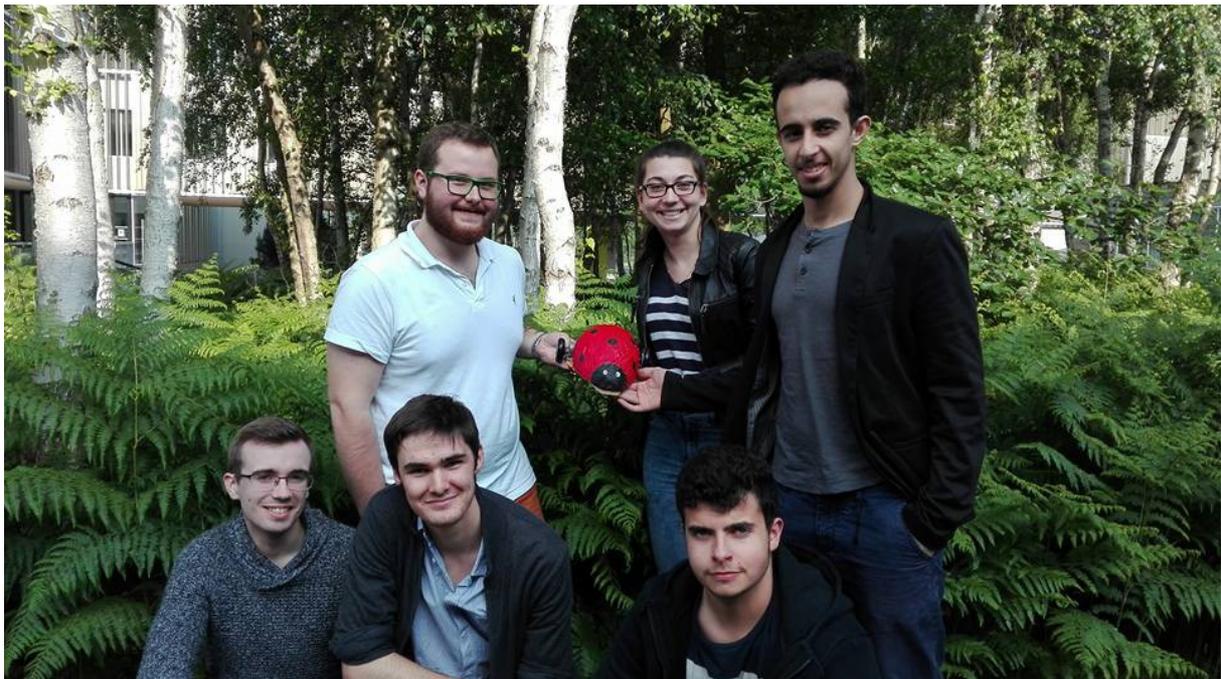


## **ROBOT SUIVEUR DE LIGNE N°2**



**Étudiants :**

**Justine LOUAGE**

**Louis BAGOT**

**Nicolas DOS SANTOS**

**Denis COQUENET**

**Joseph DESCAMPS**

**Idriss CHBIHI MOUKIT**

---

**Enseignant-responsable du projet :**

**Fabrice DELAMARE**



Date de remise du rapport : **13/06/2016**

Référence du projet : **STPI/P6/2016 – 29**

Intitulé du projet : **Robot suiveur de ligne n°2**

Type de projet : **Expérimental**

Objectifs du projet :

Ce projet a pour objectif la conception d'un robot suiveur de ligne plus rapide que celui de l'équipe adverse (Robot suiveur de ligne n°1). Cela requiert à la fois des connaissances en programmation, en mécanique et en électronique. Cet apprentissage doit se faire en autonomie et permet de développer l'esprit d'équipe.

Cet objectif se caractérise par la prise en main du matériel à disposition tel que la carte Arduino Uno. Il s'agit alors de concevoir un robot équipé de moteurs et de capteurs qui devront reconnaître une ligne noire. Et c'est à l'aide d'un programme informatique que le robot devra agir en conséquence afin de suivre cette ligne.

Mots-clefs du projet : **Robotique, programmation, mécanique, électronique.**

## TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION.....	6
2. Matériel et commencement.....	7
2.1. Les carte Arduino Uno et Arduino Moto.....	7
2.2. Les capteurs TCRT5000.....	7
3. ORGANISATION DU TRAVAIL.....	8
3.1. Le pôle mécanique.....	8
3.2. Le pôle programmation.....	8
3.3. Le pôle électronique.....	8
3.4. Organigramme.....	8
4. TRAVAIL EFFECTUE.....	10
4.1. La partie mécanique.....	10
4.1.1. La décision de la forme générale de notre robot.....	10
4.1.2. Découpe et choix des matériaux utilisés.....	11
4.1.3. Fixation des composants sur le châssis.....	11
4.1.4. Partie esthétique.....	12
4.2. La partie électronique.....	13
4.2.1. Compréhension des composants utilisés.....	13
4.2.2. Schéma électronique de la carte de capteurs.....	13
4.2.3. Réalisation du montage électronique.....	14
4.3. Programmation.....	15
4.3.1. L'IDE.....	15
4.3.2. Le langage de programmation.....	15
4.3.3. Connectiques.....	16
4.3.4. La logique du programme.....	16
5. PROBLÈMES RENCONTRÉS ET SOLUTIONS MISES EN ŒUVRE .....	18
6. CONCLUSION.....	20
7. BIBLIOGRAPHIE.....	23
8. ANNEXES.....	24
8.1. Listings des programmes réalisés.....	24

## NOTATIONS, ACRONYMES

IDE (Integrated Development Environment) : Environnement de Développement.

DEL (=LED : Light Emitting Diode) : Diode ÉlectroLuminescente

## 1. INTRODUCTION

Le semestre 4 de notre formation d'ingénieur est constitué de matières variées, dont un projet de physique dans le cadre de la matière P6. Ce projet se réalise par équipes de quelques élèves, en fonction du choix de chaque membre. Notre projet consiste à concevoir un robot suiveur de ligne. Celui-ci devra, à la fin du semestre, se confronter au robot adverse (groupe 28) dans l'optique d'aller plus vite que ce dernier.

Nous présentons dans ce rapport une vision globale de notre travail. En effet, notre projet ne consistait pas en une recherche d'informations mais en une réalisation d'un robot fonctionnel et optimal. Nous détaillerons donc le travail réalisé sur les différentes parties mécanique, électronique et informatique ainsi que les difficultés rencontrées et les réflexions qui ont permis de surmonter ces problèmes. Mais pour bien comprendre notre projet, il est important de revenir sur la définition de robotique et celle des robots suiveurs de lignes.

La robotique est la science de la conception. Elle regroupe toutes les autres sciences, le plus souvent la mécanique, l'informatique et l'électronique mais aussi dans certaines conditions la chimie, le génie mathématique, le génie civile et toute autre discipline qui a un rapport avec la conception du robot que l'on veut fabriquer. La robotique s'apparente également à l'automatisme. La robotique s'applique dans de nombreux domaines de l'industrie au simple usage domestique. Les robots suiveurs appartiennent au domaine de la cybernétique, apparut dans les années 1900, qui est le domaine le moins évolué de la robotique. En effet, depuis 1900, de nombreux sous domaines de la robotique se sont développés notamment l'intelligence artificielle qui essaie de créer ou de simuler une intelligence sur des machines ou des logiciels. Ainsi, le robot suiveur de ligne fait partie de la catégorie des véhicules à guidage automatique (VGA) très utilisées dans l'industrie. Les VGA sont des chariots sans conducteur utilisés dans l'industrie pour transporter des charges d'un endroit à un autre. Ils sont apparus dans les années 1950 et de nombreuses technologies de guidage ont été développées depuis car leur fiabilité fait d'eux un système pratique et rentable.

Pour réaliser ce projet, nous disposons de 13 séances de cours, en plus de recherches personnelles. Le cahier des charges est simple : le robot devra être capable de suivre une ligne noire sur une surface plane. Rappelons-le, un robot est, selon la définition du Larousse, un appareil automatique capable de manipuler des objets ou d'exécuter des opérations selon un programme fixe, modifiable ou adaptable. C'est exactement le but de notre projet qui consiste à concevoir un appareil électronique comprenant des capteurs et qui doit être capable de détecter une ligne noire et de se déplacer en autonomie à l'aide d'un programme informatique.

## 2. MATÉRIEL ET COMMENCEMENT

Après une présentation générale de notre sujet lors de la première séance de cours, une boîte contenant le matériel indispensable à la conception du robot nous a été fournie. Celle-ci comprenait une carte Arduino Uno, des roues de roller munies de moteurs, des capteurs à réflexion TCRT5000 et de la connectique. Nous n'avions donc plus qu'à construire le châssis et assembler tous les composants. Tout le matériel nécessaire était disponible dans les salles de travail, nous avons donc pu mener à bien toutes nos idées. On peut citer par exemple la planche du châssis que nous avons pu découper à la bonne forme ou encore la peinture qui nous a permis de rendre notre robot esthétique.

### 2.1. Les carte Arduino Uno et Arduino Moto

C'est une carte matériellement libre qui comporte un microcontrôleur. Il est possible de programmer ce microcontrôleur afin d'analyser et de produire des signaux électriques dans le but d'automatiser un robot. Il s'agit donc du cœur du robot par le biais duquel tous les autres composants communiquent.

### 2.2. Les capteurs TCRT5000

Il s'agit de capteurs optiques réfléchissants constitués d'un photo-transistor et d'une DEL. Le principe de fonctionnement est le suivant : la DEL envoie un signal lumineux à 950 nm qui se réfléchit sur le sol s'il est blanc et est reçu par le photo-transistor. Ainsi, l'absence de signal au niveau du photo-transistor indique le passage sur une ligne noire.

### **3. ORGANISATION DU TRAVAIL**

Dès la première séance de cours, nous avons réalisé que ce projet demanderait de travailler sur les trois domaines différents que sont l'électronique, la mécanique et la programmation. Le secteur de la robotique utilise donc des ressources techniques de ces trois domaines.

Expliquons tout d'abord à quoi correspondent ces différents pôles.

#### **3.1. Le pôle mécanique**

Ce pôle gère tout ce qui est en lien avec la conception et la réalisation matérielle du robot. Cela va de la structure même du robot au choix du positionnement des différents composants afin d'optimiser la répartition du poids et ainsi améliorer les capacités de notre robot du point de vue de la course. Ce pôle s'occupe également de toutes les modifications physiques qu'il a fallu apporter à notre robot après sa conception afin d'en améliorer les performances.

#### **3.2. Le pôle programmation**

Il s'agit d'appréhender un langage de programmation et de se familiariser à la robotique qui est un domaine nouveau pour nous. Ce pôle correspond notamment à l'élaboration d'un programme informatique régissant les différentes actions du robot qui devra bien évidemment se déplacer en ligne droite mais aussi tourner à gauche et à droite. De plus, il devra être capable de reconnaître une ligne noire lorsqu'il roule dessus et d'agir en conséquence. Une fois ces compétences acquises, nous devons affiner notre réflexion afin de gagner un maximum de temps en retravaillant les algorithmes et ainsi remporter la victoire face à l'équipe adverse.

#### **3.3. Le pôle électronique**

Le pôle électronique est celui qui concentre les connaissances requises pour comprendre le fonctionnement des composants et donc du robot. Elles se concentrent principalement autour des circuits imprimés et des différents composants tels que les capteurs. Ce pôle assure donc à la fois la maintenance de l'équipement électronique (par exemple, en effectuant des soudures) et les recherches techniques sur les différents composants.

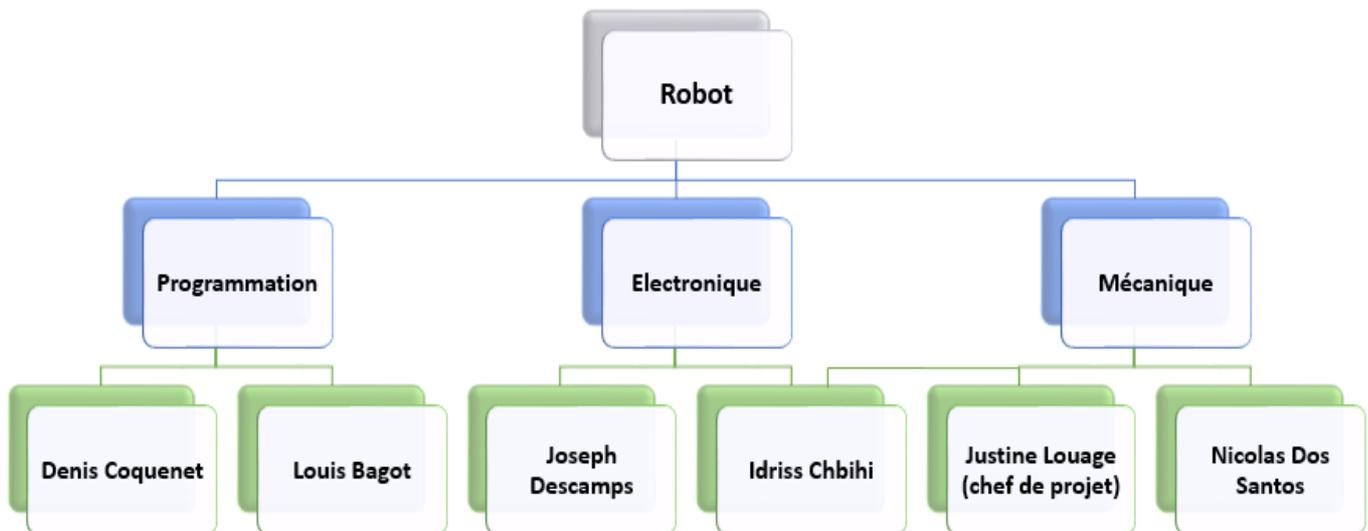
#### **3.4. Organigramme**

Ce projet est basé autour d'un but précis : la construction d'un robot suiveur. Un travail de groupe solidaire et une bonne communication paraissent être la clé de sa réussite. En effet, nous ne pouvons pas travailler chacun de notre côté car l'évolution du projet dépendait de l'avancement de chacun. Il nous fallait tout de même réfléchir à une

organisation afin de déterminer les rôles de chacun et qui s'occuperait de quelle tâche. Ainsi, au début chacun savait quelles recherches il devaient effectuer et au cours du projet, lorsque l'on rencontrait un problème, celui concerné était en mesure de le résoudre.

Pour cette répartition du travail nous nous sommes appuyés sur les connaissances de chacun. En effet, n'ayant jamais réalisé de robot, nous ne savions pas à quoi nous attendre : il fallait donc nous baser sur les quelques connaissances de chacun. La première évidence a été l'attribution de la partie programmation à Denis et Louis. Aucun de nous n'avait d'expérience en programmation en C, ils nous a paru naturel de confier cette découverte à des personnes qui aiment programmer et qui ont donc les ressources nécessaires pour la réalisation du programme. Concernant le pôle électronique et mécanique, personne ne paraissait être prédisposé car ce ne sont pas des domaines que nous avons étudié. Les seules connaissances en électronique nous provenaient du collège. Néanmoins, Nicolas et Justine faisant CTI3, ils ont appris les bases de la conception d'une pièce et d'une machine et ont donc paru les plus adaptés pour le pôle mécanique. De plus, Joseph a des connaissances plus approfondies sur l'électronique et des facilités de compréhension, il a donc été nommé responsable de ce pôle. Enfin, Idriss a été attribué aux deux derniers pôles et son rôle a donc été d'aider en fonction du besoin aussi bien en mécanique qu'en électronique.

C'est ainsi que l'on obtient l'organigramme suivant :



Comme nous l'avons dit précédemment, la base de ce projet réside dans une bonne communication, nous avons donc mis en place un système de réunions afin de savoir où en était le projet au fil du temps. Celles-ci nous permettaient d'échanger nos idées, d'exposer et de résoudre certains problèmes ainsi que de coordonner nos différentes tâches. Nous avons aussi créé une conversation Facebook, qui se montra indispensable pour discuter de l'avancée du projet, de nos idées et pour le partage des documents. Elle nous a donc permis de continuer à travailler efficacement, même en dehors des séances de cours.

## 4. TRAVAIL EFFECTUE

### 4.1. La partie mécanique

#### 4.1.1. La décision de la forme générale de notre robot

La première étape de notre projet, pour la partie mécanique, consiste à choisir la forme de notre robot et donc la forme du châssis.

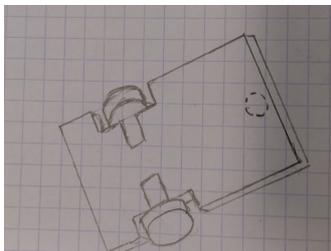
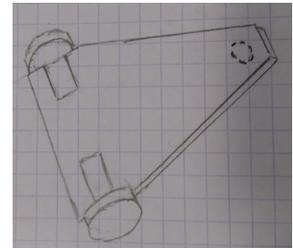
N'ayant aucune connaissance particulière sur les robots, nous ne savions pas quelle forme était la plus adaptée à un robot suiveur. Nous avons donc réfléchi à plusieurs formes possibles et nous les avons comparées pour en dégager les qualités et les inconvénients et ainsi choisir celle qui sera la plus adaptée.

#### 1ère idée

*avantages* : - Forme aérodynamique qui permettrait au robot d'atteindre plus facilement une vitesse supérieure à celle du robot adverse

- La surface réduite permet de diminuer le poids total du robot

*inconvénient* : - La dimension de la surface limite le positionnement des composants.



#### 2ème idée

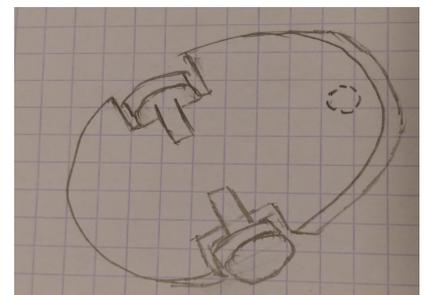
*avantage* : - L'importante surface permettra de positionner facilement les composants

*inconvénient* : - Le rectangle est une forme peu aérodynamique

#### 3ème idée

*avantage* : - De même que pour la 2ème idée, le positionnement des composants est facilité

*inconvénient* : - La forme est difficile à découper, le rendu final risque donc de ne pas être esthétique.



Nous avons finalement choisi la première idée car elle nous paraissait être la mieux adaptée à nos besoins. En effet elle permet de nombreux avantages comme une meilleure stabilité, ou une légèreté de la structure, tout en étant facile à concevoir.

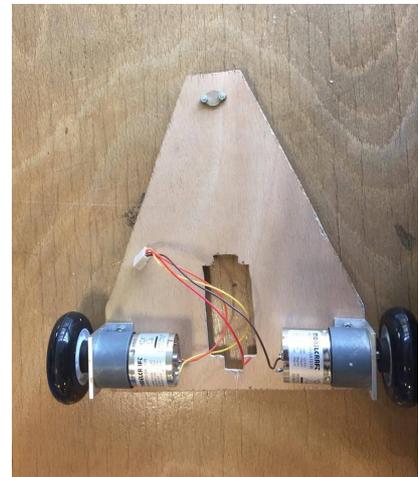
### 4.1.2. Découpe et choix des matériaux utilisés

Une fois le modèle choisi, une nouvelle décision s'imposait à nous : quel matériau devions nous choisir pour réaliser le châssis ? Il fallait que le matériau soit assez solide pour soutenir les composants, facile à découper et assez léger pour permettre une vitesse suffisante. Car, rappelons le, le but de notre projet est de faire une course contre le robot adverse, il ne faut donc pas négliger les éléments qui peuvent contribuer à cette victoire.

Nous avons tout de suite opté pour du bois. Tout d'abord car ce matériau était disponible immédiatement dans notre espace de travail. Mais aussi car, contrairement à du plastique par exemple, le bois est facile à découper et nous permettrait donc d'avoir la forme voulue. Nous sommes donc allés choisir notre planche de bois et plus précisément son épaisseur. Nous voulions qu'elle soit assez fine pour être légère mais assez épaisse pour ne pas fléchir sous le poids des composants.

Comme prévu, nous avons réalisé la forme décrite précédemment en découpant la planche avec une scie. Mais avant cela il nous fallait se mettre d'accord sur des mesures. Nous avons donc essayé de prévoir la place des composants pour connaître la longueur du châssis ; et pour la largeur nous nous sommes appuyés sur la taille des roues. En effet, il fallait que la planche soit assez large pour les deux moteurs des roues, en laissant une place au milieu pour positionner la carte électronique. Cette découpe ne présentait pas de difficultés majeures, et une fois la scie prise en main, nous avons pu rapidement achever le châssis.

La dernière étape consistait à réaliser le trou pour y insérer la carte électronique. En effet, dans nos recherches nous avons vu qu'il fallait que les capteurs se trouvent à quelques millimètres du sol, nous avons donc décidé de « creuser » la planche comme présenté dans la photo. Cette découpe permet donc de placer les capteurs près du sol tout en permettant de fixer la carte de telle sorte que tous les composants ne touchent pas le bois pour ne pas les abîmer.



### 4.1.3. Fixation des composants sur le châssis

Une fois le châssis de notre futur robot découpé, il fallait alors penser à la façon de placer les différents composants sur celui-ci. De par la forme triangulaire choisie, l'espace disponible sur le châssis nous était limitée et il fallait donc bien penser la place que prendrait chaque composant.

La première étape consista à fixer les roues ainsi que les moteurs, nous les avons fixés de façon symétrique, à l'arrière de notre châssis grâce à deux vis et deux écrous pour chaque moteur. Nous avons également fixé une roue sphérique à l'avant de notre robot, celle-ci supposée sans frottement et permettant un mouvement de translation du robot sur le plan que représente le sol. Ce troisième point d'appui permet à notre robot de se maintenir en équilibre et de ne pas se renverser.

L'étape suivante nous a amené à fixer la carte contenant les quatre capteurs TCRT5000 dans le trou prévu à cet effet dans notre châssis. Nous fixons donc la carte, les capteurs positionnés vers le bas, grâce à deux vis et deux écrous que nous jugeons suffisants pour maintenir ce composant.

Pour économiser de l'espace sur notre châssis, nous avons eu l'idée de positionner la carte Arduino Uno au dessus de notre batterie. Le problème que nous avons alors rencontré est que nous ne disposions pas encore de notre batterie, nous ne pouvions donc plus avancer en fixant d'autres composants. Nous avons donc réalisé nos tests sur secteur grâce à un cordon d'alimentation.

Au cours de ces tests, nous nous sommes aperçus que les capteurs étaient trop éloignés du sol et ne détectaient donc pas correctement le scotch noir, n'envoyant donc pas la bonne information et empêchant le bon fonctionnement de notre robot. Grâce à l'ajout d'un nouvel écrou sur chaque vis fixant les moteurs, nous avons pu rapprocher les capteurs du sol à hauteur de 4 mm.

Une fois notre batterie obtenue, nous l'avons donc fixée sur notre châssis grâce à du scotch double face. Nous avons, par la même occasion, intégré un interrupteur à notre système, sur le câble reliant la carte Arduino uno et notre batterie, celui-ci nous permettant de contrôler l'arrêt et la mise en marche de notre robot. Enfin, nous avons fixé, toujours grâce à du scotch double face, la carte Arduino Uno sur les batteries.

#### **4.1.4. Partie esthétique**

Une fois notre robot entièrement créé et pendant que nous nous occupions à améliorer le programme informatique afin de le rendre plus performant, nous nous sommes intéressés à l'esthétique de notre robot.

Nous avons eu, dans un premier temps, l'idée « d'habiller » notre robot grâce à de la récupération en utilisant un emballage de quelconque produit trouvé en grande surface par exemple. Ne trouvant pas d'objet qui correspondait à la forme de notre robot, nous avons alors décidé de créer nous même la coque qui viendrait par la suite se poser au dessus du châssis afin de cacher les composants.

Nous avons donc opté pour l'utilisation d'un ballon de baudruche que nous avons recouvert de papier mâché. Une fois le papier mâché sec, nous avons percé et retiré le ballon afin d'obtenir notre coque rigide.

Nous avons ensuite décidé de peindre cette coque pour qu'elle prenne l'apparence d'une coccinelle afin de lui donner un aspect esthétique. Pourquoi une coccinelle ? La question peut se poser, mais l'idée est venue de façon totalement aléatoire même si on a choisit un animal de forme proche de la coque.



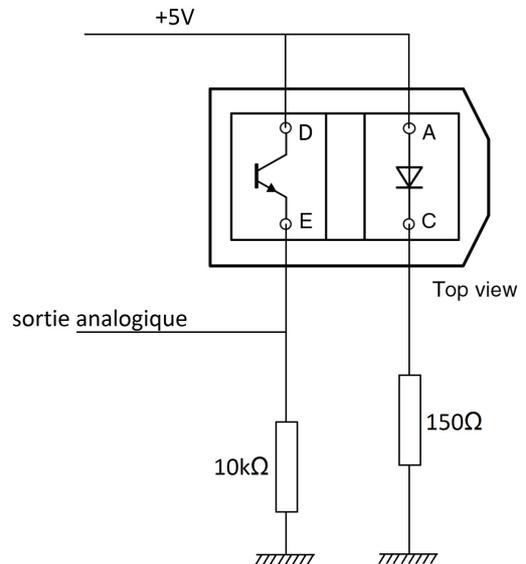
## 4.2. La partie électronique

Nous avons utilisé pour notre robot des composants de récupération dans un souci de recyclage. Cependant la carte de capteur était montée à l'inverse par rapport à notre alimentation, les capteurs n'ont donc pas supporté cette erreur et ont grillé. Nous avons donc été contraints de nous renseigner sur les différents composants utilisés.

### 4.2.1. Compréhension des composants utilisés

- Les capteurs, TCRT5000<sup>1</sup> :

L'alimentation 5V était branchée sur les fiches E et C, alors qu'elle doit être sur A et D (dans le sens des diodes). Pour protéger les diodes il faut mettre une résistance de 150Ω entre C et la masse et une de 10kΩ sur E. On obtient donc le schéma suivant :



- Les moteurs:

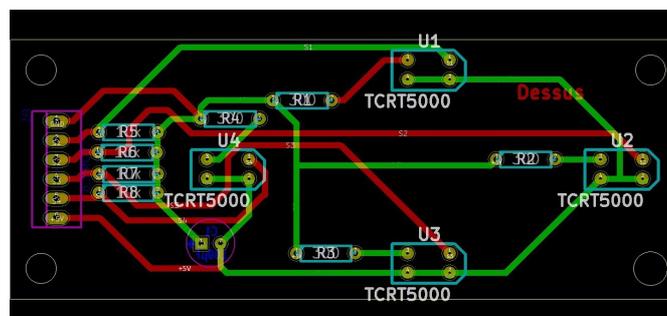
Nous avons eu à plusieurs reprises des cassures de fils au niveau des fiches d'alimentation des moteurs. La première fois nous avons branché les fils à l'envers, le sens de rotation était donc inversé. Nous avons donc marqué les fils et les fiches pour qu'en cas de nouvelle cassure nous remontions les fils dans le bon sens.

### 4.2.2. Schéma électronique de la carte de capteurs

Il nous a fallu comprendre le fonctionnement de la carte moteur Arduino, notamment dans les numéros des entrées et sorties pour trouver le bon numéro de fiche des entrées analogiques des capteurs et pour actionner les moteurs.

De plus, nous avons dû regarder quelles entrées correspondaient à tels ou tels capteurs, gauche, droite, avant, arrière, de manière à optimiser le temps de travail entre la partie électronique et la partie programmation.

Voici le schéma électronique de la carte de capteur :

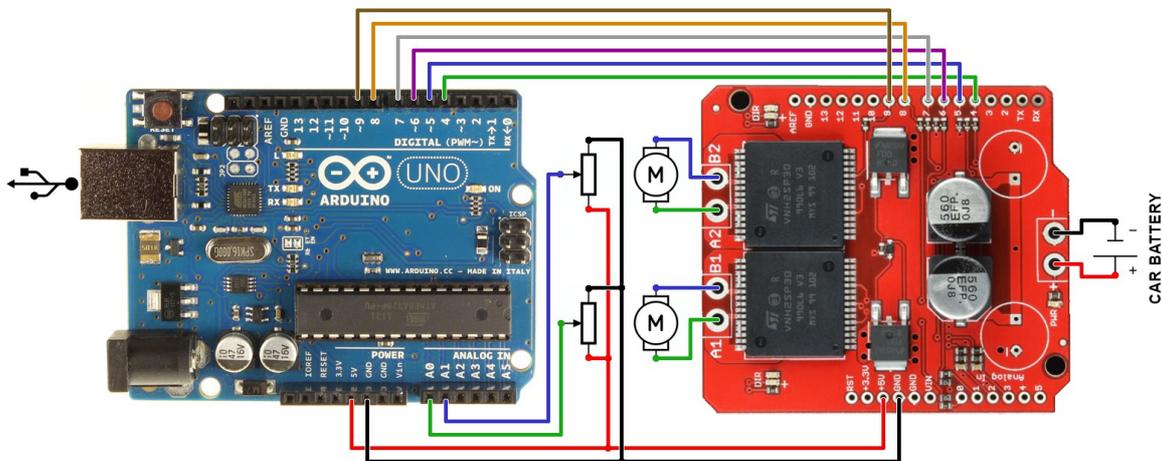


1 Fiche technique TCRT5000 en annexe

Étant donné que les capteurs de notre carte étaient grillés, nous avons dû les dessouder et en souder de nouveaux.

### 4.2.3. Réalisation du montage électronique

La totalité de la carte capteur était inversée par rapport à l'alimentation que lui fournissait la carte Arduino, ainsi le travail de soudure a été important. Au final le travail au niveau de la carte de capteurs a été aussi conséquent que si nous avons dû la créer complètement. Par ailleurs, à cause de soudures et de dessoudures répétées, la carte de capteurs a eu quelques problèmes, par exemple il y a eu un fil de cuivre imprimé qui était cassé, il n'y avait donc plus de connexion et nous avons donc mis un petit fil classique qui nous a permis de faire la connexion.



Concernant la carte Arduino en elle-même, les circuits imprimés sont très petits et bien protégés. Il nous a seulement fallu faire attention de ne pas créer de court-circuit et de monter et démonter les broches de connexions entre les cartes avec délicatesse pour ne pas les casser ou les abîmer.

Par ailleurs pour permettre à notre robot d'être indépendant du secteur, il nous a fallu mettre une batterie, en ce qui nous concerne nous avons des accus de 9,6V. Cependant nous avons dû modifier la fiche d'alimentation car celle installée d'origine ne correspondait pas et ne se raccordait pas avec notre robot. Nous avons aussi ajouté un interrupteur pour permettre une mise en marche et un arrêt plus facile de notre robot.



### 4.3. Programmation

La programmation du robot lui a permis d'être autonome lors de son fonctionnement. Cette partie a nécessité plusieurs éléments : un IDE, un langage de programmation ainsi que du matériel électronique et de la connectique.

#### 4.3.1. L'IDE

Arduino possède son propre IDE, disponible en téléchargement libre sur cette page :

<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>

Puisqu'il a été conçu par la même société que la carte du même nom que nous avons utilisée, nous avons bénéficié d'un gain de temps car les fonctionnalités étaient optimisées dans ce but. Cela nous a ainsi permis de téléverser le programme dans la carte Arduino Uno sans avoir à recourir à un logiciel intermédiaire.

#### 4.3.2. Le langage de programmation

Le programme a été codé en C/C++ à l'aide d'une bibliothèque de développement Arduino afin de gérer les entrées ainsi que les sorties analogiques et numériques avec des fonctions déjà existantes. Il a donc fallu nous familiariser avec un nouveau langage de programmation puisqu'en STPI, il ne nous est enseigné que le Pascal.

- **Un code structuré**

Un programme Arduino se compose généralement de trois parties :

1. l'en-tête : on y écrit les constantes globales du programme, par exemple les ports des entrées/sorties analogiques/numériques. On y écrit aussi les fonctions que l'on a soi-même programmées.
2. La fonction setup : c'est ici qu'est écrit le code qui ne sera exécuté qu'une seule fois, comme par exemple l'initialisation des variables.
3. La fonction loop : elle correspond à la partie de code qui sera exécutée en boucle jusqu'à ce que l'alimentation électrique soit interrompue ; c'est ainsi que le robot est capable d'évoluer sans attendre une quelconque intervention de la part de l'utilisateur.

- **Des fonctions basiques :**

Voici quelques fonctions issues de la bibliothèque de développement Arduino qui nous ont été indispensables lors de la programmation du robot :

1. pinMode(X,Y) impose à la broche n°X d'être utilisée en entrée ou en sortie suivant la valeur de Y, qui vaut soit INPUT soit OUPUT.

2. `analogRead(X)` : cela permet, dans notre cas, de lire la tension aux bornes du capteur (connecté à la sortie analogue X) afin de déterminer si celle-ci est positionnée en face d'une ligne noire ou non.
3. `Serial.begin(9600)` : initialise la communication entre la carte Arduino et l'ordinateur et permet, via le moniteur série, d'afficher des informations relatives à la carte Arduino directement sur l'ordinateur.
4. `analogWrite(X,Y)` donne la valeur Y (entre 0 et 255) à la broche n°X ; on peut ainsi diminuer ou augmenter la vitesse d'un moteur.
5. `digitalWrite(X,Y)` donne la valeur Y (LOW ou HIGH) à la broche n°X ; on peut par exemple utiliser cette fonction pour faire clignoter une LED ou encore pour modifier le sens de rotation d'un moteur.

### 4.3.3. **Connectiques**

Lorsque nous étions en phases de test, nous utilisions une alimentation branchée directement sur le secteur qui se connectait sur l'un de port de la carte Arduino. Pour le téléversement du programme, il nous a fallu un câble USB.

### 4.3.4. **La logique du programme**

L'algorithme est simple à comprendre. La ligne n'étant pas suffisamment épaisse pour activer les détecteurs droit et gauche, si un capteur latéral détecte la ligne noire, cela signifie qu'il se dirige en dehors de la ligne. Le robot doit donc tourner du côté du capteur afin de rectifier cette divergence de trajectoire. Cependant cela engendre un problème : le robot oscille énormément autour de la ligne. Afin de diminuer cet effet, nous avons décidé de faire en sorte que le robot aille tout droit quand cette décision est intéressante : pour cela il suffit de prendre en compte le cas où les capteurs avant et arrière détectent la ligne noire : dans cette situation, le robot doit aller tout droit. Cette décision doit être prise en priorité par rapport aux virages afin que le robot aille tout droit le plus souvent possible.

Le programme est donc constitué d'un ensemble de fonctions permettant la gestion des directions : *toutDroit*, *tournerGauche*, *tournerDroite*.

Afin de tourner à droite il suffit de dire au moteur gauche (le moteur *extérieur* au virage) de rouler vers l'avant ; et le virage à gauche est géré par la même commande sur le moteur droit. Il est important de noter que l'angle du virage sera géré par la vitesse et le sens de l'autre roue (et donc du moteur *intérieur*) : si celle-ci va doucement vers l'avant, le robot réalisera un virage léger, mais si elle se bloque, il tournera bien plus nettement mais risque d'osciller plus. Nous avons décidé d'augmenter significativement l'angle de rotation du robot en commandant au moteur intérieur de reculer légèrement : ainsi, l'angle est beaucoup plus net et le robot ne risque jamais de tourner trop peu. Cela augmente les oscillations mais comme mentionné plus tôt, le robot ira tout droit dès qu'il le pourra, ce qui est l'action la plus intéressante.

Au delà de ces fonctions directrices, nous disposons d'un ensemble de constantes. Une partie d'entre elles permet de stocker les différentes valeurs de vitesse, entre 0 et 255 : celles-ci ont énormément évolué lors du projet. Le programme final possède trois constantes par moteur : une première, à la valeur maximale pour les lignes droites ; une seconde plus

faible (environ 160) pour la roue extérieure des virages, et une dernière pour la roue intérieure, qui doit aller en sens inverse et a donc une valeur plus faible encore (environ 100) pour assurer la progression vers l'avant mais des virages efficaces.

Nous avons aussi eu besoin de constantes pour gérer les entrées analogiques et numériques, c'est-à-dire des nombres compris entre 1 et 13 afin d'accéder aux différentes entrées des cartes électroniques.

Sachant que les capteurs TCRT5000 renvoient une valeur comprise entre 0 et 1024 (complètement noir, et blanc respectivement), nous avons réalisé des tests pour déterminer quelle valeur « seuil » correspondrait au passage sur la ligne, finalement estimée à un simple 500.

## 5. PROBLÈMES RENCONTRÉS ET SOLUTIONS MISES EN ŒUVRE

Le déroulement et l'avancement de notre projet a été dicté par l'apparition de certains problèmes. En effet, la plupart du temps, lorsque l'on rencontrait un problème ce dernier paralysait la poursuite du projet car sans sa résolution nous ne pouvions pas avancer. Pour se rendre compte de l'importance de ce facteur nous allons revenir sur les principaux problèmes rencontrés et leur résolution.

Un problème récurrent au cours de ce projet a été notre incapacité à faire des soudures suffisamment solides. En effet, comme nous l'avons expliqué précédemment, nous n'avions presque pas de notions en soudure. De ce fait, les nombreuses manipulations du robot ont sans cesse conduit à la casse de soudures, ce qui nous a fait perdre un temps précieux. Au fil du temps nous avons donc essayé de faire des soudures solides et avons porté une attention particulière au robot dès que nous le manipulions.

Ce n'est pas le seul problème de matériel qui a été une cause de perte de temps. Au début du projet il nous a été donné une carte de composants avec des capteurs soudés dessus. Nous avons donc essayé de comprendre leur fonctionnement pendant un temps, sans succès. Il s'est avéré que les capteurs avaient été montés à l'envers et étaient donc grillés. Comme nous avons déjà réalisé le trou destiné à fixer cette plaque nous avons préféré la conserver et avons donc dessoudé les capteurs. Une fois cela fait, il nous fallait des nouveaux capteurs. Nous en avons testé plusieurs grâce à un banc dont le fonctionnement nous a été expliqué par M. Delamare. Nous avons ensuite pu poursuivre la réflexion sur le programme informatique et commencer à coder une fois la réception (et la soudure) de nouveaux capteurs.

Nous avons également dû faire face à une difficulté mécanique. En effet, les moteurs n'avaient pas la même vitesse lorsque nous leur fournissions des puissances égales. Cela a eu des répercussions au niveau informatique et nous avons alors réglé le problème en instaurant différentes constantes de vitesse pour chacune des roues. D'autre part, il a fallu attendre quelques semaines avant de disposer d'un circuit imprimé avec des capteurs fonctionnels, ce qui a entraîné une paralysie partielle du pôle programmation. Bien évidemment, nous avons prévu le programme avant la finalisation du robot mais le manque de tests concrets nous a empêché de localiser les faiblesses de notre code dès le début.

La compréhension du fonctionnement du robot et son déplacement a été le majeur problème de notre projet. En effet, ce n'est pas un problème dû au matériel, il nous a fallu faire de nombreux tests pour le résoudre, c'est d'ailleurs l'objet des dernières séances. De plus, sans sa résolution le projet aurait été un échec. Ce qui nous a troublé et nous a fait perdre du temps a été le fait qu'à un moment le robot a détecté plusieurs virages correctement. Mais ensuite, à chaque fois que nous effectuions de nouveaux tests le robot ne détectait pas la ligne. Dans un premier temps, nous avons conclu de notre observation que les capteurs étaient placés trop loin du sol, nous avons donc surélevé les roues à l'aide de boulons supplémentaires. Une fois cela fait, nous avons effectué de nouveaux tests mais le résultat n'était toujours pas concluant. Grâce à un test plus précis, c'est-à-dire en faisant bouger le robot au dessus de la ligne donc en regardant les données réellement transmises,

nous nous sommes rendu compte que le fonctionnement des capteurs était inversé par rapport à notre programme. En effet les capteurs envoient du signal quand ils détectent du blanc, et non l'inverse. Nous avons donc adapté le programme. Nous ne savons pas pourquoi le robot a réagi alors que le programme était faux, cela demeure le mystère de notre projet. L'important est que grâce au nouveau programme nous avons pu commencer une recherche de gain de performances qui nous permettra peut-être de gagner.

Lors des tentatives d'optimiser la vitesse du robot, nous avons remarqué que le robot ignorait parfois certaines instructions, en particulier pour la demande de changement de direction qui avait tendance à être lente voire imprévisible. Après avoir remis en cause et testé le temps de réaction des moteurs puis des capteurs, nous nous sommes rendu compte que le capteur à l'arrière de la carte ne fonctionnait pas correctement et troublait donc le fonctionnement de notre robot. Après l'avoir rendu inutile dans le programme, nous avons enfin pu obtenir des trajectoires prévisibles et considérablement augmenter les performances du robot – jusqu'à deux fois plus rapide que les versions précédentes.

## 6. CONCLUSION

Au cours de ce semestre nous avons travaillé en groupe pour mener à bien notre projet : fabriquer et programmer un robot suiveur de ligne. Nous avons travaillé en équipe, tantôt nous avons travaillé chacun sur une partie en particulier (mécanique, informatique, électronique), tantôt nous avons travaillé tous ensemble sur un point en particulier lors d'un problème informatique par exemple ou pour la forme générale du robot. Durant le développement de notre projet, nous avons dû faire face à différents problèmes que nous avons dû résoudre notamment en électronique et en informatique. Bien évidemment, ce projet nous a permis d'expérimenter une nouvelle fois le travail de groupe, un travail très formateur en ce qui concerne notre avenir où nous serons la plus part du temps confronté au travail de groupe. Ainsi nous avons construit un robot capable de suivre un chemin non défini à l'avance matérialisé par une ligne. La conception du robot nous a enseigné, en quelques mots : robotique, travail de groupe, communication, développement de projet, application des connaissances.

En perspective pour notre projet, il nous semble que le robot pourrait être adapté pour qu'il puisse être utilisé sur un terrain extérieur par exemple. Nous pouvons aussi proposer une amélioration sur les moteurs : mettre des moteurs plus puissants pourrait là aussi améliorer les performances de notre robot.

Même si c'est un travail de groupe, nous avons décidé d'écrire chacun sa propre expérience et son ressenti du projet.

### **Denis :**

Ce projet de robotique m'a permis de développer mes compétences en informatique notamment en découvrant un nouveau langage de programmation, ce qui est cohérent avec mon projet d'intégrer le département ASI. De plus, la robotique est un domaine qui m'était jusqu'alors inconnu du point de vue du développement. Ce fut donc une expérience riche en apprentissage théorique et pratique mais aussi sur le plan social. En effet, ce projet en équipe a mis en évidence que la communication et la collaboration sont des éléments clés qui permettent de mener à bien un projet en groupe. D'autre part, il fut intéressant d'observer notre projet se développer semaine après semaine sachant que nous sommes partis de presque rien. On retire alors une grande satisfaction du travail accompli lorsque l'on voit nos efforts récompensés par le bon fonctionnement de notre robot.

### **Justine :**

J'ai choisi ce projet de p6 pour découvrir la robotique et plus précisément les domaines nécessaires pour la création d'un robot. En effet, souhaitant me diriger vers le département mécanique, ce projet paraissait être une approche intéressante et surtout inédite. Nous n'avions jamais auparavant fabriqué de robot, et les seules connaissances que j'avais étaient plus portées sur les types de robots que sur leur fabrication. Ce projet m'a donc permis de voir toutes les étapes de fabrication et les réflexions nécessaires à l'aboutissement du projet. De plus, il a été enrichissant du point de vue relationnel car sans travail de groupe et complémentarité, nous n'aurions pas réussi. Comme nous l'avons dit précédemment, nous

avons dû travailler ensemble et communiquer régulièrement tout au long du projet pour surmonter les problèmes. Enfin, ce projet nous a aussi montré qu'il est important de s'organiser et de s'imposer des délais afin de le finaliser dans les temps. Il a donc été enrichissant aussi bien du point de vue des connaissances sur la robotique que par la confrontation avec la réalité d'un projet et de sa réalisation.

**Louis :**

Parmi les projets proposés, la conception d'un robot me semblait à la fois le projet le plus intéressant et le plus applicable concrètement. De plus, j'aimerais me spécialiser dans le département GM et plus particulièrement dans l'intelligence artificielle, ce projet me semblait donc particulièrement adapté pour comprendre comment ce domaine peut se manifester, même à notre niveau. Ces attentes se sont révélées relativement justes, puisque j'ai pu réaliser, à travers beaucoup de problèmes inattendus, la différence entre la théorie informatique et la réalité. Malgré ces obstacles, le projet fut passionnant et satisfaisant ; mais aussi très formateur, de plusieurs points de vue. D'abord, l'apprentissage d'un nouveau langage, bien que partiel, a permis d'augmenter ma capacité à apprendre rapidement et m'adapter. Ceci est plus vrai encore avec la découverte du nouveau domaine qu'est la robotique, qui a mis mes capacités à l'épreuve à travers la logique des cartes électroniques, capteurs, moteurs... Cette expérience m'a ouvert à un pan beaucoup plus matérialiste de la programmation, que j'avais tendance à associer à un exercice purement mental. Finalement, le dernier point important que je souhaitais relever sur ce projet est bien évidemment le travail d'équipe. Notre formation INSA nous encourage à former des groupes efficaces et cohérents, et j'ai pu sentir ceci à travers une expérience qui s'est remarquablement bien passée, dans une ambiance très agréable et sans conflit. Les capacités d'adaptation et de communication que demandent un groupe, dans sa généralité, me semblent essentielles et je suis satisfait d'avoir pu les expérimenter au cours de ce projet.

**Idriss :**

Le choix de ce projet m'a permis de développer mon esprit de cohésion et ma capacité à travailler en groupe, en effet ce projet de robotique a nécessité une complémentarité et une communication dans sa conception et sa réalisation qui m'a permis de découvrir les joies du travail en groupe. Ce dernier m'a permis également de concrétiser un cursus scolaire qui était jusque là souvent abstrait. La découverte du monde de la robotique a été aussi l'un des points forts de ce projet tant ce monde me paraissait inaccessible auparavant. Il faut bien évidemment rajouter à tout cela, que ce projet a permis de développer en moi un esprit de compétition, qui est le fruit de la concurrence avec l'autre groupe réalisant le même projet. Finalement, l'observation de l'évolution de notre robot a été la partie la plus "fun" de notre projet puisqu'on voit notre réalisation évoluer au fur et à mesure du temps ce qui crée un sentiment d'attachement. Tout cela me permet d'affirmer que ce projet a été enrichissant tant sur le côté théorique et pratique que sur le côté social.

**Joseph :**

Lors du choix des projets P6 j'ai décidé de découvrir une nouvelle matière : je n'avais jamais fait de robotique, ce projet a donc intéressé ma curiosité. Le projet P6 a été pour moi l'occasion de développer mes connaissances dans le domaine de l'application des connaissances acquises durant nos cours. Par ailleurs, ce projet m'a permis de développer la cohésion de groupe et le travail de groupe. Je pense que nous avons réussi à mettre en valeur le meilleur de chacun, et ainsi nous avons réussi à mener à bien notre robot. De plus bien que la robotique n'ait à priori rien en commun avec mon choix de département (CFI), je

suis heureux d'y avoir participé, cela m'a permis de voir que le département nous permet de nous spécialiser mais nous sommes avant tout des élèves-ingénieurs capables de nous adapter. Pour finir, dans le robot je me suis plutôt occupé de la partie électronique, cependant j'ai aussi participé à la carrosserie ou encore aux tests du programme. Cela est motivant et se rapproche encore une fois de notre adaptabilité. En bref, pour moi, ce projet s'est révélé très bénéfique.

### **Nicolas :**

Ce projet de P6 m'intéressait particulièrement car je voulais choisir un projet dans lequel je pouvais découvrir de nouvelles choses jusqu'alors jamais étudiées. Ce projet de robotique m'a semblé être un bon choix car c'est un domaine dans lequel j'étais novice et curieux. J'étais également enthousiaste à l'idée de participer à un réel projet en équipe et, comme je m'y attendais, ceci fut très bénéfique pour moi. Je me suis rendu compte de l'importance de la division des tâches au sein d'une équipe par le biais de notre répartition en plusieurs pôles : les pôles mécanique, électronique et informatique. J'ai pour ma part pris part à la partie mécanique et ai pu développer la partie physique de notre robot en partant de pièces détachées et de peu de connaissances. Mon intérêt pour ce projet, comme celui de tous, a grandi au fil des semaines et au fil de son avancement. Le fait d'être confronté à divers problèmes tout au long de ce semestre n'a fait qu'augmenter le sentiment de satisfaction une fois le robot achevé. Enfin, le fait d'être confronté à une autre équipe m'a sans cesse motivé et donné envie d'améliorer notre robot pour gagner. Ce projet m'a donc permis d'acquérir des bases dans le domaine de la robotique et à été une nouvelle expérience enrichissante de projet en équipe.

Nous souhaiterions ajouter que ce projet nous a beaucoup plu. La conception du robot s'est soldée par une réussite, et ce dernier a fini par devenir très performant et esthétique. La compétition s'est révélée très serrée : les deux robots suivaient la ligne en des temps très proches, malgré des approches très différentes des problèmes et donc des comportements variés. Ce projet a comblé les attentes de tous les membres à plusieurs points de vue, comme on peut le voir dans chaque conclusion. En comparant notre projet avec celui de nos camarades, nous avons réalisé combien le nôtre est intéressant, autant dans une optique personnelle que d'une approche d'élève-ingénieur. Ainsi, nous voulons remercier M. Delamare pour nous avoir permis de réaliser un projet aussi fascinant au sein de notre cycle préparatoire.

## 7. BIBLIOGRAPHIE

[1] lien internet : <http://www.vishay.com/docs/83760/tcrt5000.pdf> (valide à la date du 09/06/2016).

## 8. ANNEXES

### 8.1. Listings des programmes réalisés

```
// Constantes générales pour les pin
const int PinSensRoueD = 12;
const int PinVitRoueD = 3;
const int PinSensRoueG = 13;
const int PinVitRoueG = 11;

const int PinCapteurAvant = A2;
const int PinCapteurArriere = A5 ;
const int PinCapteurD = A3;
const int PinCapteurG = A0 ;

// Constantes de vitesses selon pour direction tout droit et virage
// FAST : vitesse de la roue en ligne droite
// SLOW : vitesse de la roue pivot lors d'un virage (ex: droite pour virage à droite)
// MEDIUM : vitesse de la roue extérieure lors d'un virage (ex : gauche pour un virage à droite)
const int VIT_FAST_D = 255;
const int VIT_FAST_G = 250;
const int VIT_SLOW_D =160;
const int VIT_SLOW_G = 155;
const int VIT_MEDIUM_D= 205;
const int VIT_MEDIUM_G= 200;

// Détermination du seuil de reconnaissance de la ligne noire
const int seuil = 500;

// Les fonctions utilisées

void setVitesse(int pin, int vit)
```

---

```
{
    analogWrite(pin,vit);
}

void tournerDroite()
{
    setVitesse(PinVitRoueG,VIT_MEDIUM_G);
    setVitesse(PinVitRoueD,VIT_SLOW_D);
    digitalWrite(PinSensRoueG,HIGH);
    digitalWrite(PinSensRoueD,LOW);
    // La roue pivot roule dans le sens inverse pour gagner du temps.
}

void tournerGauche()
{
    setVitesse(PinVitRoueD,VIT_MEDIUM_D);
    setVitesse(PinVitRoueG,VIT_SLOW_G);
    digitalWrite(PinSensRoueD,HIGH);
    digitalWrite(PinSensRoueG,LOW);
    // La roue pivot roule dans le sens inverse pour gagner du temps.
}

void toutDroit()
{
    setVitesse(PinVitRoueD,VIT_FAST_D);
    setVitesse(PinVitRoueG,VIT_FAST_G);
    digitalWrite(PinSensRoueD,HIGH);
    digitalWrite(PinSensRoueG,HIGH);
}

void setup()
{
    // Initialisation des capteurs
    pinMode(PinCapteurD,INPUT);
    pinMode(PinCapteurG,INPUT);
    pinMode(PinCapteurAvant,INPUT);
```

```
pinMode(PinCapteurArriere,INPUT);

// Initialisation des moteurs
pinMode(PinVitRoueD,OUTPUT);
pinMode(PinVitRoueG,OUTPUT);
pinMode(PinSensRoueG,OUTPUT);
pinMode(PinSensRoueD,OUTPUT);

//Initialisation vitesse moteur
setVitesse(PinVitRoueD,VIT_FAST_D);
setVitesse(PinVitRoueG,VIT_FAST_G);

//Initialisation sens moteur
digitalWrite(PinSensRoueD,HIGH);
digitalWrite(PinSensRoueG,HIGH);

}

// Si le capteur avant détecte du noir alors le robot va tout droit
// sinon il tourne dans la direction du capteur qui détecte du noir

void loop()
{
  if (analogRead(PinCapteurAvant)<seuil)
    toutDroit();
  else
  {
    if (analogRead(PinCapteurD)<seuil)
      tournerDroite();
    if (analogRead(PinCapteurG)<seuil)
      tournerGauche();
  }
}
```