ailleurs sa fabrication. Cependant pour l'arbre et le corps de roulement, les pièces doivent être retournées. Une vérification de la coaxialité doit être faite grâce à un comparateur de concentricité. Un système composé d'une tige mobile en translation qui transmet son déplacement à un dispositif transformant un mouvement de translation en mouvement de rotation par le biais d'aiguille que l'utilisateur voit.

Une fois la coaxialité vérifiée, le dressage de la deuxième surface peut être fait. Il est important, comme pour le chariotage, de mesurer la longueur du cylindre après chaque dressage. Pour le "Corps de Roulement", il est nécessaire de percer également cette surface et d'aléser la surface intérieure alors formée. Les trois pièces sont fabriquées, il ne reste plus qu'à percer les trous non centraux du corps de roulement à l'aide d'une perceuse à colonne et de les tarauder à l'aide d'un taraud et d'un tourne-à-gauche. La méthode pour tarauder efficacement est d'insérer la pointe du taraud dans le trou et d'effectuer un mouvement de rotation pour créer le filet dans le perçage. Pour soulager le taraud et éviter qu'il ne se casse, l'utilisateur doit faire des rotations dans le sens inverse régulièrement. Enfin, il est important de lubrifier le perçage et le taraud grâce à une huile de coupe. Une fois le taraudage effectué, les pièces sont prêtes. Il est temps de fraiser les trois dernières pièces.

2.6.2 Pièces Fraisées

L'usinage des trois plaques restantes se fait dans des plaques d'aluminium rectangulaires d'épaisseur différentes pour chaque pièce. La fraiseuse utilisée

n'est pas une fraiseuse manuelle, il est donc nécessaire d'avoir recours à un logiciel de FAO (Fabrication Assistée par Ordinateur) comme TopSolid par exemple. La méthode de fraisage sera la même pour les trois plaques.

Dans un premier temps, on importe le modèle CAO souhaité en indiquant la nature du brut utilisé. Il faut ensuite indiquer le modèle de la fraiseuse utilisée lors de l'usinage. Ainsi l'utilisateur peut voir sur son écran, la machine en question, le brut choisi et le modèle de la pièce. Il ne reste plus qu'à programmer les actions que la machine doit faire pour obtenir à partir du brut, la pièce souhaitée. Il faut également spécifier les dimensions et le type de fraises. Enfin, le blocage du brut doit être complet, pour cela on peut utiliser un étau. Après vérification du montage, le fraisage peut commencer. La première étape consiste en un usinage par le flanc afin de découper le contour des plaques. Il est préférable d'utiliser une fraise de gros diamètre, supérieur à 10cm, afin de minimiser les risques de cassure. Il est important de laisser quelques languettes équitablement réparties sur le contour pour que, lorsque la pièce se détachera du brut, celle-ci ne bouge pas. Les languettes pourront être cassées avec un maillet et un tourne vis après l'usinage. Les plaques étant dessinées dans les brut, il faut maintenant effectuer les perçages. Tout comme le tour, un centrage préalable au perçage est recommandé pour guider le foret. Un chanfrein est nécessaire pour la "Plaque Sol". Après avoir programmé l'ensemble des opérations à faire sur les bruts. Le fichier résultant est transmis à la machine qui se met en route et exécute le programme. L'utilisateur doit surveiller tout le procédé de fabrication en gardant une main sur le bouton d'arrêt d'urgence.

Une fois l'ensemble des pièces usinées et achetées. L'assemblage peut être fait.



Figure 42: Photo du Prototype Opérationnel après assemblage

Toutes les pièces usinées sont issues de bruts récupérés ayant déjà servi lors d'un précédent usinage. C'est pour cette raison que la plaque sol possède ces rainures et ces perçages. Cet assemblage, couplé au système de blocage de la roue seule du robot pourrait permettre d'effectuer l'ensemble des tests prévus par le cahier des charges. L'unique capteur ayant pu être installé sur le prototype est un encodeur incrémental de la marque Broadcom. Afin de bloquer ce codeur sur l'arbre du moteur, une pièce a été imprimée en 3D.

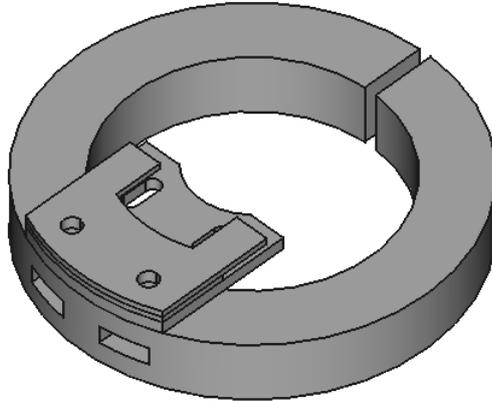


Figure 43: CAO du blocage de l'encodeur autour du moteur

La pièce se divise en deux parties, la partie inférieure est semblable au système de blocage de la roue seule, une vis, couplé à un écrou, permet le serrage de la pièce autour du moteur. La seconde partie, bloque l'encodeur grâce à deux bras. Deux vis, dont les écrous se situent au niveau des gorges, permettent d'appliquer une force sur les bras qui bloque tous les degrés de liberté de l'encodeur. Quant au disque optique, il est fixé à l'arbre par une vis de pression et est donc solidaire en rotation avec ce dernier.

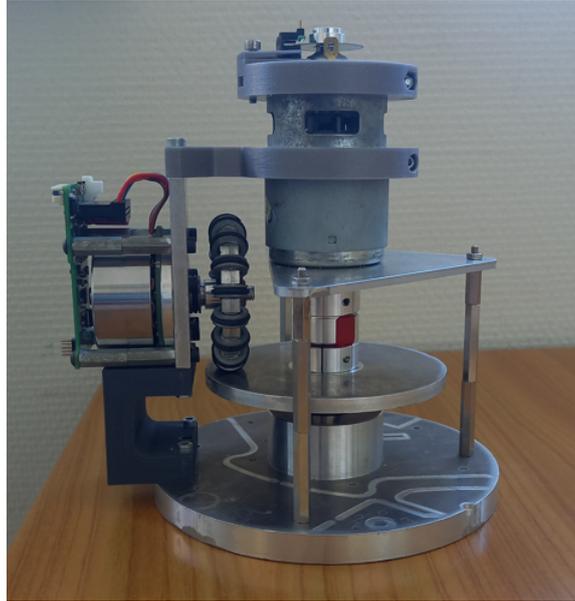


Figure 44: Photo du prototype final à la fin du stage

Le prototype opérationnel fonctionne. Lorsque la roue tourne, la plaque tourne, le disque tourne également à la même vitesse, entraînant à son tour l'arbre moteur. Il faut désormais se pencher sur l'acquisition et l'exploitation des données. De plus, quelques améliorations doivent être effectuées pour passer du prototype au banc

2.7 Prix de Fabrication du Prototype Opérationnel

Afin de se rendre compte du prix du prototype opérationnel, il est important de lister l'ensemble des dépenses effectuées pour la fabrication de celui-ci.

Prix du Prototype Opérationnel			
Nom	Nombre	Prix/Unité (€)	Total (€)
Pièces Achetées			
Accouplement	1	2	2
Roulement	2	0,5	1
Moyeu	1	1,5	1,5
Entretoises	3	0,7	2,1
Encodeur	1	40	40
Moteur	1	15	15
Visserie	1	4	4
Pièces Fabriquées			
PLA Impression 3D (g)	43,21	0,048	2,07
ABS Impression 3D (g)	27,42	0,025	0,69
Brut pour Usinage	1	35	35
Utilisation machine (h)	3	80	240
Total			343,36 €

Figure 45: Tableau des dépenses pour la fabrication du prototype

Ainsi, les dépenses sont divisées en deux parties, la première concerne les pièces achetées et la seconde concerne les pièces fabriquées. L'accouplement, les roulements, le moyeu, les entretoises et la visserie a été acheté spécialement pour le banc d'essai. Étant donné, le coût de ces pièces, il a été possible de les acheter en grand nombre et donc moins cher. Certes, le banc d'essai ne se servira pas de l'entièreté du stock commandé, mais celui-ci servira pour d'autres projets du Fablab dans les années à venir. Concernant le moteur et l'encodeur, ceux-ci n'ont pas été achetés exclusivement pour le banc, ils ont été reçus suite à une erreur de dimensionnement d'un précédent projet. Il est possible de trouver un prix pour ces deux pièces, néanmoins cette somme d'argent n'a pas été dépensée directement pour le banc d'essai.

Les pièces fabriquées présentent des prix plus élevés. Cette augmentation est dû au prix horaire des machines du Technoshop, avec une moyenne de 80 euros par heure, cela représente environ 70% du prix total du prototype. Cette somme n'a pas été directement dépensé, en effet, en étant membre du Technoshop, l'accès aux machines n'était pas facturé. Les trois plaques et le cylindre utilisés comme brut n'ont également pas été facturés. Ils sont également issus d'un échec d'un précédent usinage.

Camembert des dépenses pour le prototype opérationnel

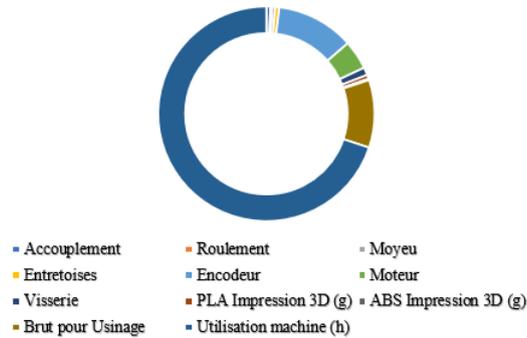


Figure 46: Camembert des dépenses pour le prototype opérationnel

Ce camembert permet de rendre plus visuel le bilan des dépenses. La réalisation du banc complet coûtera plus cher car il faudra acheter les encodeurs et les moteurs pour les trois autres roues. L'usinage doit être fait impérativement en interne pour éviter les factures d'utilisation des machines. Concernant les banc kicker, il faudra acheter un encodeur pour la mesure de l'angle du pendule. L'usinage va également coûter cher en vue des nombreuses pièces à fabriquer. Le banc dribbler aura besoin d'une caméra dont la fréquence d'image reste à définir, plus elle sera élevée, plus le prix augmentera. Un équilibre est donc à trouver pour minimiser le prix et maximiser la précision des mesures.

2.8 Perspectives et Améliorations

Dans cette partie, nous nous intéresserons aux perspectives et aux éventuelles améliorations à apporter au prototype opérationnel. Trois types de besoins informatiques sont également à prévoir notamment en programmation pour la manipulation du robot, l'acquisition des données des différents capteurs et l'interface du banc d'essai.

Le problème le plus immédiat est la mise en place des différents capteurs sur le prototype opérationnel. En effet, il faut connecter un voltmètre pour la tension et un ampèremètre pour l'intensité du courant aux bornes du moteur en fonctionnement génératrice. De plus une résistance électrique doit également être placée sur l'assemblage. Ces éléments, comme l'encodeur, nécessitent une connectique précise qui reste à définir. Des cartes électroniques doivent être utilisées pour lire les différentes données mesurées par tous les

capteurs afin de les communiquer à l'ordinateur du banc de test. Le choix des moyens de communication entre les éléments impliqués reste à faire.

En terme de manipulation du robot, il est nécessaire d'écrire des codes pour manipuler librement les différents organes du robot indépendamment. L'utilisateur doit être capable de faire tourner les roues du robot à une vitesse comprise entre 0 et 9m/s, de déclencher le Kicker et de faire fonctionner le Dribbler durant un temps donné. Il est également nécessaire de mesurer la tension et l'intensité du courant aux bornes des condensateurs et du moteur du dribbler. Un aspect important du banc complet est la notion de diagnostic, c'est à dire la possibilité de vérifier rapidement, l'état d'un robot avant un match par exemple. Dans ce sens, le développement d'un programme testant l'ensemble des organes du robot les uns après les autres pourraient être intéressant. Par exemple, faire tourner pendant 15 secondes chaque roue, une par une puis déclencher le kicker, pour finir par actionner le dribbler pendant 30 secondes.

L'interface du banc de test doit permettre de comparer plusieurs mesures d'un même paramètre et afficher clairement les résultats obtenus. Il est impératif que l'interface soit ergonomique et simple d'utilisation car ce banc sera également utilisé dans le cadre de la Robocup Junior, c'est à dire utilisé par des étudiants de moins de 19 ans qui n'ont pas forcément les compétences techniques pour comprendre les codes informatiques complexes. Une fonctionnalité intéressante serait de lier la manipulation du robot et l'interface. Manipuler le robot depuis l'interface en modifiant les paramètres d'entrées pourrait permettre à n'importe qui d'utiliser efficacement le banc d'essai.

Les plans du banc kicker sont également à modifier, en fonction des achats et des disponibilités au moment de l'usinage. La détermination de la force de frappe du kicker en fonction de l'angle maximal atteint par le pendule est également à faire, en utilisant la mécanique du pendule simple dans le cas d'une tige de masse non négligeable. Le choix du modèle de l'encodeur reste également à faire.

Certaines améliorations doivent être effectuées sur le prototype opérationnel. L'usinage des trois pièces imprimées en 3D est nécessaire. Il sera sûrement nécessaire d'effectuer des changements quant aux géométries de ces pièces. Elles ont été conçues en vue d'une impression 3D et non d'un usinage. De plus, à propos du soutien de la roue seule du moteur, un système avec des guidages mécaniques permettant de faire varier la hauteur de la roue.

Il reste donc beaucoup de choses à faire pour terminer complètement le banc d'essai. Une estimation du temps de travail restant, pour une seule personne, est de huit mois environ, quatre mois pour écrire l'ensemble des programmes permettant l'acquisition et l'interface des données reçues par tous les capteurs. Il est à noter qu'un travail préliminaire sur l'interface du banc de test a été effectué par un autre stagiaire durant trois mois. Cela dit, des corrections sont à apporter pour rendre les codes écrits fonctionnels et utilisables par le banc d'essai.

Conclusion

Durant ce stage, de nombreux objectifs ont été atteints. La conception mécanique des trois bancs est complète. Malgré quelques ajustements nécessaires pour la réalisation pratique, les plans et les schémas offrent la possibilité de construire les trois bancs d'essai avec des moyens de fabrication adéquats. Cependant, la partie électronique et programmation restent encore à faire.

À titre personnel, de nombreuses nouvelles compétences ont été développées durant ce stage notamment en conception. En effet, concevoir un système en considérant au préalable les moyens de fabrication employés et les tolérances nécessaires au bon déroulement de l'assemblage nécessite des notions de mécanique précises. De plus, une semaine fut consacrée à la programmation dans le langage C. Enfin, des notions de FAO ont été introduites de part l'usinage des différentes pièces du banc. Ces nouvelles compétences m'ont permis de m'épanouir dans la robotique, se sentir accepté par une communauté soudée et compétente impose une certaine rigueur et une motivation supplémentaire. Le soutien constant des membres du Fablab et du Technoshop offre une atmosphère de travail bienveillante et constructive. Les réunions récurrentes effectuées lors du stage permettent une organisation importante et une hiérarchisation des idées claires.

Liste des figures

1	Présentation du FabLab et du Technoshop	3
2	Organigramme du Fablab	4
3	Photo imprimante 3D Ender 3	5
4	Photo imprimante 3D Prusa i3 MK3S	6
5	Photo Découpeuse Laser Trotec, Speedy 300	7
6	Organigramme Technoshop	8
7	Centre d'usinage Mircrocut MM430	9
8	Schéma d'un tour parallèle	9
9	Logo officiel de la Robocup	11
10	Photo du Robot Humanoid Kid Size de l'équipe Rhoban	12
11	Photo d'un Robot Middle Size de l'équipe de Stuttgart 2010	13
12	Photo d'un Robot SSL de l'équipe de Carnegie Mellon Uni 2015	14
13	Modèle CAO du Robot de l'équipe NAMEC	15
14	Logo de ROS	17
15	Schéma du fonctionnement de ROS	18
16	Photo d'un Turtlebot 3	19
17	Photo d'un Poppy Ergo Jr	19
18	Exemple de résultat de cartographie	20
19	Représentation du Scénario	22
20	Schéma Bloc du Robot SSL	23
21	Modèle CAO du module Moteur-Roue	24
22	Modèle CAO du module Kicker	25
23	Modèle CAO du module Dribbler	26
24	Schéma du banc Dribbler	28
25	Schéma du banc Moteur-Roue avec roue dans le vide	29
26	Schéma du banc Moteur-Roue avec roue au sol	30
27	Schéma cinématique du banc Moteur-Roue	31
28	Schéma Banc Moteur-Roue	32
29	Schéma Banc Kicker	34
30	Tableau Dimensionnement Plaque Tourne Disque	36
31	Modèle CAO du banc Moteur-Roue	36
32	Schéma Banc Moteur-Roue	37
33	Schéma Banc Dribbler	38
34	Modèle CAO du système de blocage du robot	38
35	Modèle CAO du système de blocage d'une Roue	39
36	Plan de l'arbre	41
37	Plan du Corps de Roulement	42
38	Plan de la plaque Blocage Bague Intérieure de roulement	43
39	Plan de la Plaque Tourne Disque	43

40	Plan de la Plaque Soutien Moteur	44
41	Plan de la Plaque Sol	45
42	Photo du Prototype Opérationnel après assemblage	48
43	CAO du blocage de l'encodeur autour du moteur	49
44	Photo du prototype final à la fin du stage	50
45	Tableau des dépenses pour la fabrication du prototype	51
46	Camembert des dépenses pour le prototype opérationnel	52

A Annexe 1: Fiche Technique Imprimante 3D Ender 3



Technical Specifications :

- **Modeling Technology:** FDM (Fused Deposition Modeling)
- **Printing Size:** 220x220x250mm
- **Printing Speed:** 180mm/s
- **Filament:** 1.75mm PLA, TPU, ABS
- **Working Mode:** Online or SD offline
- **File Format:** STL,OBJ,G-code
- **Machine Size:** 440x440x465mm
- **Net Weight:** 8KG
- **Power Supply:** 100-265V 50-60HZ
- **Output:** 24V 15A 270W
- **Layer Thickness:** 0.1-0.4mm
- **Nozzle Diameter:** 0.4mm
- **Printing Accuracy:** ± 0.1 mm
- **Nozzle Temperature:** 255°C
- **Hotbed Temperature:** 110°C

B Annexe 2: Fiche Technique Imprimante 3D Prusa i3 MK3S



BASIC INFORMATION

- **Build volume** : 25×21×21 cm (9.84"×8.3"×8.3")
- **Layer height**: 0.05 - 0.35 mm
- **Nozzle**: 0.4mm default, wide range of other diameters/nozzles supported
- **Filament diameter**: 1.75 mm
- **Supported materials**: Wide range of thermoplastics, including PLA, PETG, ASA, ABS, PC (Polycarbonate), CPE, PVA/BVOH, HIPS, PP (Polypropylene), Flex, nGen, Nylon, Carbon filled, Woodfill and other filled materials.
- **Max travel speed**: 200+ mm/s
- **Max nozzle temperature**: 300 °C / 572 °F
- **Max heatbed temperature**: 120 °C / 248 °F
- **Extruder**: Direct Drive, Bondtech gears, E3D V6 hotend
- **Print surface**: Removable magnetic steel sheets with different surface finishes, heatbed with cold corners compensation
- **Safety features**: IR filament sensor, high-quality Delta PSU with Power Panic, 3 thermistors, RPM monitoring
- **LCD Screen**: Monochromatic LCD

C Annexe 3: Fiche Technique Découpeuse, Graveuse laser Trotec Speedy 300



The Speedy Series

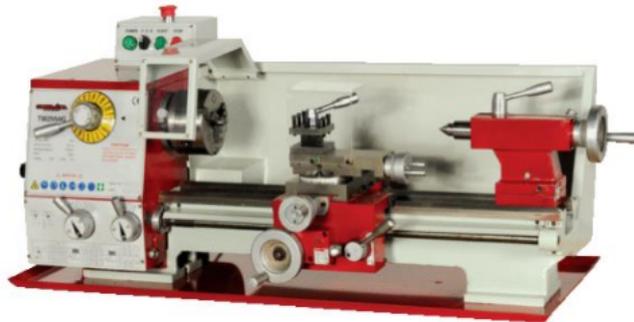
	Speedy 100	Speedy 300	Speedy 360	Speedy 400
Available products	Speedy 100 Speedy 100 fiber* Speedy 100 flexx	Speedy 300 Speedy 300 fiber* Speedy 300 flexx	Speedy 360 Speedy 360 fiber Speedy 360 flexx	Speedy 400 Speedy 400 flexx
Overall dimensions (WxDxH)	38.7 x 29.1 x 39.1	44.4 x 35.9 x 41.5*	48.1 x 31.1 x 41.5 inch	55.4 x 37.8 x 42.1 inch
Working area	24 x 12 inch	29 x 17 inch	32 x 20 inch	40 x 24 inch
Max. height of workpiece	6.7 inch	7.9 inch	11 inch	12 inch
Max. processing speed				
CO ₂ laser	110 inch/sec	140 inch/sec	140 inch/sec	170 inch/sec
Fiber laser	110 inch/sec	140 inch/sec	78.7 inch/sec	78.7 inch/sec
Acceleration	4g	5g	5g	5g
Laser power				
CO ₂ laser	30 – 60 watts	30 – 120 watts	40 – 120 watts	40 – 120 watts
Fiber laser	10 – 30 watts	10 – 50 watts	10 – 50 watts	10 – 50 watts

D Annexe 4: Fiche Technique Fraiseuse Micro-cut MM430



Fiche Technique	
Commande Numérique	Fagor 8055iFL
Surface de la table (x mm)	900 x 410
Course longitudinale axe X (mm)	760
Course transversale axe Y (mm)	460
Course verticale axe Z (mm)	460
Type de guidage	Linéaire
Distance nez de broche / surface table (de à mm)	120 à 580
Hauteur de la table par rapport au sol (mm)	820
Rainures (largeur x écartement x nb.) (mm)	16 x 100 x 4
Poids admissible sur la table (kg)	350
Type de broche	Mécanique
Vitesse de la broche (tr/min)	8000
Cône de broche	BT40
Moteur de broche (Kw)	7.5 / 11
Avances rapides (X/Y/Z) (m/min)	24 / 24 / 24
Type de magasin	A bras
Nombre d'outils	24
Temps de changement d'outils (sec)	9
Diamètre d'outil max. (mm)	130
Longueur d'outil max. (mm)	300
Poids d'outil max. (kg)	8
Année	2017
Taraudage rigide	En Standard
Prédisposition convoyeur a copeaux à palettes	Oui
Etau de fraisage	En option
Magasin 24 outils à bras	Oui
Refroidissement de broche	Oui
Encombrement (L x l x H) (mm)	2200 x 2050 x 2500
Poids (kg)	3630

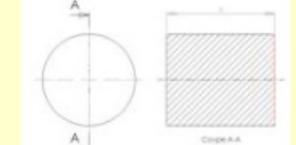
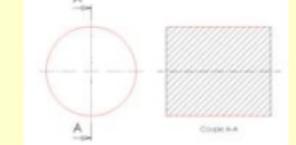
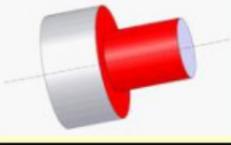
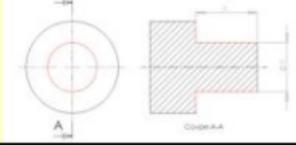
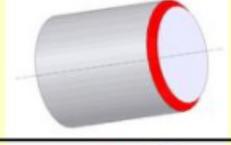
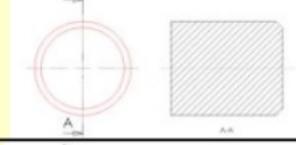
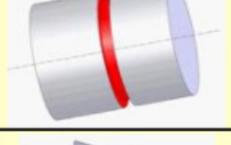
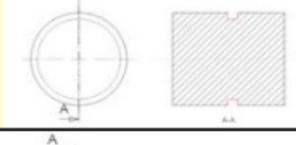
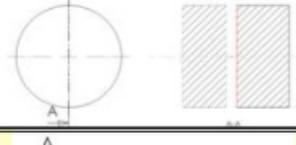
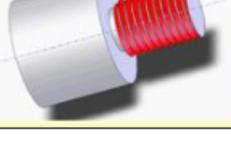
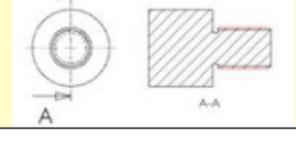
E Annexe 5: Fiche Technique Tour d'établi Si-derméca TW2545G



Fiche Technique	
Diamètre maxi admissible sur le banc (mm)	250
Longueur maxi de la pièce (mm)	500
Diamètre maxi admissible sur le chariot transversal (mm)	148
Diamètre d'alésage de la broche (mm)	26
Cône de la broche	CM4
Course du chariot transversal (mm)	155
Course du chariot orientable (mm)	60
Largeur du banc du tour	140
Gamme des filetages métriques (mm)	0,25 à 2,5
Gamme des filetages au pouce (TPI)	12 à 96
Gamme des vitesses d'avance longitudinale (mm/t)	0,03 à 1,5
Gamme des vitesses d'avance transversale (mm/t)	0,015 à 0,137
Course du fourreau de la contre-pointe (mm)	60
Cône du fourreau de la contre-pointe	CM3
Gamme des vitesses de rotation de la broche (t/mm)	80 à 1600
Puissance du moteur (W)	750
Poids net de la machine (kg)	180
Dimensions extérieures du tour (mm)	1160x640x580

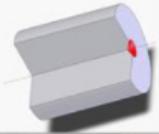
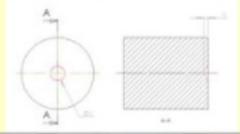
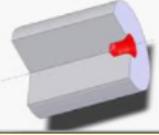
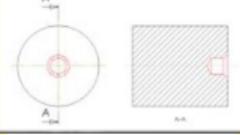
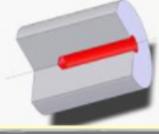
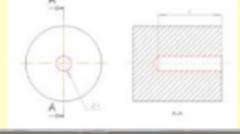
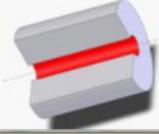
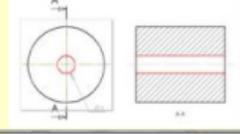
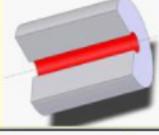
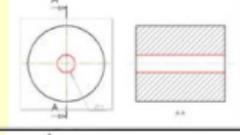
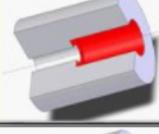
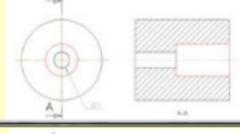
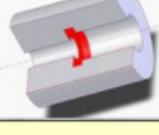
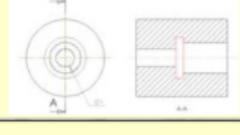
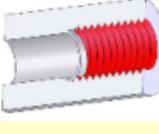
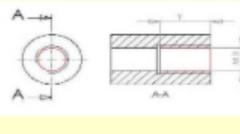
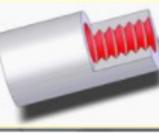
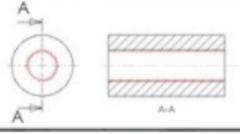
F Annexe 6: Liste Opérations Tournage extérieure

Opérations extérieures

Nom de l'opération	Schéma de la pièce usinée	
Dressage		
Chariotage		
Dressage et chariotage combinés		
Chanfreinage		
Rainurage		
Tronçonnage		
Filetage		

G Annexe 7: Liste Opérations Tournage intérieure

Opérations intérieures

Pointage		
Centrage		
Perçage non débouchant		
Perçage débouchant		
Alésage		
Alésage et dressage combinés		
Rainurage		
Filetage non débouchant		
Filetage débouchant		

H Annexe 8: Fiche Technique Perceuse à colonne Creusen nKB 820



Fiche Technique	
Modèle	nKB 820
Diamètre de perçage (mm)	20
Cône Morse	MK 3
Voltage (V)	230
Périodes (HZ)	50 - 60
Puissance P 1 (W)	1100
Nombres de vitesses	16
Plage de vitesses (tr/min)	160 à 3000
Profondeur de perçage (mm)	80
Distance mandrin colonne (mm)	215
Hauteur totale (mm)	1050
Dimensions table (mm)	356 x 335
Dimensions pied de table (mm)	500x285x60
Dimensions insertion en T	M16
Dimension colonne (mm)	80
Poids (kg)	71
Mandrin Automatique (mm)	16

I Annexe 9: Fiche Technique Scie à ruban manuelle Siderméca CY210A



Fiche Technique	
Dimensions de la lame (mm)	2080 x 20 x 0.9
Puissance moteur (kW)	0.75
Voltage (V)	400
Vitesse de coupe (m/min)	40-80
Hauteur de Travail (mm)	880
Puissance Pompe de Lubrification (kW)	0.16
Poids (kg)	150
Dimensions (mm)	780 x 580 x 1300
Capacité de coupe en rond 90° (mm)	170
Capacité de coupe en rectangulaire 90° (mm)	140 x 200
Capacité de coupe en rond 45° à droite (mm)	125
Capacité de coupe en rectangulaire 45° à droite (mm)	100 x 130
Année	2011

J Annexe 10: Table des tolérances pour alésages

15.25 Principaux ajustements				Arbres*	H 6	H 7	H 8	H 9	H 11
Pièces mobiles l'une par rapport à l'autre	Pièces dont le fonctionnement nécessite un grand jeu (dilatation, mauvais alignement, portées très longues, etc.).			c				9	11
	Cas ordinaire des pièces tournant ou glissant dans une bague ou palier (bon graissage assuré).			e		7	8	9	
	Pièces avec guidage précis pour mouvements de faible amplitude.			f	6	6-7	7		
				g	5	6			
Pièces immobiles l'une par rapport à l'autre	Démontage et remontage possible sans détérioration des pièces	L'assemblage ne peut pas transmettre d'effort	Mise en place possible à la main	h	5	6	7	8	
			Mise en place au maillet	js	5	6			
				k	5				
				m		6			
	Démontage impossible sans détérioration des pièces	L'assemblage peut transmettre des efforts	Mise en place à la presse	p		6			
			Mise en place à la presse ou par dilatation (vérifier que les contraintes imposées au métal ne dépassent pas la limite élastique)	s			7		
				u			7		
				x			7		

15.26 Principaux écarts en micromètres		Température de référence : 20 °C											
Alésages	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400	400 à 500
D 10	+ 60 + 20	+ 78 + 30	+ 98 + 40	+ 120 + 50	+ 149 + 65	+ 180 + 80	+ 220 + 100	+ 260 + 120	+ 305 + 145	+ 355 + 170	+ 400 + 190	+ 440 + 210	+ 480 + 230
F 7	+ 16 + 6	+ 22 + 10	+ 28 + 13	+ 34 + 16	+ 41 + 20	+ 50 + 25	+ 60 + 30	+ 71 + 36	+ 83 + 43	+ 96 + 50	+ 108 + 56	+ 119 + 62	+ 121 + 68
G 6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 14 + 5	+ 17 + 6	+ 20 + 7	+ 25 + 9	+ 29 + 10	+ 34 + 12	+ 39 + 14	+ 44 + 15	+ 49 + 17	+ 54 + 18	+ 60 + 20
H 6	+ 6 0	+ 8 0	+ 9 0	+ 11 0	+ 13 0	+ 16 0	+ 19 0	+ 22 0	+ 25 0	+ 29 0	+ 32 0	+ 36 0	+ 40 0
H 7	+ 10 0	+ 12 0	+ 15 0	+ 18 0	+ 21 0	+ 25 0	+ 30 0	+ 35 0	+ 40 0	+ 46 0	+ 52 0	+ 57 0	+ 63 0
H 8	+ 14 0	+ 18 0	+ 22 0	+ 27 0	+ 33 0	+ 39 0	+ 46 0	+ 54 0	+ 63 0	+ 72 0	+ 81 0	+ 89 0	+ 97 0
H 9	+ 25 0	+ 30 0	+ 36 0	+ 43 0	+ 52 0	+ 62 0	+ 74 0	+ 87 0	+ 100 0	+ 115 0	+ 130 0	+ 140 0	+ 155 0
H 10	+ 40 0	+ 48 0	+ 58 0	+ 70 0	+ 84 0	+ 100 0	+ 120 0	+ 140 0	+ 160 0	+ 185 0	+ 210 0	+ 230 0	+ 250 0
H 11	+ 60 0	+ 75 0	+ 90 0	+ 110 0	+ 130 0	+ 160 0	+ 190 0	+ 210 0	+ 250 0	+ 290 0	+ 320 0	+ 360 0	+ 400 0
H 12	+ 100 0	+ 120 0	+ 150 0	+ 180 0	+ 210 0	+ 250 0	+ 300 0	+ 350 0	+ 400 0	+ 460 0	+ 520 0	+ 570 0	+ 630 0
H 13	+ 140 0	+ 180 0	+ 220 0	+ 270 0	+ 330 0	+ 390 0	+ 460 0	+ 540 0	+ 630 0	+ 720 0	+ 810 0	+ 890 0	+ 970 0
J 7	+ 4 - 6	+ 6 - 6	+ 8 - 7	+ 10 - 8	+ 12 - 9	+ 14 - 11	+ 18 - 12	+ 22 - 13	+ 26 - 14	+ 30 - 16	+ 36 - 16	+ 39 - 18	+ 43 - 20
K 6	0 - 6	+ 2 - 6	+ 2 - 7	+ 2 - 9	+ 2 - 11	+ 3 - 13	+ 4 - 15	+ 4 - 18	+ 4 - 21	+ 5 - 24	+ 5 - 27	+ 7 - 29	+ 8 - 32
K 7	0 - 10	+ 3 - 9	+ 5 - 10	+ 6 - 12	+ 6 - 15	+ 7 - 18	+ 9 - 21	+ 10 - 25	+ 12 - 28	+ 13 - 33	+ 16 - 36	+ 17 - 40	+ 18 - 45
M 7	- 2 - 12	0 - 12	0 - 15	0 - 18	0 - 21	0 - 25	0 - 30	0 - 35	0 - 40	0 - 46	0 - 52	0 - 57	0 - 63
N 7	- 4 - 14	- 4 - 16	- 4 - 19	- 5 - 23	- 7 - 28	- 8 - 33	- 9 - 39	- 10 - 45	- 12 - 52	- 14 - 60	- 14 - 66	- 16 - 73	- 17 - 80
N 9	- 4 - 29	0 - 30	0 - 36	0 - 43	0 - 52	0 - 62	0 - 74	0 - 87	0 - 100	0 - 115	0 - 130	0 - 140	0 - 155
P 6	- 6 - 12	- 9 - 17	- 12 - 21	- 15 - 26	- 18 - 31	- 21 - 37	- 26 - 45	- 30 - 52	- 36 - 61	- 41 - 70	- 47 - 79	- 51 - 87	- 55 - 95
P 7	- 6 - 16	- 8 - 20	- 9 - 24	- 11 - 29	- 14 - 35	- 17 - 42	- 21 - 51	- 24 - 59	- 28 - 68	- 33 - 79	- 36 - 88	- 41 - 98	- 45 - 108
P 9	- 9 - 31	- 12 - 42	- 15 - 51	- 18 - 61	- 22 - 74	- 26 - 88	- 32 - 106	- 37 - 124	- 43 - 143	- 50 - 165	- 56 - 186	- 62 - 202	- 68 - 223

JS = ± IT/2 (voir tableau 15.24). * Utiliser de préférence les qualités teintées en jaune.

K Annexe 11: Table des tolérances pour arbres

Arbres	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50	50 à 80	80 à 120	120 à 180	180 à 250	250 à 315	315 à 400	400 à 500
a 11	- 270 - 330	- 270 - 345	- 280 - 370	- 290 - 400	- 300 - 430	- 320 - 470	- 360 - 530	- 410 - 600	- 580 - 710	- 820 - 950	- 1 050 - 1 240	- 1 350 - 1 560	- 1 650 - 1 900
c 11	- 60 - 120	- 70 - 145	- 80 - 170	- 95 - 205	- 110 - 240	- 130 - 240	- 150 - 280	- 180 - 390	- 230 - 450	- 280 - 530	- 330 - 620	- 400 - 720	- 480 - 840
d 9	- 20 - 45	- 30 - 60	- 40 - 75	- 50 - 93	- 65 - 117	- 80 - 142	- 100 - 174	- 120 - 207	- 145 - 245	- 170 - 285	- 190 - 320	- 210 - 350	- 230 - 385
d 10	- 20 - 60	- 30 - 78	- 40 - 98	- 50 - 120	- 65 - 149	- 80 - 180	- 100 - 220	- 120 - 250	- 145 - 305	- 170 - 355	- 190 - 400	- 210 - 440	- 230 - 480
d 11	- 20 - 80	- 30 - 105	- 40 - 130	- 50 - 160	- 65 - 195	- 80 - 240	- 100 - 290	- 120 - 340	- 145 - 395	- 170 - 460	- 190 - 510	- 210 - 570	- 230 - 630
e 7	- 14 - 24	- 20 - 32	- 25 - 40	- 32 - 50	- 40 - 61	- 50 - 75	- 60 - 90	- 72 - 107	- 85 - 125	- 100 - 146	- 110 - 162	- 125 - 182	- 135 - 198
e 8	- 14 - 28	- 20 - 38	- 25 - 47	- 32 - 59	- 40 - 73	- 50 - 89	- 60 - 106	- 72 - 126	- 85 - 148	- 100 - 172	- 110 - 191	- 125 - 214	- 135 - 232
e 9	- 14 - 39	- 20 - 50	- 25 - 61	- 32 - 75	- 40 - 92	- 50 - 112	- 60 - 134	- 72 - 159	- 85 - 185	- 100 - 215	- 110 - 240	- 125 - 265	- 135 - 290
f 6	- 6 - 12	- 10 - 18	- 13 - 22	- 16 - 27	- 20 - 33	- 25 - 41	- 30 - 49	- 36 - 58	- 43 - 68	- 50 - 79	- 56 - 88	- 62 - 98	- 68 - 108
f 7	- 6 - 16	- 10 - 22	- 13 - 28	- 16 - 34	- 20 - 41	- 25 - 50	- 30 - 60	- 36 - 71	- 43 - 83	- 50 - 96	- 56 - 106	- 62 - 119	- 68 - 131
f 8	- 6 - 20	- 10 - 28	- 13 - 35	- 16 - 43	- 20 - 53	- 25 - 64	- 30 - 76	- 36 - 90	- 43 - 106	- 50 - 122	- 56 - 137	- 62 - 151	- 68 - 165
g 5	- 2 - 6	- 4 - 9	- 5 - 11	- 6 - 14	- 7 - 16	- 9 - 20	- 10 - 23	- 12 - 27	- 14 - 32	- 15 - 35	- 17 - 40	- 18 - 43	- 20 - 47
g 6	- 2 - 8	- 4 - 12	- 5 - 14	- 6 - 17	- 7 - 20	- 9 - 25	- 10 - 29	- 12 - 34	- 14 - 39	- 15 - 44	- 17 - 49	- 18 - 54	- 20 - 60
h 5	0 - 4	0 - 5	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 15	0 - 18	0 - 20	0 - 23	0 - 25	0 - 27
h 6	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 16	0 - 19	0 - 22	0 - 25	0 - 29	0 - 32	0 - 36	0 - 40
h 7	0 - 10	0 - 12	0 - 15	0 - 18	0 - 21	0 - 25	0 - 30	0 - 35	0 - 40	0 - 46	0 - 52	0 - 57	0 - 63
h 8	0 - 14	0 - 18	0 - 22	0 - 27	0 - 33	0 - 39	0 - 46	0 - 54	0 - 63	0 - 72	0 - 81	0 - 89	0 - 97
h 9	0 - 25	0 - 30	0 - 36	0 - 43	0 - 52	0 - 62	0 - 74	0 - 87	0 - 100	0 - 115	0 - 130	0 - 140	0 - 155
h 10	0 - 40	0 - 48	0 - 58	0 - 70	0 - 84	0 - 100	0 - 120	0 - 140	0 - 160	0 - 185	0 - 210	0 - 230	0 - 250
h 11	0 - 60	0 - 75	0 - 90	0 - 110	0 - 130	0 - 160	0 - 190	0 - 220	0 - 250	0 - 290	0 - 320	0 - 360	0 - 400
h 13	0 - 140	0 - 180	0 - 220	0 - 270	0 - 330	0 - 390	0 - 460	0 - 540	0 - 630	0 - 720	0 - 810	0 - 890	0 - 970
j 6	+ 4 - 2	+ 6 - 2	+ 7 - 2	+ 8 - 3	+ 9 - 4	+ 11 - 5	+ 12 - 7	+ 13 - 9	+ 14 - 11	+ 16 - 13	+ 16 - 16	+ 18 - 18	+ 20 - 20
js 5	± 2	± 2,5	± 3	± 4	± 4,5	± 5,5	± 6,5	± 7,5	± 9	± 10	± 11,5	± 12,5	± 13,5
js 6	± 3	± 4	± 4,5	± 5,5	± 6,5	± 8	± 9,5	± 11	± 12,5	± 14,5	± 16	± 18	± 20
js 9	± 12	± 15	± 18	± 21	± 26	± 31	± 37	± 43	± 50	± 57	± 65	± 70	± 77
js 11	± 30	± 37	± 45	± 55	± 65	± 80	± 95	± 110	± 125	± 145	± 160	± 180	± 200
k 5	+ 4 0	+ 6 + 1	+ 7 + 1	+ 9 + 1	+ 11 + 2	+ 13 + 2	+ 15 + 2	+ 18 + 3	+ 21 + 3	+ 24 + 4	+ 27 + 4	+ 29 + 4	+ 32 + 5
k 6	+ 6 0	+ 9 + 1	+ 10 + 1	+ 12 + 1	+ 15 + 2	+ 18 + 2	+ 21 + 2	+ 25 + 3	+ 28 + 3	+ 33 + 4	+ 36 + 4	+ 40 + 4	+ 45 + 5
m 5	+ 6 + 2	+ 9 + 4	+ 12 + 6	+ 15 + 7	+ 17 + 8	+ 20 + 9	+ 24 + 11	+ 28 + 13	+ 33 + 15	+ 37 + 17	+ 43 + 20	+ 46 + 21	+ 50 + 23
m 6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 15 + 6	+ 18 + 7	+ 21 + 8	+ 25 + 9	+ 30 + 11	+ 35 + 13	+ 40 + 15	+ 46 + 17	+ 52 + 20	+ 57 + 21	+ 63 + 23
n 6	+ 10 + 4	+ 16 + 8	+ 19 + 10	+ 23 + 12	+ 28 + 15	+ 33 + 20	+ 39 + 23	+ 45 + 23	+ 52 + 27	+ 60 + 31	+ 66 + 34	+ 73 + 37	+ 80 + 40
p 6	+ 12 + 6	+ 20 + 12	+ 24 + 15	+ 29 + 18	+ 35 + 22	+ 42 + 26	+ 51 + 32	+ 59 + 37	+ 68 + 43	+ 79 + 50	+ 88 + 56	+ 98 + 62	+ 108 + 68

js = ± IT/2 (voir tableau 15.24).

Bibliographie

CHARBONNEL, Alain. *Le moteur asynchrone triphasé* [en ligne], 2010, [consulté le 16 Mars 2021]

CHEVALIER, André. *Guide du dessinateur industriel*. Hachette technique, 2007, 326p.

GIBAUD, Thomas. *Etude de la période d'un pendule pesant: de la mécanique du point à la mécanique du solide* [en ligne], 2007, [consulté le 03 Septembre 2021]

HENRY-LEO, Jean-Marc. *ROS : Le standard d'architecture logicielle robotique* [en ligne], Digital Corner, 2019, [consulté le 05 Avril 2021]

Sans auteur. *Fonctionnement d'un banc de puissance moteur* [en ligne], Fiches Auto, 2020, [consulté le 12 Avril 2021]

TESTARD-VAILLANT, Philippe. *Sommes-nous prêts à cohabiter avec les robots?* [en ligne], CNRS le journal, 2020, [consulté le 12 Mars 2021]

Liste des Sigles et Abréviations

ABS : Acrylonitrile Butadiène Styrène

CATIE : Centre Aquitain des Technologies de l'Information et Électroniques

FAO : Fabrication Assistée par Ordinateur

HDMI : High Definition Multimedia Interface

MaP : Maintien en Position

MDF : Medium Density Fiberboard

MiP : Mise en Position

MIT : Massachusetts Institute of Technology

NAELIC : Nouvelle Aquitaine Elektron Libres Innovation Club

NAMEC : Nouvelle-Aquitaine Mécatronique Club

PLA : Polylactic Acid

RAM : Random Access Memory

ROS : Robot Operating System

SD : Secure Digital

SSL : Small Size League

STL : Stéréo Lithography

SVG : Scalable Vector Graphics

USB : Universal Serial Bus

Lexique

Alésage : Élément femelle d'un ajustement circulaire, quel que soit son procédé d'usinage.

Étau : Presse formée de deux tiges terminées par des mâchoires qu'on rapproche à volonté, de manière à tenir solidement les objets que l'on veut travailler.

Fraise : Outil qui se place sur une machine-outil appelée « fraiseuse » afin de fabriquer une pièce par enlèvement de matière

Microcontrôleur : Circuit intégré et compact, conçu pour régir une opération spécifique dans un système intégré. Il comprend un processeur, une mémoire et des périphériques d'entrée et de sortie sur une seule carte ou une seule puce.

Microprocesseur : Circuits intégrés de très petite dimension formant une unité de traitement de l'information.

Moyeu : Partie centrale d'une roue ou d'une pièce qui tourne, que traverse l'essieu, l'axe de rotation.

Odométrie : Technique permettant d'estimer la position d'un véhicule en mouvement.

Roue holonome : Architecture de roues permettant une translation bidimensionnel et une rotation autour du centre de l'objet.

Servomoteur : Moteur capable de maintenir une opposition à un effort statique et dont la position est vérifiée en continu et corrigée en fonction de la mesure

Slicer: Logiciel qui permet la conversion d'un modèle 3D en une série de couches fines et génère un fichier G-code, contenant toutes les instructions pour l'imprimante 3D utilisée.

Taraudage : Filetage intérieur d'un trou cylindrique.

Vérin : Appareil composé d'un cylindre, dans lequel se déplace un piston sous l'action d'une pression hydraulique ou pneumatique, et d'une tige solidaire du piston, qui peut tirer ou pousser une charge située à l'extérieur du cylindre.

Résumé en Français

En préparatif de la robocup 2022 qui aura lieu à Bangkok en Thaïlande, l'équipe bordelaise NAELIC a décidé de concevoir et fabriquer un banc de test pour leurs robots Soccer SSL. Le but de ce banc est d'optimiser et améliorer les organes principaux du robot, c'est à dire le module Moteur-Roue, le module kicker et le module dribbler ainsi que d'effectuer des diagnostics rapides et fiables lors des compétitions.

La conception des trois bancs de test a été complétée malgré certaines modifications et améliorations qu'il faudra apporté impérativement. Un prototype opérationnel du banc de test du module Moteur-Roue a été fabriqué. Toutefois, il reste encore à rédiger les codes informatiques permettant la manipulation du robot, la mise en place de l'ensemble des capteurs, l'acquisition et l'exploitation des données collectées par ces mêmes capteurs et enfin l'interface du banc d'essai pour que le prototype opérationnel soit entièrement fonctionnel.

Mots clefs : Robotique, SSL, Banc d'essai, Moteur, Roue holonome, Kicker, Dribbler, Usinage.

Abstract in English

To be prepared for the Robocup 2022, which takes place in Bangkok, Thaïlande, the Bordeaux team NAELIC decided to develop and build a test bench for their Soccer SSL robots. The goal of the bench is to optimize and improve the main organs of the robot, i.e. the Motor-Wheel module, the kicker module and the dribbler module as well as perform fast and reliable diagnostics during competitions.

The development of the three test benches has been completed despite some modifications and improvements that will be imperative. A working prototype of the test bench of the Motor-Wheel module has been produced. However, it remains to write the computer codes which allows the manipulation of the robot, the instalation of captors, the acquisition and exploitation of the data collected by these same sensors and the interface of the test bench to make the operational prototype fully functional.

Key Words : Robotics, SSL, Test Bench, Motor, Holonomic wheel, Kicker, Dribbler, Machining.