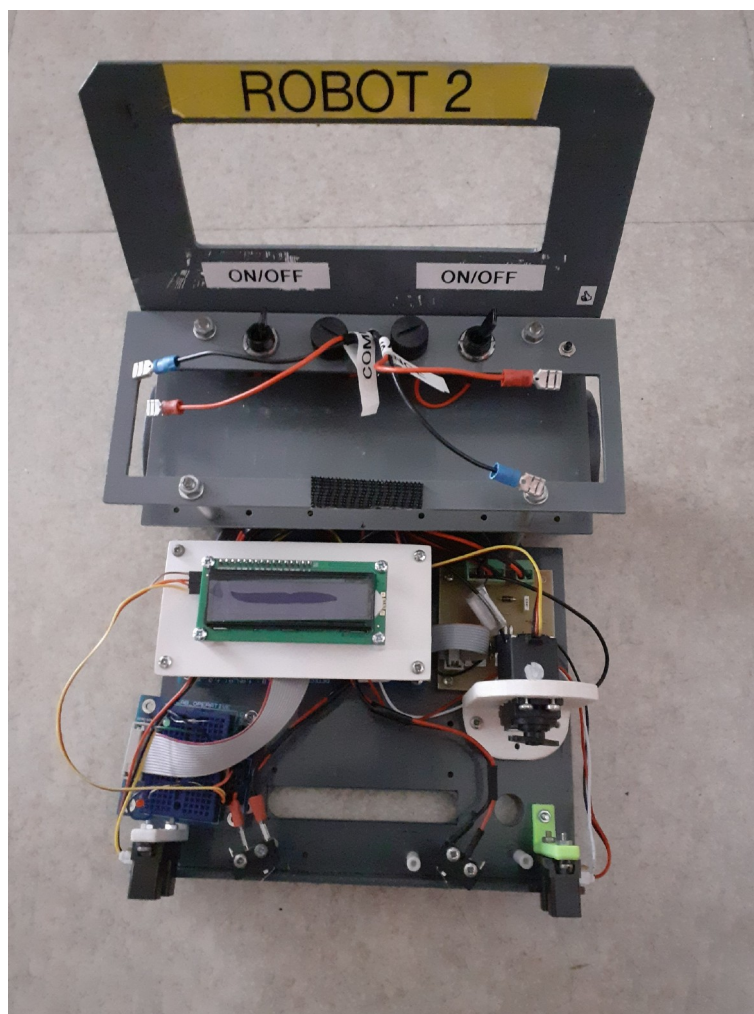


# PILOMO

Octobre 2024 à janvier 2025



Enseignant encadrant : LELUAN Thomas

Binôme : RUAULT Etienne & DIAMOUTENE Zana

# **Sommaire :**

- 1** - Travail préparatoire : p. 3 à 7
- 2** - Compte rendu du TP : validation des choix technologiques : p. 8 et 9
- 3** - Mise au point de la carte (procédure, résultat et photo) : p. 10 et 11
- 4** - Programme « balade » commenté : p. 12 et 13

# 1 - Travail préparatoire

## SAé\_1\_2 : PILOMO Travail préparatoire

Afin de préparer la séance consacrée à la validation des choix de conception (choix des composants, schémas, etc.), vous devez effectuer les recherches ci-dessous.

Elles vont vous permettent de vous familiariser avec les techniques utilisées, de choisir judicieusement les composants, d'élaborer les schémas, de préparer les mesures permettant de valider vos choix.

**La phase de validation par la mesure ne débutera que lorsque vous aurez répondu à toutes ces questions**

### 1. Commande des moteurs à courant continu

Un moteur à courant continu est alimenté par une alimentation continue (ou une batterie), cette dernière fournit la tension et le courant nécessaire au fonctionnement du moteur. Le moteur convertit l'énergie électrique (2 paramètres : tension et courant) en énergie mécanique (2 paramètres : couple et vitesse de rotation). Dans notre cas l'inducteur (stator) est constitué d'aimants permanents.

- 1.1. Sans rentrer dans la théorie et les formules complexes et en négligeant la résistance d'induit, indiquez simplement les relations existantes entre ces paramètres mécaniques et électriques. Le document cours\_mcc.pdf, disponible sur Ecampus, vous permettra de trouver les réponses à cette question.

$$\begin{array}{ccc}
 E = K_{\omega} \times \omega & U = E + R \times I & C = K_c \times I \\
 \downarrow & \downarrow & \downarrow \\
 V & V \approx E \text{ (néglige la résistance)} & N.m \\
 \downarrow & \text{donc } \omega = U \times \frac{1}{K_{\omega}} & \downarrow \\
 V \cdot \text{Rad/s} & & N.m \cdot A^{-1}
 \end{array}$$

- 1.2. Donnez la signification du terme MLI (également appelé PWM). Donnez les différents paramètres de ce type de signal (notamment celui qui est amené à évoluer régulièrement) et dessiner son chronogramme.

MLI = modulation de largeur d'impulsion  
 PWM = Pulse Width modulation.

$$\alpha = \frac{t_h}{T} \rightarrow \text{rapport cyclique}$$

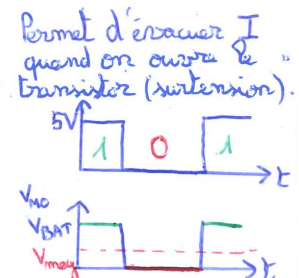
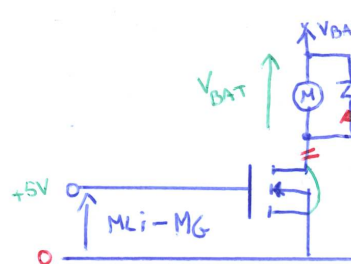
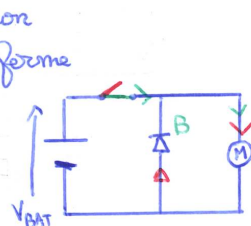
Paramètres constants:  $A, T \rightarrow f$   
 Paramètres variables:  $T_R, T_B, \alpha$

- 1.3. Pour faire varier la vitesse d'un moteur à courant continu on peut utiliser un signal MLI, le moteur est alors intégré dans un schéma appelé hacheur série.

L'intensité fournie par le signal MLI provenant de la carte commande ne permet pas de piloter directement le moteur. Un transistor fonctionnant en commutation (interrupteur piloté en ouvert <-> fermé) va permettre de réaliser l'adaptation de puissance.

Donnez le schéma, il doit faire apparaître : le signal MLI\_MG / le transistor (MOSFET canal N dans un premier temps) / le moteur / la tension batterie / la diode de roue libre.

Si on veut une tension moteur moins, on ferme l'interrupteur la moitié du temps.



- 1.4. Si on note  $\alpha$  le rapport cyclique du signal MLI, pouvez-vous exprimer la vitesse de rotation du moteur en fonction de ce paramètre.

$$V_{\text{moy moteur}} = \alpha \times V_{\text{BAT}}$$

$$\text{Vitesse moteur} = \frac{1}{K_v} \times \alpha \times V_{\text{BAT}}$$

$\hookrightarrow$  proportionnelle  $\alpha$  (rapport cyclique).

- 1.5. Expliquer le rôle d'une diode de roue libre.

Durant  $t_b$ , l'interrupteur (transistor) est ouvert & l'NRJ emmagasinée est restituée, la diode est alors passante, elle permet la continuité du courant, elle permet d'éviter les surtensions aux bornes du transistor.

- 1.6. Parmi la liste des diodes fournies, choisissez la référence la plus appropriée.

	1N 4148	1N 4001	1N 4007
IFmax	200 mA	1 A	1 A
VRRM	100	50	1000
Choix (impossible/possible)	impossible	possible	possible

- 1.7. Afin de choisir le transistor parmi les références proposées, il faut déterminer le courant maximum le traversant, il est identique à celui du moteur. Donner le courant max du Motoréducteur MFA 950D501, utilisez le site du fournisseur :

**GO TRONIC**  
ROBOTIQUE ET COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES

$$1,8 \text{ Ah} \rightarrow 1,8 \text{ A} \Leftrightarrow 1 \text{ h}$$

$$0,9 \text{ A} \Leftrightarrow 30 \text{ min}$$

$$\hookrightarrow \approx 1 \text{ A.}$$

$$I_{\text{moteur max}} = 0,99 \approx 1 \text{ A}$$

- 1.8. Parmi les transistors disponibles, nous avons des transistors Bipolaire NPN, Bipolaire PNP, MOSFET canal N et MOSFET canal P.

Les transistors Bipolaire NPN et les transistors MOSFET canal N seront fermés pour un niveau haut du signal MLI\_MG de commande, ce qui correspond à notre besoin.

Un autre paramètre va nous permettre d'effectuer le choix des transistors possibles, c'est le courant maximum. Ce courant maximum est identique au courant maximum du moteur.

En tenant compte de ces informations, choisissez dans la liste fournie (voir premier document) les transistors compatibles avec notre besoin. Pour ce faire vous allez devoir consulter les datasheets de ces composants, le plus simple est d'utiliser les sites de nos fournisseurs : <https://fr.farnell.com/> et <https://fr.rs-online.com/web/>

	2N2222	BS170	BS250	BD238	TIP31C	BUZ11
Type	Bipolaire NPN	MOSFET canal N	MOSFET canal P	Bipolaire PNP	Bipolaire NPN	MOSFET canal N
Imax	800 mA	500 mA			3 A	30 A
Choix	impossible	impossible	impossible	impossible	possible	possible




- 1.9. Ces deux transistors vont fonctionner en interrupteur. Plus la tension aux bornes de l'interrupteur est faible, mieux c'est. Pour les transistors Bipolaires cette tension correspond au  $V_{CEsat}$  (sat pour saturé). Pour les transistors MOSFET, il faudra s'intéresser au  $R_{DSon}$  (résistance entre le Drain et la Source lorsque le transistor est fermé (ON)), plus la résistance est faible, mieux c'est. On peut alors évaluer la tension aux bornes du transistor en multipliant cette résistance par le courant maximum traversant le transistor.

Déterminez les tensions aux bornes des 2 transistors retenus. Lequel des 2 sera le plus performant ?

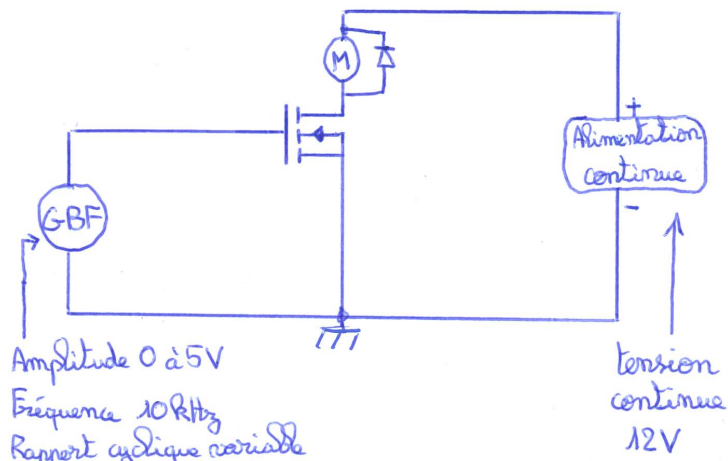
TIP31C :  $V_{CEsat} = 1,2V$  

BUZ11 :  $R_{DS(on)} = 0,04 \Omega$

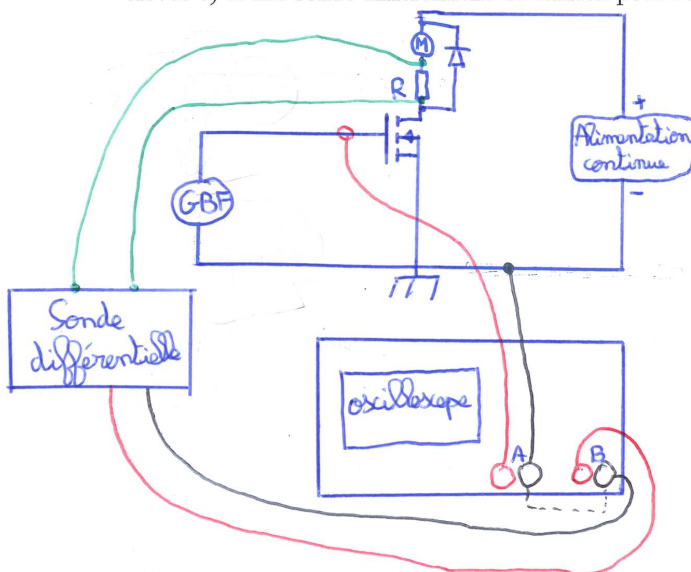
$V_{DS(on)} = R_{DS(on)} \times I = 0,04 \times 1 = 0,04V$  

Donc le BUZ11 est le plus performant.

- 1.10. Décrivez la mesure à effectuer pour valider votre schéma : schéma, appareils à utiliser (les dessiner sur le schéma), réglages de ces derniers, ...etc.

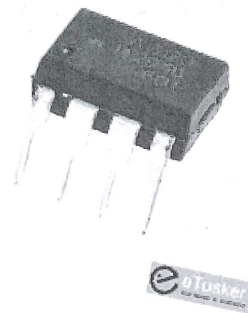
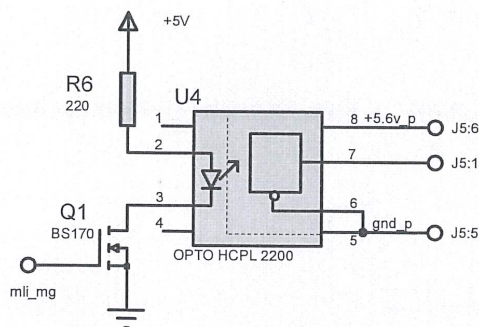


- 1.11. Pour déterminer la fréquence minimale du signal MLI, il faut visualiser l'allure du courant dans le moteur. Proposez une solution pour effectuer cette mesure. Indication : on n'aura pas à notre disposition de sonde de courant, il faudra donc se débrouiller avec une résistance (valeur faible ou élevée ?) et une sonde différentielle de tension pour éviter le court-circuit par les masses.



## 2. Générer une tension régulée de +5,6v

Pour éviter que des parasites de la partie puissance (carte Pilomo + moteurs) remontent à la partie commande, ces deux parties sont séparées électriquement, on parle d'isolation galvanique. La transmission de l'information (signaux MLI) va s'effectuer de manière optique, pour cela on utilise des optocoupleurs. Ces derniers sont placés sur la carte commande, juste avant le connecteur relié à la carte Pilomo. Pour que l'isolation soit correcte on utilise 2 batteries, l'une pour la commande, l'autre pour la puissance. Il faut également que les étages de sortie de ces optocoupleurs soient alimentés par la partie puissance (broche 8 pour le +5,6v et broche 5 pour la masse). Ces optocoupleurs nécessitent une tension de +5,6v.



Vous allez donc choisir des composants et élaborer un schéma permettant de générer une tension régulée de +5,6v (avec un courant maximum débité de 50mA) à partir de la tension (environ +12v) fournie par la batterie puissance.

- 2.1. Expliquer le rôle d'un régulateur de tension (par exemple un 7805).

*Un régulateur de tension (comme un 7805) permet de délivrer une tension stable alors que la tension d'entrée peut varier.*

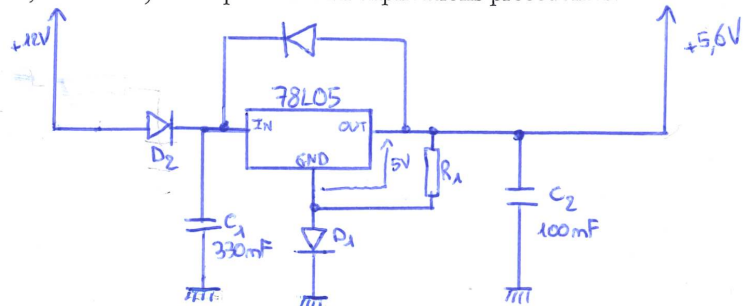
- 2.2. Dans un premier temps on va débiter l'étude avec un régulateur délivrant une tension de +5v (Il n'existe pas de régulateur de +5,6v). Parmi les 5 références de régulateur disponibles, choisissez celui qui correspond au besoin (tension et courant).

	7805	7809	78L05	78L12	LM317
Tension de sortie	5V	9V	5V	12	réglable
Courant de sortie	1A		100mA		
Choix	possible	impossible	possible	impossible	pas souhaité

*On choisit donc le régulateur 78L05.*

- 2.3. Afin d'obtenir les +5,6v en sortie du régulateur 5v, on va « tromper » ce dernier en plaçant sa broche de masse à 0,6v, ainsi on aura bien  $5 + 0,6 = 5,6v$ . Pour ce faire on va utiliser une diode de faible puissance, on sait que la tension à ses bornes lorsqu'elle est montée en directe est de +0,6v. Pour la polariser en directe, on branchera en série une résistance, l'autre extrémité de cette résistance sera connectée à la sortie du régulateur. On aura donc une tension de +5v à ses bornes.

Proposez un schéma (régulateur, diode, résistance) correspondant aux explications précédentes.



- 2.4. Calculez la valeur de la résistance pour obtenir un courant de 10mA dans la diode (et donc dans la résistance, puisqu'elles sont en série et que le courant de la broche de masse du régulateur est très faible).

$$U = R \times I \Leftrightarrow R = \frac{U}{I} = \frac{5}{10 \times 10^{-3}} = 500 \Omega \quad (R_{\text{normalisée}} = 470 \Omega)$$

- 2.5. Parmi la liste des diodes fournies, choisissez la référence la plus appropriée.

Parmi la liste des diodes fournies, la référence 1N4001 est adaptée, mais la diode 1N4148 est suffisante ( $I_{F\text{max}} = 200 \text{ mA}$ ).

- 2.6. Il nous reste à protéger notre montage contre les inversions de polarité de la batterie (erreur de manipulation de l'opérateur). Ajoutez à votre montage une diode qui laissera passer le courant provenant de la batterie en fonctionnement normal et le bloquera, interdisant ainsi le passage du courant dans le mauvais sens et protégeant donc le régulateur.
- 2.7. Les régulateurs sont des composants robustes, dotés de plusieurs sécurités (contre la surchauffe, contre les courts-circuits), mais ils ne supportent pas le fait que la tension de sortie soit supérieure à la tension d'entrée (ce qui ne doit normalement pas se produire, mais on n'est pas l'abri d'une erreur de manipulation lors de la fabrication de la carte). La solution est de placer une nouvelle diode, qui sera passante si ce défaut apparaît, elle est donc placée entre l'entrée et la sortie du régulateur. En ajoutant cette dernière diode à votre schéma, vous obtiendrez le schéma final de ce bloc permettant de délivrer la tension de +5,6V nécessaire au bon fonctionnement des optocoupleurs.
- 2.8. Proposez une mesure (ou une série de mesures -> courbe) permettant de vérifier que l'on obtienne bien une tension de +5,6V régulée en sortie du montage même si la tension d'entrée varie.

Pour simuler la tension  $V_{BAT}$  (batterie), on utilise une alimentation continue. En faisant varier cette tension on doit obtenir +5,6V en sortie (utilisation d'un voltmètre).

- 2.9. Proposez une mesure afin de vérifier que notre montage est bien capable de fournir un courant maximum de 50mA.

$$U = R \times I \Leftrightarrow R = \frac{U}{I} = \frac{5,6}{50 \times 10^{-3}} = 112 \Omega \quad (R_{\text{normalisée}} = 100 \Omega \rightarrow \text{courant } I = 56 \text{ mA}).$$

En réglant l'alimentation continue à +12V et en plaçant la résistance en sortie, on mesure le courant en sortie (ainsi que la tension pour s'assurer du +5,6V).

## **2 - Compte rendu du TP : validation des choix technologiques**

Lors de ce TP, nous avons travaillé sur la validation des choix de conception pour la carte PILOMO. L'objectif était de tester les montages électriques et électroniques afin de s'assurer de leur bon fonctionnement et de leur adéquation avec les exigences du projet. Voici les étapes principales que nous avons suivies :

### **1. Commande des moteurs à courant continu**

Dans cette première partie, nous avons câblé un montage permettant de contrôler la vitesse d'un moteur à courant continu en utilisant un transistor MOSFET canal N. Le signal de commande (PWM ou MLI) a été généré par un GBF (générateur basse fréquence).

Nous avons ensuite varié le rapport cyclique du signal pour observer les changements dans la vitesse de rotation du moteur. Une diode de roue libre a été intégrée au montage afin de protéger le transistor contre les surtensions. Nous avons relevé les signaux :

- Avec la diode : les pics de tension ont été absorbés, rendant le signal plus stable.
- Sans la diode : les pics de tension étaient présents, ce qui aurait pu endommager les composants.

Ce test nous a permis de constater l'importance de la diode de roue libre dans ce type de montage.

---

### **2. Recherche de la fréquence minimale de fonctionnement**

Pour cette étape, nous devons déterminer la fréquence minimale permettant un fonctionnement continu du moteur. Pour cela, nous avons utilisé une sonde différentielle afin de mesurer le courant circulant dans le moteur sans perturber le montage.

En diminuant progressivement la fréquence du signal PWM, nous avons observé que si cette dernière devenait trop basse, le courant dans le moteur devenait discontinu, ce qui entraînait des perturbations. Nous avons donc noté la fréquence minimale à partir de laquelle le moteur fonctionnait correctement.



---

### 3. Régulation d'une tension de +5,6V

Nous avons ensuite réalisé un montage utilisant un régulateur de tension, des diodes et des résistances pour obtenir une tension stable de +5,6V à partir d'une alimentation de +12V.

Nous avons mesuré et vérifié :

- La stabilité de la tension en sortie, qui devait rester à +5,6V même en cas de fluctuations de l'entrée.
- La capacité du montage à fournir un courant maximal de 50 mA sans compromettre la régulation.

Ces tests ont confirmé que le montage respectait les spécifications de régulation et de courant.

---

### 4. Comparaison entre MOSFET et transistor bipolaire

Enfin, nous avons comparé deux technologies : le transistor MOSFET et le transistor bipolaire. Après avoir remplacé le MOSFET par un transistor bipolaire dans le montage, nous avons relevé les signaux aux bornes du transistor (VCE) dans les deux cas :

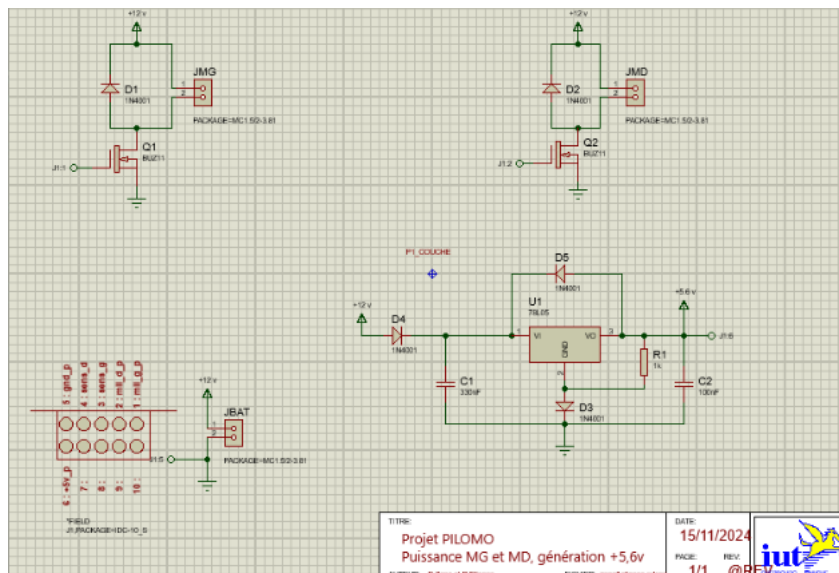
- Avec diode : le signal était plus stable, avec moins de variations brusques.
- Sans diode : des pics de tension ont été observés, montrant une instabilité accrue.

Nous avons conclu que le MOSFET était plus performant pour ce type d'application, en raison de sa meilleure réponse et de sa gestion des surtensions.

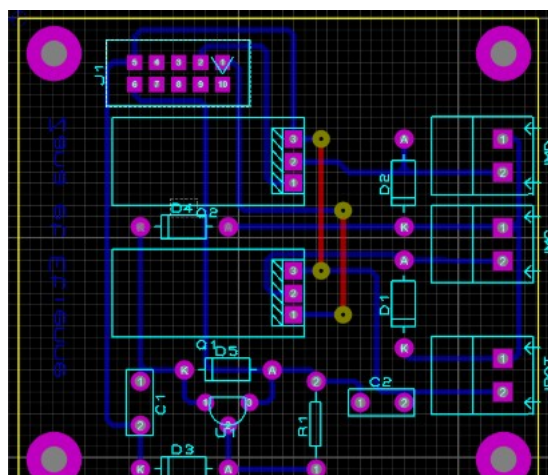
### 3 - Mise au point de la carte (procédure, résultat et photo)

On a d'abord fait la recherche des composants à utiliser, puis nous avons utilisé le logiciel « Proteus » permettant de réaliser des schémas/circuits électroniques.

Pour tracer les schémas, on a d'abord cherché les composants dont nous avons besoin grâce à leur référence, nous les avons disposés puis on les a reliés. On a réalisé la partie moteur gauche, puis on l'a copiée pour la partie moteur droit en changeant les références. Et on a fait la partie de la génération du + 5,6 V.

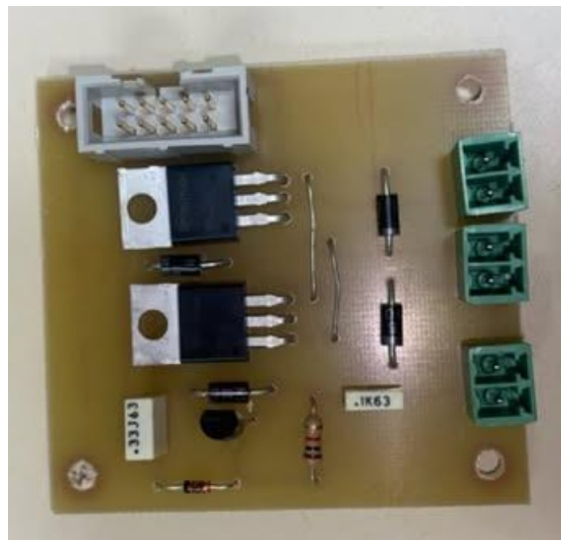
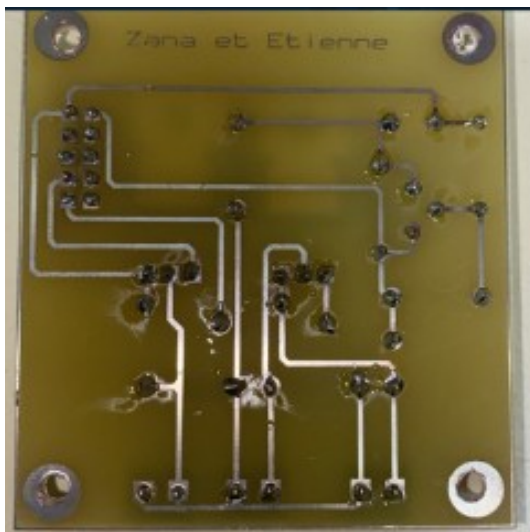


Une fois cela fait, on a réalisé le circuit imprimé : on a d'abord tracé le bord de la carte, puis on a posé les différents composants en prenant le soin de les aligner. Puis on a pu relier les composants en traçant les pistes.



Ensuite, on a percé la carte avec des trous de différents diamètres en fonction des éléments que l'on va y mettre. On a posé les composants en faisant attention au sens ( notamment le sens des diodes ) et on les a soudés sur la carte.

Pour nous assurer que toutes les connexions soient bien faites, nous avons effectué des tests de continuité sur la carte. À l'aide d'un multimètre réglé en test de continuité, on pique à deux endroits différents censés être reliés : si l'appareil émet un « bip » constant, c'est qu'il n'y a aucun problème. Après avoir tout testé, il n'y avait aucun souci.



## 4 - Programme « balade » commenté

```
.nt bp = 4; //Bouton start
.nt mG = 5; //Moteur gauche
.nt mD = 6; //Moteur droit
.nt moustache = 3; //Capteur moustache
.nt valBP; //Valeur bouton start
.nt valSTOP; //Valeur capteur moustache
.nt capteurD, capteurG; //Capteurs de distance

void setup() {
    pinMode(bp, INPUT); //Entrée pour bouton start
    pinMode(mG, OUTPUT); //Sortie moteur gauche
    pinMode(mD, OUTPUT); //Sortie moteur droit
    pinMode(moustache, INPUT); //Entrée capteur moustache
    pinMode(A6, INPUT); //Entrée capteur droit
    pinMode(A7, INPUT); //Entrée capteur gauche

    TCCR0B = TCCR0B & B11111000 | B00000001; //signaler mli
    Serial.begin(9600); //Communication série
    while (digitalRead(bp) == 0); //Attente appui bouton

    void loop() {
        valSTOP = digitalRead(moustache); //Lecture capteur moustache
        capteurG = (100 - (analogRead(A7) / 6)); //Distance capteur gauche
        Serial.print(capteurG); //Affiche capteur gauche
        Serial.print(" "); //Espace
        capteurD = (100 - (analogRead(A6) / 6)); //Distance capteur droit
        Serial.println(capteurD); //Affiche capteur droit
        delay(100); //attendre 100milliseconde

        valBP = digitalRead(bp); //Lecture bouton

        if (valSTOP == 1) { //Si capteur moustache actif
            analogWrite(mG, 0); //Arrêt moteur gauche
            analogWrite(mD, 0); //Arrêt moteur droit
            return;
        }

        if (capteurG >= 30 && capteurD >= 30) { // Pas d'obstacle
            analogWrite(mG, 128); // Moteur gauche 50%
            analogWrite(mD, 128); // Moteur droit 50%
            if (capteurG < 30) { //Obstacle gauche
                analogWrite(mG, 128); //Moteur gauche 50%
                analogWrite(mD, 0); //Moteur droit arrêt
            }

            if (capteurD < 30) { //Obstacle droit
                analogWrite(mG, 0); //Moteur gauche arrêt
                analogWrite(mD, 128); //Moteur droit 50%
            }

            while (capteurG < 30 && capteurD < 30) { //Obstacles deux côtés
                capteurG = 100 - (analogRead(A7) / 6); //Capteur gauche
                capteurD = 100 - (analogRead(A6) / 6); //Capteur droit
                analogWrite(mG, 0); //Arrêt moteur gauche
                analogWrite(mD, 0); //Arrêt moteur droit
            }
        }
    }
}
```



## Fonctionnement général :

- Le robot utilise deux capteurs de distance GP2 (un à gauche et un à droite) pour mesurer l'espace devant lui.
- Il avance tant que les deux capteurs détectent un espace libre supérieur à 30 cm.
- Si un obstacle est détecté sur le côté gauche, le moteur droit s'arrête et seul le moteur gauche continue de tourner, faisant tourner le robot à droite.
- Si un obstacle est détecté sur le côté droit, c'est le moteur gauche qui s'arrête et seul le moteur droit continue de tourner, faisant tourner le robot à gauche.
- Si les deux capteurs détectent un obstacle en même temps (moins de 30 cm sur les deux côtés), les moteurs s'arrêtent et le robot s'immobilise.
- Le capteur moustache arrête immédiatement les moteurs si un contact est détecté, offrant une sécurité pour éviter les collisions.