

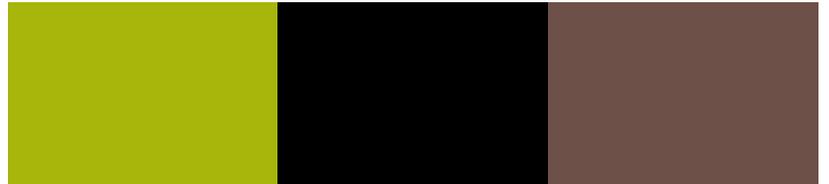


Rapport technique final du projet N°50

Titre du projet : Projet Robotique

Équipe projet composée de :

Samuel BARRAUD
Alexandre DÉLY
Victor DUBOIS
Gaëtan FAYON
Dorian GILLY
Etienne LOUBOUTIN



Projet Robotique 2013 Rapport technique final

Projet ING (Semestre 4)

Rédigé par :

Samuel BARRAUD
Alexandre DÉLY
Victor DUBOIS
Gaëtan FAYON
Dorian GILLY
Etienne LOUBOUTIN

Relu par :

Dorian GILLY
Etienne LOUBOUTIN

Destinataires :

Marie-Catherine MOUCHOT
Noël CAILLÈRE
Jean-Pierre CLÈRE
Magali LE GALL
Gisèle MARTIN
Marie-Laure MOULINARD
Serge PINEL

Contact : s4-projet-50@mlistes.telecom-bretagne.eu

19 juin 2013

Version 1.0



Institut
Mines-Télécom

Résumé

Ce document présente le rapport technique du Projet Ingénieur n°50 (Projet Robotique), en lien avec le Projet Développement n°54.

Comme chaque année, ce projet a pour but de faire participer l'École de Télécom Bretagne à la Coupe de France de Robotique. Pour l'édition 2013, qui s'est tenu à La Ferté-Bernard (Sarthe) du 8 au 11 mai, le thème retenu était « *Happy Birthday* ». Il s'agissait donc de construire deux robots pouvant participer à cette manifestation et de réaliser le meilleur classement possible.

Nous abordons tout d'abord de manière détaillée le contexte et les objectifs du projet, avant de présenter les solutions techniques retenues, en premier lieu celles concernant le robot principal, Krabi, puis celles qui concernent le robot secondaire, Krabi Junior. Ces deux robots ont été conçus afin de réaliser deux objectifs différents, mais complémentaires. Nous vous exposerons dans une dernière partie les résultats obtenus lors de la coupe.

Nous avons joint à ce rapport plusieurs annexes. Les premières concernent le projet en lui-même (Cahier des Charges fonctionnel et planning). Les suivantes concernent les détails techniques des robots, sur le plan mécanique, électronique et informatique, afin d'avoir une meilleure compréhension des interactions qu'il y a entre les différents éléments de nos produits).

Abstract

This document presents the technical report of the Projet Ingénieur #50 (Robotics Project), in connection with the Projet Développement #54.

As every year, the main goal of this project is to represent Telecom Bretagne during the French National Robotic Cup. For the 2013 edition, which has taken place in La Ferté-Bernard (Sarthe) from May 8th to 11th, the theme was "Happy Birthday". So, we had to build two robots which can participate to this event and realize the best possible ranking.

First of all, we approach in detail the context and the goals of this project before presenting the technical solutions, mainly the one of the main robot, Krabi, then those which concern the other robot, Krabi Junior. These two robots were designed to do two different, but complementary objectives. We shall explain you in a last part the results obtained during the cup.

We joined to this report several appendices. The first ones concern the project itself and its members (the Scope Statement and the schedule of the project). The following ones concern the technical details of robots, in the mechanical, electronic and computing views and allow a better understanding of the interactions which exist between the various elements of our products.

Rédacteurs

Résumé, Remerciements, Introduction

Partie I - Objectifs et besoins du projet

Partie II - Gestion de projet

Partie III - Développement technique du robot principal

1 - La mécanique du robot principal

2 - L'électronique du robot principal

3 - L'informatique du robot principal

Partie IV - Développement technique du robot secondaire

1 - La mécanique du robot secondaire

2 - L'électronique du robot secondaire

3 - L'informatique du robot secondaire

Partie V - Evaluation des performances

1 - Communication

2 - Coupe de France de Robotique 2013

3 - Capitalisation des connaissances et documentation

4 - Bilan budgétaire

Conclusion, Glossaire, Notes, Bibliographie

Annexe 1

Annexe 2

Annexe 3

Annexe 4

Annexe 5

Annexe 6

Annexe 7

Annexe 8

Annexe 9

Annexe 10

Gaëtan FAYON

Etienne LOUBOUTIN

Dorian GILLY

Nicolas FAVÉ (S2), Gaëtan FAYON

Nicolas DUMINY (S2), Victor DUBOIS

Robin NICOLLET (S2), Alexandre DÉLY

Gaëtan FAYON, Nicolas FAVÉ (S2)

Nicolas DUMINY (S2), Gaëtan FAYON

Alexandre MANOURY (S2)

Victor DUBOIS

Etienne LOUBOUTIN

Etienne LOUBOUTIN

Samuel BARRAUD

Gaëtan FAYON

Gaëtan FAYON

Gaëtan FAYON

Gaëtan FAYON

Victor DUBOIS, Nicolas DUMINY (S2)

Victor DUBOIS, Nicolas DUMINY (S2)

Victor DUBOIS, Nicolas DUMINY (S2)

Victor DUBOIS

Alexandre DÉLY

Alexandre DÉLY

Gaëtan FAYON

Relecteurs

Résumé, Remerciements, Introduction

Partie I - Objectifs et besoins du projet

Partie II - Gestion de projet

Partie III - Développement technique du robot principal

1 - La mécanique du robot principal

2 - L'électronique du robot principal

3 - L'informatique du robot principal

Partie IV - Développement technique du robot secondaire

1 - La mécanique du robot secondaire

2 - L'électronique du robot secondaire

3 - L'informatique du robot secondaire

Partie V - Evaluation des performances

1 - Communication

2 - Coupe de France de Robotique 2013

3 - Capitalisation des connaissances et documentation

4 - Bilan budgétaire

Conclusion, Glossaire, Notes, Bibliographie

Annexe 1

Annexe 2

Annexe 3

Annexe 4

Annexe 5

Annexe 6

Annexe 7

Annexe 8

Annexe 9

Annexe 10

Etienne LOUBOUTIN

Gaëtan FAYON

Samuel BARRAUD

Etienne LOUBOUTIN

Dorian GILLY

Samuel BARRAUD

Gaëtan FAYON

Dorian GILLY

Gaëtan FAYON

Gaëtan FAYON

Dorian GILLY

Dorian GILLY

Gaëtan FAYON

Etienne LOUBOUTIN

Etienne LOUBOUTIN

Etienne LOUBOUTIN

Dorian GILLY

Dorian GILLY

Dorian GILLY

Dorian GILLY

Gaëtan FAYON

Samuel BARRAUD

Samuel BARRAUD

Dorian GILLY

Responsable de la mise en page : Gaëtan FAYON

Remerciements

Le présent projet nous a permis de combiner deux facettes essentielles du métier d'ingénieur, celle du développement d'un produit technique devant respecter des conditions d'exigences spécifiques et celle de la gestion d'un projet d'une telle ampleur. Mais ce n'est pas le projet de seulement six personnes. C'est le projet de tout un club, d'une partie même de l'École, c'est un projet qui regroupe à la fois des étudiants de première et de deuxième année. Nos différences d'expérience et d'origine culturelle se sont regroupées autour d'un seul et unique point : notre participation à la Coupe de France de Robotique. Dans cette optique, nous voudrions remercier l'ensemble des personnes ayant contribué de près ou de loin à faire de ce projet un succès.

Premièrement, nous souhaiterions remercier fortement nos tuteurs, Noël CAILLÈRE (Département Micro-Ondes), Magali LE GALL (Département Électronique) et Jean-Pierre CLÈRE (Département Optique) qui ont suivi le déroulement de notre projet, en même temps que le déroulement du Projet Robotique S2. Ils nous ont conseillés sur les problèmes rencontrés et nous ont orientés vers des solutions à chaque moment. Leur soutien a été complet et essentiel dans la mesure où cela nous a permis d'acquérir une meilleure cohésion dans le groupe, et donc de faire notre travail dans des conditions optimales.

Par ailleurs, nous adressons nos remerciements à la Direction de la Communication de l'École, représentée par Marie-Catherine MOUCHOT. En effet, l'aide financière que la Communication de l'École nous apporte nous permet chaque année d'augmenter de manière non négligeable le budget du Club Robotique, permettant un investissement plus important dans la conception des robots que nous fabriquons et dans les composants nécessaires à leur réalisation. Nos remerciements s'adressent également au Service des Études, représentée par Hervé RÉTIF, pour nous avoir permis de justifier nos absences lorsque nous travaillions à l'extérieur pour l'École. Nous tenons également à remercier Priscillia CRÉACH, Chantal LEBLOND et Cendrine LE LOCAT pour leurs investissements lors des nombreuses manifestations auxquelles nous avons pu assister.

Nous voudrions également remercier toutes les personnes qui ont aidé à la conception des éléments nécessaires pour notre robot. Plus précisément, nous adressons toute notre gratitude au technicien mécanique du Département Optique de l'École, Jean-Pierre CLÈRE, qui a réalisé l'usinage des différentes pièces en aluminium et en acier du robot, chose que nous ne pouvions faire seuls faute de matériel mis à notre disposition au sein du Club. Nous remercions également Guy CHUITON, technicien au sein du Département Micro-Ondes, grâce à qui nous avons pu imprimer nos différentes cartes électroniques. Nous remercions également Tristan GROLÉAT, Pierre-Henri HORREIN et Sylvie KERUEDAN (Département Électronique) pour nous avoir autorisé à utiliser l'imprimante 3D du tout nouveau FabLab de l'École. Nous les remercions également pour leur implication dans la mise en place de ce laboratoire, qui a été - et qui restera - très utile pour l'ensemble des membres du Club Robotique.

Nous souhaitons aussi remercier les membres actifs du club pour leur apport. Même sans faire partie du projet, certains membres, comme Ayoub HADFAT, Maxime MEYER et Yifu TANG, ont apporté une aide non-négligeable dans la conception et la réalisation des robots. Nous voulons aussi remercier les membres du Club Robotique de l'ENIB pour leur aide, en particulier celle de Léon MARI. Nous remercions également le ResEI qui nous offre gratuitement l'hébergement de notre site internet.

Enfin, nous remercions nos sponsors pour le financement que nous avons reçu d'eux et qui a été indispensable pour la réalisation de notre robot, à savoir Brest Métropole Océane et RadioSpares Components. Nous remercions également l'ensemble des organisateurs de la Coupe de France de Robotique, qui permettent chaque année à des milliers de passionnés de se rencontrer autour d'une compétition unique.



Sommaire

RÉSUMÉ/ABSTRACT	2
RÉDACTEURS & RELECTEURS.....	3
REMERCIEMENTS.....	4
SOMMAIRE	5
TABLE DES FIGURES	10
INTRODUCTION.....	12
PARTIE I - OBJECTIFS & BESOINS DU PROJET	13
1. CONTEXTE DU PROJET.....	13
2. OBJECTIFS DU PROJET	13
3. RÈGLEMENT DE LA COUPE DE FRANCE DE ROBOTIQUE	14
PARTIE II - GESTION DU PROJET.....	15
1. L'ÉQUIPE.....	15
1.1 GAËTAN FAYON – RESPONSABLE DE PROJET.....	15
1.2 SAMUEL BARRAUD – RESPONSABLE DU BUDGET	15
1.3 DORIAN GILLY – RESPONSABLE DU SUIVI HORAIRE ET DE LA QUALITE	15
1.4 ETIENNE LOUBOUTIN – RESPONSABLE DE LA DOCUMENTATION	16
1.5 VICTOR DUBOIS – RESPONSABLE DE LA COMMUNICATION.....	16
1.6 ALEXANDRE DÉLY – RESPONSABLE DU FORUM S4	16
1.7 LES MEMBRES DU PROJET S2.....	16
1.8 LES MEMBRES DU CLUB ROBOTIQUE	16
2. LA PLANIFICATION DU PROJET	17
3. LE PLAN DE MANAGEMENT ET LES OUTILS DE GESTION	17

PARTIE III - DÉVELOPPEMENT TECHNIQUE DU ROBOT PRINCIPAL.....	18
1. LA MÉCANIQUE DU ROBOT PRINCIPAL	18
1.1 LA BASE ROULANTE	18
1.2 LE PREMIER ETAGE : SOUTENIR L'ASCENSEUR.....	19
1.3 LE SECONDE ETAGE : SUPPORTER LES CARTES	20
1.4 LE TOIT ET LE SUPPORT DE BALISE.....	20
1.5 LES MARTEAUX : SOUFFLER LES BOUGIES	20
1.6 L'ASCENSEUR : EMPILER LES VERRES.....	21
2. L'ÉLECTRONIQUE DU ROBOT PRINCIPAL	22
2.1 ARCHITECTURE FONCTIONNELLE DE L'ELECTRONIQUE	22
2.1.1 Schéma électrique général.....	22
2.1.2 Position des éléments sur le robot	22
2.2 LA CARTE STM : RELIER LA MECANIQUE AVEC L'INFORMATIQUE.....	23
2.3 LES CARTES D'EXTENSIONS DE LA CARTE STM	24
2.4 LA CARTE ALIMENTATION : REGULER LA TENSION ET ALIMENTER LES ACTIONNEURS	24
2.5 LES CARTES GERANT LES MOTEURS.....	24
2.5.1 La carte moteur : contrôler les moteurs.....	24
2.5.2 La carte relais.....	25
2.6 ALIMENTATION DU ROBOT	25
2.6.1 Les batteries.....	25
2.6.2 Le système de démarrage.....	25
2.7 GESTION DES DEPLACEMENTS	25
2.7.1 Les roues codeuses et les moteurs de déplacement	25
2.7.2 Gestion des capteurs	26
2.8 CABLAGE DU ROBOT.....	26
3. L'INFORMATIQUE DU ROBOT PRINCIPAL	26
3.1 ORGANISATION DU CODE.....	26
3.2 MICROCONTROLEUR ET CODE BAS-NIVEAU	27
3.3 DETECTION ET EVITEMENT DES OBSTACLES.....	27
3.4 LA STRATEGIE	28
3.5 DETAIL DU FONCTIONNEMENT DE LA STRATEGIE	28
PARTIE IV - DÉVELOPPEMENT TECHNIQUE DU ROBOT SECONDAIRE.....	29
1. LA MÉCANIQUE DU ROBOT SECONDAIRE.....	29
1.1 LA BASE ROULANTE	29
1.2 LA POMPE A VIDE.....	30
1.3 LES « BRAS » DU ROBOT.....	30
1.4 LES AUTRES ELEMENTS.....	31

2. L'ÉLECTRONIQUE DU ROBOT SECONDAIRE.....	31
2.1 ARCHITECTURE FONCTIONNELLE DE L'ELECTRONIQUE	31
2.2 LA CARTE ARDUINO	31
2.3 LA CARTE MULTIPLEXEUR.....	32
2.4 LA CARTE ALIMENTATION	32
2.5 ALIMENTATION DU ROBOT	33
2.6 GESTION DES DEPLACEMENTS	33
2.6.1 Servomoteurs numériques	33
2.6.2 Gestion des capteurs	33
3. L'INFORMATIQUE DU ROBOT SECONDAIRE	34
3.1 CARACTERISTIQUES DU CODE INFORMATIQUE.....	34
3.2 STRATEGIE DE BASE	34
3.3 STRATEGIE D'EVITEMENT	34
PARTIE V - ÉVALUATION DES PERFORMANCES	36
1. COMMUNICATION	36
1.1 MANIFESTATIONS ET DEMONSTRATIONS	36
1.2 INTERVENTIONS AU COLLEGE KERALLAN.....	36
1.3 MEDIAS TRADITIONNELS (PRESSE, TELEVISION, ...)	36
1.4 SITE INTERNET	37
1.5 RESEAUX SOCIAUX	37
1.6 VISIBILITE DES ROBOTS.....	37
2. COUPE DE FRANCE DE ROBOTIQUE 2013.....	38
2.1 RESULTATS DE LA PERIODE DE TEST	38
2.2 DEROULEMENT DE LA COMPETITION.....	38
2.3 L'HOMOLOGATION	39
2.4 LES QUALIFICATIONS	39
2.5 BILAN DE L'EDITION 2013.....	40
3. CAPITALISATION DES CONNAISSANCES ET DOCUMENTATION	40
4. BILAN BUDGÉTAIRE	41
4.1 PARTENARIATS.....	41
4.2 BILAN FINANCIER	41
CONCLUSION	42

GLOSSAIRE	43
NOTES.....	45
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	46
ANNEXE 1 - CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL	49
A1.1. PRESENTATION GENERALE DU PROBLEME	49
A1.1.1. Le Projet robotique	49
1.1.1.1. Généralités.....	49
1.1.1.2. Esperance de retour sur investissement	49
A1.1.2. Contexte	49
1.1.2.1. Situation du projet par rapport aux autres projets de l'école	49
1.1.2.2. Études préalablement effectuées.....	49
1.1.2.3. Nature des prestations demandées	50
1.1.2.4. Parties concernées par le déroulement du projet et ses résultats.....	50
A1.1.3. Énoncé du besoin	50
A1.1.4. Environnement du produit recherche.....	51
A1.2. EXPRESSION FONCTIONNELLE DU BESOIN	52
A1.2.1. Fonctions de Service et de Contrainte.....	52
1.2.1.1. Fonctions de Service principales.....	52
1.2.1.2. Fonctions de services complémentaires	53
1.2.1.3. Fonctions de contraintes	54
A1.2.2. Critères d'appréciations	54
A1.3. CADRE DE REPONSE.....	56
A1.3.1. Les solutions proposées	56
A1.3.2. Mesures prises pour respecter les contraintes et leurs conséquences.....	56
A1.3.3. Prévion de fiabilité.....	56
A1.3.4. Perspectives d'évolution technologique.....	57
ANNEXE 2 - PLANNING DU PROJET	58
ANNEXE 3 - MODÉLISATION MÉCANIQUE	60
A3.1. KRABI, LE ROBOT PRINCIPAL.....	60
A3.1.1. La base roulante	60
A3.1.2. La structure métallique	60
A3.1.3. Le système d'ascenseur	61
A3.1.4. Les marteaux latéraux	61
A3.1.5. Modélisations complémentaires.....	62
A3.1.6. Mises en plan.....	62
A3.2. KRABI JUNIOR, LE ROBOT SECONDAIRE.....	65
A3.2.1. La base roulante	65
A3.2.2. La structure en bois	65
A3.2.3. Le système de pompe à vide.....	66
A3.2.4. Le système pour débiller les cadeaux	67
A3.2.5. Modélisations complémentaires.....	67
A3.2.6. Mises en plan.....	69

ANNEXE 4 - CARTES ÉLECTRONIQUES DU ROBOT PRINCIPAL	71
A4.1. LA CARTE STM.....	71
A4.2. LA CARTE ALIMENTATION.....	72
A4.3. LA CARTE MOTEUR	73
A4.4. LA CARTE AVANT	74
A4.5. LA CARTE ARRIERE	76
A4.6. LA CARTE RELAIS.....	77
ANNEXE 5 - CARTES ÉLECTRONIQUES DU ROBOT SECONDAIRE.....	78
A5.1. POSITIONNEMENT DES ELEMENTS SUR LE ROBOT	78
A5.2. LA CARTE ARDUINO	78
A5.3. LA CARTE ALIMENTATION.....	79
ANNEXE 6 - CAPTEURS UTILISÉS SUR LES ROBOTS	81
A6.1. CAPTEUR DE PROXIMITE	81
A6.2. CAPTEUR DE DISTANCE	81
A6.3. CAPTEUR FIN-DE-COURSE.....	81
A6.4. CAPTEUR DE LIGNE	81
A6.5. CAPTEUR DE COULEUR.....	81
ANNEXE 7 - LES DIFFÉRENTES AMÉLIORATIONS EN ÉLECTRONIQUE	83
A7.1. RESULTATS ET AMELIORATIONS	83
A7.2. BATTERIES LITHIUM.....	83
A7.3. SYSTEME MONO-BATTERIE.....	83
A7.4. EXTENSEUR D'ENTREES ANALOGIQUES	83
A7.5. INTERFACE DE DEBOGAGE PAR LIAISON SERIE	83
A7.6. INTENSITE DES MOTEURS	83
A7.7. LES CONNECTEURS	84
A7.8. INDICATEUR DE CHARGE DES BATTERIES	84
ANNEXE 8 - DIAGRAMME UML DE LA CLASSE STRATÉGIE	85
ANNEXE 9 - ASSERVISSEMENT DU ROBOT PRINCIPAL.....	87
ANNEXE 10 - LES SIMULATEURS.....	90

Table des figures

FIGURE 1 : LOGO DE LA COUPE DE FRANCE DE CETTE ANNÉE	13
FIGURE 2 : LA TABLE DE JEU DE L'ÉDITION 2013	14
FIGURE 3 : ORGANIGRAMME DE LA GESTION DE PROJET	15
FIGURE 4 : LES MEMBRES DU CLUB, AVEC LES ENCADRANTS TECHNIQUES	16
FIGURE 5 : MODÉLISATION DE LA BASE ROULANTE DU ROBOT	18
FIGURE 6 : LA BASE ROULANTE DU ROBOT COMPLÈTEMENT MODÉLISÉE	19
FIGURE 7 : LA BASE ROULANTE DU ROBOT APRÈS SON MONTAGE	19
FIGURE 8 : KRABI, AVEC SON PREMIER ETAGE ET LE MOTEUR DE L'ASCENSEUR, EN ORANGE	19
FIGURE 9 : LE SYSTÈME DE MAINTIEN DES CARTES SUR KRABI	20
FIGURE 10 : LES ÉLÉMENTS SITUÉS SUR LE TOIT DU ROBOT	20
FIGURE 11 : LES MARTEAUX DE KRABI	21
FIGURE 12 : MODÉLISATION DE L'ASCENSEUR DU ROBOT PRINCIPAL	21
FIGURE 13 : SCHEMA ÉLECTRIQUE GÉNÉRAL DU ROBOT PRINCIPAL	22
FIGURE 14 : POSITION DES ÉLÉMENTS ÉLECTRONIQUES SUR LE ROBOT	23
FIGURE 15 : FONCTIONS PRINCIPALES FP DE LA CARTE STM	23
FIGURE 16 : FONCTIONS PRINCIPALES FP DE LA CARTE ALIMENTATION	24
FIGURE 17 : FONCTIONS PRINCIPALES FP DE LA CARTE MOTEUR	24
FIGURE 18 : UN CODEUR INCRÉMENTAL	25
FIGURE 19 : DIAGRAMME DE REPRÉSENTATION DE L'ORGANISATION DU CODE INFORMATIQUE	26
FIGURE 20 : POSITION DES CAPTEURS DE DÉTECTION AUTOUR DU ROBOT	27
FIGURE 21 : REPRÉSENTATION DU TRAJET EFFECTUÉ PAR LE ROBOT PRINCIPAL LORS D'UN MATCH	28
FIGURE 22 : LA BASE ROULANTE DU ROBOT SECONDAIRE	29
FIGURE 23 : LE SYSTÈME DE RÉCUPÉRATION DES VERRES	29
FIGURE 24 : LE SYSTÈME MIS EN PLACE POUR GONFLER LE BALLON	30
FIGURE 25 : LE SYSTÈME POUR DÉBALLER LES CADEAUX	30
FIGURE 26 : SCHÉMA ÉLECTRIQUE GÉNÉRAL DU ROBOT SECONDAIRE	31
FIGURE 27 : FONCTIONS PRINCIPALES FP DE LA CARTE ARDUINO	32
FIGURE 28 : FONCTIONS PRINCIPALES FP DE LA CARTE ALIMENTATION	32
FIGURE 29 : LE SERVOMOTEUR NUMÉRIQUE AX-12	33
FIGURE 30 : STRATÉGIE DE KRABI JUNIOR	34
FIGURE 31 : PRINCIPE DE L'ÉVITEMENT DU ROBOT SECONDAIRE	35
FIGURE 32 : LE TELEFANT LORS DE LA COUPE DE FRANCE DE ROBOTIQUE	36
FIGURE 33 : NOTRE STAND AU CENTRE-VIE LORS DE LA JOURNÉE PORTES OUVERTES	36
FIGURE 34 : UNE DES NOMBREUSES PAGES DE DOCUMENTATION EN ACCÈS LIBRE DU SITE INTERNET	37
FIGURE 35 : SKARABI LORS DE LA COUPE DE BRETAGNE DE ROBOTIQUE	37
FIGURE 36 : LES DEUX ROBOTS LORS DU QUATRIÈME MATCH	40
FIGURE 37 : BILAN DES DÉPENSES ET DES RECETTES DU CLUB	41
FIGURE 38 : MODÉLISATION DE L'AIRE DE JEU ET DE SES DIFFÉRENTS ÉLÉMENTS	50
FIGURE 39 : UN EXEMPLE DE PYRAMIDE DE VERRES SUR UN BUFFET	52
FIGURE 40 : VUE SUR LE MÉCANISME DES BOUGIES	52
FIGURE 41 : VUE DÉTAILLÉE SUR LES CADEAUX, UNE FOIS DÉBALLÉS	52
FIGURE 42 : CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL DU PROJET ROBOTIQUE	55
FIGURE 43 : LE DIAGRAMME PIEUVRE DU CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL	56
FIGURE 44 : DIAGRAMME DE GANTT LIÉ AUX PLANNINGS DES PÔLES MÉCANIQUE ET ÉLECTRONIQUE	58
FIGURE 45 : DIAGRAMME DE GANTT LIÉ AUX PLANNINGS DU PÔLE INFORMATIQUE ET DE LA GESTION	59
FIGURE 46 : MODÉLISATION DE LA BASE ROULANTE DU ROBOT PRINCIPAL	60
FIGURE 47 : MODÉLISATION DE LA STRUCTURE MÉTALLIQUE DU ROBOT PRINCIPAL	60
FIGURE 48 : MODÉLISATION DU SYSTÈME D'ASCENSEUR	61
FIGURE 49 : MODÉLISATION DES MARTEAUX LATÉRAUX, QUI « SOUFFLENT » LES BOUGIES	61
FIGURE 50 : MODÉLISATION DU ROBOT PRINCIPAL, AVEC UNE PILE DE TROIS VERRES DANS SA SOUTÈ	62
FIGURE 51 : MODÉLISATION DU ROBOT SUR LA TABLE, LORS DU DÉBUT DU « SOUFFLAGE » DE BOUGIES	62
FIGURE 52 : MISE EN PLAN DE LA BASE ROULANTE	63
FIGURE 53 : MISE EN PLAN DU ROBOT PRINCIPAL	64
FIGURE 54 : MODÉLISATION EN TROIS DIMENSIONS DE LA BASE ROULANTE DE KRABI JUNIOR	65
FIGURE 55 : MODÉLISATION DE LA STRUCTURE EN BOIS DU ROBOT	65
FIGURE 56 : MODÉLISATION DU SYSTÈME DE POMPE À VIDE, POUR LE GONFLAGE DU BALLON	66
FIGURE 57 : MODÉLISATION AVEC VUE SUR LE SYSTÈME POUR LE DÉBALLAGE DES CADEAUX	67
FIGURE 58 : MODÉLISATION DU ROBOT EN TRAIN DE DÉBALLER LE PREMIER CADEAU	67
FIGURE 59 : MODÉLISATION DU ROBOT COMPLET, AVEC DES VERRES DANS SON ESPACE DE STOCKAGE	68
FIGURE 60 : MISE EN PLAN DE LA BASE ROULANTE DU ROBOT SECONDAIRE	69
FIGURE 61 : MISE EN PLAN DU ROBOT SECONDAIRE	70
FIGURE 62 : SCHÉMA ÉLECTRIQUE DE LA CARTE STM	71
FIGURE 63 : SCHÉMA ÉLECTRIQUE DE LA CARTE ALIMENTATION	72
FIGURE 64 : SCHÉMA ÉLECTRIQUE DE LA CARTE MOTEUR	73
FIGURE 65 : FONCTIONS PRINCIPALES FP DE LA CARTE AVANT	74
FIGURE 66 : SCHÉMA ÉLECTRIQUE DE LA CARTE AVANT	75
FIGURE 67 : FONCTIONS PRINCIPALES FP DE LA CARTE ARRIÈRE	76
FIGURE 68 : SCHÉMA ÉLECTRIQUE DE LA CARTE ARRIÈRE	76
FIGURE 69 : SCHÉMA ÉLECTRIQUE DE LA CARTE RELAIS	77
FIGURE 70 : POSITIONNEMENT DES ÉLÉMENTS ÉLECTRONIQUES SUR LE ROBOT	78
FIGURE 71 : SCHÉMA ÉLECTRIQUE DE LA CARTE ARDUINO	78
FIGURE 72 : SCHÉMA ÉLECTRIQUE DE LA CARTE ALIMENTATION DU ROBOT SECONDAIRE	79

FIGURE 73 : CAPTEUR SHARP	81
FIGURE 74 : CAPTEUR ULTRASON.....	81
FIGURE 75 : CAPTEUR FIN-DE-COURSE.....	81
FIGURE 76 : CAPTEUR DE LIGNE CNY70.....	81
FIGURE 77 : CAPTEUR DE COULEUR.....	82
FIGURE 78 : DIAGRAMME UML DE LA CLASSE STRATÉGIE DU ROBOT PRINCIPAL	86
FIGURE 79 : PRINCIPE DU FILTRE PID	87
FIGURE 80 : ÉVOLUTION DE LA VITESSE DU ROBOT AVEC LES MOTEURS A PUISSANCE MAXIMALE	88
FIGURE 81 : ÉVOLUTION DE LA VITESSE DU ROBOT AVEC UNIQUEMENT UN FILTRE P	89
FIGURE 82 : ÉVOLUTION DE LA VITESSE DU ROBOT AVEC UN FILTRE PID	89
FIGURE 83 : COMPORTEMENT DU SIMULATEUR PAR RAPPORT AU COMPORTEMENT DU ROBOT	90
FIGURE 84 : LA TABLE VUE DEPUIS LE SIMULATEUR DU ROBOT PRINCIPAL.....	91
FIGURE 85 : LA TABLE VUE DEPUIS LE SIMULATEUR DU ROBOT SECONDAIRE	91

Introduction

Ce document présente le rapport technique lié au Projet Ingénieur n°50, à savoir le projet intitulé «Projet Robotique ».

Ce projet, dont la finalité première est de représenter Télécom Bretagne à l'édition 2013 de la Coupe de France de Robotique, qui a eu lieu du 8 au 11 mai à La Ferté-Bernard (Sarthe), entre de ce fait dans un contexte annuel. Cette année, le thème retenu par les organisateurs de la compétition fut « *Happy Birthday* », en l'honneur du vingtième de l'évènement. Il s'agissait de récupérer ou d'actionner des éléments de jeu sur une table rectangulaire afin des marquer des points dans des matchs opposant deux équipes.

Nous devons donc d'une part construire deux robots homologables pour cet évènement (c'est-à-dire respectant le règlement^{[1],3} officiel de la compétition), puis d'autre part de réaliser le meilleur classement possible, dans les cinquante premières équipes sur plus de 220 participants, pendant ce même évènement. C'est pourquoi ce projet s'oriente tant sur le développement d'outils à la fois informatiques, mécaniques et électroniques, que sur la communication particulièrement intense pour ce type de projet.

Pour réaliser ces deux robots et respecter le Cahier des Charges, nous avons dû nous organiser de manière spécifique, chaque personne étant en charge d'un aspect en particulier, surtout en ce qui concerne la conception du robot principal. Les choses ont été un peu plus différentes pour la conception du robot secondaire, puisque ce robot, d'une conception beaucoup plus simple, a nécessité beaucoup moins de temps de travail.

Nous n'avons cependant pas réalisé non plus les robots seuls : les membres du Projet Développement (S2) nous ont aidés à chaque instant, à chaque phase critique du développement. Nous les remercions d'avoir fourni un apport exceptionnel au projet.

Le rapport s'ouvre sur une présentation détaillée des objectifs et des contraintes du projet, avant de s'attarder sur l'ensemble du développement technique du robot principal. Notre réflexion s'étant d'abord orientée sur les actions à effectuer par le robot, à savoir ce qu'il doit réaliser lors des matchs, nous avons conçu la mécanique et l'électronique du robot en ce sens avant de développer plus en profondeur le code informatique lui-même. La partie concernant le robot principal reproduit ce schéma. Nous évoquons ensuite de la même façon la présentation technique du robot secondaire puis nous présentons les résultats obtenus lors des tests et lors de la coupe.

Partie I

Objectifs & besoins du projet

Cette partie présente dans les grandes lignes le contexte, les objectifs et les contraintes liés à la fois au projet robotique S2 (Nicolas DUMINY, Nicolas FAVÉ, Alexandre MANOURY et Robin NICOLLET) et au projet robotique S4 (Samuel BARRAUD, Alexandre DÉLY, Victor DUBOIS, Gaëtan FAYON, Dorian GILLY et Etienne LOUBOUTIN).

1. CONTEXTE DU PROJET

Comme chaque année depuis maintenant plus dix ans, deux équipes de projets ont participé à la Coupe de France de Robotique, qui s'est déroulée cette année du 8 au 11 mai à La Ferté-Bernard (Sarthe), dans le but de promouvoir l'image de Télécom Bretagne à l'extérieur de l'École et afin que les étudiants puissent vivre leur passion en participant à ce qui reste le plus grand rassemblement scientifique en France. Comme à l'accoutumée, c'est l'association française Planète Sciences¹, en partenariat avec Eurobot² qui organise la rencontre.

En réalité, ce projet ne concerne pas seulement une dizaine personnes. Il concerne également tout un club qui a commencé à travailler dès le mois de Septembre 2012 afin de réaliser en plusieurs étapes deux robots respectant le règlement imposé par la compétition^[1,3].

Durant l'ensemble de la phase de réalisation, nous avons dû rendre compte de notre avancement à nos tuteurs de projet (Noël CAILLÈRE, Jean-Pierre CLÈRE, Magali LE GALL et Serge PINEL), à la Direction de la Communication de l'École (représentée par Marie-Catherine MOUCHOT) et aux organisateurs de la compétition.

Durant cette phase de réalisation, nous avons également pu promouvoir l'École et le club en participant à des événements comme la Fête de la Science en début d'année, ou la Journée Portes Ouvertes de Télécom Bretagne le 16 mars dernier⁴.

Il s'ensuit après la phase de réalisation des robots une phase plus importante : la phase d'homologation. Cette phase, qui se déroule le premier jour de la coupe, déterminera si nos deux robots respectent en tous points les contraintes liées au règlement^[1,3], et donc au final si le robot peut ou non y participer.

2. OBJECTIFS DU PROJET

La Coupe de France de Robotique étant un événement très médiatisé, l'objectif premier est donc de bien représenter l'École lors de cet événement. Il faut donc d'une part fournir deux robots pleinement homologables et ensuite faire le meilleur résultat possible. Afin de fournir un robot homologable, il est alors nécessaire de valider le Cahier des Charges fonctionnel établi au début du projet (visible en Annexe 1), suivant un planning précis (visible en Annexe 2).

Il existe également un autre objectif au projet, moins en rapport avec la coupe de cette année, mais qui reste toutefois important : il s'agit de transmettre les connaissances acquises pendant la coupe aux générations suivantes. De cette façon, les prochaines équipes pourront améliorer l'efficacité de leur travail ce qui leur permettra ainsi d'avoir de meilleurs résultats aux prochaines coupes.

Il y a donc des défis techniques à résoudre et des objectifs à atteindre en respectant un Cahier des Charges fonctionnel⁶ très strict. Tout cela forme au final un projet à l'expérience très enrichissante.



Figure 1 : Logo de la Coupe de France de cette année

3. RÈGLEMENT DE LA COUPE DE FRANCE DE ROBOTIQUE

Pour les 20 ans de la coupe, le thème est ainsi « Happy Birthday », et c'est pourquoi les actions que devront réaliser les robots ont toutes un rapport avec ce thème.

Les règles générales sont globalement les mêmes que les années précédentes. Deux robots sont autorisés cette année : un robot principal dont le périmètre doit être inférieur à 1000mm et un robot secondaire de périmètre maximal 600mm au début du match. Les robots peuvent en outre être munis d'actionneurs qui se déploient pendant un match mais leur périmètre du robot ne doit pas excéder 1400mm pour le robot principal et 800mm pour le robot secondaire. Les matches ont lieu comme lors des années précédentes : deux équipes s'affrontent, et doivent marquer le plus de points possible pendant les phases de qualification. Les robots sont toujours limités à 350mm de haut sauf pour le support de balise, se situant lui à 430mm et d'éventuels système, de repérage notamment ou de détection placés sous le support de balise.

Les robots doivent impérativement arrêter tout actionneur 90 secondes après le début du match. Cette année les robots disposent en revanche 10 secondes supplémentaires pendant lesquelles ils doivent être à l'arrêt et gonfler un ballon.

Nous présentons ci-dessous la table, avec ses différentes zones et aussi les éléments du jeu.

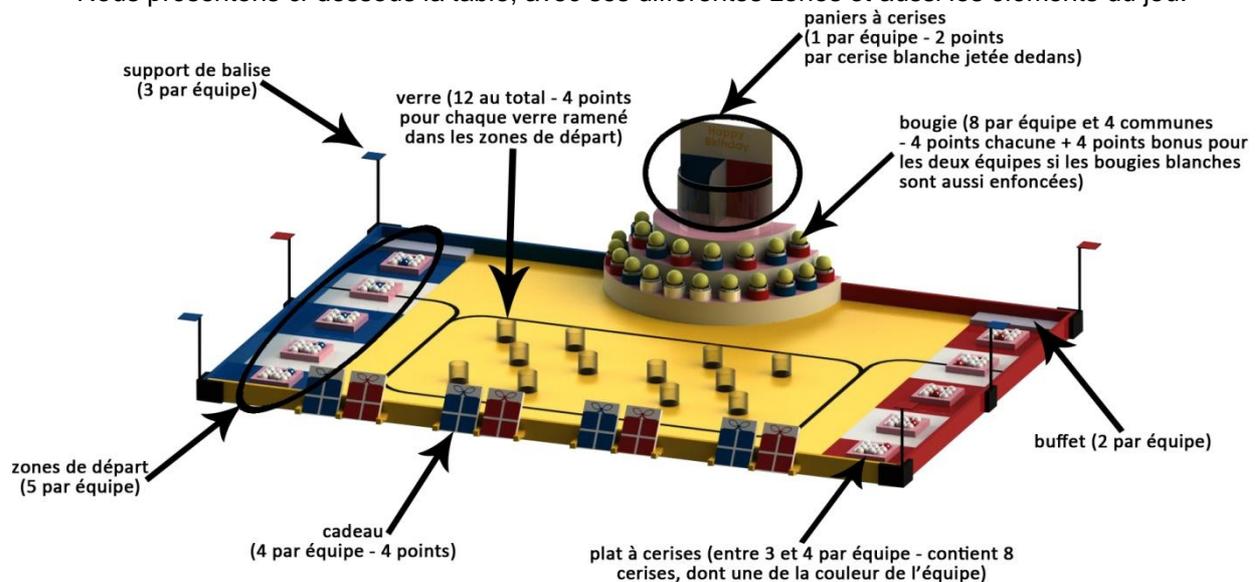


Figure 2 : La table de jeu de l'édition 2013

Il y a deux couleurs. Chaque équipe s'en verra attribuer une lors de la préparation du match. Les zones en damier de chaque côté de la table sont les zones de départ. Chaque robot doit partir d'une zone de départ et être collé à la bordure de la table. Les « plats à cerises » contenant les balles de ping-pong rouges, bleues et blanches sont enlevés des zones de départs d'où partent des robots.

A l'avant de la table se situent 8 cadeaux, qui doivent pivoter pour rapporter des points à l'équipe dont ils ont la couleur. Au centre de la table se situent des verres, qui doivent être ramenés dans les zones de départ afin de rapporter des points. Ces verres peuvent être empilés afin de rapporter plus de points. Les balles de ping-pong, placées dans des paniers en bois dans les zones de départ, peuvent être envoyées dans les bacs situés sur le gâteau, afin de placer « la cerise sur le gâteau ». Enfin les bougies sur le gâteau sont représentées par des balles de tennis, et il faut éteindre les bougies en appuyant sur les balles de tennis (qui tiennent sur deux élastiques). Les couleurs sont importantes puisque pour les bougies et les cadeaux, ce sont les objets de la couleur de l'équipe qui lui rapportent des points. En outre, le ballon gonflé après les 90 secondes rapporte également des points. Chaque action effectuée avec succès rapporte un certain nombre de points et l'équipe qui en a remporté le plus est déclarée vainqueur. Vous pouvez consulter l'Annexe 1 pour voir plus en détails certaines règles, où consulter directement le règlement^{[1].3.}

Partie II

Gestion du projet

Une fois les objectifs et le contexte du projet définis, il a fallu nous organiser, à la fois au niveau du Projet Ingénieur, mais également au niveau du Club Robotique tout entier. Chaque tâche réalisée a dû être préalablement planifiée puis attribuée à un ou plusieurs membres pour qu'elle se fasse dans les meilleurs délais et les meilleures conditions.

La partie qui suit correspond à un résumé succinct des parties les plus essentielles de notre Plan de Management^[3], publié au mois de mars 2013.

1. L'ÉQUIPE

La structure de notre Projet S4 est inhabituelle car elle s'insère dans un cadre plus large. En effet, nous travaillons en collaboration avec le Projet S2 (Projet Développement) de robotique ainsi qu'avec le reste des membres du Club Robotique. Nous fonctionnons par pôles : mécanique, électronique et informatique. Chaque pôle possède un responsable, et le groupe complet est encadré par le responsable du projet. L'organisation est la suivante au sein du Projet S4 est la suivante :



Figure 3 : Organigramme de la gestion de projet

1.1 GAËTAN FAYON – RESPONSABLE DE PROJET

Gaëtan FAYON est le responsable du Club Robotique, et a donc été nommé responsable de projet. Il s'occupe de la gestion de projet, des réunions, et des rapports d'avancement. Il est également chargé des démarches administratives relatives à l'inscription de l'équipe à la Coupe de France de Robotique. Il a pris part au Projet Robotique S2 l'année dernière en tant que responsable du pôle mécanique, et l'est encore cette année. Il est chargé de la modélisation du robot principal et supervise son assemblage.

1.2 SAMUEL BARRAUD – RESPONSABLE DU BUDGET

Samuel BARRAUD est le trésorier du Club Robotique, depuis l'été 2012. C'est donc le mieux placé pour le rôle de responsable du budget. En tant que tel, il est chargé de la gestion du budget, et de publier à l'issue de l'année un bilan financier complet (voir V.4.2). Il a pris part au projet S2 de robotique de l'année dernière, en tant que membre du pôle informatique. Il en est aujourd'hui le responsable : il s'est chargé de la formation des nouveaux arrivants du début d'année dans son domaine et est en charge de la répartition du travail au sein du pôle qu'il supervise.

1.3 DORIAN GILLY – RESPONSABLE DU SUIVI HORAIRE ET DE LA QUALITE

Dorian GILLY est responsable du suivi horaire et de la qualité. Il comptabilise les heures de travail par les membres du club, afin de pouvoir les indiquer dans les rapports d'avancement. Il doit également s'assurer du bon avancement des tâches planifiées du projet. Dorian a rejoint le club en début d'année, en tant que membre du pôle mécanique, aidant à la modélisation et la construction des deux robots (principal et secondaire). Il a également supervisé la construction de la table d'entraînement en début d'année.

1.4 ETIENNE LOUBOUTIN – RESPONSABLE DE LA DOCUMENTATION

Etienne LOUBOUTIN est responsable de la documentation. Il est donc en charge de la rédaction des comptes-rendus de réunions, qu'elles soient avec nos tuteurs ou internes au groupe, ainsi que des documents de travail. Il doit de plus s'assurer que nos livrables sont exempts de plagiat. Etienne a rejoint le club en début d'année en tant que membre du pôle mécanique, en étant notamment responsable de la mécanique du robot secondaire, Krabi Junior.

1.5 VICTOR DUBOIS – RESPONSABLE DE LA COMMUNICATION

Victor DUBOIS est responsable de la communication du projet. Il est le porte-parole du groupe et correspondant pour les échanges avec l'extérieur. Il se charge de tenir à jour le site internet du club^{[4],7} depuis l'été dernier. Victor a participé au Projet Robotique S2 2012, en tant que responsable informatique et électronique du robot secondaire. Il est actuellement responsable du pôle électronique, et s'est chargé de former les nouveaux membres du club dans ce domaine au début de l'année. Il supervise la conception des cartes électroniques des deux robots de l'équipe.

1.6 ALEXANDRE DÉLY – RESPONSABLE DU FORUM S4

Alexandre DÉLY était déjà membre du Club Robotique l'année passée, en tant que membre du pôle informatique, en s'occupant notamment du code bas-niveau du robot principal. Il se charge de la préparation du Forum Ingénieur S4. En effet, nous devons présenter nos robots, ce qui nécessite de l'organisation pour que tout ce déroule bien : il y a un aspect logistique non négligeable et il faudra s'assurer que les robots soient toujours en bon état de fonctionnement, étant donné que le forum a lieu presque un mois et demi après la Coupe de France de Robotique.

1.7 LES MEMBRES DU PROJET S2

Le groupe de projet S2 est constitué de quatre membres, répartis dans les trois pôles du club:

- Nicolas DUMINY, membre du pôle électronique;
- Nicolas FAVÉ, membre des pôles électronique et mécanique;
- Alexandre MANOURY, membre du pôle informatique, il s'occupe du robot secondaire;
- Robin NICOLLET, membre du pôle informatique.

1.8 LES MEMBRES DU CLUB ROBOTIQUE

Certains membres du Club Robotique ne sont pas membres du Projet S2 ou du Projet S4 mais participent cependant activement au bon fonctionnement du club. On peut notamment citer Ayoub HADFAT et Yifu TANG, membres du pôle électronique, ainsi que Maxime MEYER, membre du pôle mécanique.



Figure 4 : Les membres du club, avec les encadrants techniques

2. LA PLANIFICATION DU PROJET

Le projet robotique se déroule sur 8 mois. Celui-ci est donc long et il s'avère nécessaire de planifier les différentes tâches du projet à l'avance. Nous avons formalisé cela conformément aux exigences du Projet S4 en utilisant un diagramme de Gantt détaillée, visible en annexe 2.

Le projet a commencé en octobre 2012 lorsque nous avons eu accès au règlement^{[1],3} de la coupe. Nous avons donc étudié ce dernier ainsi que diverses solutions pour la conception de nos robots. Nous avons abouti à une solution au bout de deux semaines, qui écartait la faisabilité technique du lancer de cerise, jugée trop complexe par rapport au nombre de points que cela pouvait nous rapporter.

Pour le pôle mécanique, la première étape a été de réaliser les plans de la base roulante du robot principal ainsi que l'architecture du robot secondaire. Ensuite, il est nécessaire que la base roulante soit terminée rapidement afin que les pôles électroniques et informatiques puissent commencer leurs tests suffisamment tôt. Nous nous sommes enfin attachés à la réalisation complète du robot principal, afin d'y ajouter les composants interagissant avec les éléments de jeu.

Pour le pôle électronique, il faut d'abord concevoir les schémas des cartes avant de les imprimer, souder, percer et tester. Ces tâches conservent cet ordre pour les différentes versions des cartes, qui sont des améliorations des versions antérieures. Ainsi, un cycle en spirale est appliqué à la conception des cartes. Il est nécessaire que les premières versions des cartes soient fonctionnelles rapidement afin de pouvoir détecter d'éventuels problèmes et d'être testées sur les robots.

Pour le pôle informatique, les différentes tâches peuvent être réalisées en parallèle et suivent chacune des étapes de conception, réalisation, test et amélioration. Le cycle est donc plutôt en spirale : les tâches se déroulent généralement sur des longues périodes (4 à 6 mois) comme par exemple l'amélioration de la stratégie qui doit s'adapter aux avancées mécanique et électronique des robots.

3. LE PLAN DE MANAGEMENT ET LES OUTILS DE GESTION

Nous avons tout d'abord réalisé un Plan de Management^[3] afin de formaliser l'organisation de la gestion du projet. Nous y avons fourni un diagramme de Gantt ainsi que des diagrammes WBS pour la définition de nos tâches. Nous avons également délivré chaque semaine un rapport d'avancement à nos clients.

Parallèlement à ce document qui définit notre champ d'action, et à la mailing-liste du projet, nous utilisons quatre autres outils :

- **ClockingIT** (<http://crabenst.clockingit.com/>) : permet à la fois de connaître la liste des tâches, la liste des personnes à qui elles sont assignées et le temps passé pour une personne sur les différentes tâches qui lui sont attribuées) ;
- **l'espace BSCW** (<https://bscw.telecom-bretagne.eu/bscw/bscw.cgi/6908447>) : cet utilitaire, fourni par l'École, nous permet de partager les différents rapports et livrables à la fois entre nous, les encadrants et le client ;
- **le dépôt Git**^[5] (<http://em6.clubs.resel.fr/dokuwiki/doku.php?id=git>) : il s'agit d'un gestionnaire de version contenant tout le code informatique des deux robots, ainsi que sa documentation (d'abord inséré dans le code puis mise en forme sur le site grâce à Doxygen) ;
- **Notre site internet**^[4] (<http://em6.clubs.resel.fr/>) : c'est la vitrine du club, contenant à la fois des photos et des vidéos de notre travail, mais également une partie *Wiki* avec de nombreuses informations sur la conception des robots, recueillies année après année.

Partie III

Développement technique du robot principal

Cette partie se concentre sur le développement technique du robot principal, Krabi. Lors du *brainstorming* de début d'année, à l'issue de la publication du règlement^[1,3], il a été décidé que ce robot aurait pour objectif de récupérer les verres et de les empiler, et de « souffler » les bougies correspondant à notre équipe situées sur le gâteau. Il a donc fallu, dans un premier temps, imaginer les actionneurs permettant de réaliser ces actions, puis les relier au microcontrôleur⁶ du robot pour ensuite les intégrer à la stratégie informatique.

1. LA MÉCANIQUE DU ROBOT PRINCIPAL : RÉALISER LES STRATÉGIES D' ACTIONS

Dans l'optique de réaliser l'ensemble des actions désirées et d'assurer un maximum de stabilité et de précision au robot, nous avons dû imaginer et concevoir des solutions mécaniques simples, fiables et efficaces.

Nous avons commencé par travailler sur un modèle en trois dimensions du robot afin de se rendre compte le plus tôt possible de certains problèmes liés aux dimensions des actionneurs et de leur emplacement sur le robot. En effet, les organisateurs de la coupe ont décidé cette année de considérablement réduire chaque périmètre des robots (comme le précise le règlement^[1,3] de la compétition^[1] à la page 19 : le périmètre non-déployé du robot principal ne doit pas excéder 1000mm, tandis que son périmètre déployé est limité à 1400mm), ce qui nous a fait perdre près de 30% de volume utile par rapport à l'année précédente. Dès lors, les dimensions de la base roulante ont dû être totalement revues cette année. Vous trouverez en première partie de l'annexe 3 de nombreuses modélisations des différents éléments du robot principal.

Une fois les modélisations terminées et les plans des pièces vérifiés, les pièces sont usinées suivant un ordre précis, soit par nous-mêmes si la pièce en question n'est pas trop complexe à réaliser, soit par le technicien mécanique du Département Optique, M. Jean-Pierre CLÈRE. On réalise ensuite l'assemblage et les tests qui suivent.

1.1 LA BASE ROULANTE

La base roulante correspond aux fondations mêmes du robot : c'est elle qui supportera le système de propulsion et de localisation du robot sur la table. Elle délimitera par ailleurs le périmètre non-déployé de ce dernier et sa forme doit permettre et faciliter la récupération des verres, d'où la modélisation suivante :

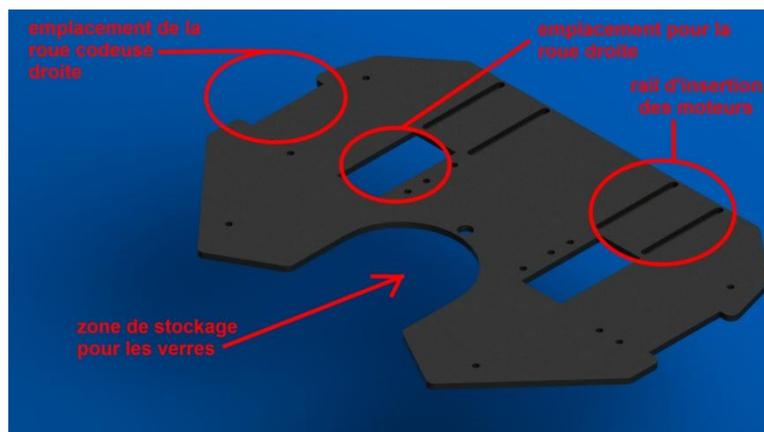


Figure 5 : Modélisation de la base roulante du robot

Comme nous pouvons le constater sur la figure précédente, chaque zone de la base roulante est cette année optimisée pour recueillir une des fonctionnalités du robot.

La fonctionnalité première de la base roulante est de permettre au robot d'avancer. Ainsi, deux emplacements espacés chacun de 100mm ont été prévus pour insérer les roues. Cet écart a été particulièrement agrandi depuis l'an dernier, de façon à augmenter le couple⁶ de déplacement linéaire et angulaire du robot, et afin de rendre le robot plus stable. Pour les roues, le choix s'est porté sur l'utilisation de roues en néoprène qui ont la particularité d'être souples, de manière à épouser au mieux la forme de la zone d'adhérence, et donc de mieux adhérer à la table. Chacune de ces roues est reliée à un moteur à courant continu 24V via un système de courroie. Ces moteurs sont équipés en aval d'un réducteur épicycloïdal à trois étages PLG32, délivrant en sortie un couple de 150N.cm, transmis à l'axe de rotation des roues. En comptant le couple fourni par le motoréducteur et celui fourni par l'espacement entre l'emplacement des roues, nous arrivons à un total de 250N.cm de couple au niveau de la base roulante, strictement supérieur aux 175N.cm de l'an dernier. Cette année, le robot a donc plus de facilités à se déplacer, même si son poids a augmenté suite à l'augmentation du nombre d'actionneurs présents par rapport aux années précédentes.

Des roues codeuses⁶ ont été placées sur l'axe de rotation des roues, système permettant au robot de se repérer sur l'aire de jeu. Étant donné que ces roues doivent toujours être en contact avec le sol, nous les avons montées sur des glissières à billes lestées, comme le montre la modélisation suivante et la photographie de la base roulante dans sa configuration finale :

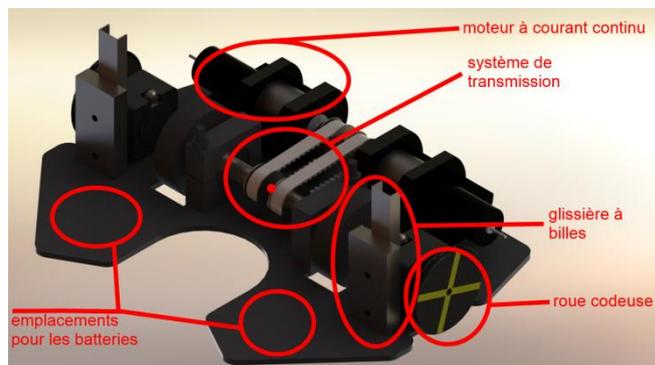


Figure 6 : La base roulante du robot complètement modélisée

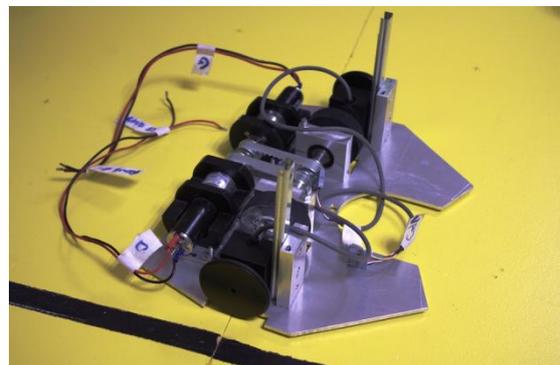


Figure 7 : La base roulante du robot après son montage

La seconde grande fonctionnalité de la base roulante est d'assurer la stabilité du robot lors de ses déplacements. Pour ce faire, il a été décidé de mettre un maximum de poids sur la base roulante, en y déposant les moteurs notamment, ainsi que deux batteries à l'avant, de manière à placer le centre de gravité au niveau du milieu de l'axe de rotation des roues (indiqué par un point sur la modélisation précédente).

1.2 LE PREMIER ETAGE : SOUTENIR L'ASCENSEUR

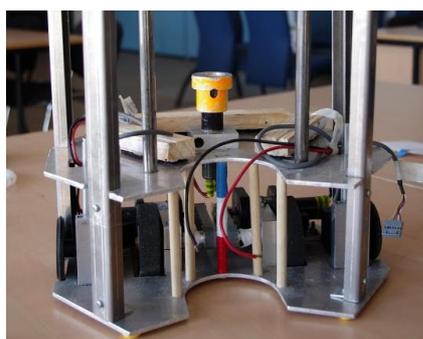


Figure 8 : Krabi, avec son premier étage et le moteur de l'ascenseur, en orange

Le premier étage du robot, soutenu à l'aide de quatre piliers partant de la base roulante et usiné en aluminium, contient les deux autres batteries du robot, le moteur de l'ascenseur et deux marteaux permettant de souffler les bougies du premier étage du gâteau (voir III.1.5). Nous rencontrons donc sur cet étage, de même que sur la base roulante, les éléments les plus lourds du robot, de manière à garder un centre de gravité le plus bas possible.

Une carte électronique a également été installée à cet étage (la carte capteur arrière, voir III.2.3). Cet étage a été percé en deux endroits afin de passer les différents câbles reliant les cartes électroniques aux actionneurs et aux capteurs du robot.

1.3 LE SECONDE ETAGE : SUPPORTER LES CARTES

Le deuxième étage est réservé aux cartes électroniques qui sont les éléments les moins lourds du robot. Étant donné son rôle, cet étage a été usiné en plastique, afin d'éviter des faux contacts si un câble dénudé venait à toucher cet étage. Afin de faire tenir les cartes et d'y avoir accès facilement, un système de rail-guide a été installé, comme l'image ci-contre le montre. À l'opposé de ces rails-guides se situe un rail de maintien de la carte, fixé sur le toit et de hauteur réglable afin de s'adapter à chaque version de carte.

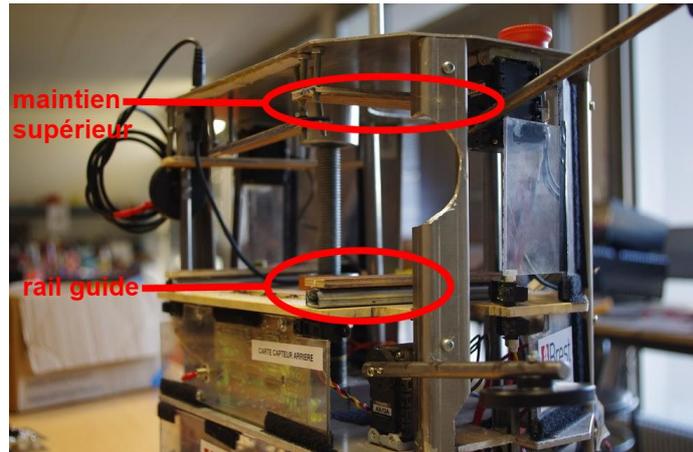


Figure 9 : Le système de maintien des cartes sur Krabi

Des trous ont également été ajoutés pour, comme sur l'étage inférieur, faire passer les câbles.

1.4 LE TOIT ET LE SUPPORT DE BALISE

Le toit du robot principal, situé à une hauteur d'approximativement 330mm du sol, comporte les éléments devant être les plus accessibles du robot. Nous retrouvons ainsi le bouton d'arrêt d'urgence, le système de tirette qui doit permettre de lancer le robot en début de match (cette prise fonctionne comme un interrupteur : quand le câble de la tirette est débranché, le robot démarre) et le support de balise, qui doit se situer à une hauteur de 430mm. Tous ces éléments sont nécessaires à l'homologation du robot.

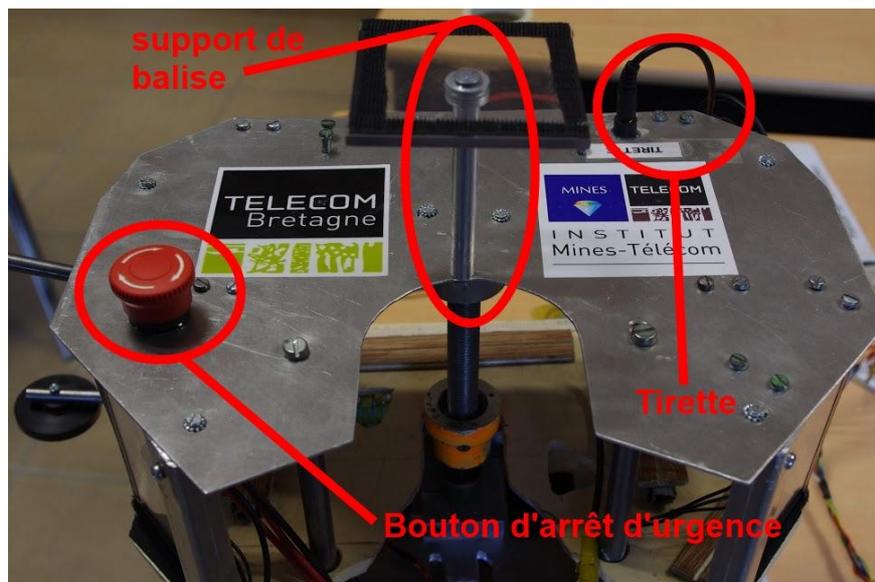


Figure 10 : Les éléments situés sur le toit du robot

1.5 LES MARTEAUX : SOUFFLER LES BOUGIES

Dans le but de « souffler » les bougies, la solution retenue a été de placer une paire de marteaux de chaque côté du robot, l'un fixé sur le premier étage et l'autre fixé sur le toit. Chaque marteau a une longueur différente, afin de pouvoir « souffler » les deux étages du gâteau en même temps. Ces marteaux sont fixés de manière symétrique sur chaque côté du robot afin que le système fonctionne de la même façon quelque soit le côté de l'aire de jeu de laquelle nous partons au début du match.

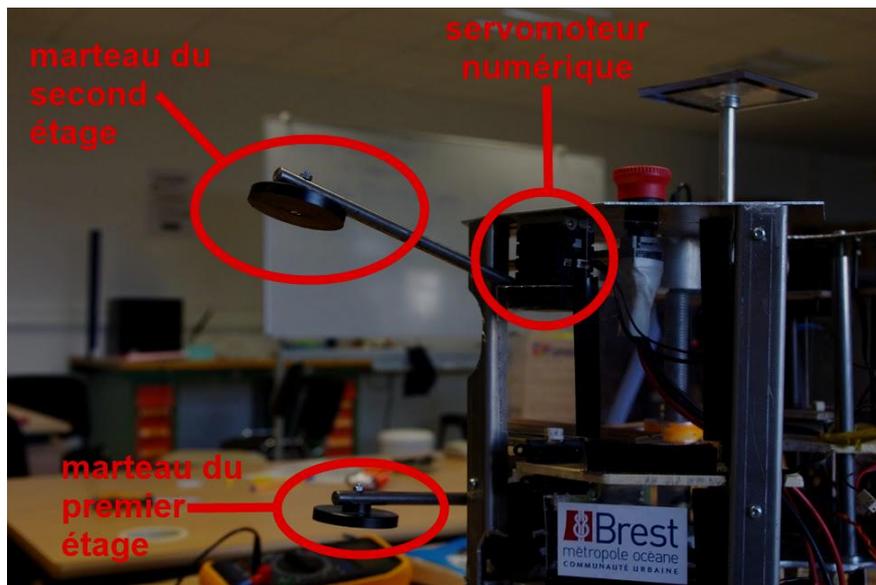


Figure 11 : Les marteaux de Krabi

Chacun des marteaux est relié mécaniquement à un servomoteur⁶ numérique AX-12^[6], plus puissant qu'un servomoteur analogique classique, de manière à avoir une force d'appui suffisante pour appuyer sur les balles de tennis (symbolisant les flammes des bougies) et les faire rentrer dans leur support.

1.6 L'ASCENSEUR : EMPILER LES VERRES

Afin de récupérer les verres et de les empiler, il est nécessaire d'installer un système permettant de soulever les verres et de les empiler au fur et à mesure de la progression du robot sur la table. Pour ce faire, nous avons choisi d'utiliser un système similaire à celui installé il y a deux ans, à savoir un système de vis sans fin entraîné par un moteur à courant continu 12V. Un plateau, rendu isostatique par la présence de deux guides d'axes à l'avant de celui-ci, comporte un écrou imbriqué dans la vis sans fin. Quand la vis tourne, la présence de l'écrou fait en sorte que le plateau monte ou descende, suivant le sens de rotation du moteur.

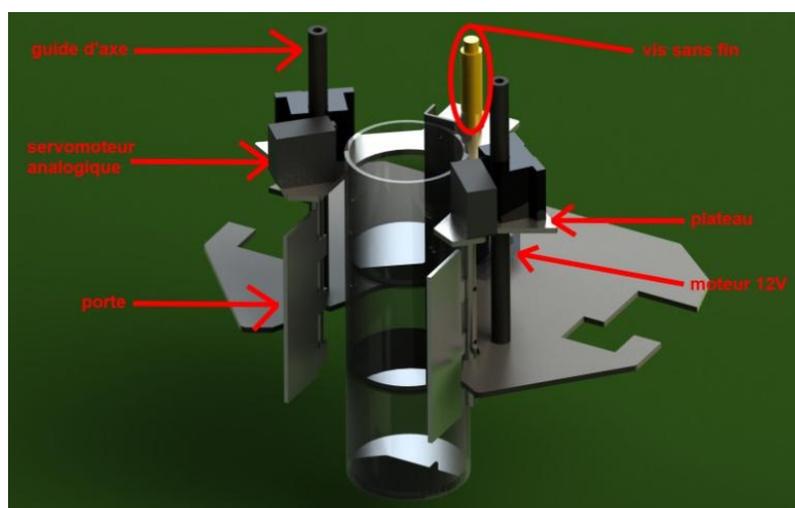


Figure 12 : Modélisation de l'ascenseur du robot principal

Un système de portes vient compléter le système : deux portes, dont l'ouverture est contrôlée par des servomoteurs⁶ analogiques, permettent de serrer les verres dans l'optique de faire monter l'ascenseur par la suite. Ces portes sont des plaques d'aluminium, sur lesquelles nous avons collé du papier de verre pour permettre une meilleure adhérence. Nous avons également ajouté à la base roulante deux petites portes plus petites de façon à caler le verre à empiler dans l'ascenseur de la manière la plus précise possible.

Cependant, du fait d'un manque de place dans le robot (dû à la densité du câblage), il a été décidé de retirer ce système afin d'éviter de diminuer la fiabilité de la connectique à l'intérieur du robot (quand l'ascenseur se déplaçait, il y avait un trop fort risque d'arracher les câbles).

2. L'ÉLECTRONIQUE DU ROBOT PRINCIPAL : PERMETTRE LA COMMANDE DES ACTIONNEURS

Une fois le nombre, la nature et la position des actionneurs définis, il faut relier ces différents actionneurs au microcontrôleur⁶ du robot, contenant le code informatique du robot. C'est là que les cartes électroniques entrent en jeu.

2.1 ARCHITECTURE FONCTIONNELLE DE L'ÉLECTRONIQUE

2.1.1 Schéma électrique général

L'architecture électronique de cette année est une évolution de celle de l'année dernière, qui garde l'aspect fiable et robuste, tout en augmentant les possibilités. En effet, nous avons conservé la séparation des parties logique et puissance. Mais les actions à réaliser étant plus diverses encore, nous avons dû prévoir plus d'actionneurs et de capteurs. Parmi eux, les capteurs couleurs^[11] et les servomoteurs⁶ numériques^[6] sont des innovations de cette année.

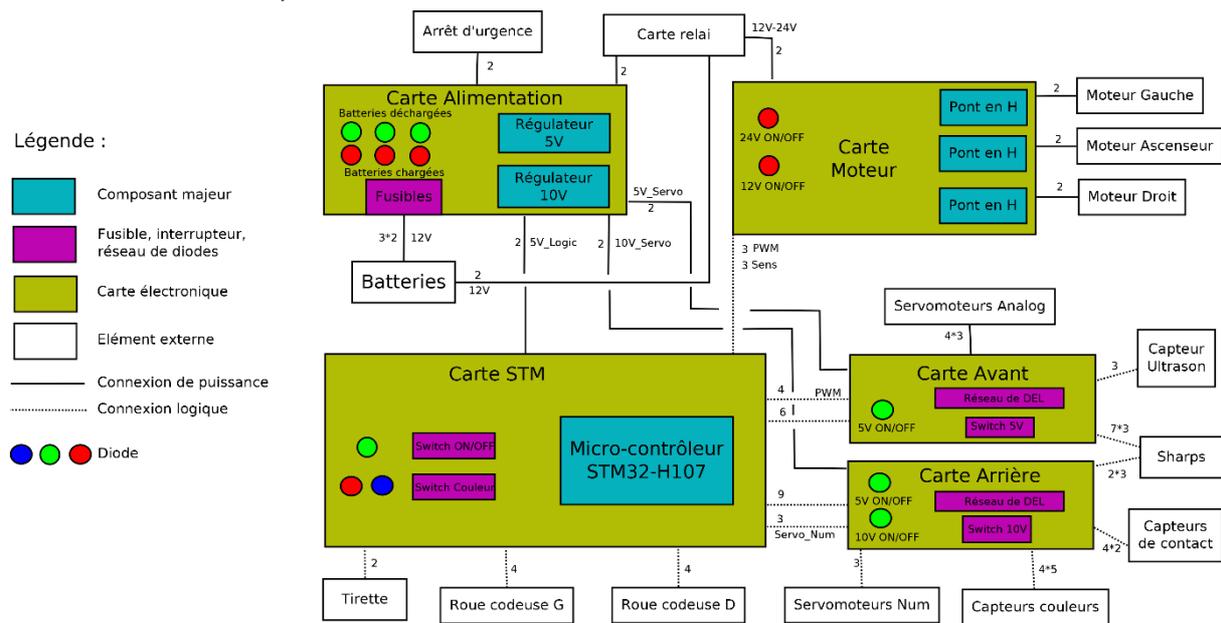


Figure 13 : Schéma électrique général du robot principal

2.1.2 Position des éléments sur le robot

Cette année nous avons été confrontés à un problème délicat, les fonctionnalités du robot ont dû augmenter alors même que le règlement^{[1],3} de la coupe nous imposait une diminution du volume du robot de 30% par rapport à celui de l'année dernière. Nous avons donc dû limiter au maximum la taille de nos cartes. Le câblage des robots est donc devenu un vrai défi puisque les fils de connexions entre nos diverses cartes et composants externes prennent une place non-négligeable. Nous avons donc dû également placer nos cartes en conséquence. Par exemple, la carte avant et la carte arrière ont été placées au plus près des composants qu'elles géraient. De plus, pour des raisons de commodité, les cartes sont placées sur les côtés du robot et fixées sur des rails coulissants, ceci afin de permettre leur extraction rapide pour des vérifications ou réparations. Et cela, tout en laissant les flancs du robot libres pour les actionneurs, notamment en ce qui concerne les servomoteurs⁶ numériques^[6].

L'image ci-dessous correspond aux emplacements des différents éléments électroniques sur la structure mécanique du robot principal.

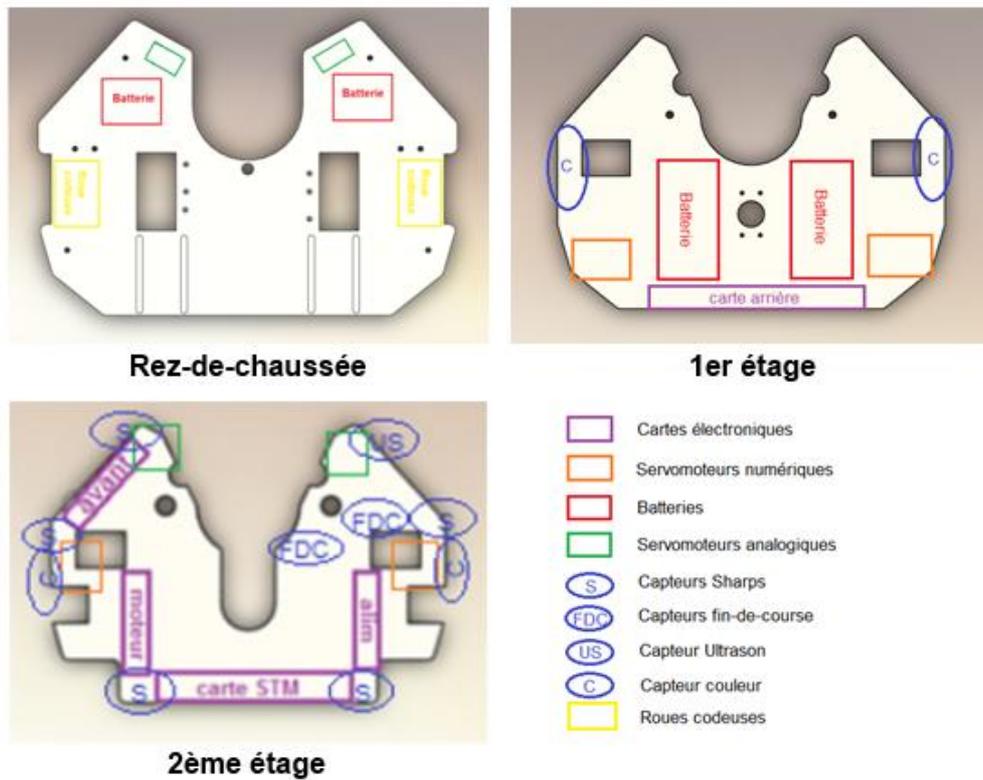


Figure 14 : Position des éléments électroniques sur le robot

Nous allons maintenant pouvoir détailler le fonctionnement des diverses cartes électroniques que comporte le robot.

2.2 LA CARTE STM : RELIER LA MECANIQUE AVEC L'INFORMATIQUE

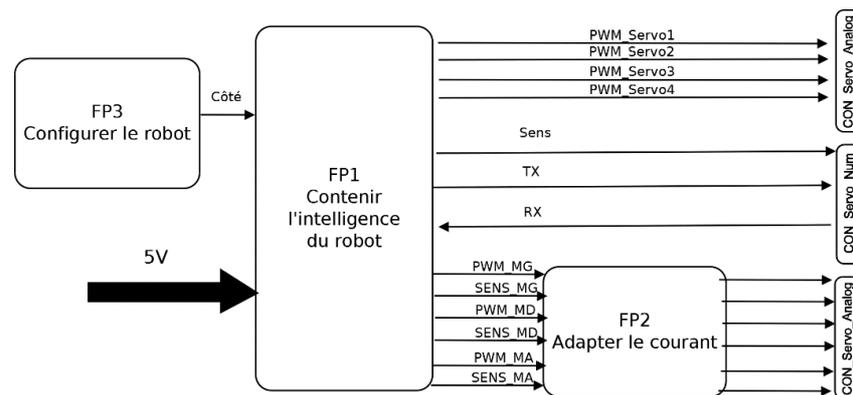


Figure 15 : Fonctions principales FP de la carte STM

On peut décomposer la carte STM en trois fonctions principales, notées FP sur le schéma ci-dessus (voir le schéma électronique de chaque fonction en annexe 4) :

- **FP1** : contenir l'intelligence du robot. Le robot est autonome, toutes ses décisions sont prises par le microcontrôleur STM32^{[7],6}. C'est un processeur 32bits, qui contient des mémoires, des registres et de nombreuses entrées-sorties. Il est situé sur une carte STM32-H107^[7], elle-même logée sur notre carte STM ;
- **FP2** : adapter le courant. En effet, une partie des signaux doit être amplifiée par un buffer de ligne⁶ pour soulager le faible régulateur de tension du STM32^[7] ;
- **FP3** : configurer le robot. Nous n'apprenons la couleur de départ que quelques minutes avant les matchs. Nous en informons donc le robot à l'aide d'un interrupteur.

2.3 LES CARTES D'EXTENSIONS DE LA CARTE STM

Le microcontrôleur^{[7],6} doit être relié à de très nombreux composants externes. Il n'est pas possible de loger tous les connecteurs sur la seule carte microcontrôleur^{[7],6} (carte STM). Nous avons donc placé ces connecteurs sur des cartes d'extension, placés au plus près des composants externes en question. Le fonctionnement de ces cartes est décrit plus précisément en annexe 4

2.4 LA CARTE ALIMENTATION : REGULER LA TENSION ET ALIMENTER LES ACTIONNEURS

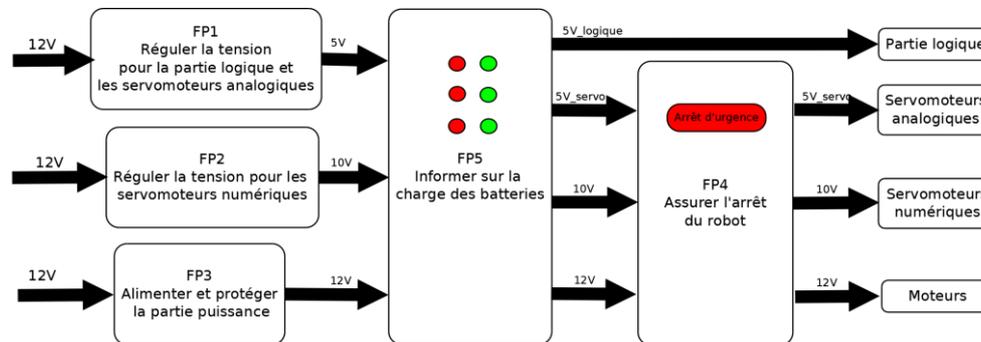


Figure 16 : Fonctions principales FP de la carte alimentation

On peut décomposer la carte alimentation en cinq fonctions principales, notées FP sur le schéma ci-dessus (voir le schéma électronique de chaque fonction en annexe 4) :

- **FP1** : réguler la tension pour la partie logique et les servomoteurs⁶ analogiques. Ces composants doivent être alimentés en 5V, à partir des batteries 12V. La conversion doit se faire avec un bon rendement (supérieur à 90%) pour garantir l'autonomie énergétique du robot ;
- **FP2** : réguler la tension pour les servomoteurs⁶ numériques^[6]. Ces composants doivent être alimentés en 10V, à partir des batteries 12V. La conversion doit se faire avec un haut rendement pour garantir l'autonomie énergétique du robot ;
- **FP3** : alimenter et protéger la partie puissance ;
- **FP4** : assurer l'arrêt du robot. Lors de l'appui sur le bouton d'arrêt d'urgence, l'alimentation doit être coupée sur tous les actionneurs : moteurs et servomoteurs⁶ ;
- **FP5** : informer sur la charge des batteries.

2.5 LES CARTES GERANT LES MOTEURS

2.5.1 La carte moteur : contrôler les moteurs

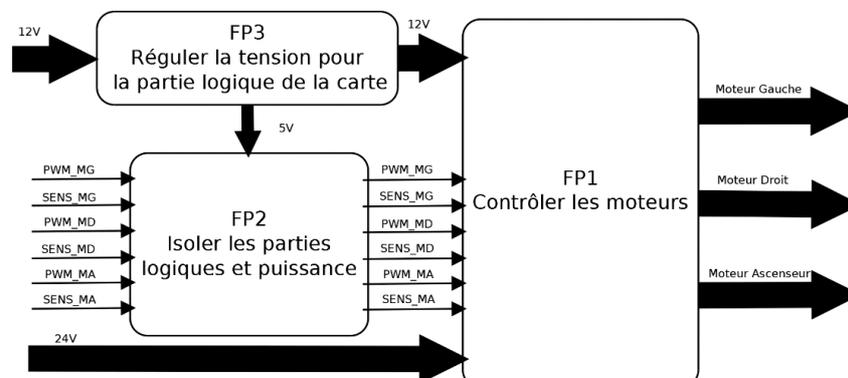


Figure 17 : Fonctions principales FP de la carte moteur

On peut décomposer la carte alimentation en trois fonctions principales, notées FP sur le schéma ci-dessus (voir le schéma électronique de chaque fonction en annexe 4) :

- **FP1** : contrôler les moteurs. Le robot comporte 3 moteurs à courant continu : 2 pour la propulsion fonctionnant en 24V et un pour l'ascenseur fonctionnant en 12V. Il faut convertir

les signaux de contrôle (PWM⁶ et sens) du microcontrôleur^{[7].6} en signaux de puissance. Ceci est réalisé par les ponts en H^{[8].6} ;

- **FP2** : isoler les parties logique et puissance. Un risque des moteurs à courant continu réside dans les surtensions. Il arrive que les moteurs génèrent de fortes perturbations sur l'alimentation, notamment en cas de choc. C'est dangereux pour de nombreux composants, à commencer par le microcontrôleur^{[7].6}. Pour éviter cela, les moteurs sont isolés du reste de l'électronique au moyen d'optocoupleurs⁶. Ces composants permettent de transmettre une information sous forme de tension entre deux circuits isolés l'un de l'autre ;
- **FP3** : réguler la tension pour la partie logique de la carte. Le moteur ne reçoit que des tensions 12V et 24V envoyées par les batteries. Or les optocoupleurs⁶ doivent être alimentés en 5V. Ils ne consomment pas beaucoup, nous nous sommes contentés de mettre un régulateur⁶ simple à faible rendement : un 7805^[9].

2.5.2 La carte relais

La carte moteur toute seule posait un problème de taille. Elle était supposée fonctionner sous 12V et 24V en même temps, or nous ne disposons que d'un seul interrupteur (une voie du bouton d'arrêt d'urgence) pour arrêter ces deux voies. Il nous a donc fallu concevoir une carte électronique permettant de repérer l'état du bouton d'arrêt d'urgence et copier cet état pour créer une nouvelle voie du bouton d'arrêt d'urgence. Celle-ci fonctionne grâce à un relai 12V.

2.6 ALIMENTATION DU ROBOT

2.6.1 Les batteries

Le robot est alimenté par un jeu de 4 batteries fournissant chacune du 12V. Une de ces batteries est dédiée à l'alimentation de la carte STM et des servomoteurs⁶ analogiques qui fonctionnent en 5V, la carte alimentation se chargeant de réguler la tension de cette batterie. Deux sont utilisées par la carte moteur et une dernière est utilisée pour alimenter les servomoteurs⁶ numériques^[6]. La première batterie utilisée par la carte moteur sert à l'alimenter en 12V (pour l'ascenseur) et la deuxième permet, en étant mise en série par la première via la carte moteur, de fournir du 24V aux moteurs de propulsion. En effet, l'électronique étant fiable depuis un an, nous avons décidé de ne plus nous limiter au 12V, et ainsi permettre aux moteurs de donner toute leur puissance. La quatrième batterie est branchée sur la carte alimentation qui baisse la tension pour fournir du 10V aux servomoteurs⁶ numériques^[6]. Les batteries ont une autonomie qui dépend de leur fonctionnalité (pour les moteurs, le STM32^{[7].6}, etc.) mais qui est en moyenne de deux heures, un temps suffisamment long comparé aux 90 secondes d'un match de la coupe.

2.6.2 Le système de démarrage

Le démarrage du robot est déclenché par une tirette qui est un interrupteur qui fournit au STM32^{[7].6} un signal de 0 V si elle est en place (robot à l'arrêt) et qui élève la tension à 5V lorsqu'elle est retirée, déclenchant le démarrage du robot.

Un interrupteur est utilisé pour informer le STM32^{[7].6} sur la zone de départ (rouge ou bleue).

2.7 GESTION DES DEPLACEMENTS

2.7.1 Les roues codeuses et les moteurs de déplacement



Figure 18 : Un codeur incrémental

Les roues codeuses⁶ permettent au robot de se repérer sur la table en mesurant le déplacement du robot. Il s'agit d'une paire de codeurs incrémentaux permettant de détecter toutes les rotations que les roues libres auxquelles ils sont reliés effectuent.

Ces roues permettent donc de mesurer la distance parcourue par le robot ainsi que ses éventuelles rotations en mesurant la différence entre les rotations des deux roues codeuses situées de part et d'autres des roues motrices.

Les roues motrices sont reliées chacune à un moteur, alimenté en 24 V, qui reçoit ses ordres de rotation, que ce soit le sens ou la vitesse, directement du microcontrôleur STM32^{[7].6}.

2.7.2 Gestion des capteurs

Nous utilisons différents types de capteurs dont le fonctionnement est précisé en annexe 6.

Les capteurs de distance que nous utilisons sont soit des capteurs infrarouges^[10] dits « SHARPs^[10] » soit des capteurs ultrasons^[11]. Ils sont utilisés pour régler l'évitement du robot et nous permettent de repérer les éventuels obstacles (décor et robots adverses) situés tout autour du robot.

Nous utilisons également des capteurs de couleur^[11] afin de repérer la couleur des bougies près desquelles le robot se déplace. Ceux-ci ont une faible portée, de l'ordre de 4 cm. Ils nous permettent de décider ou non de « souffler » la bougie en fonction de la couleur de celle-ci.

2.8 CABLAGE DU ROBOT

Le câblage du robot est un élément important de la conception d'un robot. Il nécessite une grande collaboration entre le pôle électronique et le pôle mécanique. Le câblage a été particulièrement délicat cette année en raison de la diminution de la taille du robot couplée à l'importante augmentation du nombre d'actionneurs et de capteurs nécessaires au bon fonctionnement du robot.

Nous n'utilisons pour les connexions entre cartes que des connecteurs dotés de détrompeurs afin d'éviter tout mauvais branchement qui pourrait être fatal pour certains composants du robot.

3. L'INFORMATIQUE DU ROBOT PRINCIPAL : CONTROLER LES ACTIONS DU ROBOT

Maintenant que la liaison entre les actionneurs et le microcontrôleur⁶ est effective, il est temps de mouvoir le robot et ses actionneurs. Pour cela, il est nécessaire de réaliser un code informatique et de l'intégrer à ce microcontrôleur⁶.

3.1 ORGANISATION DU CODE

Nous avons dû développer une nouvelle stratégie pour permettre un choix de l'ordre des actions à effectuer par le robot, et que les différentes actions puissent être faites alternativement. Vous trouverez en annexe 8 le diagramme UML complet de la classe *Stratégie* robot principal, représentant la classe de base dans le code informatique du robot principal.

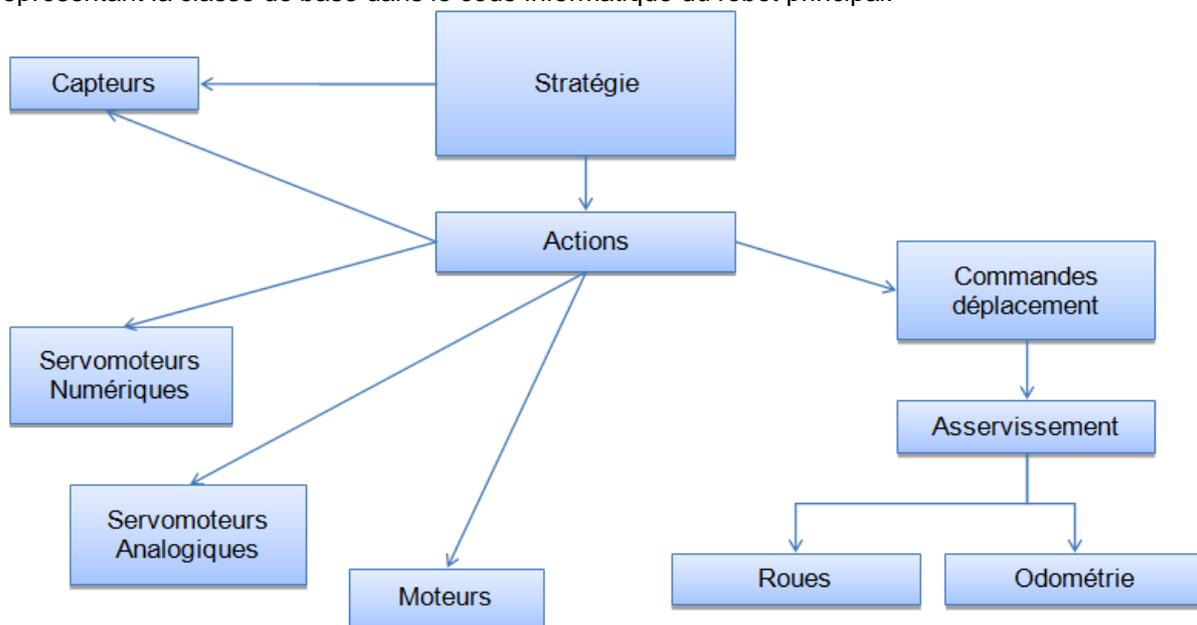


Figure 19 : Diagramme de représentation de l'organisation du code informatique du robot principal

La stratégie est l'entité responsable de ce que fait le robot. C'est elle qui contient les différentes actions ayant lieu, se charge de vérifier que le robot évite les autres robots, et gère le déroulement des actions. Chaque action s'occupe d'activer les actionneurs : marteaux (servomoteurs⁶ numériques^[6]), moteurs, servomoteurs⁶ analogiques. Une fois qu'une action a terminé sa tâche, elle renvoie un code à la stratégie indiquant qu'on peut passer à l'action suivante. La stratégie s'occupe de l'évitement en utilisant les capteurs. Si elle détecte un autre robot devant pendant une action de déplacement en avant, elle va ordonner un arrêt quasi-instantané.

L'odométrie est le fait de savoir où se positionne le robot à tout moment. Toutes les 5 millisecondes, la classe odométrie est mise à jour à partir des données reçues des roues codeuses⁶, et le robot connaît sa nouvelle position. L'asservissement (voir Annexe 9) prend alors place. Il connaît les vitesses linéaires et angulaires que le robot est censé atteindre, et la position, la vitesse et l'angle du robot. Ainsi l'asservissement contrôle les moteurs pour qu'ils atteignent les vitesses désirées le plus rapidement possible. Les commandes se chargent d'utiliser la position et la vitesse du robot pour calculer les vitesses que le robot devrait avoir pour rejoindre le point désiré et les envoyer à l'asservissement.

3.2 MICROCONTROLEUR ET CODE BAS-NIVEAU

Le passage au microcontrôleur⁶ STM32-H107^[7] a été terminé avec succès cette année. C'était une nécessité pour avoir plus de pins⁶ (pattes de connexion) et de *timers*⁶ (horloges interne situées dans le microcontrôleur⁶). L'augmentation de la mémoire RAM⁶ et ROM due à l'adoption de ce microcontrôleur est aussi significative.

Nous avons été obligés de développer une interface afin de pouvoir utiliser les servomoteurs⁶ numériques AX-12^[6], très répandus en robotique, avec le STM32^[7]. Le bon fonctionnement du robot dépendait en grande partie du succès de ce développement, puisque la solution technique choisie pour remplir la fonction principale « Souffler les bougies » utilise ces servomoteurs⁶.

Ces servomoteurs⁶ utilisent un protocole nommé UART⁶ qui est supporté par le STM32^[7]. Nous avons ainsi développé le code nécessaire à l'envoi de paquets utilisant ce protocole pour communiquer avec les servomoteurs⁶.

Le code bas-niveau nécessaire à l'initialisation des horloges du STM32^[7] a aussi été revu afin de cadencer le microcontrôleur à 72MHz. La partie du STM32^[7] gérant les servomoteurs⁶ numériques^[6] n'étant pas compatible avec une telle fréquence, la fréquence du bus concerné (APB1 – Advanced Peripheral Bus 1) a été réduite à 36 MHz, ce qui est sa fréquence théorique maximale.

3.3 DETECTION ET EVITEMENT DES OBSTACLES

Le robot dispose de 7 capteurs SHARPs^[10] placés autour du robot. La stratégie enregistre la liste des capteurs qu'elle doit vérifier lors d'un déplacement. L'interface permettant cela est utilisée par les actions pour n'activer que les capteurs SHARPs^[10] nécessaires lors d'un déplacement (ne pas confondre le décor et les robots adverses par exemple).

Lorsque le robot avance, seuls les 4 capteurs avant (1, 2, 3, 4) sont activés. Lorsqu'il recule, seuls les trois capteurs arrière (5, 6, 7) sont activés. Lorsqu'il tourne, aucun capteur n'est activé, puisque le robot ne risque pas de collisions lorsqu'il tourne (si le(s) robot(s) adverse(s) s'arrêtent à une distance raisonnable).

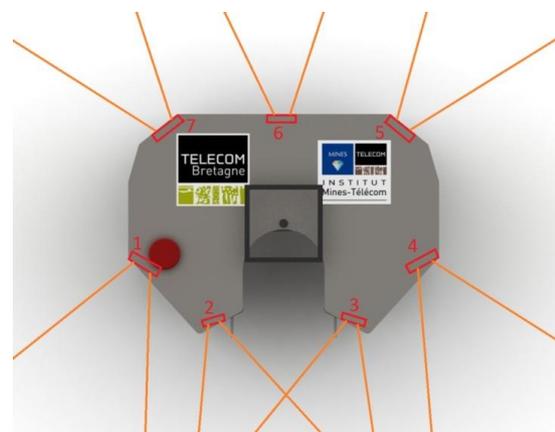


Figure 20 : Position des capteurs de détection autour du robot

On remarque que les champs de vision des capteurs laissent apparaître des angles morts à l'avant ou à l'arrière. Comme les robots sont tous plus gros que ces « zones d'ombre », nous arrivons toujours à éviter les robots sur la table.

3.4 LA STRATEGIE

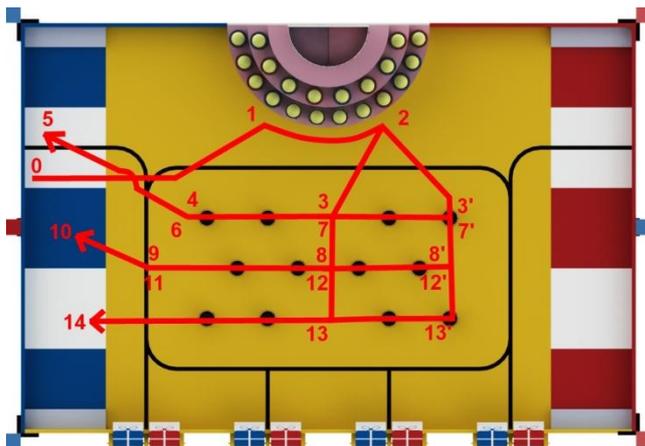


Figure 21 : Représentation du trajet effectué par le robot principal lors d'un match

La stratégie du robot permet de faire trois choses différentes, dans tout ordre. Elle permet de s'occuper des bougies blanches, de ramasser les verres 2 par 2 ou 4 par 4. Une des stratégies est donc de commencer à faire les 4 bougies blanches (36 points) puis de ramasser les verres deux par deux (les 6 nôtres puis les 6 de l'adversaire). Une autre solution est de se précipiter sur les verres puis d'aller s'occuper des bougies. Cette dernière solution n'est pas forcément la plus fiable puisque le robot doit être certain d'avoir les positions exactes à 2cm près afin d'être certain d'enfoncer toutes les bougies. Nous avons donc décidé de commencer par les bougies pour garantir 36 points minimum.

La stratégie peut s'adapter en cas d'obstacles entravant la trajectoire du robot. Si les capteurs avant détectent quelque chose, la stratégie va demander au robot de reculer de 20cm, puis de continuer là où il en était (il est notamment possible de dire au robot de changer d'action). S'il détecte des robots dans les capteurs arrière, il essaiera d'avancer de 20cm puis de continuer où il en était.

3.5 DETAIL DU FONCTIONNEMENT DE LA STRATEGIE

La classe statique *Stratégie* contient un tableau d'actions à effectuer avant la fin du match. Ces actions héritent de *MediumLevelAction*. Cette dernière définit une méthode virtuelle *update* qui renvoie un entier. Cet entier est une variable d'instance de *MediumLevelAction*. La stratégie appelle cette méthode *update* sur la (ou les) action(s) en cours. La valeur renvoyée par la classe *MediumLevelAction* indique l'état de l'action. Par exemple, 0 indique que l'action n'a pas commencé, -1 indique que l'action est terminée. Chaque action héritant de *MediumLevelAction* peut utiliser cette variable pour ce qu'elle veut.

Toutes les 5 millisecondes, une fonction est appelée par une interruption et met à jour l'odométrie, l'asservissement et la stratégie. Ainsi, la stratégie garde le nombre d'appels à la méthode *update* afin de connaître le temps écoulé depuis le début d'un match. Si ce nombre d'appels dépasse 18000 (valeur exprimant le rapport entre la durée d'un match - soit 90 secondes - et l'intervalle entre deux interruptions de mise à jour - soit 5 millisecondes), le robot s'arrête. Ceci a été utilisé pendant la coupe afin de mettre le robot en pause pendant certaines périodes.

La stratégie permet à toute entité interagissant avec elle d'ajouter des actions (classes héritant de *MediumLevelAction*) temporaires qui seront supprimées une fois terminées. La stratégie offre par ailleurs une interface pour que les actions puissent créer des commandes⁶ (*CommandeAllerA*, *CommandeTournerVers*). La stratégie enregistre l'action courante et la commande courante.

En annexe 8 vous est présenté le diagramme UML (diagramme récapitulant les différentes classes, les différentes méthodes et les différentes variables) de la classe *Stratégie*.

Partie IV

Développement technique du robot secondaire

De la même façon que pour le robot principal, le développement technique de notre robot secondaire, Krabi Junior, a commencé par la définition des actions qu'il avait à effectuer. Nous avons décidé de lui allouer la capacité de déballer les cadeaux, de ramasser des verres (sans toutefois les empiler) et de gonfler le ballon à l'issue du match de 90 secondes. Il a ensuite été nécessaire d'imaginer les actionneurs permettant de réaliser ces actions, puis de les relier au microcontrôleur⁶ pour finalement les intégrer à la stratégie informatique.

1. LA MÉCANIQUE DU ROBOT SECONDAIRE

Le robot secondaire est soumis à des problèmes à résoudre similaires à ceux du robot principal : stabilité, homologation et un possible marquage de points. Néanmoins en raison de sa taille plus réduite, ces contraintes sont moins importantes car il ne pourra faire autant de chose que le robot principal et aura donc un poids réduit.

Vous trouverez en première partie de l'annexe 3 de nombreuses modélisations des différents éléments du robot secondaire.

1.1 LA BASE ROULANTE

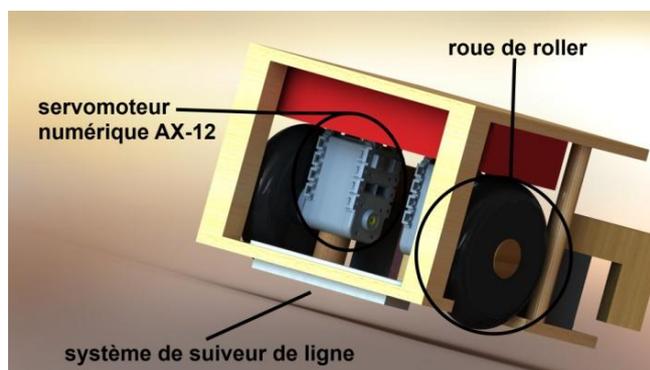


Figure 22 : La base roulante du robot secondaire

lignes. Afin de faire avancer le robot, le choix s'est porté sur deux roues de roller ainsi que sur deux servomoteurs⁶ numériques AX-12^[6], fournissant un couple⁶ moteur suffisant étant donné le poids du robot. Un espace a de plus été prévu pour insérer la pièce réalisée par une imprimante 3D qui contiendra le suiveur de ligne composé de quatre capteurs CNY70^[13].

En plus de cela, deux portes ont été installées à l'avant du robot afin de récupérer des verres. Ces portes sont constituées de deux servomoteurs⁶ analogiques et de deux petites pièces de bois. Il s'agit d'un système complémentaire afin de contrer d'éventuels problèmes liés au robot principal, qui ne serait pas totalement fonctionnel et/ou fiable au moment d'un des matchs.

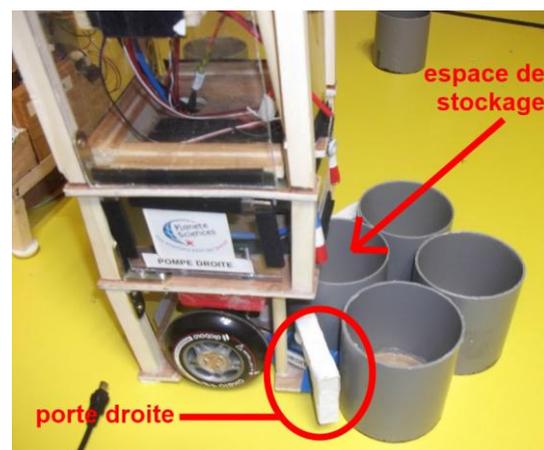


Figure 23 : Le système de récupération des verres

1.2 LA POMPE A VIDE

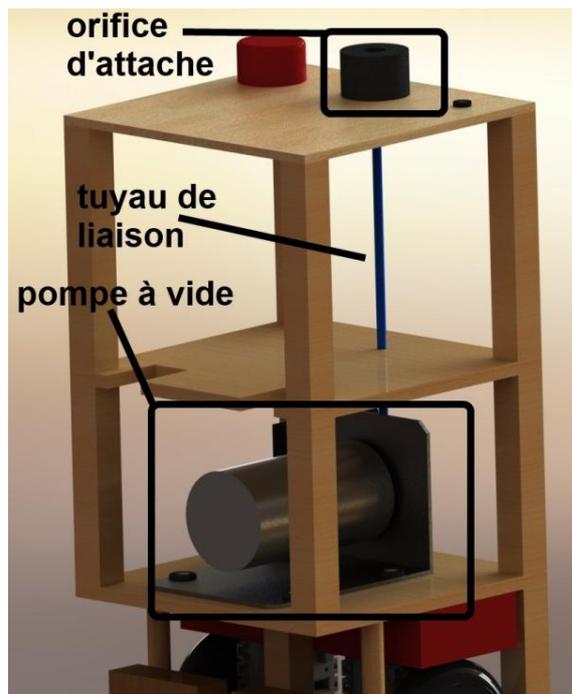


Figure 24 : Le système mis en place pour gonfler le ballon

Krabi junior a été choisi pour réaliser la « Funny Action » qui consiste à gonfler un ballon à la fin du match. Pour se faire, une pompe a été installée au premier étage du robot, comme le montre la modélisation ci-contre, et un tuyau de liaison lie l'orifice de sortie qui se trouve sur le toit, où se trouve le ballon à gonfler, avec la pompe.

La pompe (doté d'un piston dans notre cas) possède un fonctionnement en deux temps :

- un fluide est admis dans un cylindre par l'intermédiaire d'un clapet, d'une soupape ou d'une lumière, ouverte grâce à l'aspiration provoquée par le recul du piston ;

- le piston coulisse ensuite dans le cylindre pour repousser le fluide dans un autre clapet. Ce fluide (de l'air ici) sort alors du système.

De manière plus simple, il s'agit du même système que celui utilisé dans une pompe à vélo.

On aurait également pu utiliser un compresseur d'air : on remplit le compresseur avant le match au moyen d'une pompe à injection (typiquement une pompe à vélo) de façon à ce que dans ce compresseur l'air soit mis sous pression (4 à 6 fois la pression atmosphérique). Ensuite, au

moyen d'un détendeur qui se déclenche électroniquement, on injecte une partie de cet air comprimé dans le ballon très rapidement. Nous avons cependant préféré le premier système car nous l'avions déjà et il permettait de gonfler une bonne partie du ballon assez rapidement, ce qui est suffisant pour valider les points.

1.3 LES « BRAS » DU ROBOT

Afin de déballer les cadeaux, nous avons opté pour deux bras sur l'avant du robot. Chaque bras est composé d'une tige de bois ainsi que d'un servomoteur⁶ analogique. Le but de ce système est de placer le robot entre les deux cadeaux, et d'activer le bras correspondant.



Figure 25 : Le système pour déballer les cadeaux

Néanmoins au vu du fonctionnement d'autres robots pendant la coupe, il aurait été plus intéressant de placer un bras sur chaque côté du robot, ce qui aurait permis d'éviter d'avoir à manœuvrer pour placer les bras du robot devant les cadeaux.

1.4 LES AUTRES ELEMENTS

En plus des éléments déjà cités, il existe d'autres parties essentielles au robot. Ainsi pour l'homologation, il a fallu installer un bouton d'arrêt d'urgence et un support de balise sur le toit, de la même façon que sur le robot principal. Enfin sur le second étage, un emplacement a été prévu pour une batterie et un système similaire à Krabi pour y placer les cartes.

Cependant, l'ajout de la batterie au dernier étage du robot remonte de manière significative son centre de gravité, ce qui rend le système entier instable. Il faudra donc songer l'an prochain à mieux équilibrer le robot secondaire, de la même manière que le robot principal, en alourdissant de la meilleure manière possible la base roulante.

2. L'ÉLECTRONIQUE DU ROBOT SECONDAIRE

Une fois le nombre, la nature et la position des actionneurs définis, il faut relier ces différents actionneurs au microcontrôleur⁶ du robot. Les cartes électroniques ont été créées dans ce but.

2.1 ARCHITECTURE FONCTIONNELLE DE L'ELECTRONIQUE

Le robot fonctionne grâce à l'intelligence que lui procure son Arduino⁶ Nano^[14]. Il est monté sur deux roues reliées chacune à un servomoteur⁶ numérique^[6] l'actionnant. Il possède comme le robot principal un bon nombre de capteurs de distance, plus six capteurs de luminosité, du fait qu'il se repère dans le plan grâce aux lignes noires peintes sur la table. Il possède également une pompe, qui lui permet à l'issue du match de gonfler un ballon. Du fait du faible nombre de pins⁶ de l'Arduino⁶ Nano^[14], un multiplexeur est nécessaire pour pouvoir relier tous les composants à ce microcontrôleur.

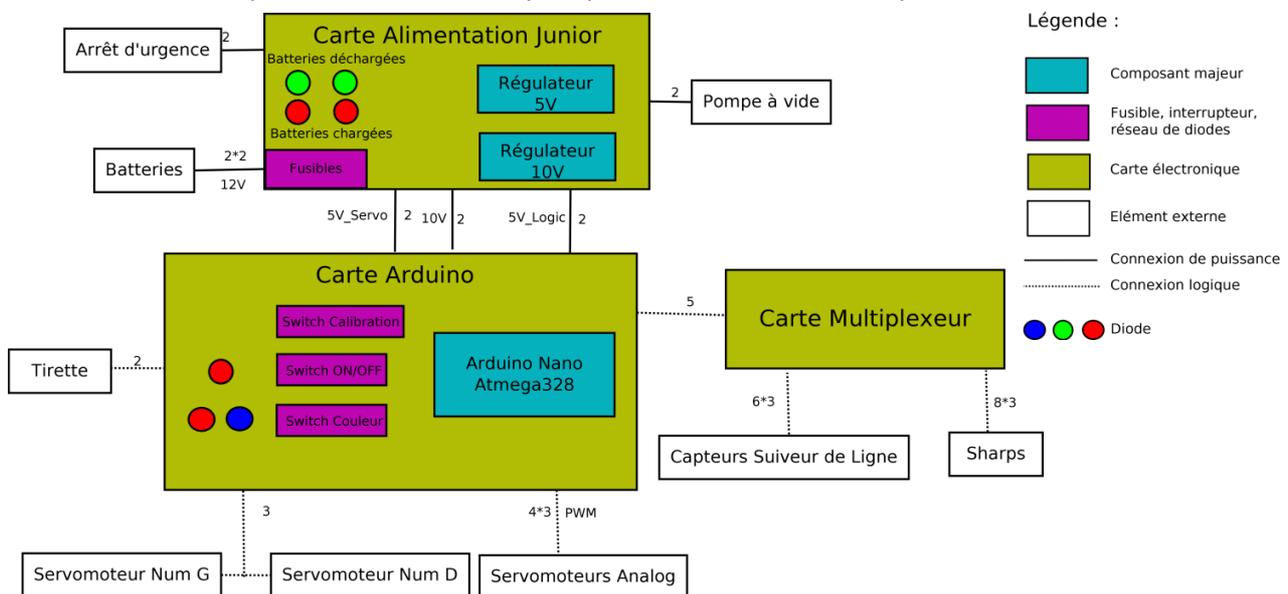


Figure 26 : Schéma électrique général du robot secondaire

2.2 LA CARTE ARDUINO

On peut décomposer la carte alimentation en trois fonctions principales, notées FP sur le schéma ci-dessus (voir le schéma électronique de chaque fonction en annexe 5) :

- **FP1** : gérer l'intelligence du robot. Le robot doit être autonome, sa prise de décision est la charge du microcontrôleur⁶ Atmega328^[15] intégré sur une carte Arduino⁶ Nano^[14], elle-même fixée à notre carte dite Arduino⁶ ;
- **FP2** : gérer les servomoteurs⁶ numériques^[6]. La liaison entre ceux-ci et le microcontrôleur se fait en « half-duplex », chose qui n'est pas gérée directement par la carte Arduino⁶ Nano^[14]. Il faut donc faire appel à un autre composant, le 74LS241N^[16] qui permet de relier les données transitant entre la carte Arduino⁶ et les servomoteurs⁶ numériques^[6] au pin⁶ de réception ou de transmission de l'Arduino⁶ Nano^[14] ;

- **FP3** : configurer le robot. La couleur de départ du robot, n'est communiquée que quelques minutes avant le match, il nous faut donc en informer le robot grâce à un interrupteur. De même, ce robot ne possédant pas de roues codeuses, il n'est pas asservi. Il se calibre automatiquement en faisant un mouvement supposé rectiligne puis en comparant à la trajectoire réelle grâce à la mesure d'angle donnée par les servomoteurs⁶ numériques⁶ (angle de rotation des roues). Cette auto-calibration se déclenche par un interrupteur.

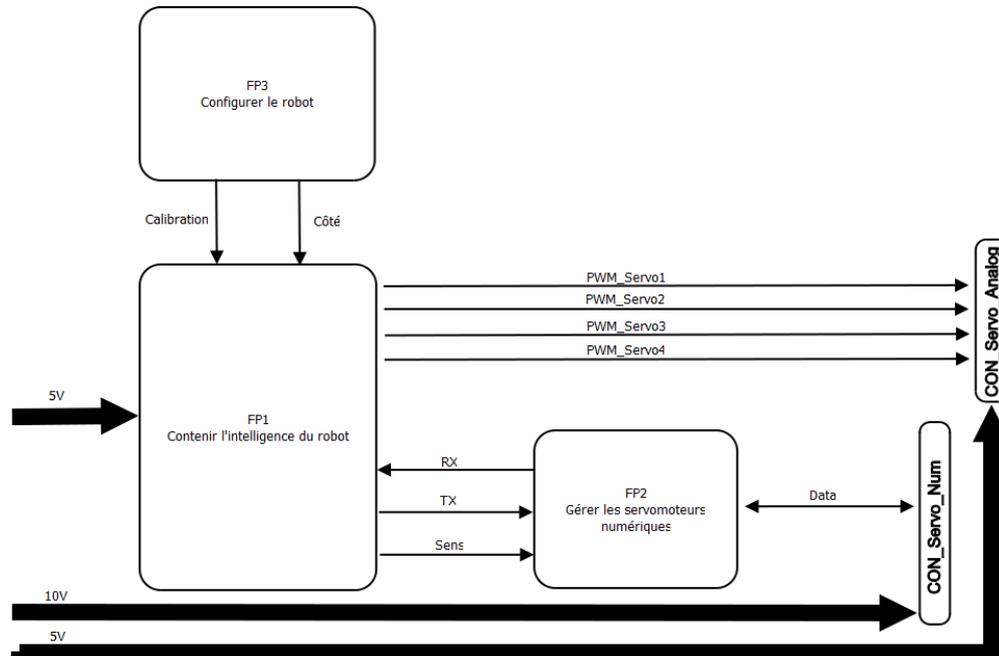


Figure 27 : Fonctions principales FP de la carte Arduino

2.3 LA CARTE MULTIPLEXEUR

La fonction principale de la carte multiplexeur est de multiplexer les signaux. Le nombre de pins⁶ de l'Arduino⁶ Nano^[14] disponibles pour l'ensemble des capteurs et actionneurs est insuffisant. Pour cette raison, il est indispensable de multiplexer une partie des signaux d'entrées et sorties de l'Arduino⁶, c'est notamment le cas des capteurs « SHARPs^[10] » et des capteurs de lumière^[13] utilisés pour repérer les lignes noires de la table.

2.4 LA CARTE ALIMENTATION

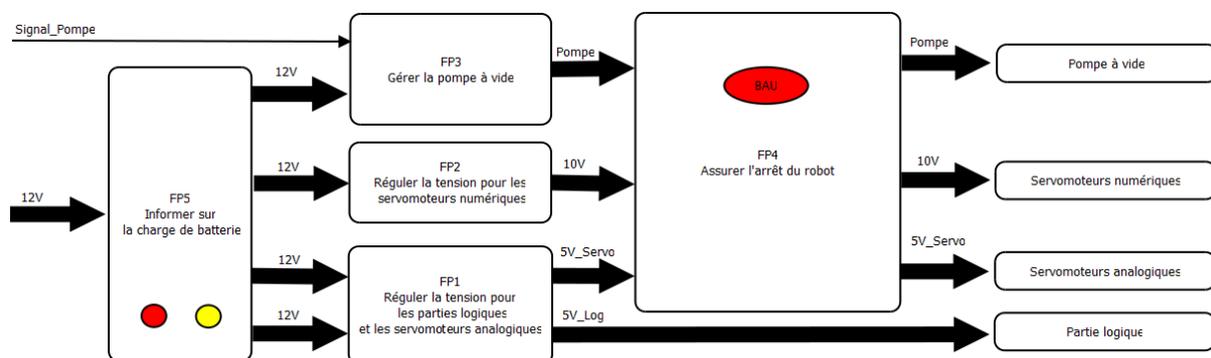


Figure 28 : Fonctions principales FP de la carte Alimentation

On peut décomposer la carte alimentation en cinq fonctions principales, notées FP sur le schéma ci-dessus (voir le schéma électronique de chaque fonction en annexe 5) :

- **FP1** : réguler la tension pour la partie logique et les servomoteurs⁶ analogiques. Le robot utilise majoritairement du 5V pour ces composants logiques (pour l'Arduino⁶ Nano^[14] par exemple), ces capteurs et pour certains de ces composants de puissance comme les quatre servomoteurs⁶ analogiques utilisés pour faire tomber les cadeaux et attraper les verres. Tout comme pour le robot principal et même davantage du fait de son unique batterie, la

- conversion doit se faire avec un haut rendement (supérieur à 90%) pour garantir son autonomie ;
- **FP2** : réguler la tension pour les servomoteurs⁶ numériques^[6]. Ceux-ci sont utilisés pour faire se mouvoir le robot. Ils fonctionnent en 10V, la conversion de 12V à 10V doit se faire à haut rendement (supérieur à 90%) car c'est les composants du robot qui consomment le plus ;
 - **FP3** : gérer la pompe à vide. Pour réaliser la « *Funny Action* » en gonflant le ballon, on utilise une pompe qui nécessite une alimentation 12V. Ainsi la carte alimentation doit être capable de capter le signal d'allumage de la pompe envoyé par l'Arduino⁶ Nano^[14] afin d'activer la pompe ;
 - **FP4** : assurer l'arrêt du robot. En cas d'appui sur le bouton d'arrêt d'urgence, le robot doit s'immobiliser, le cas contraire serait une cause suffisante d'élimination comme inscrit dans le règlement^{[1],3} ;
 - **FP5** : informer sur la charge de la batterie.

2.5 ALIMENTATION DU ROBOT

Le robot devait posséder au départ deux batteries de 12V. Cependant, ce nombre de batteries a été réduit à un par manque de place lors du câblage du robot. Cette batterie est reliée au reste du robot par l'intermédiaire de la carte alimentation. Cette carte se chargera de distribuer son énergie aux autres cartes tout en régulant sa tension (10V pour les servomoteurs⁶ numériques^[6], 12V pour la pompe à vide et 5V pour le reste). L'autonomie de cette batterie est de 2 heures, ce qui est suffisant étant donné que ce robot devra fonctionner 100 secondes par match (90 secondes de match, auquel il faut rajouter 10 secondes pour la réalisation de la « *Funny Action* »).

2.6 GESTION DES DEPLACEMENTS

2.6.1 Servomoteurs numériques

Le robot possède deux servomoteurs⁶ numériques AX-12^[6] qui lui permettent de se déplacer et de récupérer de nombreuses informations sur la vitesse du robot. Ils fonctionnent sous une tension de 10V que la carte alimentation junior leur fournit.



Figure 29 : Le servomoteur numérique AX-12

Son fonctionnement, plus simple que l'utilisation de moteurs et de roues codeuses nous permet d'économiser de la place sur les différentes cartes électroniques et d'économiser des câbles.

2.6.2 Gestion des capteurs

Nous pouvons utiliser les différents capteurs contenus dans les AX-12^[6] pour que le robot se repère sur la table, en mesurant ces déplacements.

Nous disposons de huit capteurs infrarouges (des capteurs « SHARPs^[10] ») permettant de repérer la présence d'autres robots sur notre trajectoire ou d'éléments du décor.

De plus, le robot est équipé d'une ligne de capteurs de luminosité^[13] à l'avant. Il s'agit de six capteurs permettant de différencier le jaune de la table du noir des lignes qu'il peut utiliser pour se guider.

3. L'INFORMATIQUE DU ROBOT SECONDAIRE

Maintenant que la liaison entre les actionneurs et le microcontrôleur⁶ est effective, il est temps de mouvoir le robot et ses actionneurs. Pour cela, il est nécessaire de réaliser un code informatique et de l'intégrer à ce microcontrôleur⁶.

3.1 CARACTERISTIQUES DU CODE INFORMATIQUE

La partie informatique a été réalisée en C++, langage pleinement compatible avec le microcontrôleur Arduino⁶ Nano^[14] qui équipe le petit robot.

Ce contrôleur ne dispose que de 2ko de RAM⁶ et de 32ko de mémoire flash où est stocké le code qui a donc dû être suffisamment optimisé pour pouvoir respecter ces deux contraintes de taille. Dans le cas de la mémoire flash⁶, un dépassement empêche le programme d'être chargé sur le microcontrôleur mais cela est facilement repérable et réparable en adaptant le code. Dans le cas de la RAM⁶, un dépassement entraîne un redémarrage de l'Arduino⁶,^[14] et va provoquer des comportements incohérents. Si un dépassement de RAM⁶ survient lors d'un match le robot ne suivra plus la stratégie programmée mais fera des actions aléatoires, d'où la nécessité de ne pas dépasser la capacité de la RAM⁶ disponible.

3.2 STRATEGIE DE BASE

La stratégie que nous avons choisi pour le petit robot est de pousser les 4 cadeaux de notre couleur, puis au bout des 90 secondes de match de gonfler un ballon pour réaliser « *Funny Action* » dans les 10 secondes autorisées.

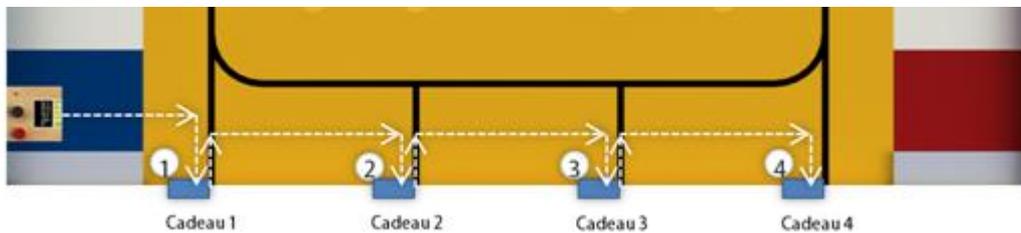


Figure 30 : Stratégie de Krabi Junior

De manière détaillée la stratégie de base consiste à :

- avant le début du match, on place le petit robot dans la zone de départ proche des cadeaux avec les capteurs couleurs à l'avant ;
 - il avance ensuite en ligne droite jusqu'à rencontrer la ligne noire ;
 - il se recule dessus pour compenser un décalage angulaire éventuel ;
 - il se tourne de 90° ;
 - il avance pour se coller au mur ;
 - il active un de ses deux bras (en fonction de la couleur) pour pousser le cadeau ;
 - il recule de 10 cm et se tourne de 90° dans l'autre sens ;
- ces opérations sont répétées pour les 4 cadeaux ;
- après avoir poussé le 4^{ème} cadeau, le petit robot ne recule pas et s'arrête définitivement ;
- au bout des 90 secondes, le robot s'arrête s'il bouge encore et gonfle son ballon durant 10 secondes

3.3 STRATEGIE D'EVITEMENT

Il était fort probable que le petit robot de l'équipe adverse pousse également les cadeaux et qu'il se retrouve alors face à face avec le nôtre à un moment. De base le robot s'arrête lorsqu'il détecte un autre robot pour éviter la collision, néanmoins cela signifie que si le robot adverse ne bouge pas, le nôtre restera bloqué jusqu'à la fin du match. Il a donc été décidé d'ajouter une stratégie d'évitement du robot adverse : lorsque le robot reste bloqué par un autre robot plus de 5 secondes il va le contourner de la même manière que celle décrite dans le schéma ci-dessous.

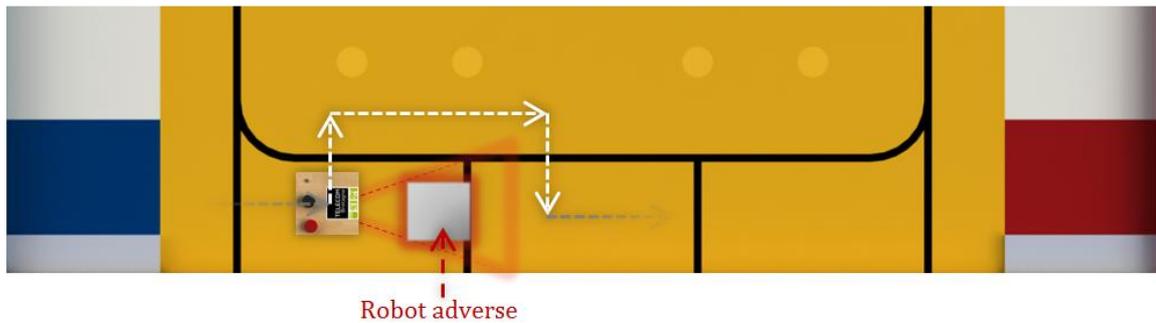


Figure 31 : Principe de l'évitement du robot secondaire

De manière détaillée, l'évitement consiste à :

- se tourner de 90° vers le haut ;
- avancer et se recaler sur la ligne noir horizontale ;
- avancer de 15cm ;
- se tourner de 90° vers la droite (si la couleur de l'équipe est bleue) ;
- avancer de 55cm ;
- se tourner vers le bas ;
- avancer et se recaler sur la ligne noir horizontale ;
- se tourner de 90° vers la droite ;
- reprendre les actions normales.

Pour se recaler sur une ligne noire, le petit robot fait tourner ses roues en avant et lorsque les capteurs de lignes à droite ou à gauche détectent la ligne il arrête la roue correspondante. Lorsque les deux roues sont arrêtées il passe à l'action suivante.

Nous allons maintenant passer à l'évaluation des performances, notamment celles concernant les performances techniques, d'une part en réalisant un bilan de la période de tests et d'autre part en analysant nos performances à la Coupe de France de Robotique 2013.

Partie V

Évaluation des performances

1. COMMUNICATION

Le projet robotique est très technique, mais possède néanmoins une autre dimension : la communication. En effet, l'un de ses rôles majeurs est de promouvoir l'École. Pour cela, nous avons participé à de nombreuses manifestations et avons été présents sur Internet.

1.1 MANIFESTATIONS ET DEMONSTRATIONS

Lors de nombreux évènements, nous tenons des stands toujours populaires sur lesquels nous présentons nos robots, la Coupe de France de Robotique et bien sûr Télécom Bretagne. L'aspect à la fois ludique et très technique de la robotique attire de très nombreux visiteurs de tous âges, ainsi que des journalistes.

Dès le début d'année, nous avons participé à la Fête de la Science, à l'UBO (Université de Bretagne Occidentale) de Brest. Nous y avons tenu un stand pendant trois jours. Le but de cette manifestation est de présenter les sciences sous un aspect ludique. Avec notre stand, qui a notamment attiré de nombreux scolaires, nous avons impressionné les visiteurs avec pas moins de cinq robots différents.

Un évènement central de la communication de l'École est la Journée Portes Ouvertes. Lors de cet évènement, nous avons à nouveau tenu un stand très apprécié au Centre-Vie. Nous avons pu mettre en avant l'ensemble des travaux du club, et donc promouvoir les enseignements techniques de l'École.

Nous avons également participé à la Coupe de Bretagne de Robotique, à l'ENSSAT de Lannion, le 16 mars. Nous y échangeons beaucoup avec les visiteurs et les autres équipes, en donnant un avant-goût de la Coupe de France.



Figure 32 : Le Téléfant lors de la Coupe de France de Robotique



Figure 33 : Notre stand au Centre-Vie, lors de la Journée Portes Ouvertes de Télécom Bretagne

1.2 INTERVENTIONS AU COLLEGE KERALLAN

Au cours de l'année, certains membres du projet ont donné des cours de programmation au collège Kerrallan, tandis que d'autres y ont donné des cours de robotique, pour aider les collégiens dans leur participation à la RoboFesta (<http://crdp2.ac-rennes.fr/blogs/robofesta/page-d-exemple/>).

1.3 MEDIAS TRADITIONNELS (PRESSE, TELEVISION, ...)

Notre participation à la Coupe de Bretagne de Robotique a été remarquée : arrivés 3^{ème}, Télécom Bretagne est citée dans un article sur le site internet du quotidien régional Ouest France

(http://www.ouest-france.fr/actu/actuLocale_-Les-maitres-robots-preparent-la-coupe-de-France-22113-avd-20130317-64765018_actuLocale.Htm).

La Coupe de France de Robotique étant un évènement d'envergure, plusieurs journaux, radios et chaînes de télévision étaient présentes. Nous avons répondu à une interview vidéo sur les possibilités de stages et d'emplois obtenus grâce à notre participation.

1.4 SITE INTERNET

Le Club Robotique tient à jour un site internet⁷ depuis maintenant plus de dix ans. Celui-ci sert à la fois de vitrine pour présenter le club et d'outil de travail. Une grande partie de nos travaux est disponible en accès libre. Ainsi, la modélisation de la table de jeu 2013, mise en ligne trois jours après la présentation du règlement^{11,3}, a été téléchargée 628 fois. Le site a accueilli plus de 3000 visiteurs uniques depuis le début de l'année 2013.

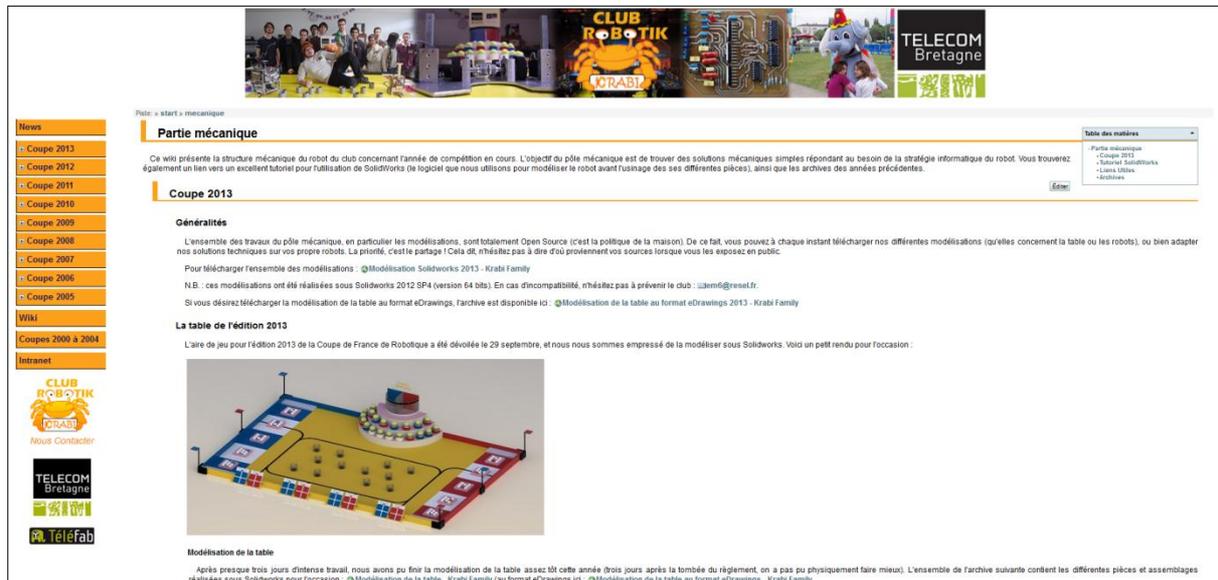


Figure 34 : Une des nombreuses pages de documentation en accès libre du site internet

1.5 RESEAUX SOCIAUX

Le club est également présent sur les principaux réseaux sociaux :

- YouTube⁸ depuis plusieurs années ;
- Google+⁹ ouvert l'année dernière ;
- Facebook¹⁰ cette année ;
- Twitter¹¹ relancé cette année.

Le réseau qui présente le plus d'intérêt pour nous est YouTube : pour la deuxième année, en plus de nos propres matches, nous avons mis en ligne très rapidement des vidéos en bonne qualité des phases finales, ce qui nous a valu une très bonne visibilité de la part des adeptes de la robotique français et européens.



Figure 35 : Skarabi lors de la Coupe de Bretagne de Robotique

1.6 VISIBILITE DES ROBOTS

Lors de tous les évènements auxquels nous avons participé, et notamment lors des deux coupes de robotique, nos robots ont été très remarqués. L'équipe principale présentée ici, pour ses performances bien sûr, mais également l'équipe secondaire du club, Skarabi. Malgré des performances peu brillantes, le design en tracteur de ce robot lui a valu de nombreux commentaires amusés.

2. COUPE DE FRANCE DE ROBOTIQUE 2013

2.1 RESULTATS DE LA PERIODE DE TEST

Du fait de l'installation des simulateurs (voir annexe 10) qui nous permettent de tester de façon purement informatique le code des deux robots, la phase de test des codes de la stratégie a pu considérablement être prolongée. Les premiers tests datent du 12 mars 2013 sur cet outil, tandis que les premiers tests « réels » n'ont eu lieu qu'à partir du 29 avril 2013, après avoir réglé le délicat problème de l'asservissement du robot et des différents tests sur la base roulante.

C'est en effet le réglage de l'asservissement, nécessitant la construction totale du robot afin de pouvoir correctement régler les coefficients intervenant dans ce code, qui a pris le plus de temps. Une étape longue certes, mais essentielle : sans asservissement, toute la stratégie tombe à l'eau du fait des imperfections de conceptions mécaniques et électroniques. Nous avons réglé l'asservissement linéaire aux alentours du 28 mars, tandis que l'asservissement angulaire fut réglé la semaine d'après. Nous avons pu dès lors complètement travailler sur la stratégie en elle-même.

Le problème que nous avons rencontré avec le robot principal fut le changement de STM32^[7] (on est passé du STM32-H103 au STM32-H107^[7]) et de ce fait, l'organisation des pins⁶ de ce microcontrôleur a totalement été bouleversée.

Mécaniquement, nous avons pu constater certains problèmes lors du passage de la modélisation à la réalité, problème que rencontre tout ingénieur au cours de sa carrière. Malgré tout, nous avons surmonté l'ensemble de ces problèmes afin de fournir un robot irréprochable sur le plan mécanique avant la coupe, hormis l'ascenseur, jugé non fiable au vu de la période de test qu'il restait pour vérifier son fonctionnement avec l'ensemble des autres actionneurs.

Électroniquement, nous avons pu régler tous les problèmes récurrents rencontrés depuis les années précédentes, à savoir le claquage de certains composants (comme les ponts en H). L'électronique cette année encore a été de nombreuses fois testée, pour éviter des pannes récurrentes et désagréables à corriger (tant sur le plan matériel que sur le plan économique). Seul un câblage plus que dense est venu poser des problèmes, notamment pour l'installation de l'ascenseur sur le robot. Il a été conjointement décidé que l'an prochain, le câblage se ferait via des systèmes plus petits (nappes de connecteurs, comme celles présentes sur les ordinateurs).

De ce fait, nous avons dans les deux cas fournis aux informaticiens un robot entièrement opérationnel sur les plans mécanique et électronique plus d'une semaine avant la coupe, afin qu'il dispose du plus de temps possible pour les tests en conditions réelles.

Après avoir réglé le problème de l'asservissement, l'implémentation et les tests de la stratégie du robot ont été beaucoup plus rapides grâce à l'utilisation préalable du simulateur de stratégie. À la veille de la coupe, le robot était fonctionnel et surtout homologable, malgré quelques bugs mineurs qu'il a fallu alors régler lors de cet événement.

Pour le robot secondaire, les premiers tests physiques ont eu lieu très tôt, du fait de la faible complexité mécanique et électronique de ce robot (il a pu entièrement être conçu en bois, et donc manuellement, tandis que le robot principal est réalisé à partir de pièces en aluminium ou en acier découpé selon des plans précis). Des tests poussés ont pu alors être réalisés dès le début du mois d'avril. L'ensemble de la stratégie du robot secondaire était totalement fonctionnelle avant la coupe. Ce robot était capable de débarrer les quatre cadeaux du bord de la table et de gonfler le ballon.

2.2 DEROULEMENT DE LA COMPETITION

La Coupe de France de Robotique se déroule en 4 jours, et sur ces quatre jours, 3 phases sont instaurées. Le premier jour, en début d'après-midi, la Coupe commence avec l'accueil des équipes et les premières homologations de robot. Sur les deux jours qui suivent, cinq manches de qualification vont être disputées, entrecoupée de pause pour permettre l'amélioration des robots. À l'issue de ces matchs de qualification. Les 16 meilleures équipes seront prises pour les phases de finale, jouées sous le format d'un tableau à élimination directe. Cette phase a lieu lors du dernier jour de la Coupe. C'est donc à la fin de cette phase qu'est sacrée la meilleure équipe, à savoir pour cette année, l'Université d'Angers.

Des tables de tests étaient mises à disposition des équipes pour faire les tests entre les différents matchs. Cependant, pour éviter l'attente sur ces tables, nous avons inscrit une deuxième équipe afin d'avoir un stand suffisamment grand pour accueillir notre propre table. Ayant amené presque l'intégralité de notre matériel, à l'exception du non transportable comme la perceuse fixe, nous pouvions régler tout problème survenant pendant les tests. Nous avons aussi mis en place plusieurs sous-équipes. En effet, deux groupes d'élèves ont été créés, en faisant attention qu'un membre de chaque pôle soit présent dans chaque groupe. Ainsi une équipe allait dormir entre 20h et 4h, pendant que l'autre continuait de travailler sur les robots, et à 4h les équipes tournaient et la première allait à son tour dormir jusqu'à 12h00. Enfin, de 12h00 à 20h00, tout le monde était sur le stand permettant de mettre en commun le résultat des différents matchs, de prendre des décisions et de rendre cohérent le développement de la stratégie du robot, partie la plus modifiée lors de la Coupe.

2.3 L'HOMOLOGATION

L'homologation a été pour nous une validation du travail effectué au cours du semestre. En effet, c'est lors de cette phase que la tension monte le plus. Tout est vérifié, le périmètre déployé, non déployé, la capacité du robot à marquer des points seul sur une table, sa stratégie d'évitement, enfin tout ce qui est décrit dans le règlement^[1,3] de la coupe. Cette phase est indispensable pour pouvoir accéder à phase des qualifications, lors desquelles nous devons défendre les couleurs de Télécom Bretagne face à d'autres robots.

Pour pouvoir participer au plus grand nombre de match en phase de qualification, il est impératif de faire homologuer le robot le premier jour, ou le matin du deuxième jour. Il est toujours possible d'homologuer son robot plus tard, mais certains matchs ne pourront alors pas être joués.

Ces homologations se sont globalement bien passées. En effet, le robot principal a passé l'homologation statique ainsi que l'homologation dynamique sans problème. L'homologation statique est la vérification des paramètres tels que le périmètre, les tensions d'alimentation, la présence d'un bouton d'arrêt d'urgence, les pressions utilisées, etc. L'homologation dynamique est un match joué sur une table où le robot évolue seul et montre qu'il est capable de marquer des points. Il est également testé lors de cette homologation la capacité à détecter et éviter les robots adverses, condition sine-qua-non pour aller en phase de qualification.

2.4 LES QUALIFICATIONS

Le lendemain, après une nuit passée à régler la stratégie, nous avons effectué notre premier match de qualification aux alentours de 15h00. La stratégie complète du robot principal n'étant alors pas encore totalement fiable, nous avons concouru avec la stratégie de base. Affrontant les deux robots de l'INSA Toulouse, Krabi a ramené deux verres dans la zone de départ mais a bloqué sur une assiette et n'a pas pu repartir. Krabi Junior, lui, a fait un cadeau, puis bloqué par le robot de l'équipe adverse, il est reparti en déviant de sa trajectoire et a fini au milieu de la table. Il a néanmoins accompli la « *Funny Action* » (12 points) en gonflant le ballon. L'équipe termine à la 41ème place ex-aequo en marquant 29 points. Nous avons également eu la visite de nos tuteurs, Noël CAILLÈRE, Jean-Pierre CLÈRE, Magali LE GALL et Serge PINEL, qui furent très satisfaits de ce premier résultat.

Le 10, après une nouvelle nuit de fiabilisation de la stratégie, encadrée par l'équipe de jour, les robots ont livré chacun un match où des problèmes de réglages persistaient. Krabi a fait un premier match nul contre l'équipe de Kalidos Three, 15 points partout en se hissant à la 69ème place du classement. Durant le troisième match de qualifications, de nouveaux réglages ayant eu lieu, nous avons pu faire un meilleur score que le matin contre AresEnsea, remontant ainsi à la 67ème du classement. Le dernier match de la journée a eu lieu dans la soirée et la stratégie incluait dès lors le soufflage des bougies (faire tomber les balles de tennis de sa couleur sur le gâteau). Nous avons alors fait un score honorable de 53 points contre l'équipe de Robotronik (93 points).

Le dernier match de qualification a eu lieu le lendemain (11 mai) dans la matinée. Les robots ont bien fonctionné : nous avons notamment marqué les quatre bougies blanches et trois cadeaux, pour un score final de 51 points. Le point négatif du match est l'évitement adverse : leur robot s'est incrusté dans Krabi, qui était alors à l'arrêt, puis est allé traîner Krabi Junior. Notre classement à l'issue des phases de qualifications fut la cinquantième place, ce qui ne nous a pas permis de nous qualifier pour les phases finales.

2.5 BILAN DE L'ÉDITION 2013



Figure 36 : Les deux robots lors du quatrième match

Une légère déception a été perçue dans l'équipe, suite un classement final en-dessous de nos attentes. Cependant celui-ci est cependant très honorable, et correspond aux attentes du client. En effet, du fait de notre faible budget, le travail réalisé par l'équipe est plus que satisfaisant et permet de partir sur une base stable pour l'année prochaine, grâce à des structures mécaniques, électroniques et informatiques fiables.

3. CAPITALISATION DES CONNAISSANCES ET DOCUMENTATION

Pour arriver à cette réalisation, nous avons eu accès à l'expérience et les connaissances accumulées lors des années passées et laissées à notre disposition par les anciens membres du club. En effet, plusieurs outils ont été mis en places au sein du club pour faciliter la transmission des connaissances au fil des années. Nous avons donc des plans mécaniques, des codes informatiques et des schémas électroniques ainsi que des listes de problèmes rencontrés et leur solution. On trouve ainsi tous les anciens rapports depuis 2008, contenant toutes les informations électroniques et mécaniques de manière détaillée à partir de leur conception.

Nous avons aussi un site internet^[4], contenant une documentation à jour qui permet de voir l'avancée du travail réalisé, des discussions qui ont permis d'avancer vers certaines solutions plutôt que d'autres, et ce pour tous les pôles du club. Ces informations sont ouvertes au public, depuis notre site.

Il a aussi été créé lors des années passées une mailing-liste (em6@resel.fr) qui regroupe l'ensemble des membres du club, ainsi que de nombreux anciens étudiants qui nous ont précédés. Certaines discussions avec ceux-ci permettent de faire émerger des solutions, ou juste nous faire part de l'existence de technologie, d'offres promotionnelles sur certains produits, ou de tout ce qui pourrait nous être utile.

Enfin, lors de cette Coupe et de l'année écoulée, les élèves de première année du club ont été formés afin de pouvoir à leur tour l'année prochaine mener à bien la mission du club, et de transmettre à leur tour toutes les connaissances emmagasinées.

4. BILAN BUDGÉTAIRE

4.1 PARTENARIATS

Nous avons reçu d'une part des aides financières de la part de nos sponsors habituels : Brest Métropole Océane, Télécom Bretagne ainsi que du Bureau des Elèves de Télécom Bretagne. Nous avons en outre bénéficié du partenariat entre Planète Science et Radiospares, réduisant le coût des factures chez ce dernier de 10%. Nous avons également profité de l'opportunité que laisse l'entreprise Texas Instruments® (<http://www.ti.com/>) d'envoyer des échantillons gratuits de ses produits, ce qui nous a permis d'économiser près de 150 euros en composants électroniques.

Nous avons tenté de contacter plusieurs autres associations et entreprises, dont Télécom Bretagne ALUMNI (association des diplômés de l'École) et Vicatronic® (entreprise spécialisée dans la vente de systèmes de mesure, de positionnement et de commande : <http://www.vicatronic.fr/fr/>), sans succès.

Cependant, nous avons commencé à réaliser de nouveaux partenariats pour l'année prochaine, notamment avec l'entreprise américaine BaneBots®, spécialisée dans la fabrication de roues et de moyeux pour banc d'essai (<http://banebots.com/>). Nous aurons l'an prochain des roues et des axes rotatifs de qualité professionnelle gratuitement. Par ailleurs, nous avons directement contacté Sullivan GAUVILLE (vice-président de Télécom Bretagne ALUMNI, chargé de la relation élèves/Écoles/Institut), qui nous a promis une aide financière pour la prochaine année scolaire.

4.2 BILAN FINANCIER

Du fait des partenariats dont nous disposons, nos recettes cette année ont ainsi été supérieures à nos dépenses, ce qui laisse donc pour l'année prochaine une bonne base monétaire permettant de faire face aux dépenses de début d'année (notamment pour la construction de la table).

Les frais du club se décomposent en cinq parties : les fournitures mécaniques, les composants électroniques, le matériel informatique, les dépenses effectuées lors de la Coupe de France de Robotique et, bien que minoritaires, les dépenses effectuées lors d'autres événements. Les dépenses et les recettes sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Dépenses	Montants	Recettes	Montants
Mécanique	1206,13 €	Télécom Bretagne (Projet S2)	500,00 €
<i>Outils et matériaux</i>	802,63 €		
<i>Roues</i>	21,00 €	Télécom Bretagne (Projet S4)	500,00 €
<i>Boutons d'arrêt d'urgence</i>	24,85 €		
<i>Dynamixel AX-12</i>	357,65 €	Brest Métropole Océane (BMO)	610,00 €
Électronique	492,85 €	Bureau des Élèves de Telecom Bretagne	1000,00 €
<i>Composants</i>	403,62 €		
<i>Batteries</i>	89,23 €	Remboursement mission	1006,50 €
Informatique	442,45 €		
<i>Microcontrôleur</i>	77,34 €		
<i>Roues codeuses</i>	189,70 €		
<i>Capteurs</i>	175,41 €		
Coupe de France de Robotique	941,27 €		
<i>Inscription</i>	50,00 €		
<i>Déplacement</i>	172,59 €		
<i>Logement</i>	135,00 €		
<i>Nourriture</i>	583,68 €		
Divers	70,42 €		
TOTAL DÉPENSES	3153,12 €	TOTAL RECETTES	3616,50 €

Figure 37 : Bilan des dépenses et des recettes du club au cours de l'année scolaire 2012-2013

Conclusion

Au terme de ce projet robotique, nous pouvons donc dire que nous avons rempli les objectifs du Cahier des Charges fonctionnel et que notre prestation lors de la Coupe de France de Robotique fut satisfaisante. Nous avons produit des robots répondant aux défis technologiques de cette année (réduction des dimensions maximales autorisées, multiplication du nombre d'actionneurs, passage sur un nouveau microcontrôleur⁶ plus puissant).

Les deux robots conçus cette année sont entièrement fiables. Nous avons même pu concevoir des systèmes de secours en cas d'imprévu, notamment en électronique où chaque carte principale est conçue en double exemplaire. En mécanique également, chaque élément est entièrement modulable afin d'être réparé rapidement. Enfin, en informatique, plusieurs codes ont été écrits et permettent de faire fonctionner le robot même en cas de dysfonctionnement d'éléments électroniques ou mécaniques.

Par ailleurs, notre présence durant la coupe nous a permis de valoriser l'image de Télécom Bretagne durant toute la durée de la manifestation.

Les connaissances acquises pour ce projet serviront sans aucun doute dans l'avenir du club, à commencer par l'avenir proche, notamment pour l'an prochain. Les problèmes entrevus et les difficultés d'ordre pratique rencontrées nous permettront d'améliorer certains aspects du robot. Enfin, nous avons la chance d'avoir pour l'an prochain deux robots fonctionnels qui permettront de former les nouveaux arrivants et de commencer les tests informatiques beaucoup plus tôt.

Glossaire

Arduino : circuit imprimé dont les plans sont imprimés en *open source* sur lequel se trouve un microcontrôleur programmable pour analyser et produire des signaux électriques.

Buffer (amplificateur de courant) : composant permettant l'amplification en courant de certains signaux pour soulager le faible régulateur de courant du STM32

Commande : classe qui se charge de gérer le déplacement du robot jusqu'à ce qu'il ait terminé cette dite commande (qu'il s'agisse d'une rotation ou d'un déplacement).

Couple : en mécanique, un couple est l'effort en rotation appliqué à un axe. Il s'exprime en Nm et est homogène à l'énergie qu'applique un axe pour tourner.

I²C, SPI : protocoles de communications entre microcontrôleurs, ou entre un microcontrôleur et un composant externe.

Débugger : lorsque que le code informatique contient des erreurs, le fait de « déboguer » ce code (on parle alors de « débogage ») consiste à trouver ces erreurs et à les corriger. Le même terme est employé en électronique pour corriger des problèmes liés aux cartes.

Mémoire flash : il s'agit d'une mémoire de masse à semi-conducteurs réinscriptible, possédant les caractéristiques d'une mémoire vive (ou RAM) mais dont les données sont conservées en mémoire même lorsque qu'elle n'est plus alimentée.

Microcontrôleur : un microcontrôleur regroupe en un unique circuit intégré un microprocesseur, de la mémoire vive (RAM), de la ROM et des pins E/S (Entrées/Sorties). Il est très facilement programmable et destiné au pilotage d'autres éléments dans des systèmes embarqués, tel que le robot.

Optocoupleur : composant électronique permettant de transmettre un signal d'un circuit électrique à un autre sans qu'il y ait de contact direct entre eux.

Pins : il s'agit des broches (ou pattes) des différents composants électroniques utilisés dans le robot.

Pont en H : il s'agit d'un composant constitué de quatre transistors gérant la puissance. Il permet de choisir la valeur et le signe de sa tension de sortie, en fonction des signaux d'entrées. Dans notre cas, les ponts en H alimentent les moteurs à courant continu. Les signaux d'entrée PWM et SENS permettent d'ouvrir et de fermer les transistors, ce qui permet d'envoyer des signaux créneaux de niveau haut fixé à 12V, et de rapport cyclique variable (le rapport cyclique, exprimée en pourcentage de temps, désigne pendant une période les instants où le signal en créneau est à son niveau haut). Dès lors, la tension perçue par les moteurs est de 12 x (rapport cyclique), et leur vitesse de rotation y est proportionnelle.

PWM : généré par le STM32, c'est un signal PWM (*Pulse Width Modulation*) est un signal périodique, en créneau. La fréquence du signal émis est fixée et on peut le moduler en modifiant tout simplement la largeur des créneaux. Les signaux SENS fonctionnent de la même façon.

RAM (Random Access Memory, mémoire vive) : mémoire volatile, s'effaçant lorsque l'on éteint le microcontrôleur dans lequel elle est incluse. Elle est dynamique et permet de traiter les données du programme informatique (code) en cours d'exécution.

Régulateur : composant électronique maintenant à sa sortie une tension constante, indépendamment de la charge et de la tension d'entrée (dans certaines limites).

ROM (Read-Only Memory, mémoire morte) : mémoire non-volatile, qui ne s'efface pas lorsque l'on éteint le microcontrôleur dans lequel elle se situe. Cette mémoire contient le code du robot.

Roue codeuse : roue équipée d'un dispositif électronique permettant de mesurer sa rotation.

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. Il s'agit d'un système asservi.

STM32 (ou simplement STM) : c'est l'intelligence (le « cerveau » du robot). Il reçoit les données envoyées par les différents capteurs du robot et, en conséquence, gère les actionneurs. C'est un microcontrôleur.

Timer : horloge permettant d'effectuer des actions à des moments très précis même si le programme principal monopolise le microcontrôleur.

UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) : il s'agit d'un protocole universel de communication, généralement entre un ordinateur et un port série. L'ordinateur (ou processeur) envoie en effet ses données en parallèle, tandis que le port série doit traiter les données en séries. Le protocole UART est chargé d'effectuer cette conversion.

Notes

1. Voir le site internet de Planète Sciences : <http://www.planete-sciences.org/national/>
2. Voir le site internet d'Eurobot : <http://www.eurobot.org/eng/>
3. Voir http://em6.clubs.resel.fr/coupe_2013/reglement.php pour prendre connaissance des différents documents concernant le règlement de la compétition et les fiches techniques concernant l'aire de jeu et ses éléments
4. Voir V.1 pour en savoir plus sur notre travail sur la communication autour de notre projet
5. Voir Annexe 1
6. Voir Glossaire
7. Voir notre site internet : <http://em6.clubs.resel.fr/>
8. Voir notre chaîne Youtube : <https://www.youtube.com/user/krabifamily>
9. Voir notre compte Google+ : <https://plus.google.com/u/0/111085881977205266492>
10. Voir notre page Facebook : <http://facebook.com/KrabiRobotique>
11. Voir notre profil Twitter : <https://twitter.com/eteubreux>
12. Voir <http://www.tracopower.com/products/dc-dc-converters/general-purpose/>
13. Voir <http://www.alpha-crucis.com/fr/afficheurs-lcd-oled/2713-panel-volt-meter-45v-to-30vdc-3700386505751.html>
14. Voir <http://www.ladroneshop.com/en/chargers/133-lipo-voltage-display.html>

Références bibliographiques

- [1] EUROBOT, *EUROBOT 16th edition - Rules 2013* [en ligne], publié en Octobre 2013. Disponible sur : http://em6.clubs.resel.fr/coupe_2013/reglement/RulesEurbot2013.pdf (consulté entre octobre 2012 et juin 2013)
- [2] ROMAIN GINESTOU, *Apprenez à utiliser SolidWorks* [en ligne]. Disponible sur : <http://www.siteduzero.com/tutoriel-3-607698-apprenez-a-utiliser-solidworks.html> (consulté entre septembre 2012 et février 2013)
- [3] CLUB ROBOTIQUE DE TÉLÉCOM BRETAGNE, *Projet Robotique 2013 - Plan de Management* [en ligne], publié en mars 2013. Disponible sur : https://em6.clubs.resel.fr/coupe_2013/projet_S4/Plan%20de%20Management/s4_projet50_Plan_De_Management_V1.0.pdf (consulté entre mars et juin 2013)
- [4] CLUB ROBOTIQUE DE TÉLÉCOM BRETAGNE, *Club Robotique - Télécom Bretagne [Club Robotique - Télécom Bretagne]* [en ligne]. Disponible sur : <http://em6.clubs.resel.fr/> (consulté entre septembre 2012 et juin 2013)
- [5] CLUB ROBOTIQUE DE TÉLÉCOM BRETAGNE, *git [Wiki – club Robotique]* [en ligne]. Disponible sur : <http://em6.clubs.resel.fr/dokuwiki/doku.php?id=git> (consulté entre septembre 2012 et juin 2013)
- [6] SHOP-ROBOLIS, *Dynamixel AX-12 – User’s manual* [en ligne], publié en juin 2006. Disponible sur : [http://www.shop-robopolis.com/media/documentations_produits/AX-12\(english\)ACC113.pdf](http://www.shop-robopolis.com/media/documentations_produits/AX-12(english)ACC113.pdf) (consulté entre septembre 2012 et avril 2013)
- [7] STMICROELECTRONICS, *RM0008 – Reference Manual* [en ligne], publié en octobre 2011. Disponible sur : http://www.st.com/stwebui/static/active/en/resource/technical/document/reference_manual/CD00171190.pdf (consulté entre septembre 2012 et mai 2013)
- [8] TEXAS INSTRUMENTS, *LMD18200 3A, 55V H-Bridge* [en ligne], publié en décembre 1998. Disponible sur : <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmd18200.pdf> (consulté en avril et mai 2013)
- [9] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR, *LM78XX/LM78XXA 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator* [en ligne], publié en août 2012. Disponible sur : <http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM7805.pdf> (consulté en avril et mai 2013)
- [10] SHARP, *GP2D12/GP2D15* [en ligne]. Disponible sur : <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/03dd/0900766b803dd772.pdf> (consulté entre décembre 2012 et mai 2013)

- [11] LEXTRONIC, *Télémetre Ultrason MS-EZ3* **[en ligne]**, publié en 2013. Disponible sur : <http://www.lextronic.fr/P2291-telemetre-ultrason-ms-ez3.html>
(consulté entre septembre 2012 et avril 2013)
- [12] TEXAS ADVANCED OPTOELECTRONIC SOLUTIONS, *TCS3200, TCS3210 Programmable color light-to-frequency converter* **[en ligne]**, publié en 2009. Disponible sur : <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0892/0900766b80892846.pdf>
(consulté entre novembre 2012 et mai 2013)
- [13] VISHAY, *Reflective Optical Sensor with Transistor Output* **[en ligne]**, publié en juillet 2012.
Disponible sur : <http://www.vishay.com/docs/83751/cny70.pdf>
(consulté entre octobre 2012 et mai 2013)
- [14] ARDUINO, *Arduino Nano* **[en ligne]**. Disponible sur : <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano>
(consulté entre novembre 2012 et mai 2013)
- [15] ATMEL, *8-bit Microcontroller with 4/8/16/32K Bytes In-System Programmable Flash* **[en ligne]**, révisé en avril 2009. Disponible sur : <http://www.atmel.com/Images/doc8161.pdf>
(consulté entre octobre 2012 et mai 2013)
- [16] TEXAS INSTRUMENT, *SN74LS241N3 - OCTAL BUFFERS AND LINE DRIVERS WITH 3-STATE OUTPUTS - Texas Instruments* **[en ligne]**, publié en 2002. Disponible sur : <http://pdf1.alldatasheet.net/datasheet-pdf/view/28082/TI/SN74LS241N3.html>
(consulté entre novembre 2012 et février 2013)
- [17] STMICROELECTRONICS, *M74HCT244 - OCTAL BUS BUFFER WITH 3 STATE OUTPUTS (NON INVERTED)* **[en ligne]**, publié en août 2001. Disponible sur : <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00002542.pdf>
(consulté entre novembre et décembre 2012)
- [18] TEXAS INSTRUMENT, *6-A, WIDE-INPUT ADJUSTABLE SWITCHING REGULATOR* **[en ligne]**, publié en décembre 2004. Disponible sur : <http://radiospares-fr.rs-online.com/web/p/convertisseurs-buck/5457849/>
(consulté entre septembre 2012 et décembre 2012)
- [19] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR, *Dual-Channel: HCPL2630* **[en ligne]**, publié en janvier 2011. Disponible sur : <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/1136/0900766b81136cc7.pdf>
(consulté entre mars 2012 et mai 2013)
- [20] NXP, *74HC/HCT126 Quad buffer/line driver; 3-state* **[en ligne]**, publié en décembre 1990, Disponible sur : http://www.nxp.com/documents/data_sheet/74HC_HCT126_CNV.pdf
(consulté entre novembre 2012 et mars 2013)
- [21] TEXAS INSTRUMENT, *74HC253N* **[en ligne]**, publié en décembre 1982. Disponible sur : <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/0cb5/0900766b80cb5586.pdf>
(consulté entre octobre 2012 et mars 2013)

- [22] HTC Korea TAEJIN Technology Co, *LM4558N - DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS* **[en ligne]**.
Disponible sur : <http://pdf1.alldatasheet.fr/datasheet-pdf/view/168906/HTC/LM4558N.html>
(consulté entre décembre 2012 et mars 2013)
- [23] STMICROELECTRONICS, *BUL128* **[en ligne]**, publié en novembre 2001. Disponible sur :
<http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/046b/0900766b8046b4da.pdf>
(consulté entre février et avril 2013)
- [24] ARDUINO, *USB Serial Light Adapter* **[en ligne]**. Disponible sur : <http://arduino.cc/en/Main/USBSerial>
(consulté juin 2013)
- [25] SGS-THOMSON MICROELECTRONICS, *DMOS FULL BRIDGE DRIVER* **[en ligne]**.
Disponible sur : <http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/L6203.pdf>
(consulté entre novembre 2012 et mars 2013)

Annexes

ANNEXE 1 - CAHIER DES CHARGES FONCTIONNEL

Ce Cahier des Charges fonctionnel a été entièrement rédigé par les membres du groupe de projet S2 (Nicolas DUMINY, Nicolas FAVÉ, Alexandre MANOURY et Robin NICOLLET).

A1.1. PRESENTATION GENERALE DU PROBLEME

A1.1.1. LE PROJET ROBOTIQUE

1.1.1.1. GENERALITES

Le Projet Robotique a pour objet la construction de deux robots autonomes, pouvant toutefois communiquer entre eux, ayant pour but de participer à la Coupe de France de Robotique, qui aura lieu à La Ferté-Bernard (Sarthe) du 8 au 11 mai 2013.

Afin d'être homologués, c'est-à-dire de pouvoir participer à la coupe, ces derniers doivent respecter plusieurs conditions. D'une part, ils doivent satisfaire les normes officielles de la compétition, détaillées dans le règlement^[1,3]. Ceci constitue la pré-homologation (ou homologation statique). D'autre part, les deux robots doivent valider trois compétences pour compléter leur homologation de manière dynamique :

- marquer au moins un point (dans un match en solitaire) ;
- éviter le (ou les) robot(s) adverses pendant la compétition ;
- être équipé d'un bouton d'arrêt d'urgence afin d'être arrêté en cas de fonctionnement anormal.

1.1.1.2. ESPERANCE DE RETOUR SUR INVESTISSEMENT

Chaque année, le Club Robotique vise à obtenir le meilleur classement possible lors de la coupe. Néanmoins, nous avons pour objectif particulier de faire parties des seize premières équipes cette année, même si cela sera difficile à atteindre. Le cas échéant nous essaierons d'être au moins dans les cinquante premières équipes, ce qui est déjà une bonne performance.

Par ailleurs, le fait d'atteindre un bon classement contribue directement à l'amélioration du prestige de l'École. Notons que pour atteindre ce classement, notre robot devra engranger le maximum de points lors de matchs face à d'autres robots, la victoire lors d'un match ne rapportant que quelques points bonus par rapport à la défaite. Notre objectif est donc plutôt d'essayer d'obtenir beaucoup de points plutôt que de battre les équipes adverses.

A1.1.2. CONTEXTE

1.1.2.1. SITUATION DU PROJET PAR RAPPORT AUX AUTRES PROJETS DE L'ECOLE

Le Club Robotique de Télécom Bretagne prépare chaque année la Coupe de France de Robotique et y participe. Notre projet s'inscrit donc logiquement dans le cadre de cette préparation et de cette participation. Cet événement réunit deux projets, l'un constitués d'élèves de première année (Projet Développement S2 : Nicolas DUMINY, Nicolas FAVÉ, Alexandre MANOURY et Robin NICOLLET) et l'autre constitué d'élèves de seconde année (Projet S4 Ingénieur - Samuel BARRAUD, Alexandre DÉLY, Victor DUBOIS, Gaëtan FAYON, Dorian GILLY et Etienne LOUBOUTIN), ainsi que d'autres personnes impliquées dans le club.

1.1.2.2. ÉTUDES PREALABLEMENT EFFECTUEES

Les participants aux différentes coupes précédentes ont préalablement travaillé sur des sujets semblables aux nôtres. Nous bénéficions ainsi des connaissances acquises lors des précédentes coupes et ainsi les études sur ces sujets seront prises en compte dans la réalisation de notre projet. Par exemple, nous nous basons sur les cartes électroniques des années précédentes (que nous adapterons et améliorerons bien sûr). Quant à la base roulante, son fonctionnement et son architecture restent également basés sur le principe des années précédentes, de la même manière qu'une partie du code informatique (sur la stratégie d'évitement ou sur la façon d'avancer notamment) est repris années après années compte tenu que certains principes de la coupe restent inchangés.

Bien entendu, nous y adapterons les concepts nouveaux mis en place par les organisateurs cette année.

1.1.2.3. NATURE DES PRESTATIONS DEMANDEES

Il est demandé aux membres du Club Robotique – et à fortiori notre groupe travaillant sur ce projet – de concevoir et de réaliser les deux robots dans leur intégralité (nous avons décidé d'utiliser deux robots, chose que le règlement^{[1],3} n'oblige absolument pas à effectuer) à la fois d'un point de vue informatique, mécanique et électronique.

Par ailleurs, en plus de devoir assurer l'homologation des robots et leur participation à la Coupe, un dossier technique du produit demandé et un poster résumant le travail réalisé sont également à fournir pour s'inscrire à la coupe.

1.1.2.4. PARTIES CONCERNEES PAR LE DEROULEMENT DU PROJET ET SES RESULTATS (DEMANDEURS ET UTILISATEURS)

Notre projet concerne dans un premier temps les deux groupes travaillant sur le Projet Robotique (le groupe en semestre 2 et celui en semestre 4). Il concerne de manière plus générale le Club Robotique de l'École et l'ensemble de ses membres, les robots adverses (et les clubs qu'ils représentent) qui participeront à la Coupe de France de Robotique 2012, sans oublier les organisateurs de cette coupe, en charge de l'homologation du robot. Enfin, de manière encore plus générale, il concerne également Télécom Bretagne, via notamment la Direction de la Communication de l'École, et nos partenaires (entreprises, banques, ...), qui nous soutiennent financièrement.

A1.1.3. ÉNONCE DU BESOIN

Cette partie s'intéresse aux finalités premières du produit, c'est-à-dire aux objectifs que les deux robots doivent accomplir pour le futur utilisateur.

Chaque année, un concours de robotique est co-organisé par l'association Planète Sciences et le Conseil Municipal de La Ferté-Bernard à la fin du printemps. Depuis maintenant plus d'une dizaine d'années, le Club Robotique de l'École se présente à ce concours prestigieux où le thème change tous les ans. Le thème retenu pour l'édition 2013 est « *Happy Birthday* ». Ce thème a été choisi à l'occasion des vingt ans de cette coupe.

Les objectifs du(des) robot(s) sont le ramassage de verres et leur empilement éventuel, l'appui sur des balles de tennis afin de les faire tomber (bougies qu'on doit éteindre), le lancer de balles de ping-pong dans des paniers situés sur le gâteau (cerises sur le gâteau), la poussée de bascules (cadeaux à ouvrir). Ces actions seront détaillées et imagées par la suite.

L'aire de jeu ressemble à ceci :

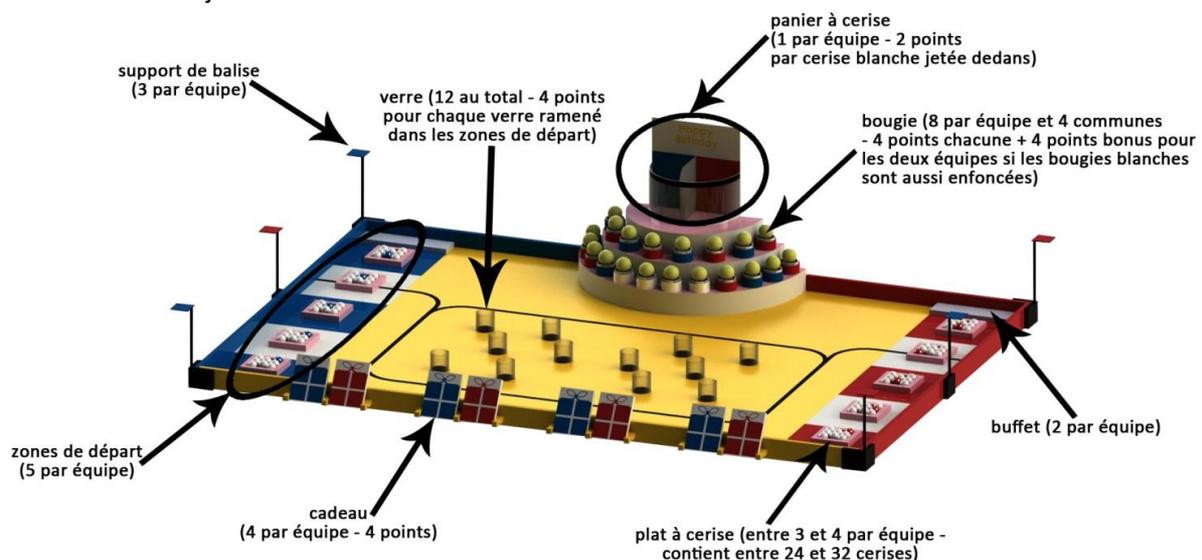


Figure 38 : Modélisation de l'aire de jeu et de ses différents éléments

La table étant constituée de deux zones de départ quadrillées comprenant cinq zones (une dont les zones sont bleues et blanches et une rouges et blanches), la nôtre sera déterminée juste avant le match.

Notre besoin est assez clair : concevoir deux robots autonomes, homologables, compétitifs et qui respectent l'intégralité du règlement^[1,3] imposé par les organisateurs de la Coupe de France de Robotique 2013, ainsi que de réaliser la table de jeu et l'ensemble des éléments qui la compose, afin de tester notre propre robot.

De cette manière, notre robot principal doit notamment être capable de ramasser un maximum de verres et de les empiler, mais aussi d'appuyer sur les balles de tennis. Une fois les verres empilés, il se charge de les ramener dans notre zone de départ. Le second robot a pour rôle de faire basculer les cadeaux et de ramener autant de verres qu'il le peut (sans les empiler). À chaque action réalisée correspond un nombre précis de points, le total concernant notre robot devant être supérieur à celui concernant le robot adverse. Le tout doit être réalisé en moins de 90 secondes (durée d'un match). À l'issue de ces 90 secondes, une action supplémentaire « bonus » est possible, elle consiste en le gonflage d'un ballon de baudruche. C'est notre robot secondaire qui s'en chargera.

Pour plus de détails concernant les règles, il suffit de lire les pages concernées du règlement officiel de la coupe^[1,3].

A1.1.4. ENVIRONNEMENT DU PRODUIT RECHERCHE

L'environnement du robot est composé de :

- **Coupe de Robotique** : celle-ci se déroule du 8 au 11 mai 2013 à La Ferté-Bernard, dans le département de la Sarthe (72). Les robots ayant réalisés les meilleures performances (deux premières équipes) pourront ainsi participer à Eurobot (Coupe d'Europe de Robotique) ;
- **Jury** : personnes vérifiant si le (ou les) robot(s) respecte(nt) les conditions d'homologation, et qui est de ce fait capable de participer à la Coupe. Lors de l'homologation, les robots devront passer un examen pratique (c'est la pré-homologation : vérification des dimensions et du fonctionnement du bouton d'arrêt d'urgence) et un examen dynamique (c'est l'homologation : les robots doivent quitter leur zone de départ, gagner un match sans adversaire et éviter le(s) robot(s) adverse(s)) ;
- **Règlement**^[1,3] : c'est l'ensemble des règles qui définit les caractéristiques du robot, les dimensions de l'aire de jeu et le déroulement de la compétition ;
- **Équipe** : c'est l'ensemble des membres de l'équipe du Projet Robotique qui participera à la Coupe de France de la Robotique 2013 (constitué des membres du Projet S2, du Projet S4 et du Club Robotique) ;
- **Budget** : c'est la somme d'argent qui nous est consacrée pour le projet ;
- **Alimentation** : cela concerne la source d'énergie principale du (ou des) robot(s), permettant de l'(les)alimenter. Les sources d'énergies prohibées sont indiquées à la page 20 du règlement^[1,3] ;
- **Environnement** : Il s'agit ici de l'ensemble des éléments physiques qui interagissent avec le robot lors d'un match. Cela concerne principalement la table de jeu et les éléments qui la constituent (verres, balles de tennis, balles de ping-pong). La table est de forme rectangulaire, d'une longueur totale de 3 mètres, et d'une largeur de 2 mètres. Le thème de cette année « *Happy Birthday* » possède une influence directe sur la forme de l'aire de jeu globale :
 - **les verres** : Ils sont en plexiglas, et comportent une base pleine (avec éventuellement un petit trou au milieu). Un verre rapporté dans une de nos zones de départ rapporte quatre points, multipliés par l'étage sur lequel il se situe. Deux verres empilés rapportent ainsi douze points. Sur l'image ci-dessous, la pyramide rapporte 56 points ($2 \times 1 \times 4 + 1 \times 2 \times 4 + 2 \times 3 \times 4 + 1 \times 4 \times 4$). Ces verres peuvent être ramenées dans une zone surélevée de la zone de marquage, à savoir l'un des deux buffets, afin d'éviter que les autres robots les volent ;

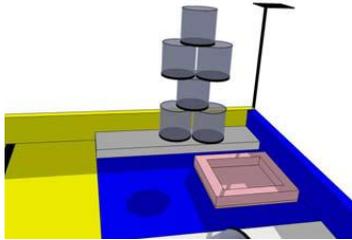


Figure 39 : Un exemple de pyramide de verres dans la zone de marquage de l'équipe bleue, plus précisément sur un buffet

- **les bougies** : ce sont des balles de tennis posées sur deux élastiques. Un tube tient les élastiques tendus et une pression suffisante sur la balle de tennis fait écarter suffisamment les élastiques pour que la balle passe, et donc que la bougie s'éteigne. Eteindre une bougie rapporte quatre points si son socle est de la même couleur que la zone de départ, zéro sinon (et quatre points à l'autre équipe). Les bougies blanches rapportent quatre points à chaque équipe et vingt points aux deux si elles sont toutes éteintes ;
- **les cadeaux** : Ce sont des planches fixées par des pivots et initialement inclinées. Il faut les pousser suffisamment pour qu'ils tombent. Un cadeau rapporte quatre points à l'équipe dont il a la couleur ;
- **la « Funny Action » : gonfler un ballon** : gonfler un ballon en moins de 10 secondes à la fin du match, sans qu'il éclate, peut rapporter douze points à l'équipe ;
- **la luminosité ambiante**: en raison de la très forte puissance des projecteurs utilisés sur le lieu de la rencontre, certains capteurs utilisés dans les robots peuvent s'en retrouver perturbés ;
- **le son ambiant** : de la même manière que les capteurs qui sont liés à la lumière, les capteurs s'appuyant sur les principes physiques de la propagation du son peuvent être perturbés ;

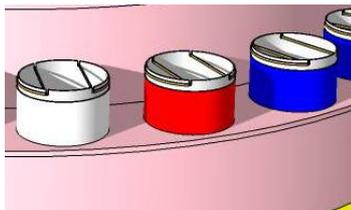


Figure 40 : Vue sur le mécanisme des bougies

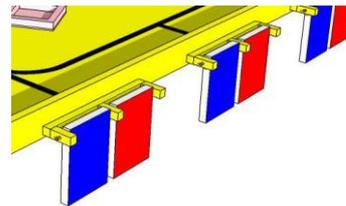


Figure 41 : Vue détaillée sur les cadeaux, une fois déballés

Une fois de plus, il faut se renvoyer au règlement^{[1].3} pour avoir des détails plus explicites sur les règles du jeu, en particulier sur les éléments constituant l'aire de jeu.

- **robot(s) adverse(s)** : La compétition se déroule en même temps contre un (ou plusieurs) autre(s) robot(s) qui doi(ven)t lui (eux) aussi marquer des points. Il faut le(s) éviter tout en marquant plus de points que lui (eux).

A1.2. EXPRESSION FONCTIONNELLE DU BESOIN

A1.2.1. FONCTIONS DE SERVICE ET DE CONTRAINTE

1.2.1.1. FONCTIONS DE SERVICE PRINCIPALES

Il s'agit des fonctions dont la réalisation assurera la réussite de notre projet, à savoir être homologué pour la Coupe de France de Robotique 2013.

FP1 : Ramener les verres

Afin de pouvoir être homologué, les robots devront être capables de gagner un minimum de un point sans opposition. L'un des deux robots (ou même les deux) doi(ven)t donc pouvoir ramener des verres dans nos zones de départ. Chaque verre ramené rapporte à l'équipe un total de quatre points. Pour cela, les robots devront être capables de se mouvoir en direction des verres et de regagner leur zone de départ pour les y déposer.

FP2 : « Souffler » les bougies

Une autre manière de gagner des points, que ce soit pour l'homologation (objectif principal) ou aller plus loin dans la coupe (objectif secondaire), il faudra que l'un de nos robots « souffle les bougies » sur le gâteau situé sur un côté de la table. Il s'agit de repérer les bougies qui portent nos couleurs (des balles de tennis à moitié enfoncées dans des cylindres colorés) et de les enfoncer complètement. Chaque bougie de notre couleur soufflée rapportera quatre points.

FP3 : Faire tomber les cadeaux

Face au gâteau, de l'autre côté de la table, sont disposés des cadeaux aux couleurs de chaque équipe. Les faire tomber nous rapporte quatre points par cadeau. Pour ce faire, un robot devra pousser l'un après l'autre nos cadeaux en évitant de les confondre avec ceux de l'adversaire (ceux-ci leur seront comptés comme s'il l'avait fait eux-mêmes).

FP4 : Gonfler le ballon

A la fin des 90 secondes d'un match ou de l'homologation, l'un des robots pourra, afin de rapporter douze points à son équipe, gonfler un ballon qui lui aura été confié au préalable en moins de dix secondes. Cela complexifie fortement la conception d'un des robots à qui cette tâche incombe, car il devra embarquer un système dédié uniquement à cette opération alors que ses dimensions sont fortement limitées.

FP5 : Repérer et éviter un obstacle

Les robots doivent être capables de repérer et éviter les obstacles, que ce soit les robots adverses ou les éléments de décor (le gâteau ou les paniers à cerises par exemple). Les éléments de décor sont à une position fixe alors que les robots adverses auront des mouvements imprévisibles, ce qui suppose que nos robots soient équipés d'un système de repérage. La collision avec un autre robot ou une destruction du décor apportent des points de pénalité à notre équipe^{[1],3}.

1.2.1.2. FONCTIONS DE SERVICES COMPLEMENTAIRES

Il s'agit maintenant d'étudier les fonctions qui améliorent, facilitent ou complètent le service rendu.

FS1 : Se repérer dans l'espace

Afin de pouvoir plus facilement réaliser les actions décrites plus haut, les robots devront pouvoir se repérer afin de se diriger dans les bonnes zones de la table de jeu. Cela leur permettra de corriger leurs trajectoires si celles-ci ne les mènent nulle part, afin par exemple de pouvoir être homologué, et de se mouvoir de façon plus optimale, dans le but d'accroître notre score lors des matchs qui suivront.

FS2 : Vaincre l'équipe adverse

En effet, une fois l'obstacle de l'homologation franchi, notre objectif devient de rester le plus longtemps possible en piste dans la coupe. Pour cela, il faudra prévoir des stratégies les plus abouties possibles afin de pouvoir optimiser les mouvements de nos robots pour gagner un maximum de points. Ces stratégies devront permettre de rapporter un maximum de points, plus que l'équipe adverse afin de rester en course, le plus difficile étant d'essayer de savoir quelles seront les stratégies de ces équipes adverses.

FS3 : Empiler les verres

Cette fonction permet d'enrichir la fonction principale « ramener les verres ». En effet, si en plus de ramener les verres dans notre camp, nous les empilons les uns sur les autres en deux niveaux, nous obtenons alors un bonus de quatre points par verre situé au deuxième niveau.

1.2.1.3. FONCTIONS DE CONTRAINTES

Etudions désormais les fonctions contraintes, c'est-à-dire les fonctions qui limitent la liberté du concepteur du produit (c'est-à-dire nous).

FC1 : Respecter les échéances

L'homologation se faisant le 8 mai 2013, nos deux robots devront donc être opérationnels à cette date. Cela suppose que nous les ayons entièrement construits et testés. De même, tous les livrables du projet doivent être déposés en des dates précises.

FC2 : Respecter les règles

Que ce soit pour être homologué ou pour ne pas subir une élimination prématurée, les deux robots doivent respecter à la lettre le règlement de la Coupe de France de Robotique^{[1],3}. Celui-ci détaille à la fois les caractéristiques techniques des robots (dimensions, balises, etc.) et le déroulement de l'évènement.

FC3 : Être autonome

A partir du déclenchement des deux robots en début de match (ou d'homologation), et ce jusqu'à la fin de ce match 90 secondes plus tard, nous ne sommes pas autorisés à entrer en contact avec les robots. Ceci suppose donc que nos robots devront être capable de se débrouiller seuls à partir du programme qu'on leur aura fourni.

FC4 : Respecter le budget

Nous disposons pour notre projet d'un budget de 1200 € alloué par le Bureau Des Elèves, auquel il faut rajouter 1000 € de la part de la communication de l'école. Cette somme ne peut être dépassée, elle représente à la fois le budget pour la conception et la fabrication du robot.

FC5 : Gérer l'alimentation

Nos robots doivent pouvoir fonctionner sans alimentation extérieure pendant les 90 secondes d'un match. Il faut également que les sources d'énergie utilisées soient rapidement rechargeables, afin de pouvoir enchaîner les matchs, et également conformes au règlement de la coupe. Nous vous renvoyons à la page 20 du règlement pour plus de détails à ce sujet^{[1],3}.

A1.2.2. CRITERES D'APPRECIATIONS

Le tableau qui suit présente dans son intégralité les critères d'appréciation relatifs aux fonctions précédemment énoncées. Sont aussi présents les différents niveaux de flexibilité (F0 = Impératif, F1 = Peu Négociable, F2 = Négociable et F3 = Très Négociable) pour chacun de ces critères d'appréciation, ainsi que les moyens de contrôle.

Nous avons également fournie le diagramme pieuvre correspondant à ce Cahier des Charges fonctionnel.

Fonctions	Critère(s)	Niveau(x)	Flexibilités(s)	Moyen de contrôle
FP1 Ramener les verres	<ul style="list-style-type: none"> Distance de déplacement Position finale de la pièce Temps de déplacement 	<ul style="list-style-type: none"> 0 à 4 mètres (ceci dépend de la position du robot et de l'élément à mouvoir) Zones dédiées à nos dépôts d'éléments amovibles (les cales) 1 à 90 secondes 	F2 F0 F0	<ul style="list-style-type: none"> Outil de simulation ou mesure de distance avec un appareil adapté Observation du comportement des robots en phase de test Montre ou chronomètre
FP2 Souffler les bougies	<ul style="list-style-type: none"> Force suffisante pour enfoncer les balles de tennis Pouvoir atteindre les différents étages 	<ul style="list-style-type: none"> Entre 40 et 100 Newtons 2 niveaux espacés de 10 cm 	F0 F2	Observation du comportement des robots lors de phases de test, et vérification lors de la coupe
FP3 Faire tomber les cadeaux	Force suffisante pour faire tomber les cadeaux	Entre 5 et 20 Newtons	F0	Observation du comportement des robots lors de phases de test, et vérification lors de la coupe
FP4 Gonfler le ballon	Réussir à gonfler suffisamment le ballon	Gonfler le ballon en moins de 10 secondes	F0	Observation du comportement des robots lors de phases de test, et vérification lors de la coupe
FP5 Repérer et éviter les obstacles	Stratégie d'évitement	Aucun contact avec le gâteau (un demi-cylindre de 1 m de diamètre) ou avec un robot (un cylindre d'environ 30 cm de diamètre et 20 cm de hauteur)	F0	Observation du comportement des robots lors de phases de test.
FS1 Se repérer dans l'espace	<ul style="list-style-type: none"> Position sur la table Position des éléments Nature des éléments 	<ul style="list-style-type: none"> Précision : 2 à 3 cm 0 à 4 m par rapport au robot Forme globale différente pour chaque élément 	F1 F1 F2	Observation du comportement des robots lors de phases de test
FS2 Vaincre l'équipe adverse	Points marqués	42 points pour espérer gagner	F3	Observation du comportement des robots lors de phases de test, et vérification lors de la coupe
FS3 Empiler les verres	<ul style="list-style-type: none"> Soulever les verres Assurer la stabilité de l'empilement 	<ul style="list-style-type: none"> Pouvoir les faire monter à 8 cm de hauteur Poser les verres les uns sur les autres 	F3	Observation du comportement des robots lors de phases de test, et vérification lors de la coupe
FC1 Respecter les échéances	<ul style="list-style-type: none"> Date de la Coupe Date de l'homologation officielle 	<ul style="list-style-type: none"> Du 8 au 11 mai 2013 Le 8 mai 2013 	F0 F0	<ul style="list-style-type: none"> Calendrier Calendrier
FC2 Respecter les règles	<ul style="list-style-type: none"> Caractéristiques des robots Règles du jeu 	<ul style="list-style-type: none"> Règlement^{[1].3} page 18 à 24 Règlement^{[1].3} page 7 à 16 	F0 F0	<ul style="list-style-type: none"> Lire le règlement Lire le règlement
FC3 Etre autonome	<ul style="list-style-type: none"> Autonomie Durée 	<ul style="list-style-type: none"> Aucune intervention extérieure 90 secondes 	F0 F0	Observation du comportement des robots lors de phases de test
FC4 Respecter le budget	Budget	2200€	F2	Vérifier les comptes
FC5 Gérer l'alimentation	<ul style="list-style-type: none"> Temps de recharge Temps de décharge Source d'énergie réglementaire 	<ul style="list-style-type: none"> Inférieur à 3 heures Supérieur à 180 secondes Voir règlement^{[1].3} à la page 20 	F2 F0 F0	<ul style="list-style-type: none"> Temps affiché sur le chargeur Observation du comportement du robot lors des phases de test Lire le règlement

Figure 42 : Cahier des Charges fonctionnel du Projet Robotique, avec les critères d'appréciation

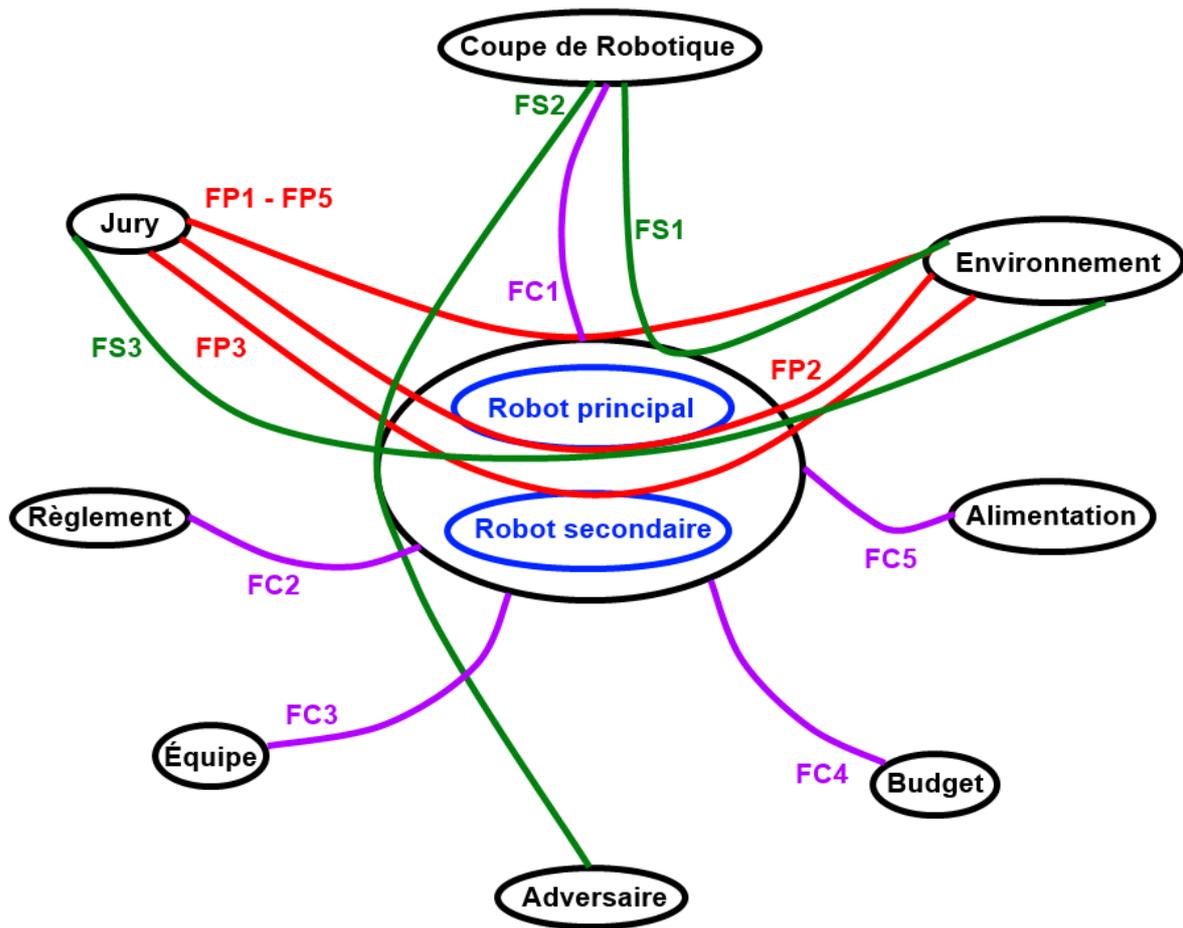


Figure 43 : Le diagramme pieuvre du Cahier des Charges fonctionnel

A1.3. CADRE DE REPONSE

A1.3.1. LES SOLUTIONS PROPOSEES

Cela fait déjà quelques mois que le Club Robotique réfléchit à la mise en place de solutions visant à ce que notre équipe puisse offrir une belle prestation lors de la Coupe de France de Robotique. Nous avons déjà par exemple attribué les tâches que devront effectuer chaque robot : le robot principal se chargera de ramasser les verres et de les empiler, ainsi que de souffler les bougies, tandis que le robot secondaire débarrera lui les cadeaux, tout en ayant la possibilité de ramener des verres.

Pour avoir des idées plus détaillées en ce qui concerne les avancements de la fabrication de ces robots, il vous est libre de vous rendre sur notre site internet^[4,7]. Il comporte de très nombreuses photos et de nombreux documents sur l'équipe et sur l'évolution de notre travail.

A1.3.2. MESURES PRISES POUR RESPECTER LES CONTRAINTES ET LEURS CONSEQUENCES ECONOMIQUES

De ce point de vue là, le respect des fonctions contraintes nous oblige à faire des efforts non-négligeables. Premièrement, d'un point de vue électronique la fabrication de cartes performantes implique l'achat de composants de qualité. Cela vaut également au niveau mécanique, car même si bon nombre d'éléments de robots antérieurs sont réutilisés, il est nécessaire de faire de nouveaux achats. Enfin, en ce qui concerne le pôle informatique, l'achat de plusieurs microcontrôleurs⁶ est à prévoir.

A1.3.3. PREVISION DE FIABILITE

Les membres du projet estiment que les deux robots qui seront construits bénéficieront d'une fiabilité haute, en raison de la simplicité des systèmes qui seront adoptés. Il a en effet été démontré par le passé et par l'expérience de nos prédécesseurs que plus un système était simple et plus il était

fiable et efficace. C'est dans cette optique que nous construisons cette année deux robots dont le fonctionnement sera assez simple. Nous réutilisons d'ailleurs un système mis en place il y a deux ans qui avait très bien fonctionné afin d'empiler les verres.

A1.3.4. PERSPECTIVES D'EVOLUTION TECHNOLOGIQUE

Étant donné que la robotique est un secteur où les phases de test prédominent, nous nous devons de faire évoluer constamment les robots. Après chaque phase de test, il sera toujours nécessaire de corriger les erreurs observées, tant que les résultats ne seront pas à la hauteur de nos espérances. Ces contraintes nous obligent à respecter un emploi du temps assez strict afin d'avoir le temps nécessaire pour ces phases de test.

ANNEXE 2 - PLANNING DU PROJET

Le planning initial du projet, présenté dans le Plan de Management^[3], n'a depuis subi aucun changement. Cela est dû au fait que nous sommes désormais habitués à gérer le calendrier lié à ce projet. Aucun retard majeur, et donc problématique, n'a été constaté.

Globalement, le projet est découpé en cinq sous-plannings distincts mais complémentaires :

- le planning du pôle mécanique (conception et réalisation des éléments mécaniques des deux robots, ...)
- le planning du pôle électronique (conception, impression et réalisation des différentes cartes électroniques des deux robots)
- le planning du pôle informatique (conception du code de stratégie et du code d'évitement, tests sur simulateurs et en conditions réelles)
- le planning lié à la gestion du Projet Ingénieur (préparation et remise des livrables, ...)
- le planning lié à l'inscription à la coupe et à sa participation (réalisation du poster du stand, réservation de l'hébergement, organisation du voyage, ...).

Cependant, cette année, du fait de la date de la coupe, nous avons dû nous avancer un planning déjà très chargé d'au moins une semaine, voir de deux pour certaines parties du projet (par exemple les livrables liés à l'inscription ont dû être cette année rendus presque deux semaines en avance par rapport à l'année précédente).

Voici donc le diagramme de Gantt du projet au 9 juin 2013 :

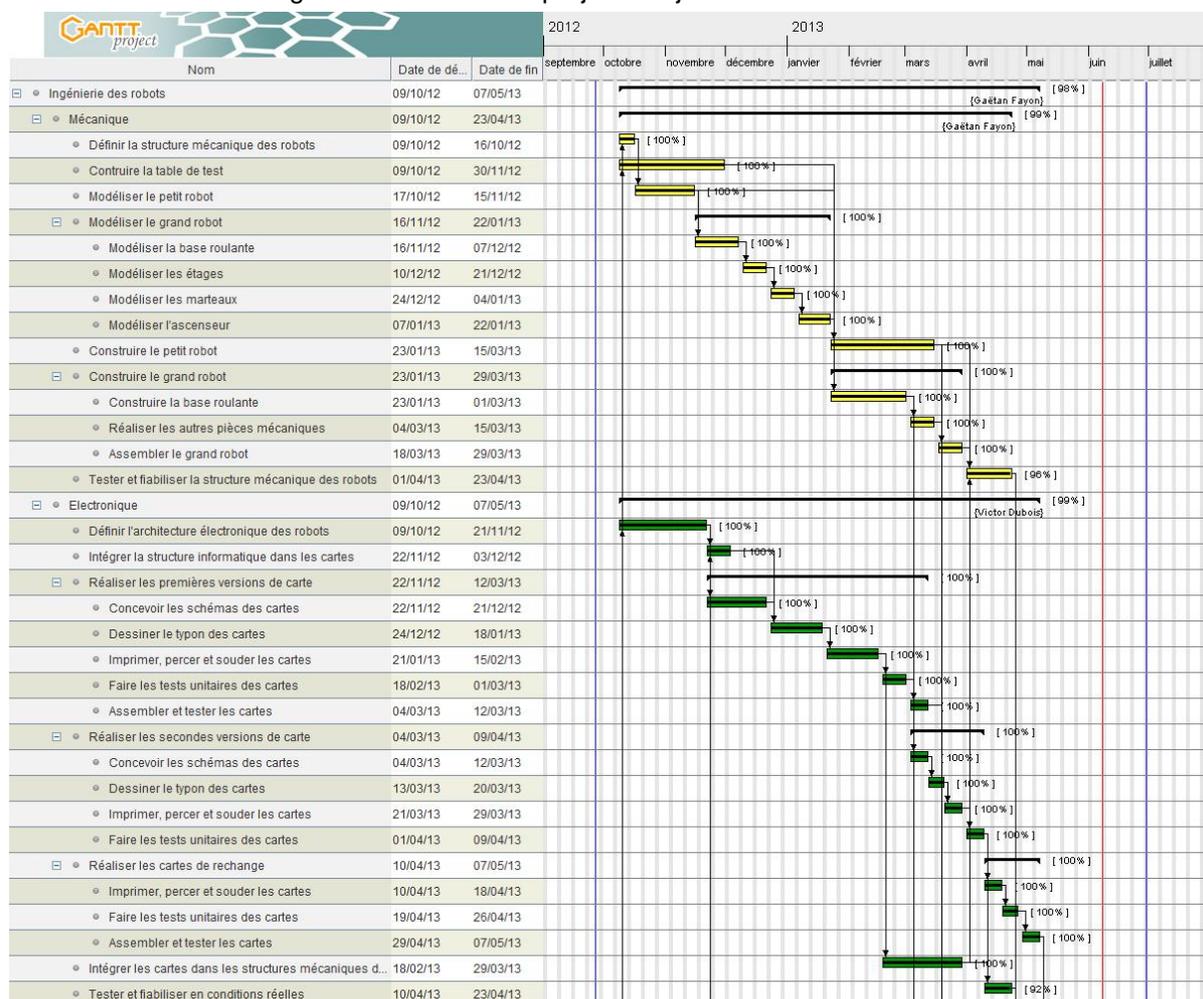


Figure 44 : Diagramme de Gantt lié aux plannings des pôles mécanique et électronique

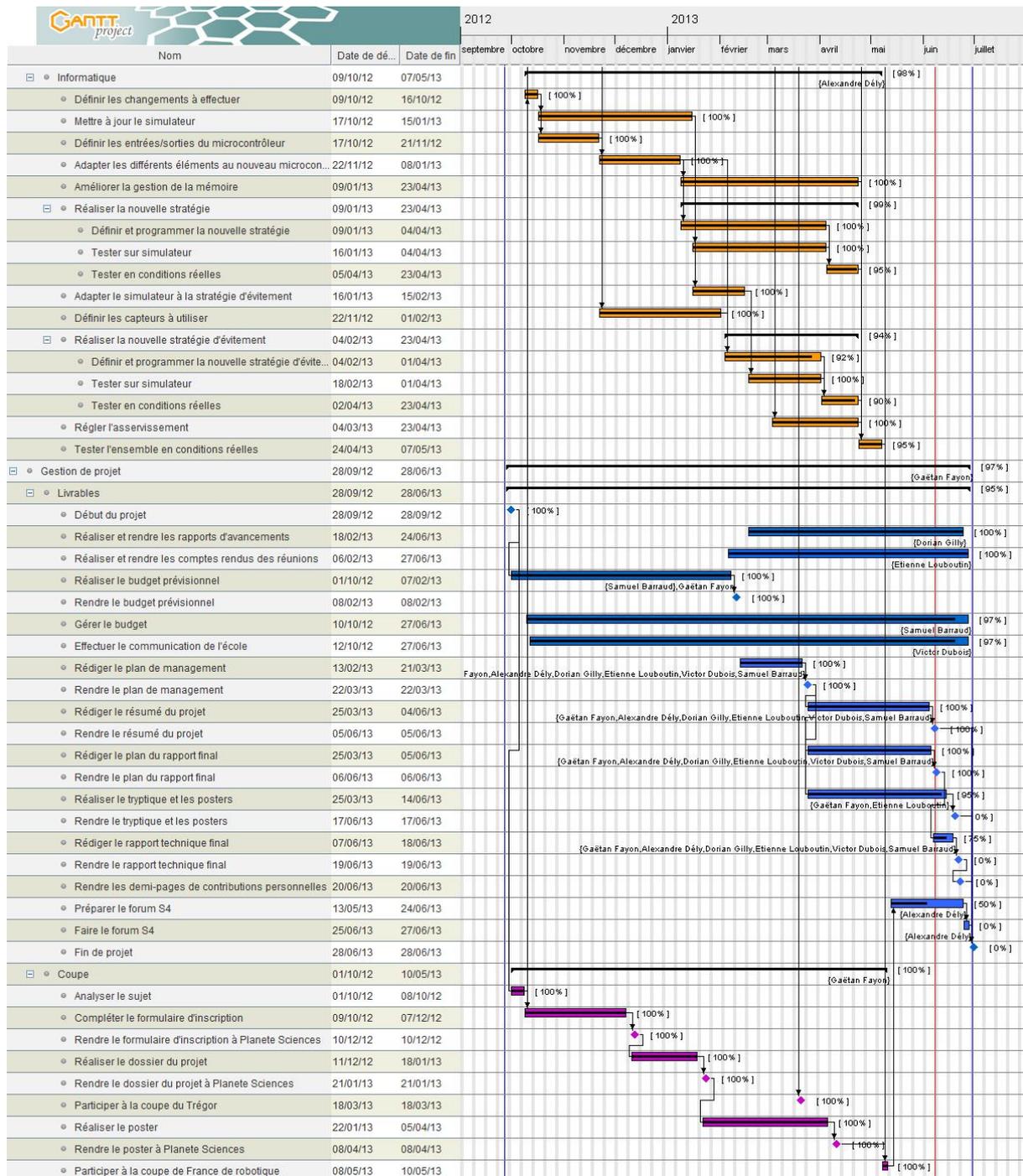


Figure 45 : Diagramme de Gantt lié aux plannings du pôle informatique, de la gestion du projet et de l'inscription et la participation à la coupe

Ces deux images figurent en réalité sur le même diagramme (le diagramme général du projet). Il a été scindé en deux parties pour faciliter sa lecture.

Sur le planning général du projet ne figurent pas notre participation à d'autres événements que la coupe, à part en ce qui concerne la Coupe de Bretagne de Robotique (Coupe du Trégor). Il faut également savoir que nous avons participé à la Fête de la Science à l'UBO de Brest au début de l'année, à la Journée Portes Ouvertes de l'École durant le mois de février. Nous intervenons par ailleurs au Club Robotique du Collège Kerallan de Plouzané et dans l'animation du TéléFab, le FabLab de Télécom Bretagne.

ANNEXE 3 - MODÉLISATION MÉCANIQUE

Au niveau mécanique, nous concevons l'intégralité de nos pièces de manière virtuelle, avant de les usiner. De cette façon, nous pouvons nous apercevoir très tôt de certains problèmes liés à l'emplacement d'un composant, du poids du robot, de la position de son centre de gravité, ... Dès lors, nous gagnons un temps précieux, en évitant la réalisation de tests techniques longs et parfois coûteux.

Ces modélisations sont réalisées via le logiciel *Solidworks*^[2], un logiciel de CAO (Conception Assistée par Ordinateur) conçu par l'entreprise française *Dassault Systèmes*.

A3.1. KRABI, LE ROBOT PRINCIPAL

A3.1.1. LA BASE ROULANTE

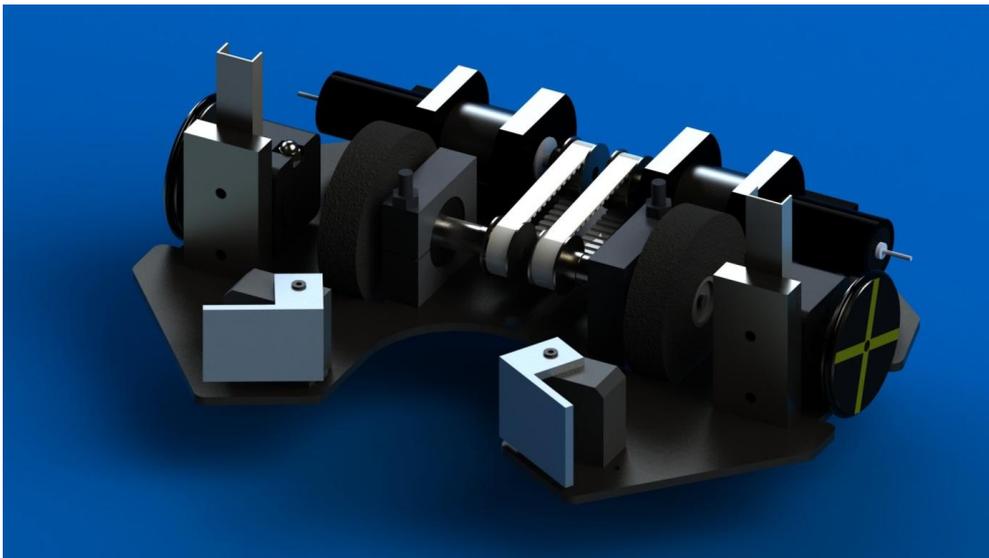


Figure 46 : Modélisation de la base roulante du robot principal

A3.1.2. LA STRUCTURE METALLIQUE

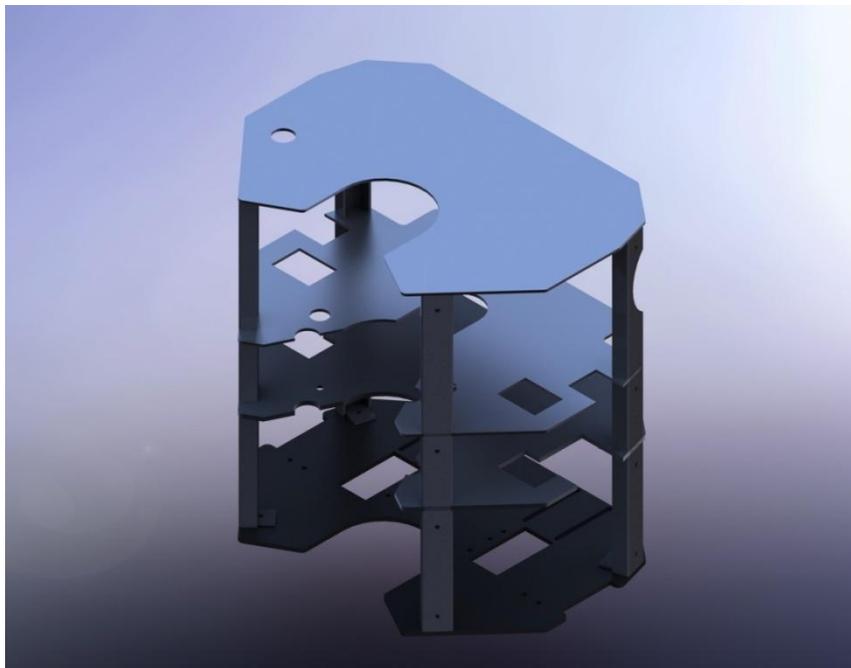


Figure 47 : Modélisation de la structure métallique du robot principal

A3.1.3. LE SYSTEME D'ASCENSEUR

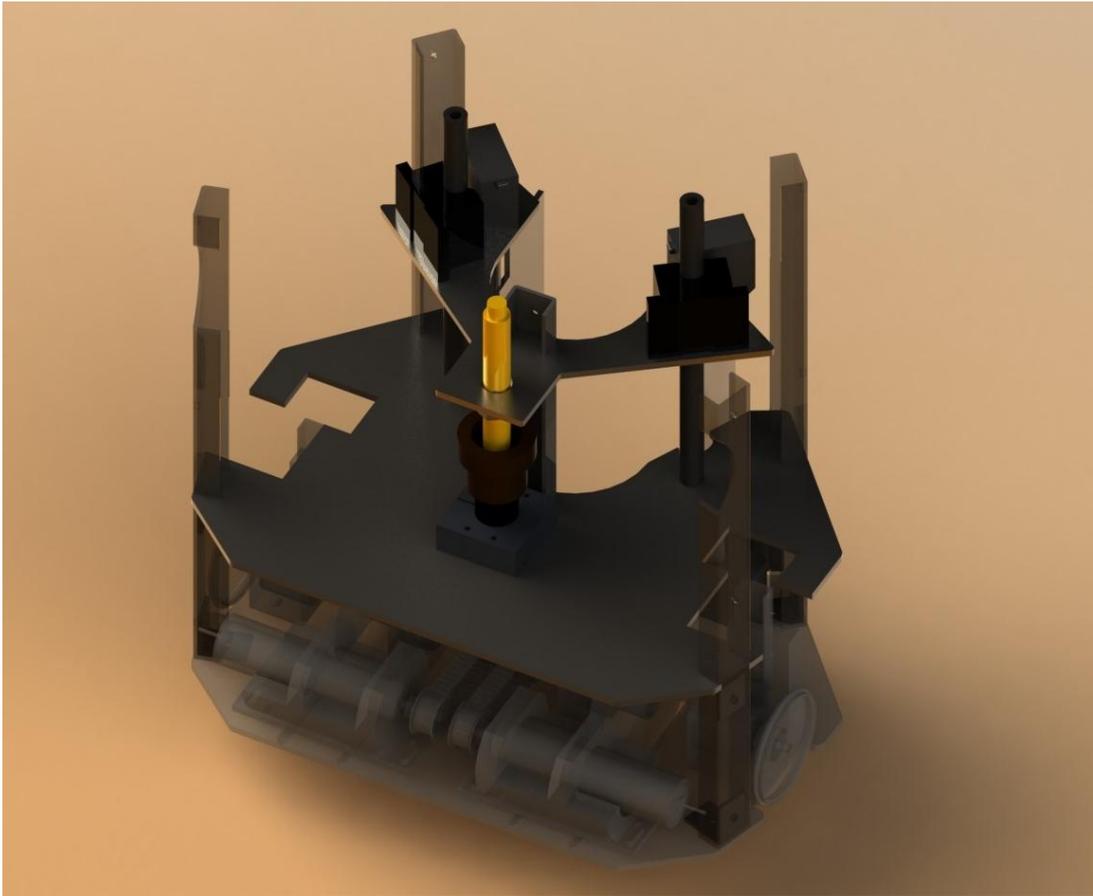


Figure 48 : Modélisation du système d'ascenseur

A3.1.4. LES MARTEAUX LATÉRAUX

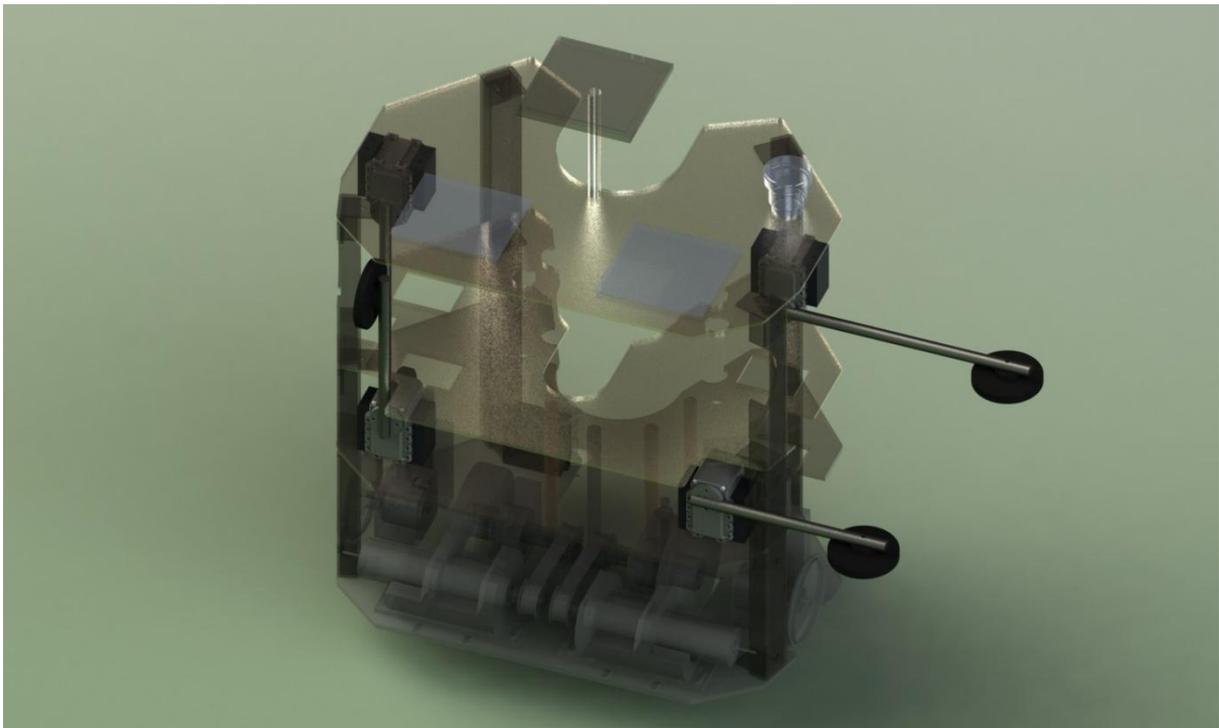


Figure 49 : Modélisation des marteaux latéraux, qui « soufflent » les bougies

A3.1.5. MODELISATIONS COMPLEMENTAIRES



Figure 50 : Modélisation du robot principal, avec une pile de trois verres dans sa soute

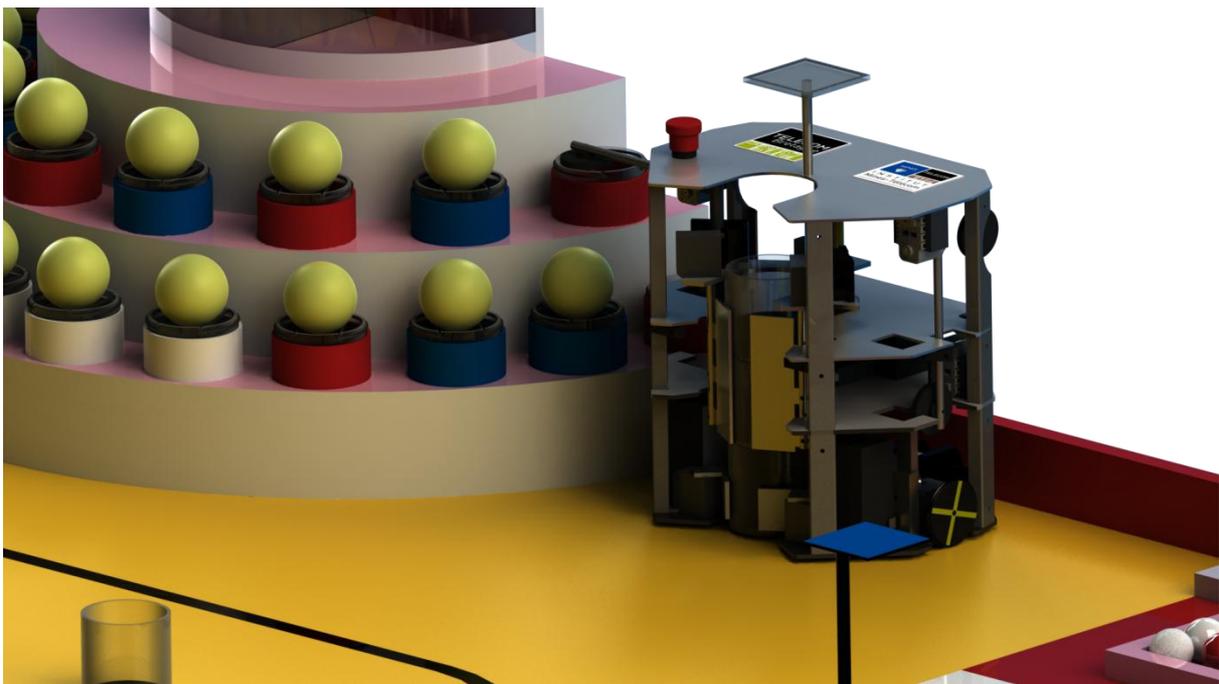


Figure 51 : Modélisation du robot sur la table, lors du début du « soufflage » de bougies

A3.1.6. MISES EN PLAN

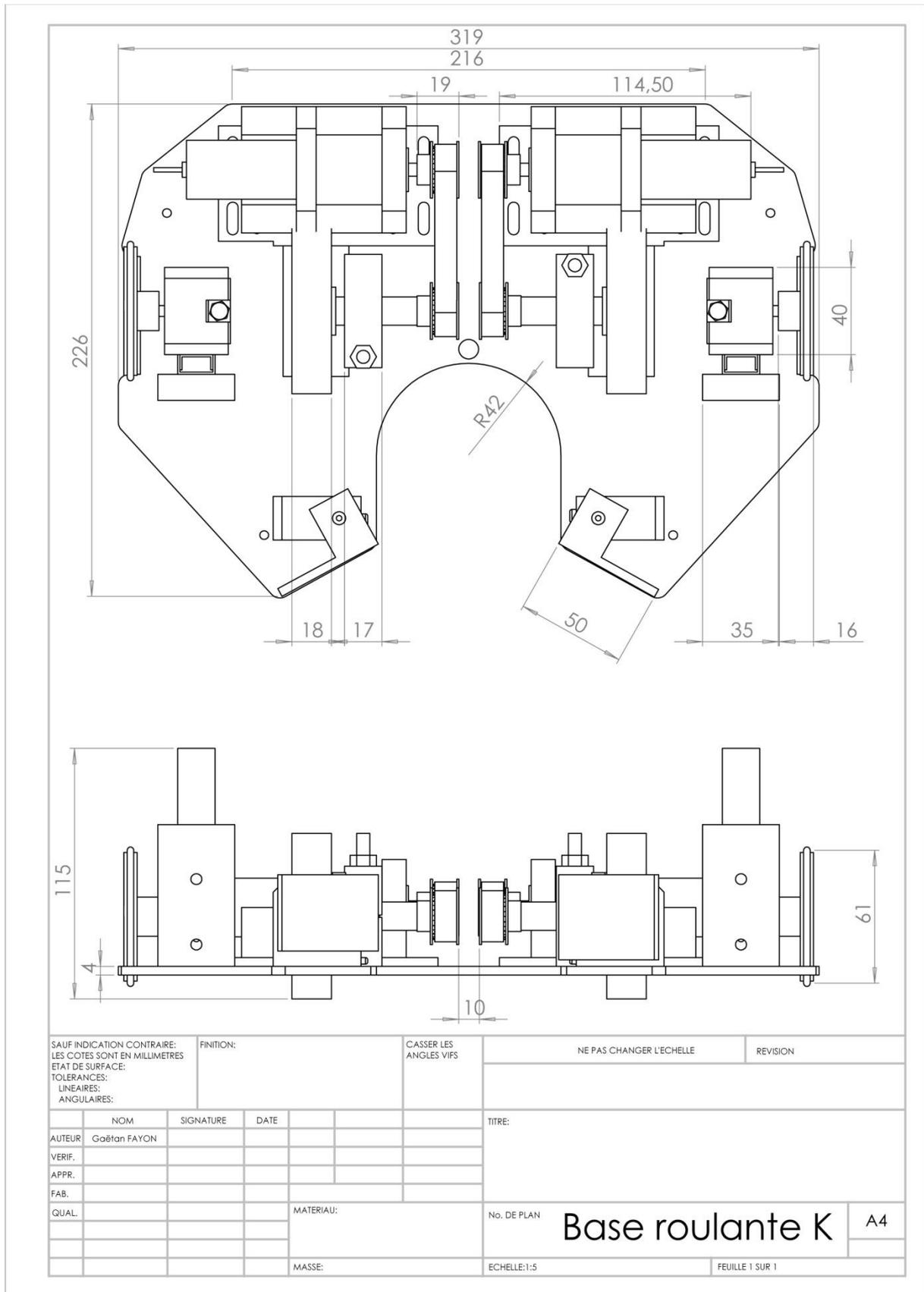


Figure 52 : Mise en plan de la base roulante

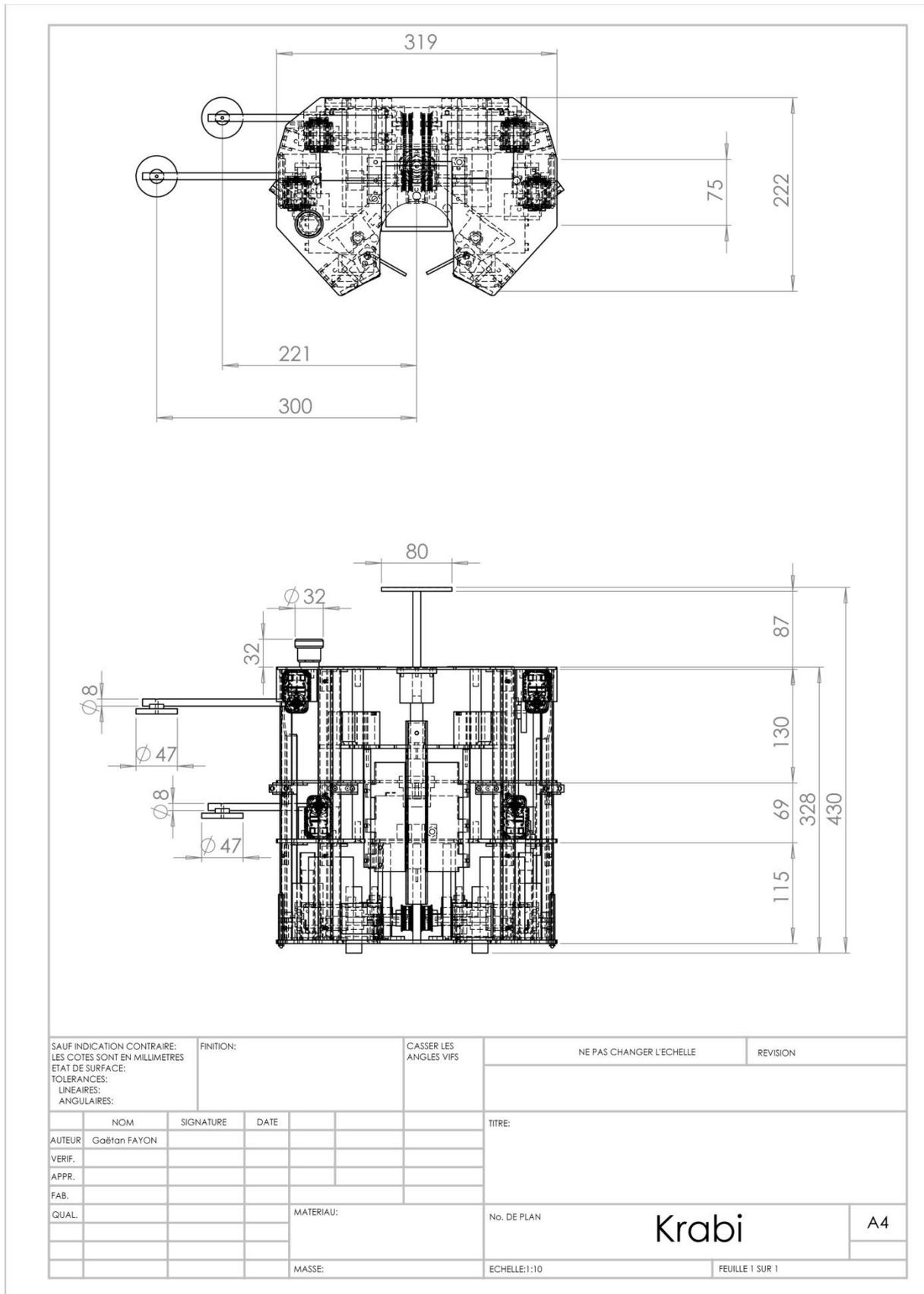


Figure 53 : Mise en plan du robot principal

A3.2. KRABI JUNIOR, LE ROBOT SECONDAIRE

A3.2.1. LA BASE ROULANTE



Figure 54 : Modélisation en trois dimensions de la base roulante de Krabi Junior

A3.2.2. LA STRUCTURE EN BOIS

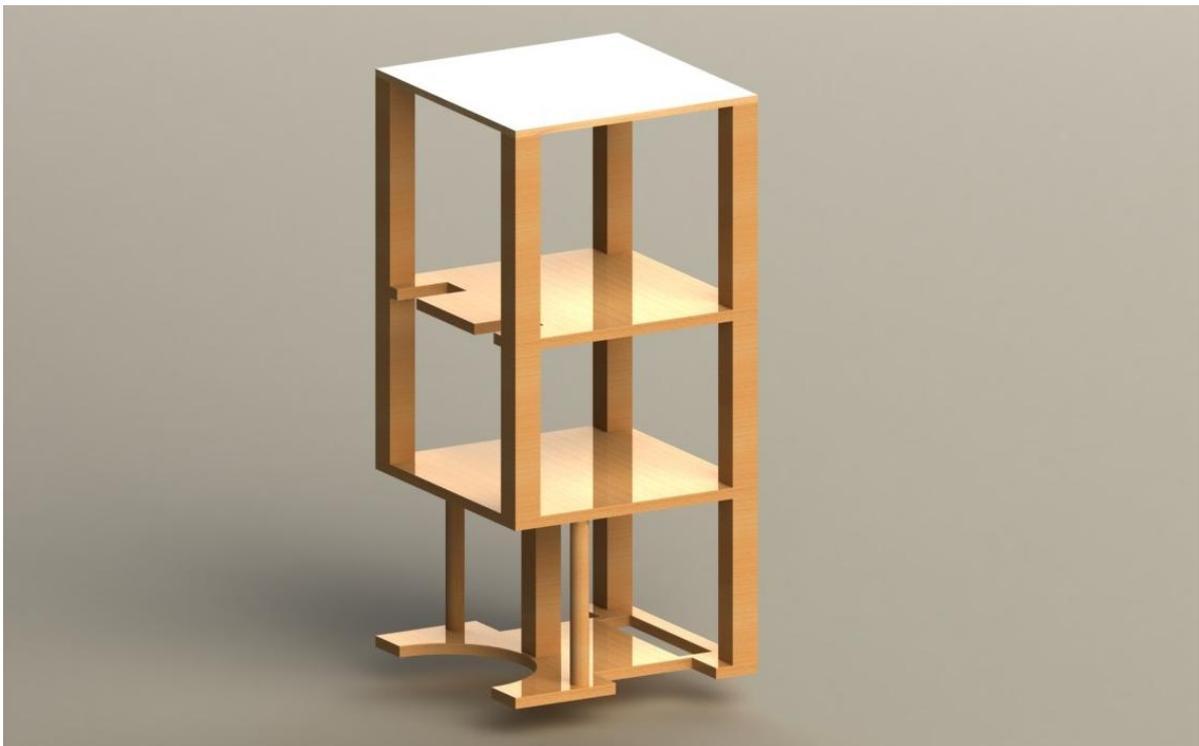


Figure 55 : Modélisation de la structure en bois du robot

A3.2.3. LE SYSTEME DE POMPE A VIDE

Figure 56 : Modélisation du système de pompe à vide, pour le gonflage du ballon

A3.2.4. LE SYSTEME POUR DEBALLER LES CADEAUX

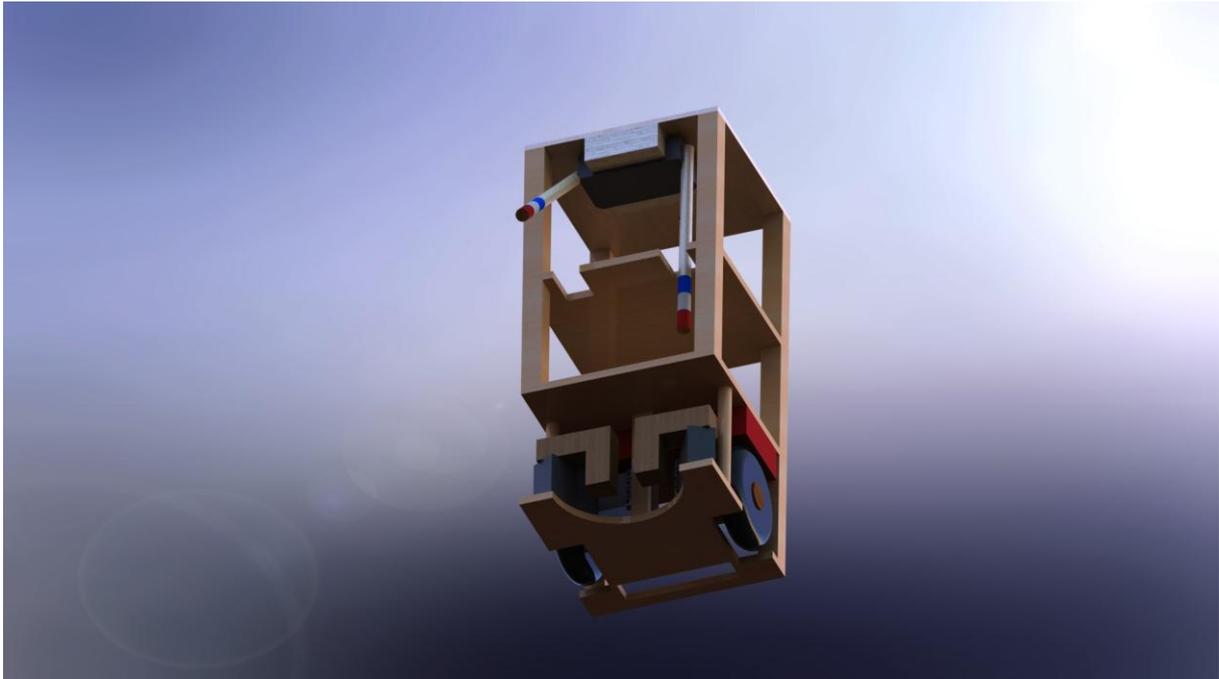


Figure 57 : Modélisation avec vue sur le système pour le déballage des cadeaux

A3.2.5. MODELISATIONS COMPLEMENTAIRES

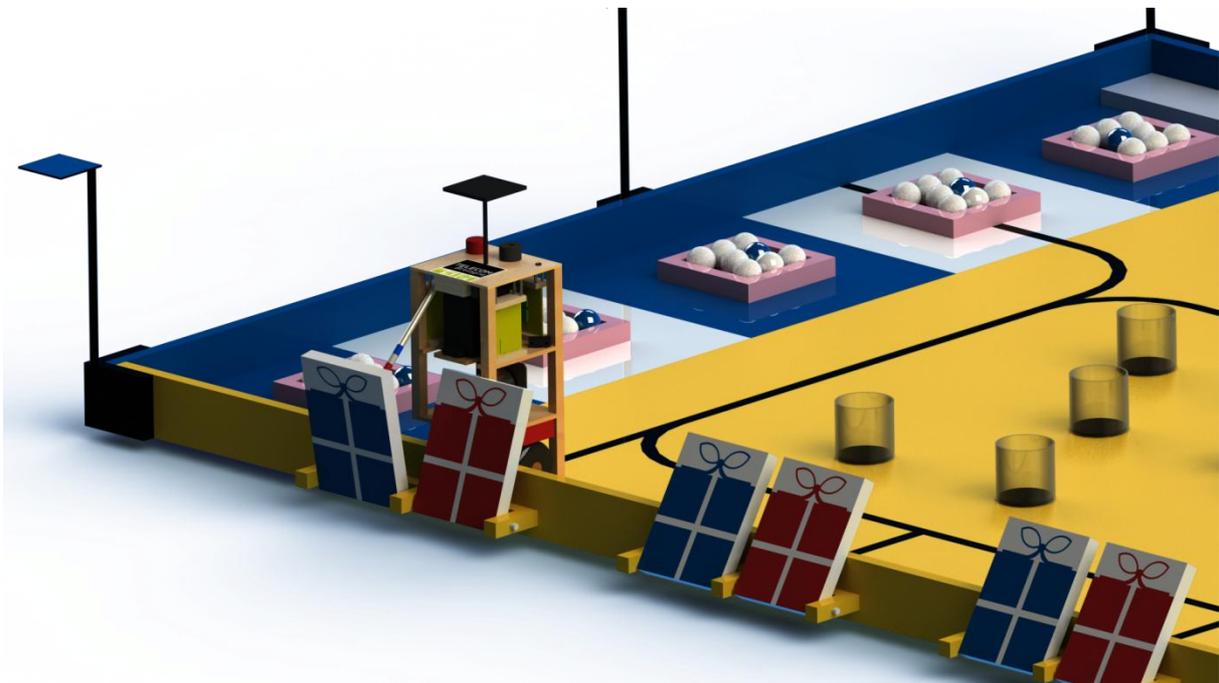
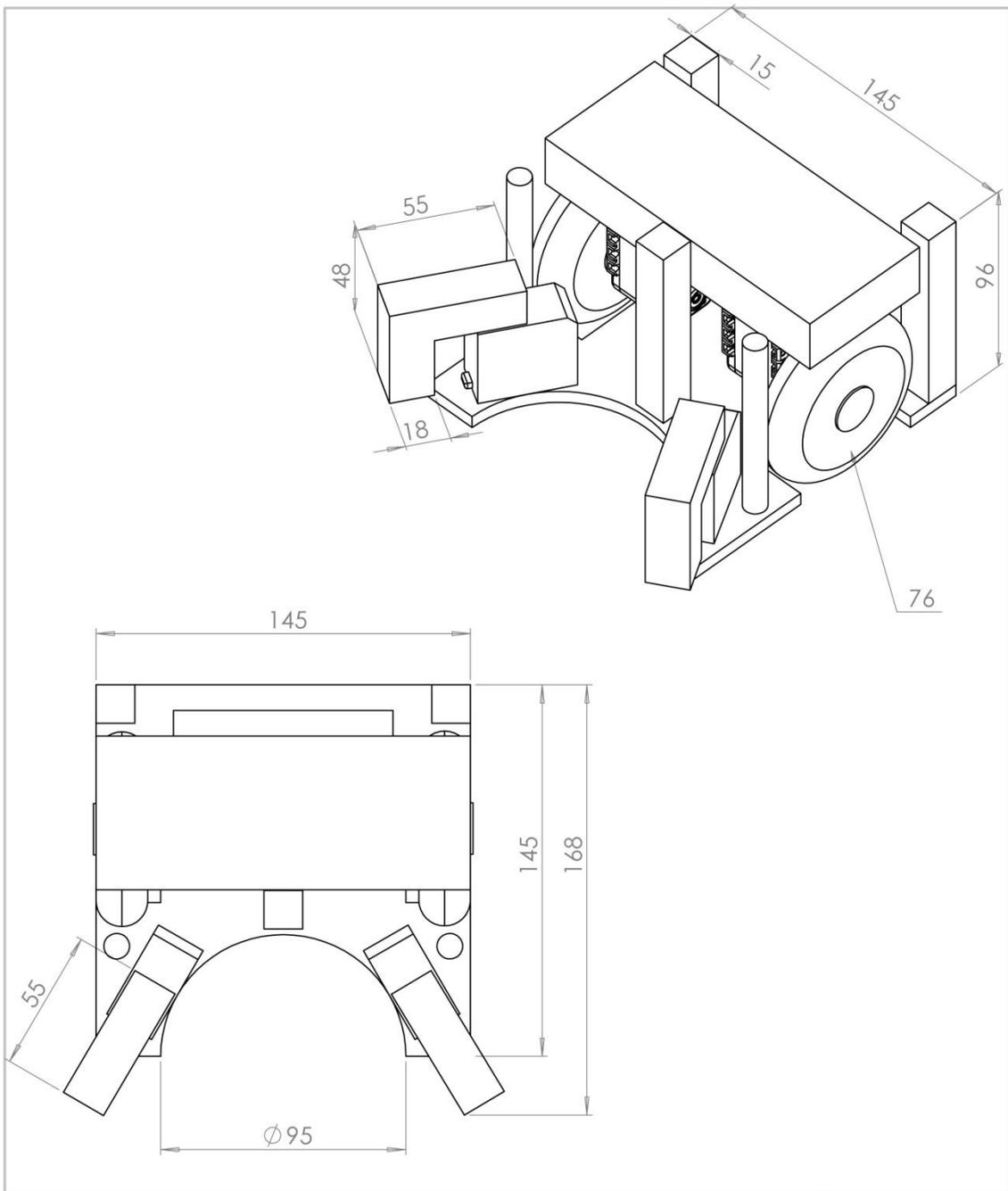


Figure 58 : Modélisation du robot en train de déballer le premier cadeau



Figure 59 : Modélisation du robot complet, avec des verres dans son espace de stockage

A3.2.6. MISES EN PLAN



SAUF INDICATION CONTRAIRE: LES COTES SONT EN MILLIMETRES ETAT DE SURFACE: TOLERANCES: LINEAIRES: ANGULAIRES:		FINITION:	CASSER LES ANGLES VIFS	NE PAS CHANGER L'ECHELLE	REVISION
NOM	SIGNATURE	DATE		TITRE:	
AUTEUR	Gaëtan FAYON			No. DE PLAN Base roulante KJ A4	
VERIF.					
APPR.					
FAB.					
QUAL.			MATERIAU:	Echelle: 1:5	
			MASSE:	FEUILLE 1 SUR 1	

Figure 60 : Mise en plan de la base roulante du robot secondaire

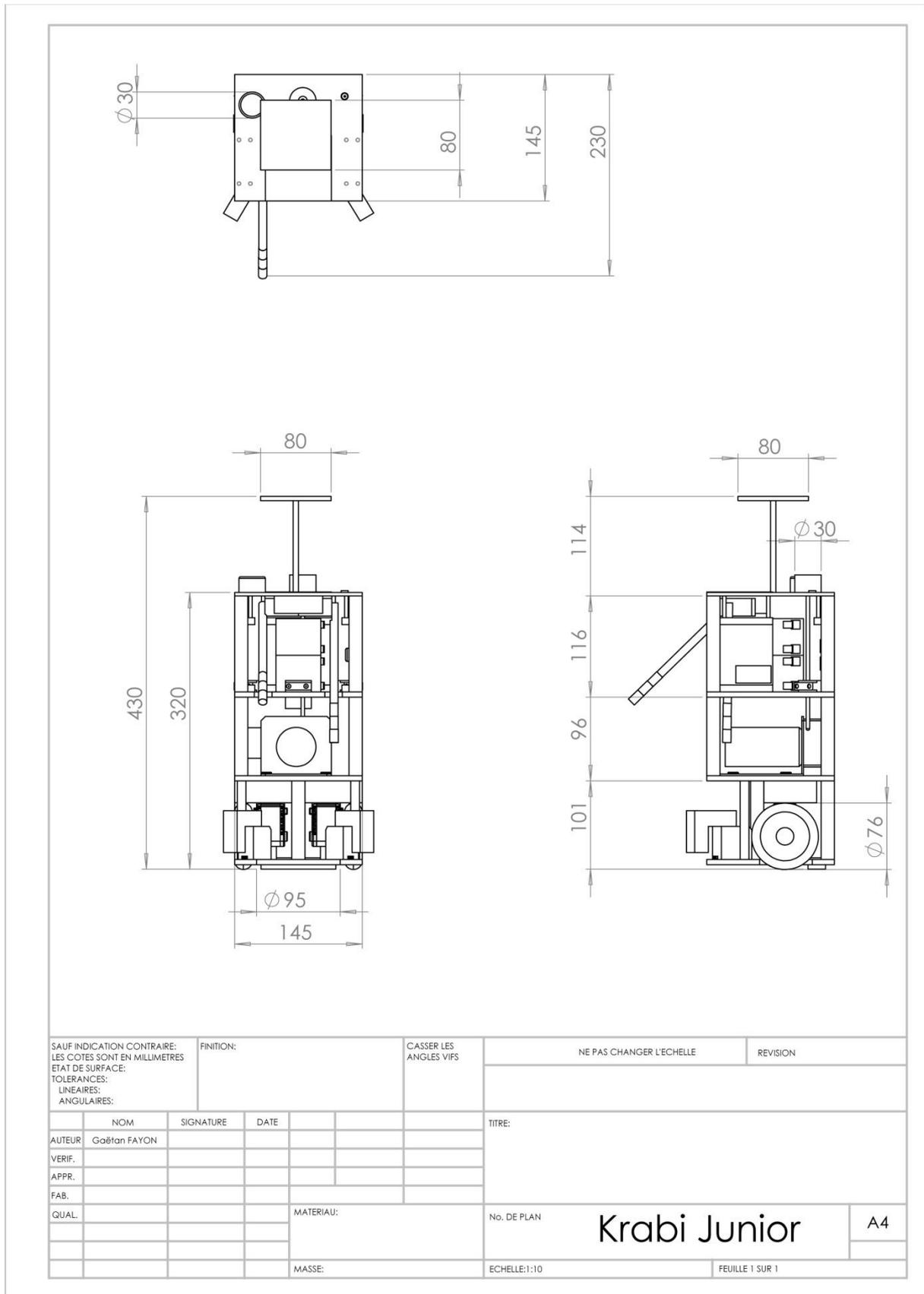


Figure 61 : Mise en plan du robot secondaire

ANNEXE 4 - CARTES ÉLECTRONIQUES DU ROBOT PRINCIPAL

A4.1. LA CARTE STM

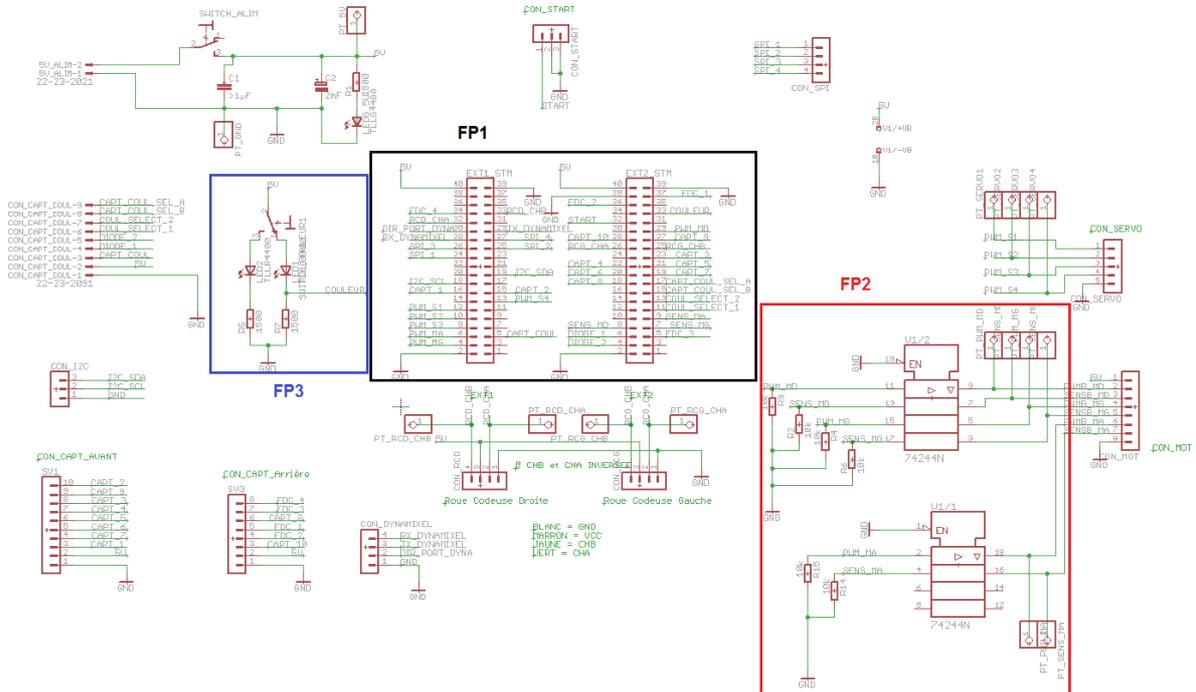


Figure 62 : Schéma électrique de la carte STM

A4.1.1. FONCTIONS PRINCIPALES

- **FP1** : contenir l'intelligence du robot. On utilise un microcontrôleur⁶ STM32-H107^{[7],6} pour remplir cette fonction. Celui-ci contiendra le programme qui sera lancé dès que la carte sera allumée, lorsqu'elle sera reliée à une tension de 5V ;
- **FP2** : adapter le courant. On utilise le buffer de ligne M74HCT244^[17] pour augmenter l'intensité du courant des signaux envoyés au moteur. En effet, l'important nombre de pattes et la limitation d'intensité totale du STM32-H107^{[7],6} nous l'impose ;
- **FP3** : configurer le robot.

A4.1.2. ENTREES

Les entrées de la carte STM sont :

- **5V** : tension continue fournie par la carte alimentation ;
- **Start** : état du circuit que représente la tirette (ouvert ou fermé) ;
- **Couleur** : signal dont la valeur détermine le réglage de la zone de départ (rouge ou bleu) ;
- **CON_CAPT_AVANT/ CON_CAPT_Arrière** : fournissent du 5V aux cartes d'extension avant et arrière et reçoivent les données envoyées par les capteurs de distance et fin-de-course de ces cartes ;
- **CAPT_COUL** : signal envoyé par le capteur couleur actuellement considéré ;
- **RCG_CHA/RCG_CHB/RCD_CHA/RCD_CHB** : les signaux envoyés au STM^{[7],6} par les deux roues codeuses⁶.
- **RX_Dynamixel** : les signaux envoyés au STM32^{[7],6} par les 4 servomoteurs⁶ numériques^[6] ;
- **CON_SPI/I2C** : permettent d'établir une connexion avec d'autres microcontrôleurs.

A4.1.3. SORTIES

Les sorties de la carte STM sont :

- **CON_SERVO** : les signaux PWM⁶ envoyés par le STM^{[7],6} aux 4 servomoteurs⁶ analogiques ;
- **CON_MOT** : les signaux PWM⁶ pour les trois moteurs (gauche, droit, ascenseur) et les signaux numériques régissant le sens de rotation de chaque moteur ;
- **TX_Dynamixel** : les signaux de commande envoyés par le STM32^{[7],6} aux servomoteurs⁶ numériques^[6] ;
- **DIR_PORT_DMA** : le sens de la communication entre les servomoteurs⁶ et le STM32^{[7],6} (réception ou émission) ;
- **CAPT_COUL_SEL/COUL_SELECT** : les signaux numériques déterminant les filtres appliqués par les capteurs couleur ainsi que le capteur couleur que le STM32^{[7],6} écoute actuellement.

A4.2. LA CARTE ALIMENTATION

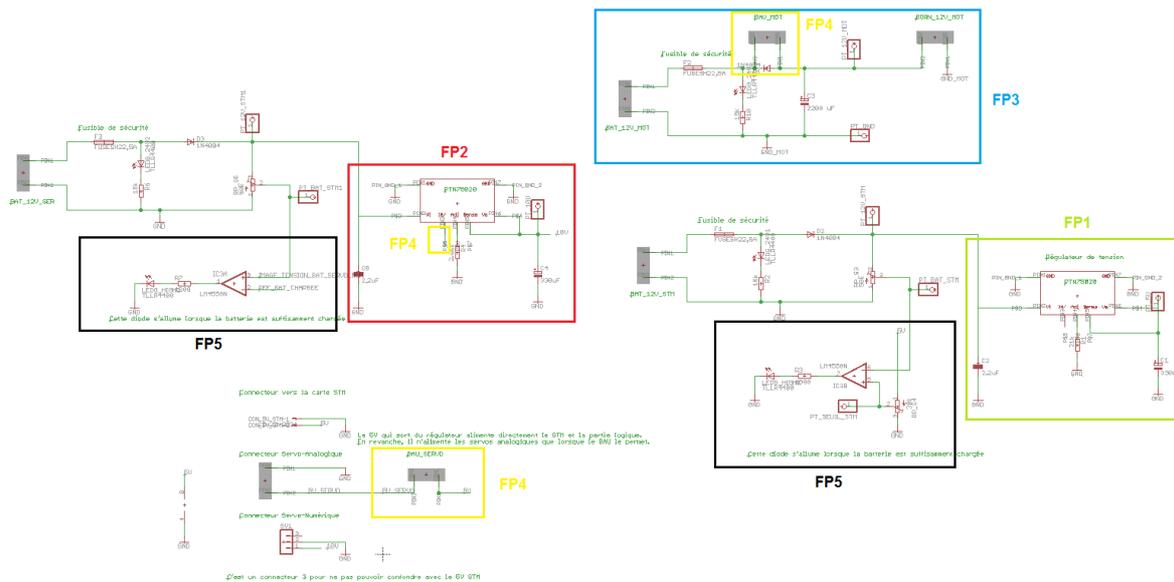


Figure 63 : Schéma électrique de la carte alimentation

A4.2.1. FONCTIONS PRINCIPALES

- **FP1** : réguler la tension pour la partie logique et les servomoteurs⁶ analogiques. On utilise les régulateurs de tension PTN78020^[18] qui nous permettent d'effectuer la conversion de 12V vers 5V avec un rendement de 93%. La valeur des résistances reliées à ce composant définissent la valeur de la tension régulée ;
- **FP2** : réguler la tension pour les servomoteurs⁶ numériques^[6]. On utilise le même composant que pour la fonction précédente en changeant les valeurs des résistances pour obtenir une tension régulée de 10V ;
- **FP3** : alimenter et protéger la partie puissance. Le 12V de la batterie alimentant les moteurs arrive en entrée sur la carte et doit d'abord passer par une voie du bouton d'arrêt d'urgence et un fusible avant d'atteindre la carte moteur. Cette précaution permet d'assurer la protection des moteurs quand à une possible montée d'intensité si le moteur force par exemple ;
- **FP4** : assurer l'arrêt du robot. Le bouton d'arrêt d'urgence doit pouvoir couper tous les composants du robot sauf le microcontrôleur. Nous ne disposons que deux voies pour couper l'alimentation sur cette carte. Ces deux voies se comportent comme deux interrupteurs possédant le même état. Nous avons donc utilisé deux de ces voies pour couper l'alimentation des servomoteurs⁶ analogiques et celle des moteurs. Il nous fallait également couper l'alimentation des servomoteurs⁶ numériques^[6]. Pour cela, on utilise une patte du régulateur de tension fournissant le 10V des servomoteurs⁶ numériques^[6], la patte Inhibit qui lorsqu'elle est utilisée permet de couper le régulateur dès que le potentiel de cette patte est de 0 V et de le laisser fonctionner sinon. Nous avons donc relié cette carte au connecteur fournissant le 5 V aux servomoteurs⁶ analogiques afin de couper l'alimentation 10V dès que le bouton d'arrêt d'urgence coupait la voie 5V_Servo ;

- **FP5** : informer sur la charge des batteries. Nous utilisons un montage comparateur pour décider ou non d'allumer la diode indiquant une batterie déchargée.

A4.2.2. ENTREES

- **BAT_12V** : les connecteurs reliés aux batteries fournissant chacune une tension continue de 12V (pour alimenter le STM^{[7],6}, les servomoteurs⁶ et les moteurs) ;
- **GND** : la masse, le 0V de référence de la carte.

A4.2.3. SORTIES

- **CON_STM** : le connecteur fournissant le 5V régulé par la carte alimentation à la carte STM. Celui-ci alimente le STM32-H107^[7] ainsi que la partie logique des autres cartes ;
- **Connecteur Servo-Analogique** : permet de fournir la tension de 5V alimentant les servomoteurs⁶ analogiques ;
- **Connecteur Servo-Numérique** : permet de fournir la tension continue de 10V nécessaire pour alimenter les servomoteurs⁶ AX-12^[6].

A4.3. LA CARTE MOTEUR

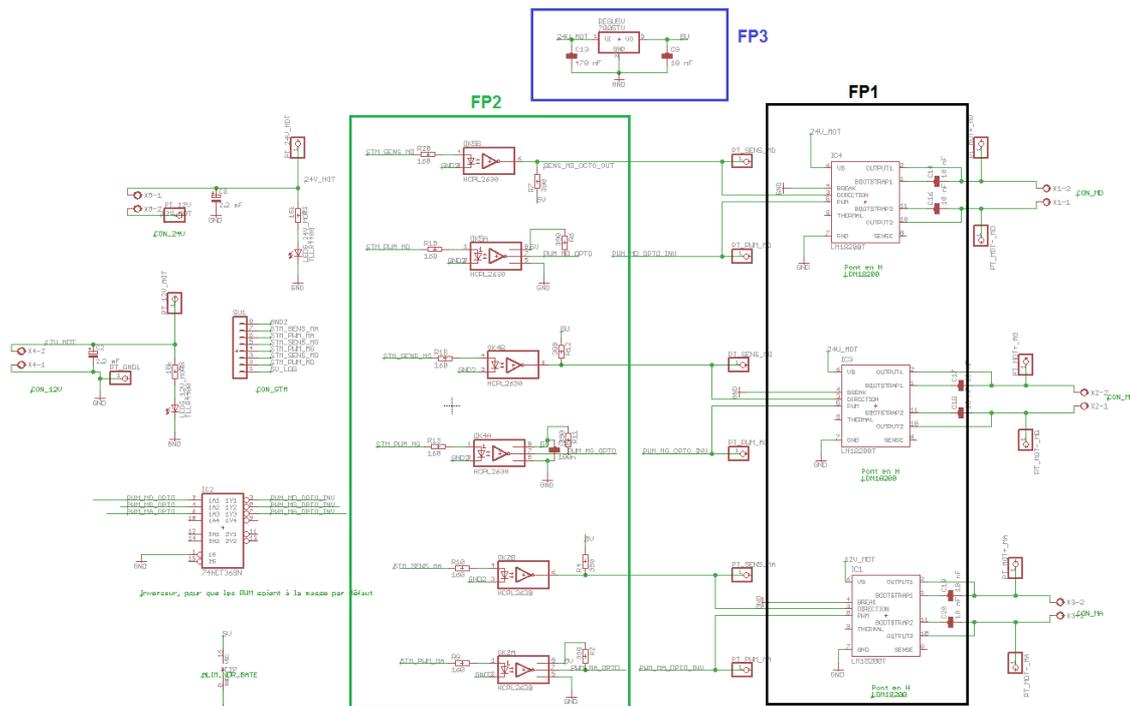


Figure 64 : Schéma électrique de la carte moteur

A4.3.1. FONCTIONS PRINCIPALES

- **FP1** : contrôler les moteurs. Nous utilisons les ponts en H LMD18200^[8] pour contrôler la vitesse de rotation et le sens de rotation des moteurs ;
- **FP2** : isoler les parties logiques et puissance. Nous utilisons les optocoupleurs⁶ HCPL2630^[19] pour isoler les parties logiques et puissance. Ils ont l'avantage de pouvoir fonctionner à des fréquences élevées de l'ordre de la centaine de kHz ;
- **FP3** : réguler la tension pour la partie logique de la carte. Nous utilisons le régulateur de tension pour obtenir une tension de 5V permettant l'alimentation des optocoupleurs⁶ et des ponts en H⁶.

A4.3.2. ENTREES

- **12V_MOT** : la tension d'alimentation de 12V alimentant le moteur de l'ascenseur ;
- **24V_MOT** : la tension d'alimentation de 24V alimentant les moteurs des roues du robot ;
- **5V** : tension régulée de 5 V permettant d'alimenter les composants logiques de la carte ;
- **GND** : la masse partagée par les cartes alimentation et les composants de puissance (moteurs, ponts en H⁶) ;
- **GND2** : la masse importée par la carte STM, soit la masse des parties logiques du robot ;
- **STM_PWM** : les signaux PWM⁶ envoyés par la carte STM aux moteurs pour contrôler leur vitesse de rotation ;
- **STM_SENS** : les signaux numériques donnant les sens de rotation des moteurs.

A4.3.3. SORTIES

- **CON_MD/CON_MG/CON_MA** : PWM⁶ activant les moteurs à la vitesse et dans le sens choisis par le STM32^{[7],6}.

A4.4. LA CARTE AVANT

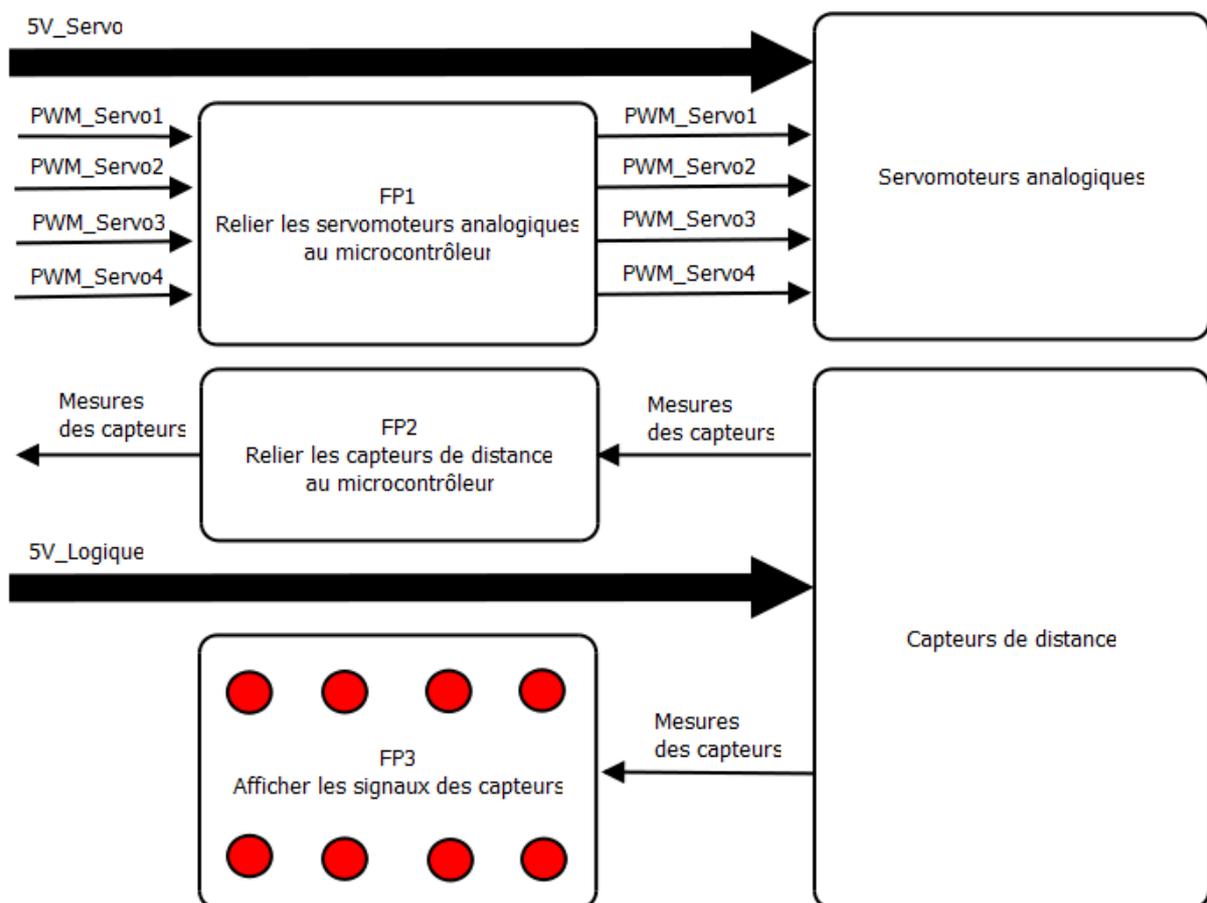


Figure 65 : Fonctions principales FP de la carte avant

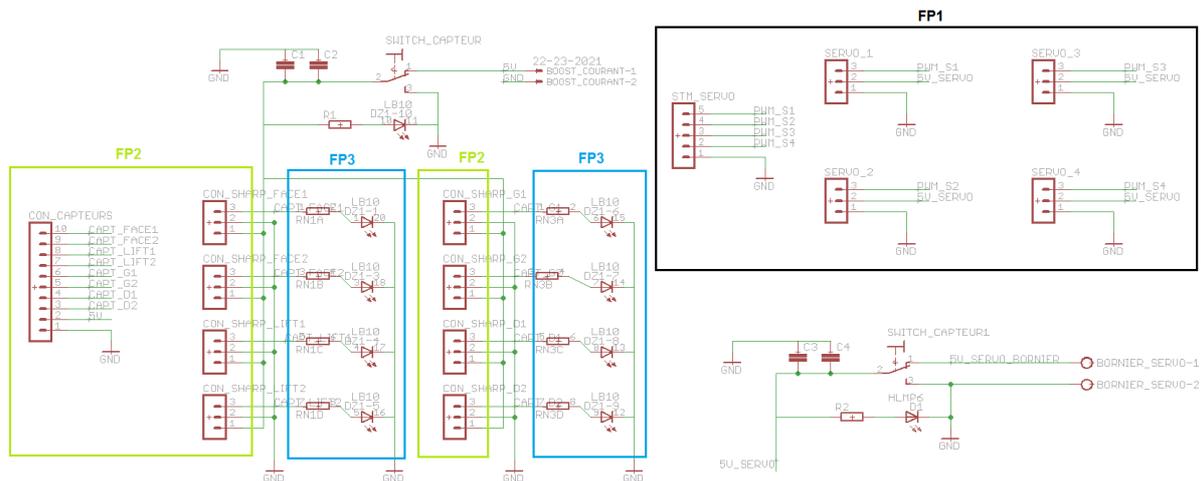


Figure 66 : Schéma électrique de la carte avant

A4.4.1. FONCTIONS PRINCIPALES

- **FP1** : relier les servomoteurs⁶ analogiques au microcontrôleur⁶. Ceux-ci servent à actionner la porte de l'ascenseur des verres ;
- **FP2** : relier les capteurs de distance au microcontrôleur. Ce sont les capteurs infrarouges SHARPs^[10] et le capteur ultrason^[11]. Ils nous permettent de repérer les robots adverses pour pouvoir les éviter ;
- **FP3** : afficher les signaux des capteurs. Pour simplifier l'utilisation des capteurs de distance, on affiche leurs valeurs de retour au moyen de LED, ce qui nous permet de vérifier leur bon fonctionnement.

A4.4.2. ENTREES

- **5V** : la tension continue de 5V envoyée depuis la carte STM pour alimenter les capteurs SHARPs^[10] de cette carte.
- **5V_Servo** : la tension continue de 5V envoyée par la carte alimentation pour alimenter les servomoteurs⁶ analogiques. Elle diffère du 5V envoyé par la carte STM dans le but de séparer les parties puissance et logique ;
- **STM_Servo** : les PWM⁶ envoyés par le STM^{[7].6} pour activer les servomoteurs⁶ analogiques.

A4.4.3. SORTIES

- **CON_CAPTEURS** : les signaux envoyés par les différents capteurs SHARPs^[10] au microcontrôleur, lui permettant de voir ce qu'ils détectent.
- **CON_SHARP** : à la fois les signaux envoyés par les capteurs infrarouges et l'alimentation en 5V de ceux-ci.
- **SERVO** : les connecteurs reliés aux quatre servomoteurs⁶ analogiques que commande cette carte. Ils relayent les PWM⁶ envoyés par la carte STM à ces servomoteurs⁶ ainsi que leur alimentation de 5V provenant de la carte alimentation.

A4.5. LA CARTE ARRIERE

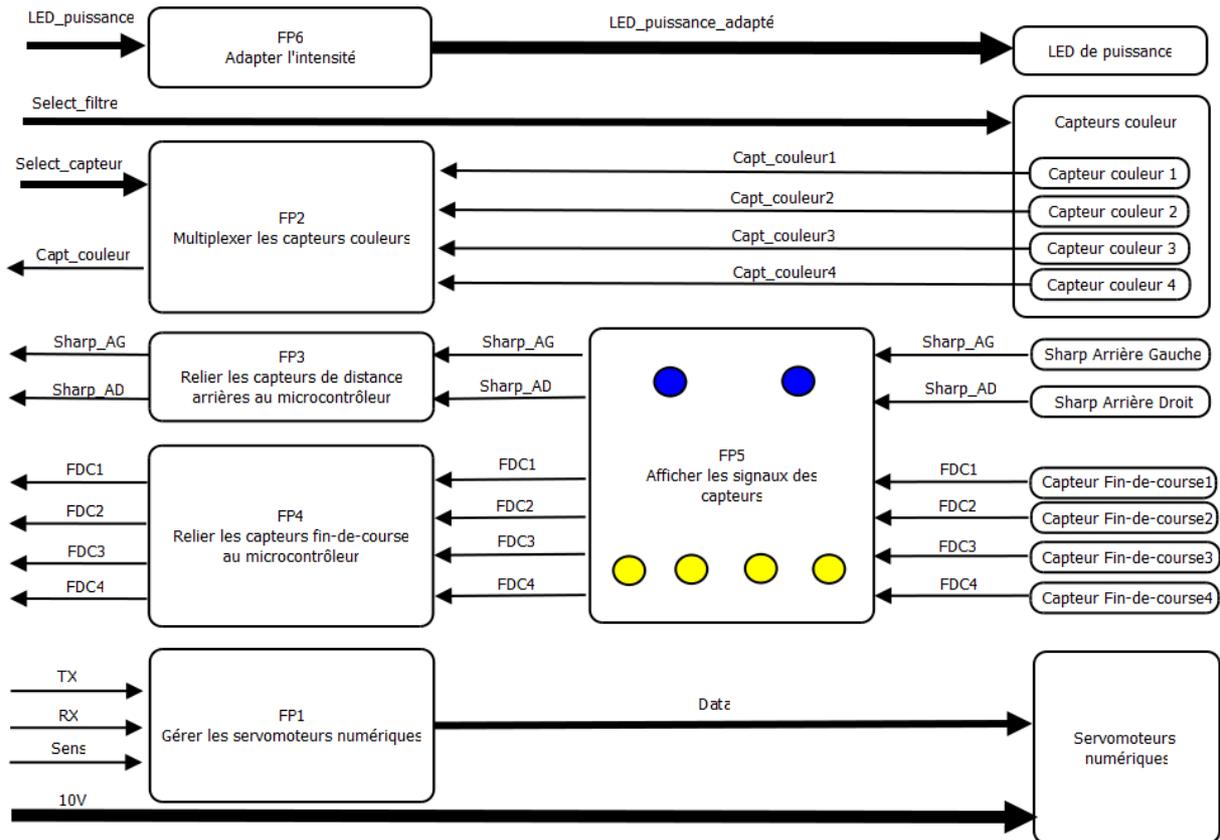


Figure 67 : Fonctions principales FP de la carte arrière

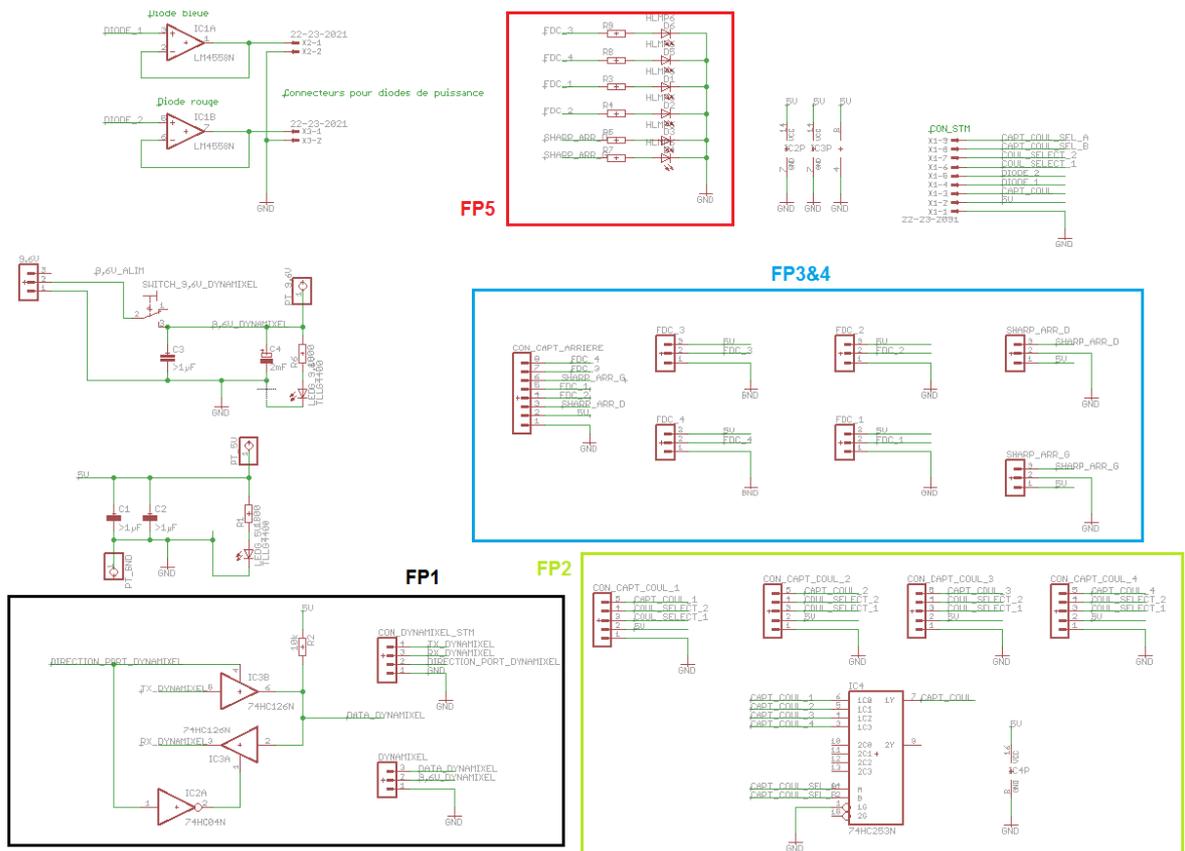


Figure 68 : Schéma électrique de la carte arrière

A4.5.1. FONCTIONS PRINCIPALES

- **FP1** : gérer les servomoteurs⁶ numériques. Nous utilisons un composant, le 74HC126N^[20] qui nous permet de traduire les informations échangées entre les servomoteurs⁶ numériques AX-12^[6] au niveau du STM^[7] (pattes RX et TX) en une seule que peuvent interpréter les servomoteurs⁶ numériques. Ce type de liaison peut permettre de relier jusqu'à 255 servomoteurs⁶ au STM32^[7] ;
- **FP2** : multiplexer les capteurs couleur. Nous utilisons le multiplexeur 74HC253N^[21] pour multiplexer les informations envoyées par les capteurs couleurs^[12] sur un seul canal au STM^[7] ;
- **FP6** : adapter l'intensité. Nous utilisons un montage suiveur à l'aide des amplificateurs opérationnels contenus dans le LM4558N^[22] pour relever le niveau de l'intensité des signaux envoyés aux diodes de puissance qu'alimente la carte.

A4.5.2. ENTREES

- **5V** : la tension de 5V envoyée par la care STM pour alimenter les SHARPs^[10] et les composants logiques de la carte ;
- **9.6V** : la tension d'alimentation des servomoteurs⁶ numériques AX-12^[6] ;
- **CAPT_COUL_SELECT** : signaux numériques indiquant au multiplexeur quel capteur SHARP^[10] il souhaite lire ;
- **COUL_SELECT** : signaux numériques envoyés par le STM^[7] pour choisir le filtre appliqué sur les capteurs couleurs^[12] (bleu, rouge, vert ou aucun) ;
- **DIODE** : permet d'activer les diodes de puissance rouges ou bleues qui aide à la détection des couleurs par les capteurs ;
- **TX** : transmission de la carte STM vers les servomoteurs⁶ numériques ;
- **DIRECTION_PORT_DYNAMIXEL** : la direction actuelle des communications entre la carte STM et les servomoteurs⁶ numériques (émission ou réception).

A4.5.3. SORTIES

- **DATA_DYNAMIXEL** : le signal circulant vers les servomoteurs⁶ numériques AX-12^[6] leur permettant de savoir quel mouvement réaliser ;
- **FDC/CAPT_COUL/SHARP_ARR** : les signaux détectés par les capteurs fin-de-course, couleurs^[11] et SHARP^[10] envoyés au STM32-H107^[7].

A4.6. LA CARTE RELAIS

Le bouton d'arrêt d'urgence (BAU) doit arrêter tous les actionneurs, et la contrainte est forte : il faut qu'ils cessent d'être alimentés. Notre BAU comporte deux voies. L'une est utilisée pour la partie "logique", il n'y en a donc qu'une pour arrêter les deux batteries de la partie puissance. Or, ces batteries ne sont pas simplement en série : le moteur de l'ascenseur est alimenté en 12V, par une batterie. La batterie 12V est simplement arrêtée par le BAU. La batterie "24V" n'est autre qu'une seconde batterie 12V branchée en série avec la première batterie 12V pour alimenter les moteurs de propulsion en 24V. Celle-ci est commandée par un relai. Ainsi, lorsque la batterie 12V alimente le relai, elle fournit bien du 24V à la carte moteur. Et lorsque la batterie 12V est coupée par le BAU, le relai s'arrête, et le 24V est coupé : la carte moteur n'est plus alimentée et le robot s'arrête.

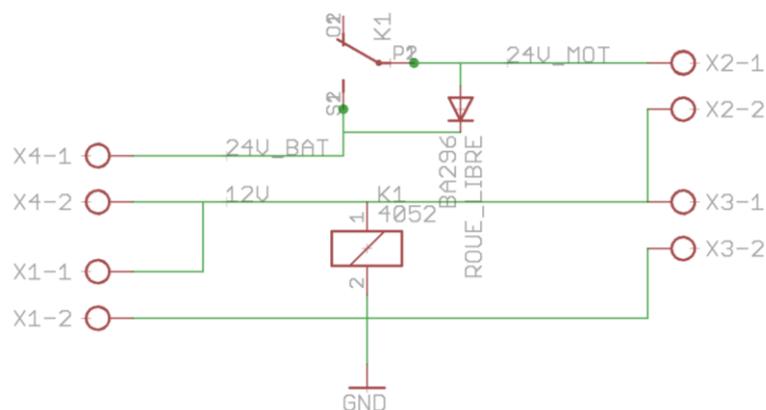


Figure 69 : Schéma électrique de la carte relais

ANNEXE 5 - CARTES ÉLECTRONIQUES DU ROBOT SECONDAIRE

A5.1. POSITIONNEMENT DES ELEMENTS SUR LE ROBOT

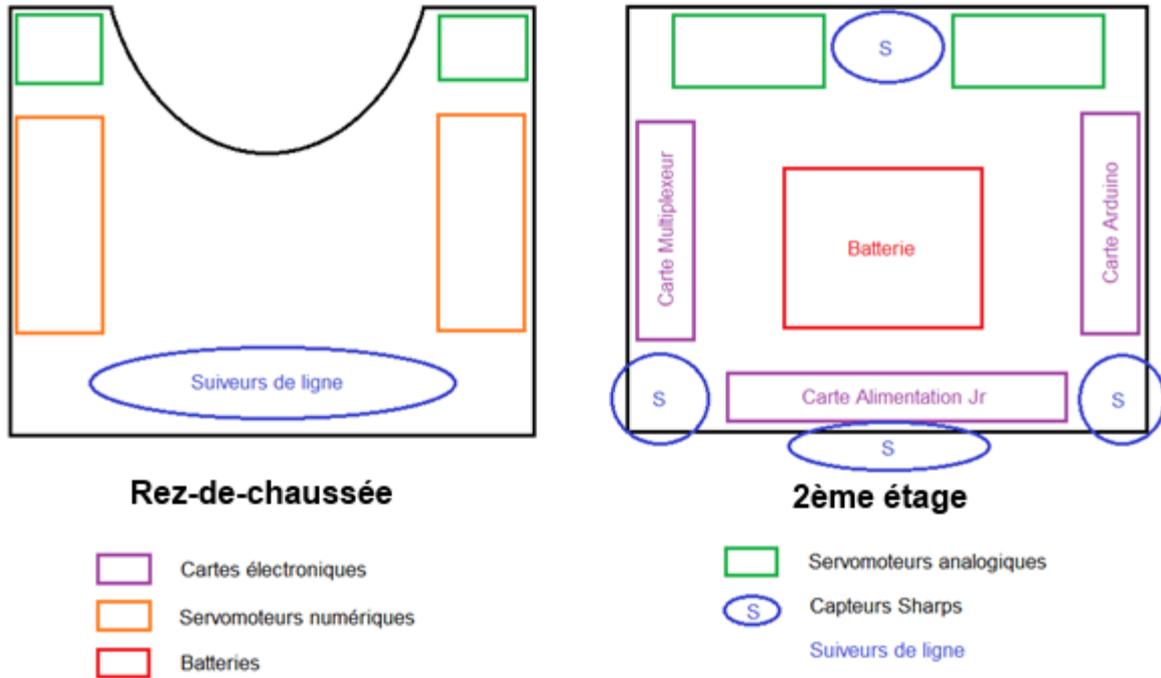


Figure 70 : Positionnement des éléments électroniques sur le robot

A5.2. LA CARTE ARDUINO

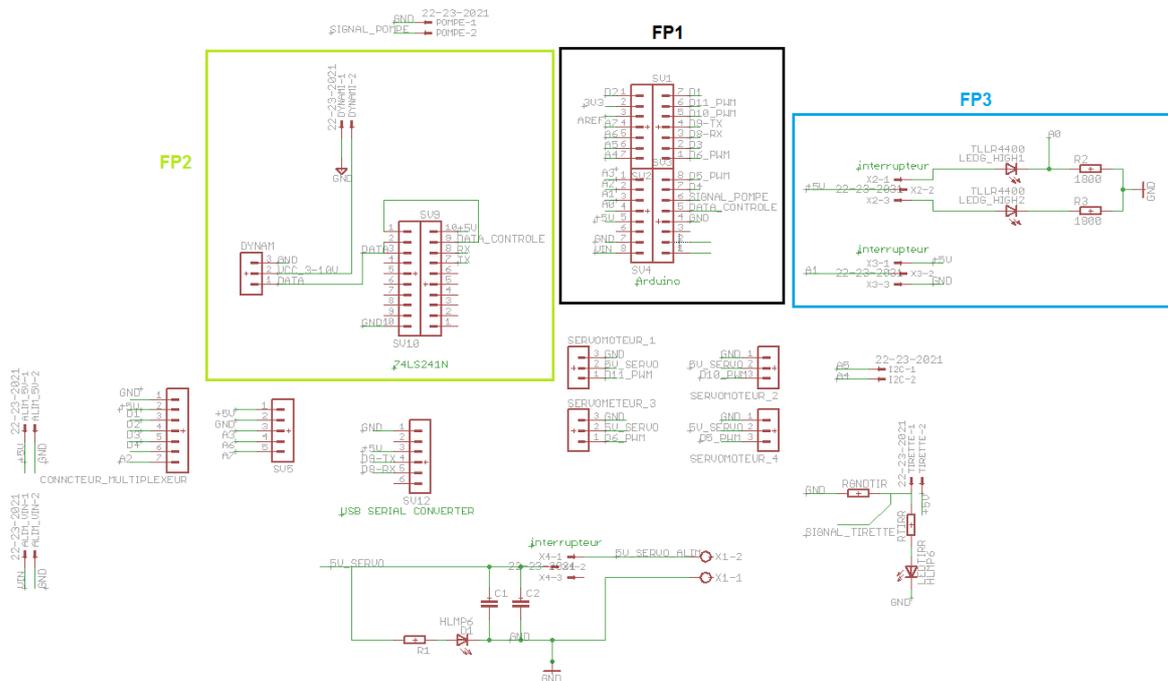


Figure 71 : Schéma électrique de la carte Arduino

A5.2.1. ENTREES

- **5V** : la tension d'alimentation de l'Arduino⁶ Nano^[14] et des composants logiques de la carte ;
- **5V_SERVO_ALIM** : la tension d'alimentation de 5V pour les servomoteurs⁶ analogiques ;
- **GND** : la masse du robot, le 0V de référence ;
- **A2** : le pin de l'Arduino⁶ Nano^[14] qui lit la valeur des capteurs « SHARPs^[10] », fin-de-course et suiveurs de ligne ;
- **SIGNAL_TIRETTE** : le signal de 5V envoyé par la tirette lorsqu'elle est retirée et qui permet de démarrer le robot ;
- **A0** : la couleur de la zone de départ sélectionnée à l'aide d'un interrupteur ;
- **A1** : le signal indiquant à l'Arduino⁶ de charger le programme d'auto-calibration du robot ;
- **I2C** : permettent d'établir une connexion avec d'autres microcontrôleurs.

A5.2.2. SORTIES

- **DATA** : les données échangées entre les servomoteurs⁶ numériques et l'Arduino⁶ ;
- **D1/D2/D3/D4** : signaux permettant de sélectionner le capteur à lire sur la carte multiplexeur ;
- **SERVOMOTEUR** : les PWM⁶ envoyés aux servomoteurs⁶ analogiques par l'Arduino⁶ Nano^[14] ;
- **SIGNAL_POMPE** : le signal d'activation de la pompe à vide qui nous permet de gonfler le ballon en fin de match.

A5.3. LA CARTE ALIMENTATION

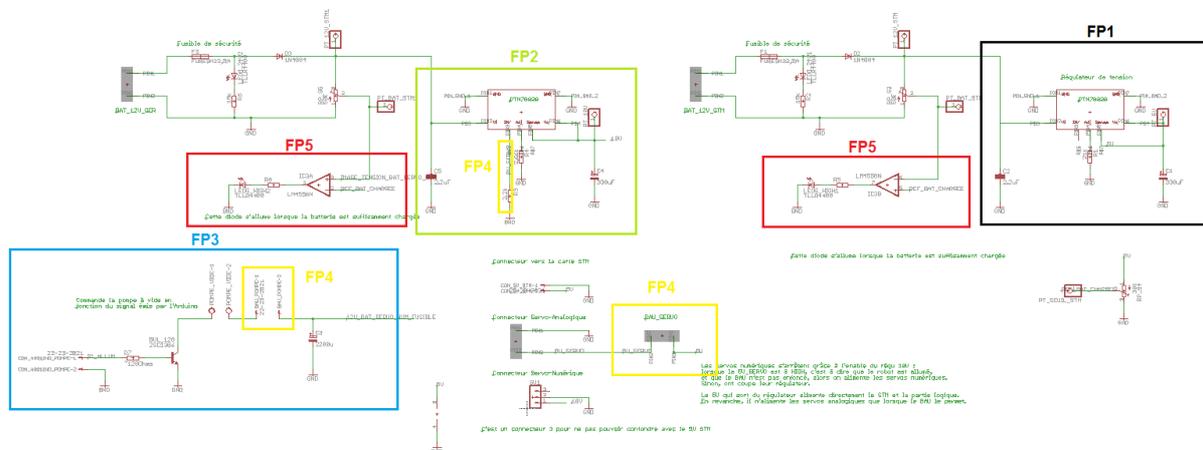


Figure 72 : Schéma électrique de la carte alimentation du robot secondaire

A5.3.1. FONCTIONS PRINCIPALES

- **FP1 et FP2** : réguler la tension. On utilise les régulateurs PTN78020^[18] pour réguler la tension qui provient des batteries. Selon les valeurs des résistances reliées aux régulateurs, on peut réguler la tension soit à 5V, soit à 10V ;
- **FP3** : gérer la pompe à vide. On utilise un transistor bipolaire, le BUL128^[23], pour commander l'alimentation de la pompe à vide ;
- **FP4** : assurer l'arrêt du robot. Le bouton d'arrêt d'urgence permet de couper directement les alimentations de la pompe à vide et du 5V des servomoteurs⁶ analogiques. On utilise la patte Inhibit du régulateur de tension fournissant le 10V pour pouvoir l'arrêter lorsque la voie d'alimentation des servomoteurs⁶ analogiques est coupée.

A5.3.2. ENTREES

- **SI_ALLUM** : le signal numérique provenant de la carte Arduino et commandant l'activation de la pompe à vide ;
- **BAT_12V** : les tensions continues de 12V fournies par les batteries. Au départ, il était prévu d'avoir deux batteries différentes. Finalement, nous n'avons eu la place que pour une seule batterie.

A5.3.3. SORTIES

- **5V_SERVO** : la tension d'alimentation des servomoteurs⁶ analogiques ;
- **5V** : la tension d'alimentation des composants logiques du robot secondaire (y compris l'Arduino⁶ Nano^[14]) ;
- **10V** : la tension d'alimentation des servomoteurs⁶ numériques^[6] ;
- **POMPE_VIDE** : la tension fournie à la pompe à vide, 0V lorsqu'elle est désactivée et 12V lorsqu'elle est en fonctionnement.

ANNEXE 6 - CAPTEURS UTILISÉS SUR LES ROBOTS

A6.1. CAPTEUR DE PROXIMITÉ



Figure 73 : Capteur SHARP

Pour détecter les robots adverses, nous utilisons les capteurs SHARP^[9]. Ils servent à avertir lorsqu'un obstacle se trouve en face. Dès lors, le STM32^[7] peut décider l'arrêt du robot pour éviter ce qui semble être un autre robot. Pour cela, ils envoient de la lumière infrarouge, et captent ce qui est réfléchi. S'il y a un obstacle en face, l'intensité reçue est élevée. Ils renvoient une tension proportionnelle à cette intensité. La tension est alors convertie en signal numérique par le STM32^[7]. Celui-ci fixe un seuil au-delà duquel il considère qu'il y a un obstacle.

A6.2. CAPTEUR DE DISTANCE

Nous pouvons également détecter les robots adverses à plus grande distance, en complément des capteurs de proximité ou pour savoir ce que fait l'équipe adverse et ainsi adapter la stratégie. Pour cela, nous utilisons des capteurs ultrason MS-EZ3^[11]. Ceux-ci peuvent s'utiliser de la même manière que les capteurs SHARPs^[9], et c'est ce que nous faisons car c'est le plus simple et efficace sur notre microcontrôleur.



Figure 74 : Capteur ultrason

A6.3. CAPTEUR FIN-DE-COURSE



Figure 75 : Capteur Fin-de-Course

Ces capteurs permettent de capter la butée d'un actionneur. Nous les utilisons pour réajuster la position du robot sur la table. Deux capteurs sont situés à l'arrière du robot et détectent sa butée contre les bords de la table. Nous savons alors précisément où se situe le robot : collé à la table. Nous utilisons également deux capteurs fin-de-course dans l'ascenseur à verres, pour détecter la butée de l'ascenseur en haut et en bas.

A6.4. CAPTEUR DE LIGNE

Krabi Junior ne possède pas de roues codeuses, mais peut se repérer sur les lignes noirs tracées au sol. A cet effet, il possède six capteurs de ligne. Ils fonctionnent de la même manière que les capteurs SHARPs^[9], à ceci près que la zone de focalisation est bien plus proche (moins de 5mm), et donc l'intensité reçue est plus proportionnelle à la nature du matériau et surtout de sa couleur. Nous utilisons des CNY70^[13].



Figure 76 : Capteur de ligne CNY70

A6.5. CAPTEUR DE COULEUR

Sur le gâteau, la plupart des bougies sont disposées de façon aléatoire. Pour différencier ses bougies des bougies adverses, Krabi dispose de quatre capteurs de couleur, un sur chaque bras. Il s'agit des capteurs de couleur TCS3200^[11].

Ces capteurs sont constitués d'un réseau de photorécepteurs. On sélectionne la couleur à capter (rouge, vert, bleu, luminosité globale), puis le capteur envoie un signal proportionnel à l'intensité reçue.

Quatre entrées permettent de les configurer : la couleur sur deux bits, et la sensibilité sur deux bits. La couleur correspond à la couleur du filtre placé devant les photorécepteurs lus. Ainsi, lorsqu'on sélectionne la couleur rouge, le signal envoyé correspond à la moyenne reçue par les quatre photorécepteurs devant lesquels sont placés des filtres rouges.



Figure 77 : Capteur de couleur

Le signal émis par les photorécepteurs est un signal créneau, de rapport cyclique 50% et dont la fréquence est proportionnelle à l'intensité reçue. Pour être décodée par le STM32^[7], ce créneau est utilisé comme horloge d'un des *timers*⁶. Celui-ci est lu régulièrement puis remis à zéro. Ainsi le STM32^[7] peut lire le capteur en continu, de façon matérielle donc sans mobiliser de ressource processeur.

A la sensibilité maximale, le capteur envoie un créneau à 800KHz maximum. Le *timer*⁶ fait 16 bits, et est lu puis réinitialisé toutes les 5ms, à chaque tour de boucle d'asservissement. On peut donc utiliser les capteurs à fréquence maximale sans soucis avec ces paramètres.

Pour détecter la couleur, il est très important de calibrer les capteurs en conditions réelles, sur la table de match. En effet les paramètres de luminosité varient fortement et ont une influence considérable sur les valeurs retournées par le capteur.

ANNEXE 7 - LES DIFFÉRENTES AMÉLIORATIONS À APPORTER EN ÉLECTRONIQUE

A7.1. RESULTATS ET AMELIORATIONS

L'électronique a cette année été un succès : nous avons étendu les possibilités de l'architecture de l'année passée, tout en gardant sa fiabilité. Cette année, aucun composant n'a été grillé. De plus, nous avons résolu certains problèmes qui subsistaient, comme la limitation en fréquence des PWM^[6] pour les moteurs.

Néanmoins, notre électronique n'est pas exempte de défauts, ni surtout d'améliorations possibles. Les informaticiens du projet ont émis plusieurs souhaits. Voici donc quelques perspectives d'améliorations possibles pour les années futures.

A7.2. BATTERIES LITHIUM

Tout d'abord, un constat est que les batteries restent volumineuses. Il semble possible de basculer sur les batteries au lithium, comme l'ont fait de nombreuses équipes. Ces batteries sont en effet plus petites et légères à capacité équivalentes. Plusieurs mises en garde s'imposent toutefois. Tout d'abord, de telles batteries sont plus onéreuses que les batteries au plomb. A cela, il faut ajouter le coût du chargeur. De plus, la réglementation est très stricte : les batteries doivent être placées dans un sac ignifugé en permanence lors de la coupe.

A7.3. SYSTEME MONO-BATTERIE

Il est possible de conserver la séparation totale entre la logique et la puissance, tout en n'utilisant qu'une seule batterie (ou jeu de batterie pour obtenir 24V). En effet, des régulateurs⁶ de tensions qui isolent la sortie de l'entrée existent. C'est notamment le cas de régulateurs⁶ de marque TracoPower 7¹², qui nous ont été recommandés pour leur fiabilité. Ainsi, quand bien même la ou les batteries sont perturbées, le régulateur fait en sorte que la sortie soit constante. Ceci ne constitue pas nécessairement une amélioration, mais pourrait réduire le coût d'un changement pour les batteries au lithium.

A7.4. EXTENSEUR D'ENTREES ANALOGIQUES

Le souci majeur de la carte STM est le nombre de connexions à faire. Pour le diminuer, des solutions existent. C'est tout d'abord l'utilisation d'extenseurs de pattes. Ainsi, nous possédons des circuits offrant des entrées analogiques, accessibles via un protocole I²C⁶ ou SPI⁶. On peut alors placer le circuit d'extension sur les cartes avant et/ou arrière, et les relier aux capteurs. Le nombre de connexions entre les cartes d'extension et la carte STM est alors grandement réduit.

A7.5. INTERFACE DE DEBOGAGE PAR LIAISON SERIE

Le premier souhait du pôle informatique est de disposer d'une interface de débogage par liaison série. Cela peut être implémenté facilement en reliant la carte STM à un adaptateur série-USB comme l'Arduino USB Serial Light Adapter^{1[25]}, dont le FabLab de l'École possède deux exemplaires.

A7.6. INTENSITE DES MOTEURS

Une autre demande du pôle informatique est la possibilité de connaître en permanence l'intensité consommée par les moteurs. C'est très utile, car cela permet de détecter les chocs et autres butées contre des obstacles. Cela avait été tenté l'année passée, sans succès. En effet, c'était assez complexe sur le pont en H⁶ alors utilisé, le L6203^[24]. Mais sur les ponts en H⁶ actuels, des LMD18200^[8], cela est bien plus aisé : il suffit d'une résistance. Toutefois, il ne faut pas oublier d'utiliser un optocoupleur⁶ pour envoyer l'information au microcontrôleur sans briser la séparation logique/puissance. Et bien entendu, il faut disposer d'un nombre suffisant d'entrées analogiques.

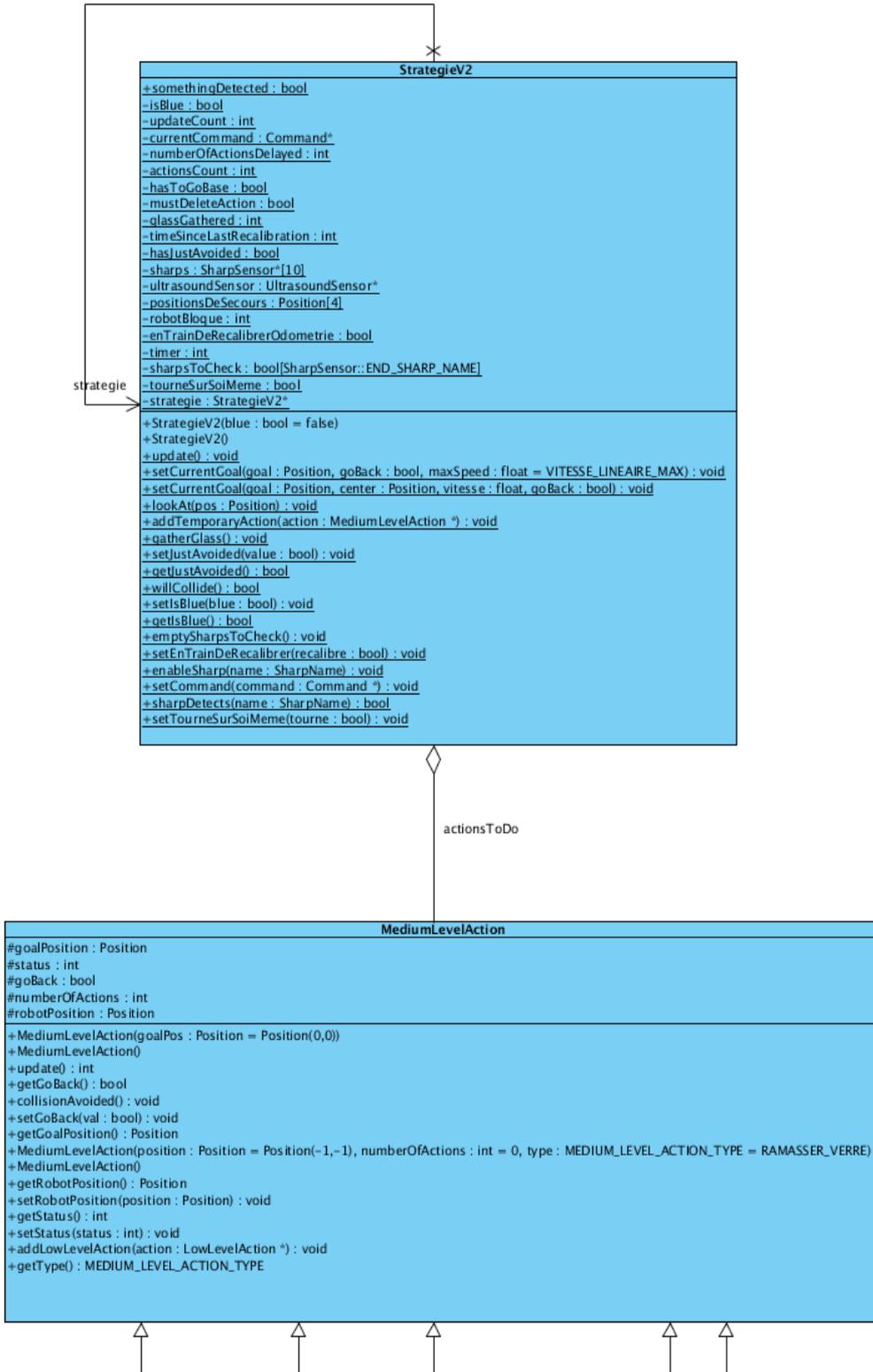
A7.7. LES CONNECTEURS

Pour améliorer le câblage, il est également recommandé de diversifier l'utilisation des connecteurs et de changer de borniers. En effet, nous n'avons utilisé qu'un seul type de connecteurs, alors que des nappes auraient parfois été préférables pour gagner en clarté et en place. Quant aux borniers, les actuels sont parfois peu pratiques, notamment lorsqu'il est difficile d'utiliser un tournevis pour les retirer. Des borniers amovibles existent, cela peut être un gain de facilité non-négligeable. En tous cas, il faut absolument conserver des détrompeurs sur les connecteurs pour ne pas qu'une erreur de branchement occasionne des dégâts.

A7.8. INDICATEUR DE CHARGE DES BATTERIES

Lors des tests, il arrive très souvent que le robot ne se comporte pas comme prévu tout simplement parce que ses batteries sont déchargées. Il est donc important de disposer d'un moyen de contrôler en permanence la charge des batteries. Le système actuel, des LEDs qui s'allument en fonction de la charge, n'est pas satisfaisant car il n'est pas assez précis. Une solution bien plus précise consisterait à placer un écran-voltmètre^{13,14} indiquant la charge. Des modèles existent pour les batteries au plomb et au lithium.

ANNEXE 8 - DIAGRAMME UML DE LA CLASSE STRATÉGIE



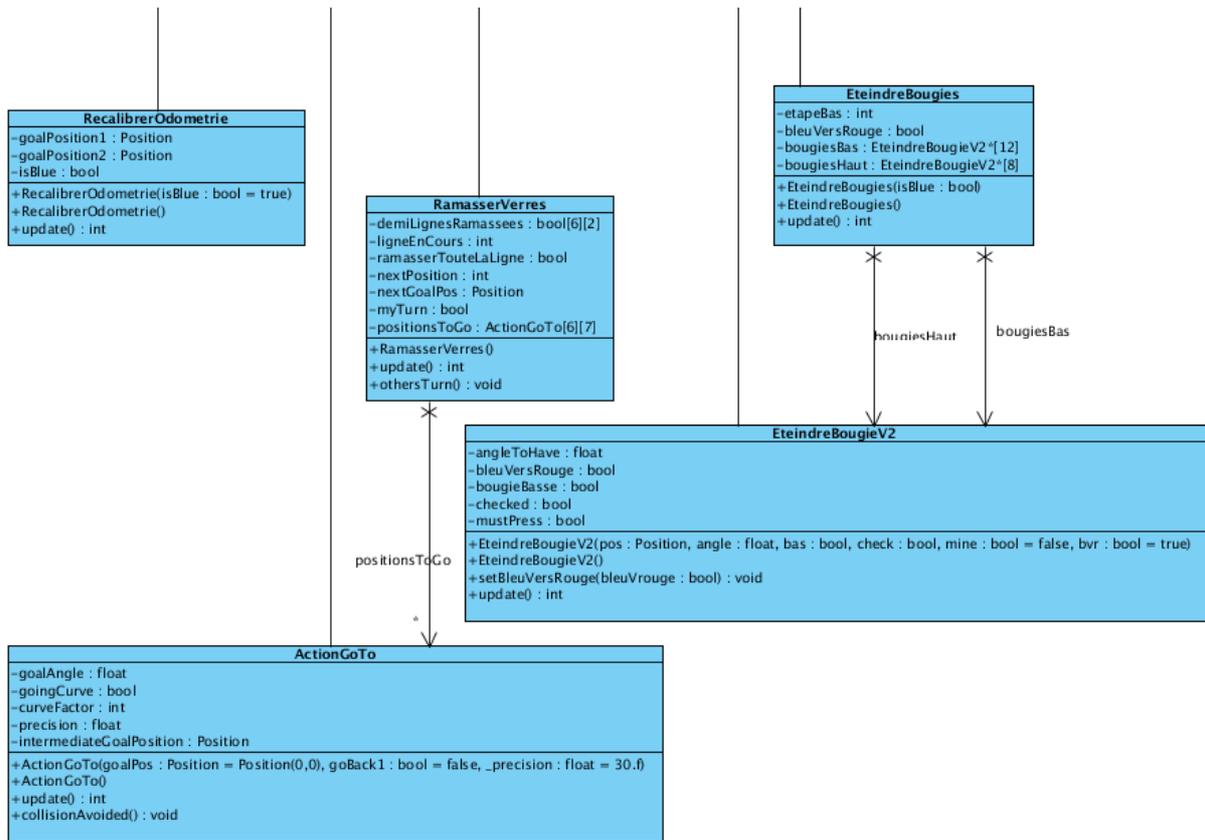


Figure 78 : Diagramme UML de la classe Stratégie du robot principal

ANNEXE 9 - ASSERVISSEMENT DU ROBOT PRINCIPAL

L'asservissement permet au robot de corriger sa trajectoire en fonction de l'ordre reçu. En effet, le déplacement du robot est commandé en vitesses linéaire et angulaire, néanmoins du fait des contraintes physiques (inertie, frottement, déséquilibre du robot) et électroniques (temps de réponse des moteurs, asymétrie des réponses des moteurs), la trajectoire réelle du robot correspond rarement à celle demandée.

L'asservissement que nous avons utilisé est le même que celui des années précédentes, à savoir un asservissement en vitesses linéaire et angulaire. Pour corriger celles-ci, nous utilisons un filtre PID (Proportionnel, Intégral, Dérivé) sur l'erreur entre la vitesse mesurée et la consigne. Il s'agit d'un filtre assez classique qui reboucle la sortie (valeur mesurée) sur l'entrée (valeur demandée) afin de calculer l'erreur. Le schéma ci-dessous représente le filtre utilisé :

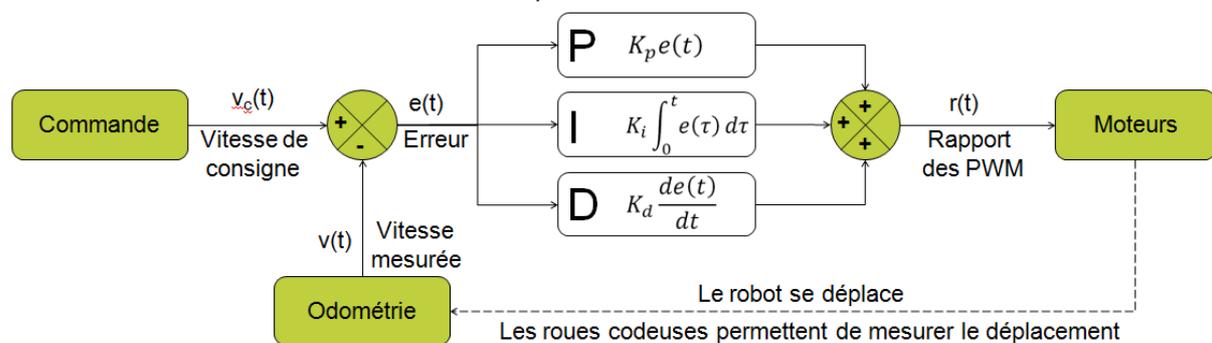


Figure 79 : Principe du filtre PID

Le réglage de l'asservissement correspond donc à déterminer les 3 coefficients K_p , K_i et K_d de façon à avoir le système le plus rapide (temps de montée faible), stable (peu d'oscillations) et précis (erreur faible) possible :

- K_p correspond au coefficient proportionnel, il augmente la rapidité mais diminue la stabilité ;
- K_i correspond au coefficient intégrateur, il augmente la précision mais diminue la stabilité (il permet de corriger l'erreur en position lorsque le robot est à l'arrêt) ;
- K_d correspond au coefficient dérivateur, il augmente la rapidité et la stabilité mais diminue la précision (il permet de corriger l'erreur en accélération).

Concrètement, l'intégration est calculée comme la somme de toutes les erreurs, et la dérivation est la différence avec l'erreur précédente.

Le réglage de l'asservissement se fait de façon empirique (il n'y a pas de modèle théorique et différents choix sont possibles selon le système voulu, par exemple si on veut un robot qui arrive rapidement à la valeur demandée mais avec un peu d'oscillations sur la vitesse finale ou si la vitesse doit être précisément celle demandée au prix d'un délai un peu plus long). Dans notre cas le réglage s'est fait à la main avec pour objectif d'avoir un robot dont le temps de réponse soit très faible, le tout avec une bonne stabilité.

Pour se faire, le robot commence à l'arrêt et on impose une grande vitesse de consigne (entre 70% et 80% de la vitesse maximale du robot). On règle d'abord le coefficient K_p par essais successifs pour avoir un système stable sans dépasser la vitesse de consigne de 15-20%. Pendant ce temps, K_i et K_d sont mis à 0

Puis on règle le coefficient K_i , de façon à gagner en précision sans trop perdre en stabilité. Ce coefficient n'a pas trop d'influence dans le réglage dynamique. Il a une plus grande influence quand le robot doit être statique (un test à faire pour régler K_i sera de mettre le robot à l'arrêt (vitesse nulle) avec K_p déjà fixé puis de faire varier K_i pour que le robot revienne à sa position de départ et se stabilise le plus vite possible lorsqu'on le pousse légèrement).

Enfin on règle le coefficient K_d , de façon à avoir le système le plus stable possible avec un bon temps de réponse.

Dans les courbes ci-dessous, l'axe des abscisses correspond au numéro de la boucle d'asservissement. Sachant qu'une boucle a lieu toute les 5 ms, 200 boucles correspondent à 1 seconde. L'axe des ordonnées correspond à la vitesse linéaire du robot. Celle-ci est exprimée en mm par boucle c'est-à-dire en mm/5ms.

La première courbe montre l'évolution de la vitesse du robot lorsqu'on lui demande d'aller à la vitesse maximale sans asservissement avec simplement les PWM des moteurs avec un rapport cyclique de 100%. Elle permet de connaître la vitesse maximale du robot.

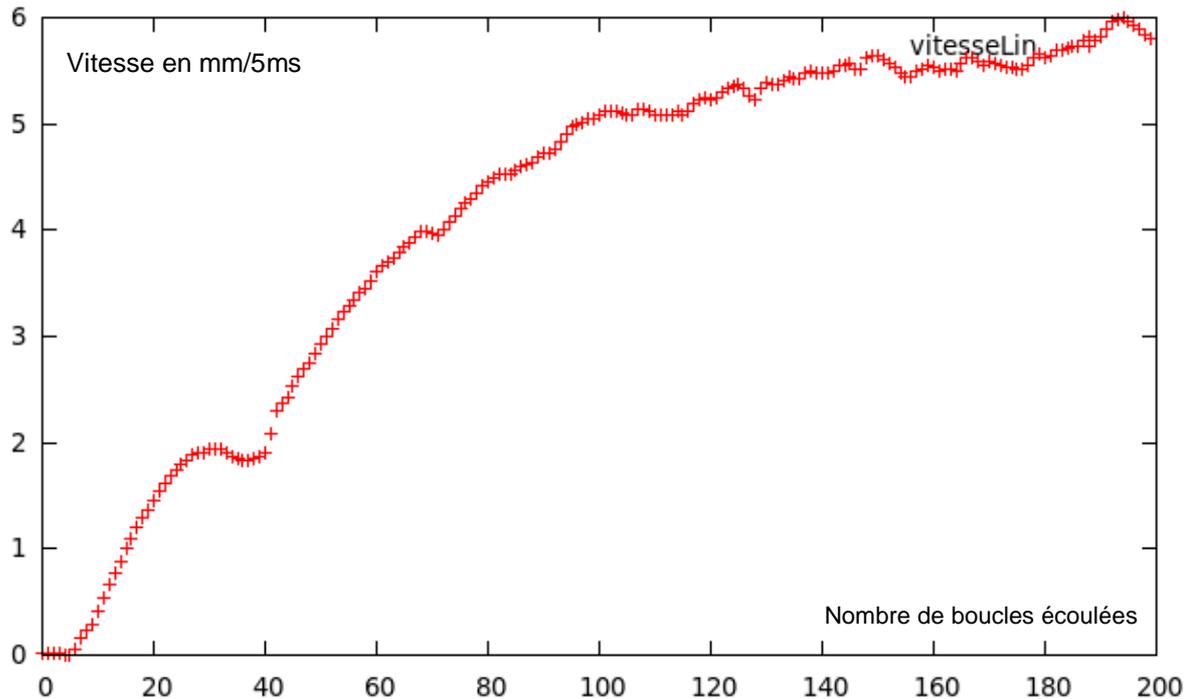


Figure 80 : Évolution de la vitesse du robot avec les moteurs à puissance maximale

Sur cette courbe la vitesse maximale est un peu plus de 5 sur l'échelle (en mm/5ms) ce qui correspond à une vitesse réelle de 1m/s. On peut donc limiter la vitesse maximale du robot à environ 80 cm/s et régler l'asservissement de sorte à tendre vers 4 sur l'échelle. Le fait de régler la vitesse maximale du robot à 80% de ses capacités permet de s'assurer de le robot pourra toujours tourner à vitesse maximale, et cela évite d'avoir à faire tourner les moteurs à leur puissance maximale à chaque accélération.

On note sur cette courbe un certain délai au début pour que le robot se mette à avancer qui est dû aux roues du robot relativement molles qui ont tendance à se replier sur elle-même lorsque le couple imposé est trop important. Quant au délai lorsque le robot arrive à 40cm/s, il est dû à l'accélération trop importante du robot qui fait basculer légèrement le robot en arrière. L'accélération s'annule lorsque le robot retombe sur ses patins avant.

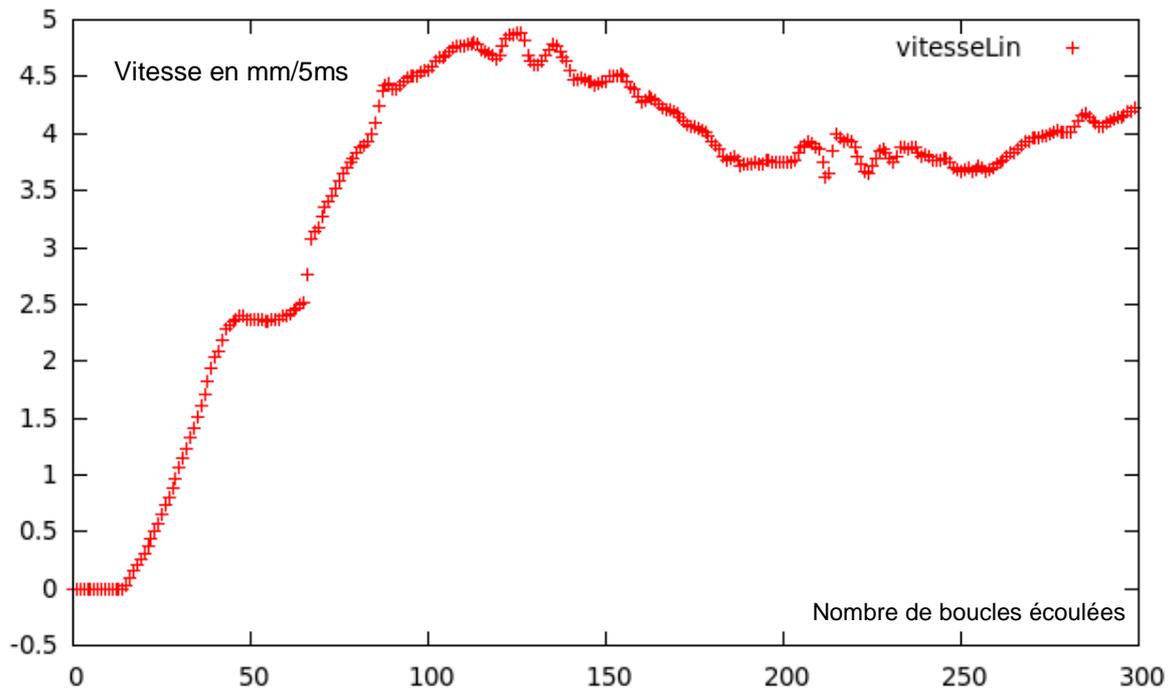


Figure 81 : Évolution de la vitesse du robot avec uniquement un filtre P

On voit qu'avec le filtre P la vitesse dépasse légèrement la vitesse de consigne (4 sur l'échelle), et que la vitesse oscille autour de la valeur.

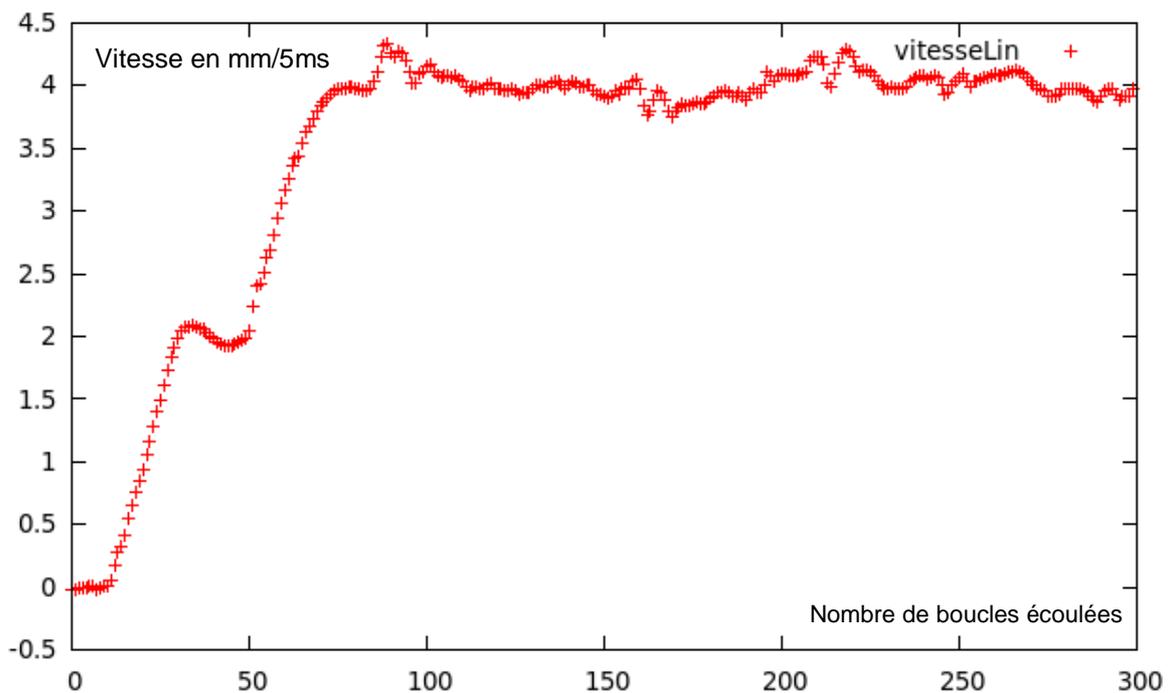


Figure 82 : Évolution de la vitesse du robot avec un filtre PID

Le graphique ci-dessus correspond à l'avertissement en vitesse linéaire du robot utilisé lors de la coupe de France. Il met environ 400ms pour atteindre sa vitesse maximale et s'y stabiliser.

Afin d'éviter que le robot ne se soulève pas à l'accélération et de même pour éviter qu'il ne bascule en avant lors d'une décélération, on donne des commandes trapézoïdales au robot ce qui donne une accélération et une décélération maximale et donc des arrêts ou des départs moins brusques (sauf en cas d'arrêt d'urgence).

ANNEXE 10 - LES SIMULATEURS

Le débogage⁶ d'un programme devant tourner sur un microcontrôleur⁶ n'est la plupart du temps pas très simple. En effet, contrairement à un programme plus classique, on ne peut pas faire tourner le code sur nos ordinateurs personnels car celui-ci est compilé pour l'infrastructure processeur que ce soit pour le STM32^[7] (un processeur ARM-Cortex M3) ou pour l'Arduino⁶ Nano^[14], mais surtout parce que le programme attend de recevoir des informations spécifiques de l'environnement de la carte électronique. Il s'offre alors à nous deux solutions.

On peut communiquer directement avec le microcontrôleur⁶ pour déboguer le code qui est exécuté dessus (en obtenant des informations sur les registres, l'état de la mémoire, etc...). Cette méthode est indispensable pour déboguer les parties bas-niveau du code, étant donné que ce sont elles qui interagissent directement avec l'environnement électronique externe ou interne au microcontrôleur⁶ (comme l'asservissement par exemple).

La deuxième solution qui s'offre à nous est de simuler le comportement du microcontrôleur⁶ et d'exécuter le code du robot sur un simulateur. Cette solution est très efficace pour tester le code haut-niveau, comme la stratégie, car, si le simulateur est bien codé, celui-ci reproduit parfaitement le comportement idéal que devrait avoir le robot en réponse à un ordre.

Le fonctionnement des deux simulateurs que nous avons mis au point (un pour le robot principal et l'autre pour le robot secondaire) est assez simple. Ils sont codés en C++, tout comme le reste du code du robot. Toutes les parties faisant référence au microcontrôleur⁶ (STM32-H107^[7] ou Arduino⁶ Nano^[14]) dans le code sont remplacé par du code simulant le comportement réel du robot. Ceci est « facilement » réalisable grâce à l'utilisation du paradigme objet. Les parties du code échangées par une autre dans le simulateur utilisent les mêmes entrées/sorties que dans le code du robot. De ce fait, le code haut-niveau n'a pas besoin d'être modifié pour pouvoir s'adapter au simulateur.

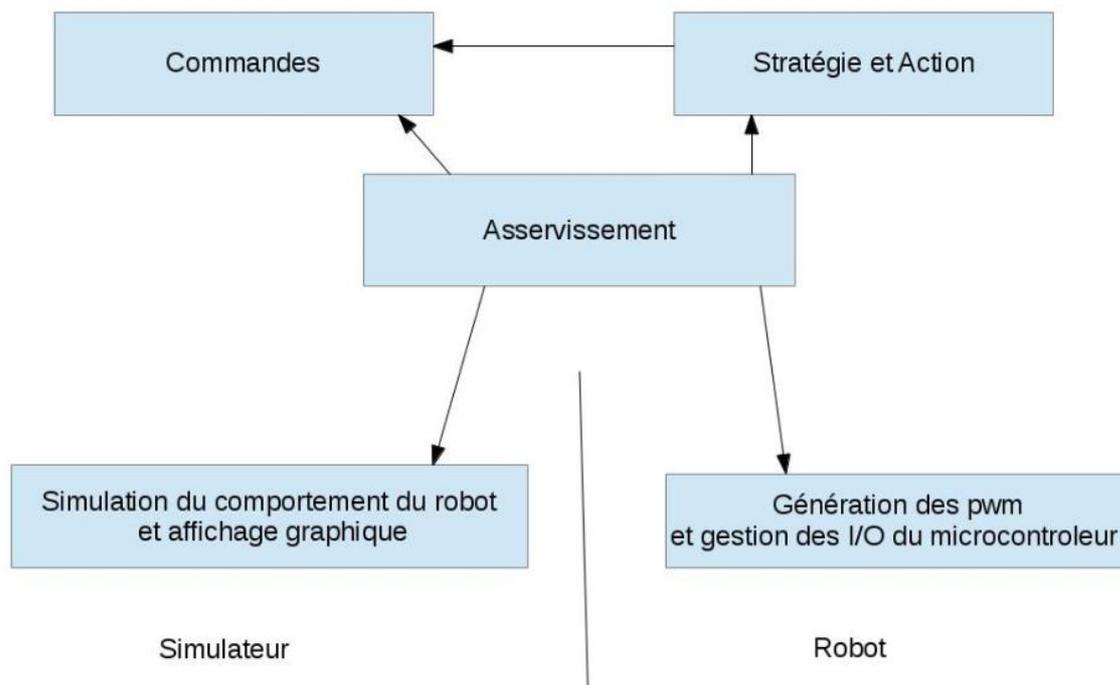


Figure 83 : Comportement du simulateur par rapport au comportement du robot

Le simulateur est donc très pratique pour tester sans trop de contraintes les parties haut-niveau du code, mais ne permet en aucun cas de tester le code bas-niveau qui interagit directement avec le microcontrôleur⁶. Il faut quand même faire attention au fait que certaines erreurs peuvent apparaître dans le simulateur du fait de quelques approximations physiques.

Afin de mieux représenter l'état actuel d'exécution du code sur le simulateur, nous avons implémenté une interface graphique qui permet de dessiner sur l'écran la position du robot sur la table ainsi que sa trajectoire passée. Nous utilisons dans les deux cas un simulateur de physique à deux dimensions afin de simuler au mieux l'interaction entre les robots et les différents éléments de jeu. Vous pouvez voir ci-dessous un aperçu de l'interface graphique des deux simulateurs :

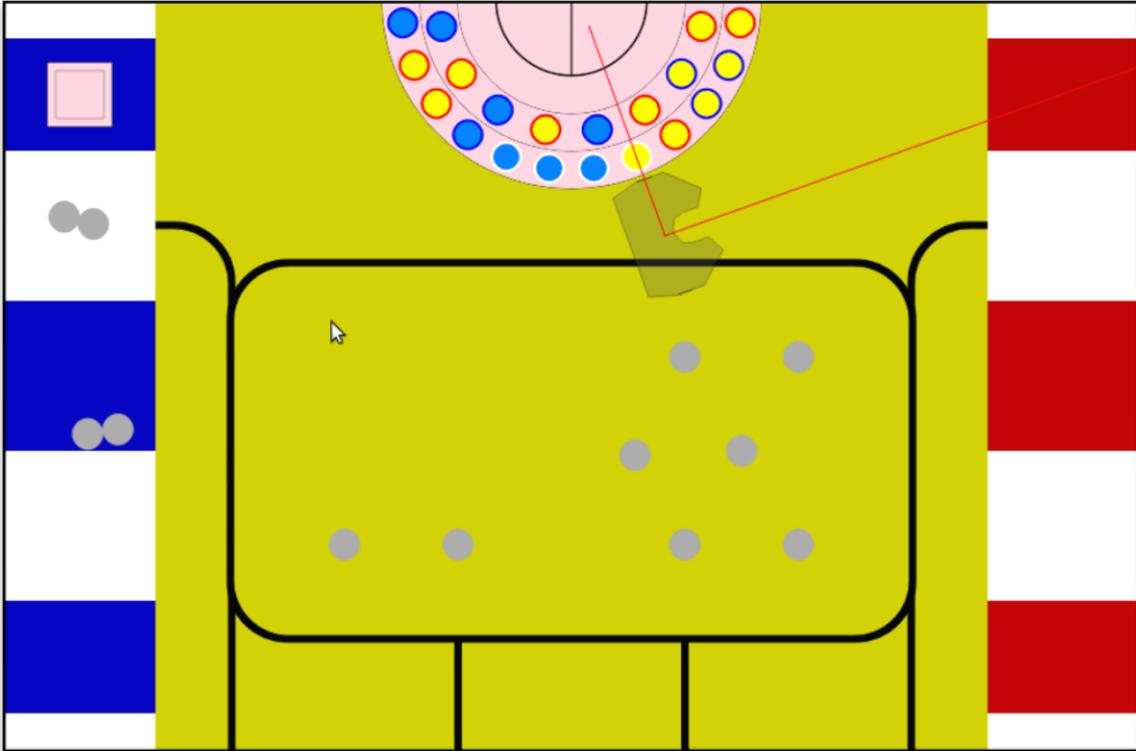


Figure 84 : La table vue depuis le simulateur du robot principal

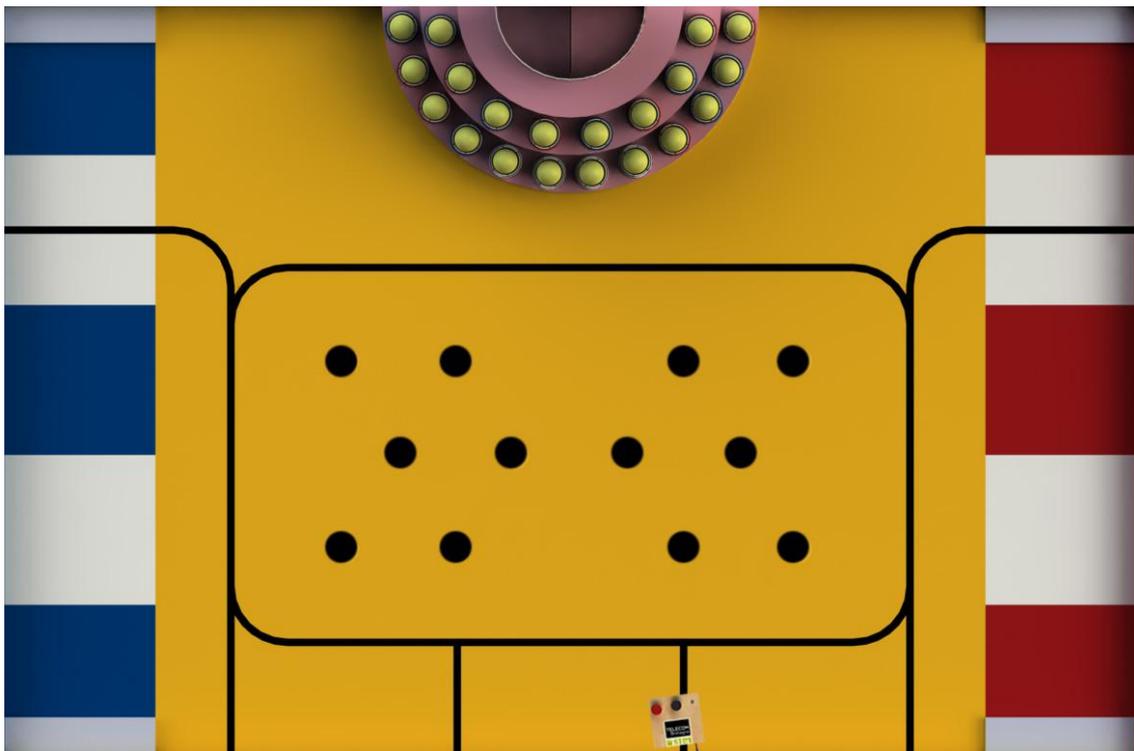


Figure 85 : La table vue depuis le simulateur du robot secondaire

w w w . t e l e c o m - b r e t a g n e . e u

Campus de Brest

Technopôle Brest-Iroise

CS 83818

29238 Brest Cedex 3

France

Tél. : + 33 (0)2 29 00 11 11

Fax : + 33 (0)2 29 00 10 00

Campus de Rennes

2, rue de la Châtaigneraie

CS 17607

35576 Cesson Sévigné Cedex

France

Tél. : + 33 (0)2 99 12 70 00

Fax : + 33 (0)2 99 12 70 19

Campus de Toulouse

10, avenue Edouard Belin

BP 44004

31028 Toulouse Cedex 04

France

Tél. : +33 (0)5 61 33 83 65

Fax : +33 (0)5 61 33 83 75

