

Rapport de projet

Année scolaire 2022-2023

"Chien de surveillance"

**Étudiants : Le Corrond Ronan et Kulbicki
Maximilien**

Encadrant : Masson Pascal

SOMMAIRE

Introduction

Chapitre I : Structure

I.1. Cahier des charges

I.2. Corps

I.2.2. Options et solution

I.2.3 Matériaux

I.3. Pattes

I.3.1 Options et solution

I.3.2. Matériaux

Chapitre II : Transmission mécanique et moteurs

II.1 Puissance nécessaire

II.2 Options

II.3 Solutions

II.4 Transmission

Chapitre III : Module de gestion de l'environnement

III.1 Cartographie du milieu

III.1.1 Besoin

III.1.2 Options et solution

III.2 L'autonomie du robot

III.2.1 Besoin

III.2.2 Options et solution

Chapitre IV : Alimentation

IV.1 Options et solutions

Chapitre V : Répartition du travail

V.1 Diagramme de Gantt

V.2 Equipement nécessaire

Conclusion

Introduction

Dans le cadre de notre projet de 1^{ère} année de Robotique, nous nous sommes lancé le défi de réaliser un robot imitant la physiologie d'un chien capable d'assurer la surveillance d'un bâtiment.

Notre objectif est de créer un robot pouvant soulager le personnel de sécurité travaillant la nuit, en effectuant des patrouilles plus ou moins longues au sein d'une zone à surveiller.

Notre robot se doit donc d'être autonome face aux différents signes d'intrusion (fracas, tremblements etc.) et doit pouvoir adapter ses déplacements en fonction de ceux-ci. Cela implique que notre robot-chien doit être capable de se repérer dans son environnement, se mouvoir dans des escaliers et avoir la possibilité d'ouvrir des portes.

Dans les délais qui nous sont accordés, nous n'estimons pas avoir le temps de réaliser un robot remplissant toutes ces fonctionnalités et avons donc sélectionné celles qui nous feraient progresser le plus et nous donneraient un bon aperçu des compétences à acquérir en robotique. Nous envisageons ainsi de produire un robot capable d'accomplir deux tâches : celle de se repérer dans un espace de travail donné et celle de se déplacer dans un escalier.

Pour rendre nos objectifs plus concrets, le bâtiment D des Templiers constitue la zone à surveiller puisqu'il présente les caractéristiques d'un bâtiment quelconque : plusieurs étages, escaliers et des couloirs. Nous supposons que la zone à surveiller se limite aux couloirs des deux étages, sans l'ensemble des pièces séparées de ceux-ci par des portes.

Notre projet se décompose selon deux axes de travail : un axe de travail cherchant à rendre le robot fonctionnel ; un axe de travail visant à le rendre autonome dans son espace.

Chapitre I : La structure

Dans cette partie, nous définirons les caractéristiques physiques de notre robot.

I.1. Cahier des charges

Les contraintes de taille que nous fixerons sont les suivantes :

- hauteur maximale : 300mm
- largeur : 200mm
- longueur maximale : 400mm

I.2. Le corps

Cette partie concerne la pièce centrale du robot qui accueillera l'ensemble des modules et des pattes.

I.2.1. Options et solutions

Pour le corps, nous avons besoin d'une surface pouvant contenir tous les modules du robot : cartes mères, capteurs, moteurs et transmissions.

Dans nos recherches, nous retrouvons principalement des corps cubiques et fermés. L'avantage de ceux-ci est qu'ils apportent une bonne robustesse mais ont l'inconvénient d'alourdir la structure.

Un autre type de structure apparaît dans nos recherches. Il s'agit de corps maintenus par des tubes, sans parois latérales.

Nous opterons pour une carrosserie cubique, tout en veillant à la rendre poreuse lorsque c'est applicable afin de diminuer sa masse.

La structure du robot est illustrée ci-dessous avec les vues de face/côté/dessus (voir figure I.2.1, I.2.2 et I.2.3):

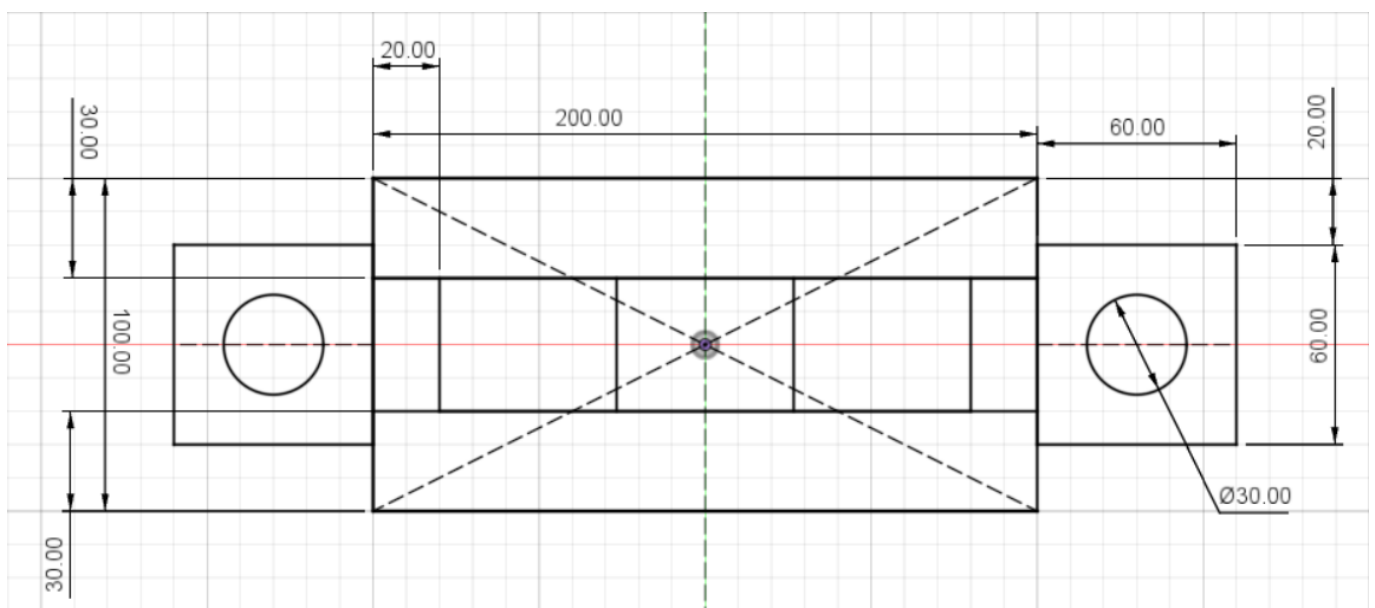


Figure I.2.1 : Vue de face du corps du robot

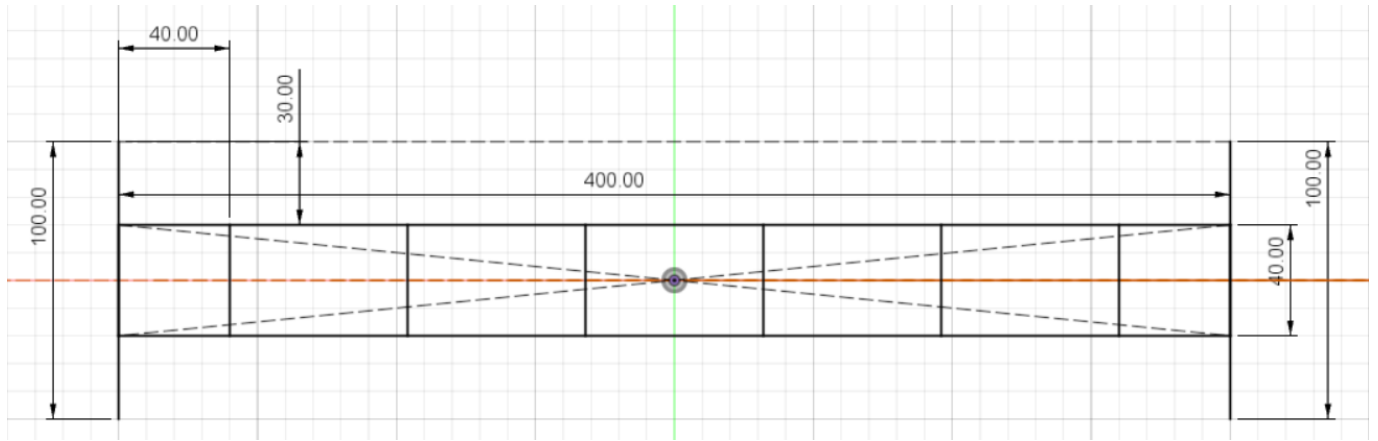


Figure I.2.2 : Vue de côté du corps du robot

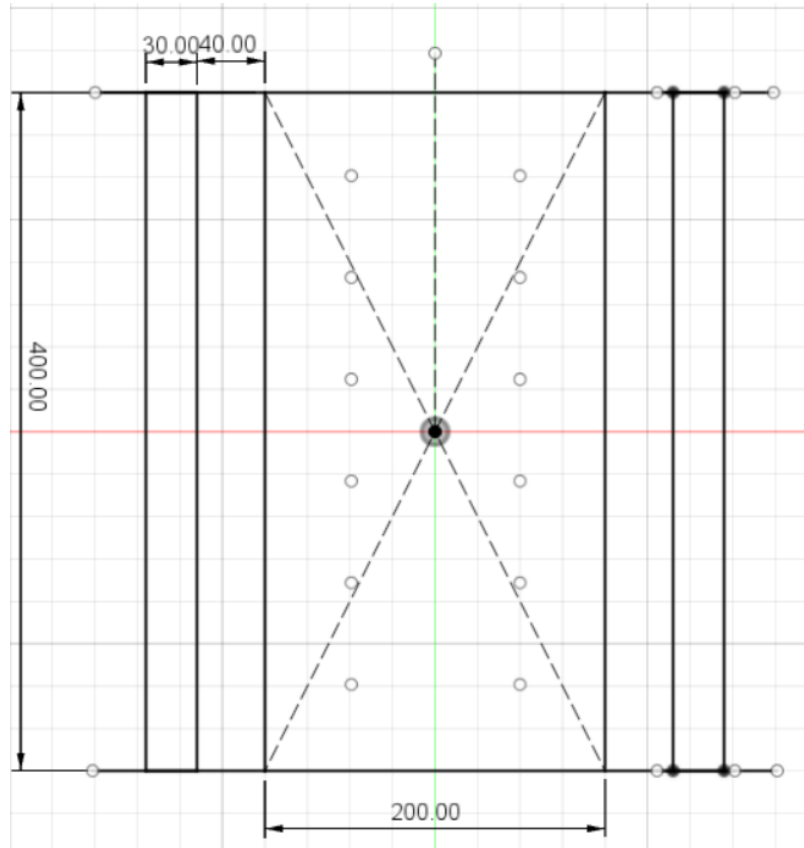


Figure I.2.3 : Vue de dessus du corps du robot

Toutes les côtes sont en millimètres.

I.2.2. Matériaux

Parmi les matériaux disponibles pour la construction de notre châssis, nous cherchons ceux capables d'allier robustesse et légèreté.

Plusieurs choix s'offrent à nous : plexiglass, acier/aluminium, bois, fibre de carbone. Nous listons dans le tableaux ci-dessous (voir Figure I.2.4) les avantages et inconvénients de chacun.

	Impression	Aluminium	Bois	Plexiglass	Carbone
Avantage	<ul style="list-style-type: none"> - facilité de production - précis - peu coûteux - léger 	<ul style="list-style-type: none"> - résistant 	<ul style="list-style-type: none"> - facile à travailler - peu cher - léger 	<ul style="list-style-type: none"> - facile à travailler - peu cher - rigide - léger - rapide 	<ul style="list-style-type: none"> - très léger - très résistant
Inconvénient	<ul style="list-style-type: none"> - chronophage 	<ul style="list-style-type: none"> - cher - difficile à travail - lourd 	<ul style="list-style-type: none"> - cassant - peu solide 		<ul style="list-style-type: none"> - cher - difficile à travailler

Figure I.2.4 : Tableau exposant les avantages/inconvénients de chaque matériaux

Nous avantagerons donc le plexiglass dans la création du châssis puisqu'il présente le compromis le plus avantageux. On se garde le droit d'utiliser l'aluminium ou la fibre de carbone pour les pièces qui nécessitent plus de solidité.

Le plexiglass sera utilisé dans la base du corps composé de deux rectangles de 200mm de largeur et de 400mm de longueur (voir rectangle central dans figure I.2.3).

Le carbone sera utilisé dans les tubes de diamètre 30mm (voir figure I.2.1) et de longueur 400mm (voir rectangle de 30mm de large et de 400mm de longueur sur la figure I.2.3) maintenant la structure.

Les cadres d'une largeur de 200mm et d'une hauteur de 100mm (voir figure I.2.1) seront en plexiglass.

I.3. Les pattes

Cette partie concerne les composants responsables des déplacements du robot.

I.3.1. Options et solutions

Il existe deux types de format pour la structure des pattes de robot chien :

- les pattes reprenant l'anatomie d'une patte de chien.
- les pattes dites « en diamant ».

Les pattes de chien sont les plus courantes dans l'industrie des robots quadrupèdes. Elles sont notamment utilisées par des entreprises comme Boston Dynamics (voir figure I.3.1) ou Ghost Robotics. Ces pattes ont l'avantage d'avoir une marge de manœuvre élevée, permettant notamment aux robots de gravir des obstacles verticaux.



Figure I.3.1 : Robot quadrupède à pattes de chien de Boston Dynamics

Les pattes dites « en diamant » (voir figure I.3.2) ont été utilisées dans le projet StanfordDoggo, mené par les étudiants en robotique de Stanford. Elles peuvent délivrer des impulsions permettant au robot de sauter ou effectuer des pirouettes. Elles ont l'inconvénient d'avoir une marche de manœuvre réduite en comparaison des pattes de chien.

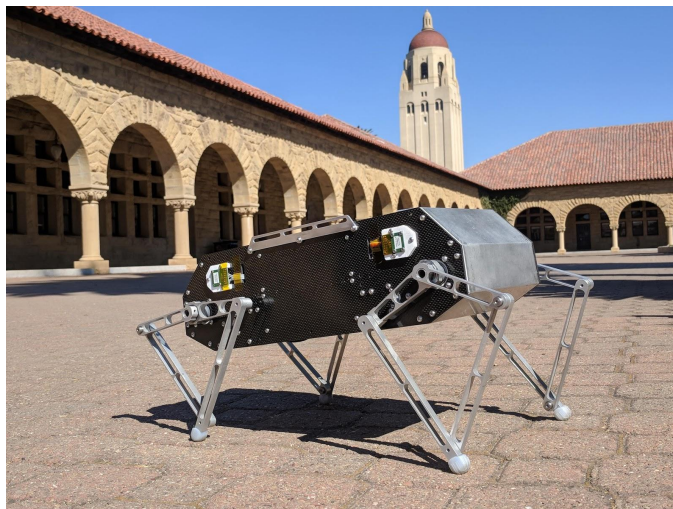


Figure I.3.2 : Le robot StanfordDoggo aux pattes en diamant.

Nous optons donc pour des pattes de chien car nous avons besoin que le robot puisse gravir des marches.

I.3.2. Matériaux

A l'instar du corps, les pattes doivent allier robustesse et légèreté. Ainsi, nous choisissons le plexiglass comme matériau pour les pattes.

Chapitre II : Transmission mécanique et moteurs

II.1 Puissance nécessaire

Nous avons estimé le poids du robot de la sorte :

Corps	Arduino	Nvidia	Lidar	Capteurs	Batterie	Moteurs	ESC
1500gr	20gr	100gr	363gr	150gr	500gr	1860gr	400gr

Soit un poids total d'environ 5kg. Chaque pattes portera donc 1,25kg.

Nous pouvons donc estimer le couple nécessaire des moteurs en estimant que les pattes fassent 15cm de long lorsqu'il est allongé.

$$\text{Soit } 1,25\text{kg} * 9,81\text{m/s}^2 * 15.10\text{e-}2\text{m} = 1.84\text{Nm}$$

Nos moteurs devront donc pouvoir supporter un couple de 1.84Nm.

II.2 Options

Nous avons 3 solutions pour les moteurs :

- Servo moteur
- moteur pas à pas
- Brushless

Nous avons pu trier les avantages et inconvénient de chacun de la sorte :

	Servo moteur	Moteur pas à pas	Brushless
Avantages	<ul style="list-style-type: none">- Contrôle précis des angles- Gros couple- Simple d'utilisation	<ul style="list-style-type: none">- Connaissance des mouvements grâce aux pas.- Angles précis- Rapide	<ul style="list-style-type: none">- Très haute vitesse- Très léger- Grande puissance
Inconvénient	<ul style="list-style-type: none">- Peu résistant- Supporte peu de charge en statique	<ul style="list-style-type: none">- Très lourd	<ul style="list-style-type: none">- Peu de couple- Pas de contrôle de position

II.3 Solutions

Nous avons donc choisi d'utiliser des moteurs brushless couplé avec des réducteurs pour nous permettre d'obtenir un gros couple tout en gardant une bonne vitesse et une précision. Nous allons également ajouter des capteurs pour permettre de contrôler précisément l'angle souhaité.

Pour nous permettre d'avoir une mobilité totale du robot, chaque patte devra avoir 3 moteurs.

Nous avons choisi des brushless outrunners de grand diamètre pour disposer du plus gros couple possible. Nous avons donc choisi un brushless avec un stator de 53mm par 12mm, les ACK-5312.

Ce moteur a une consommation maximum de 45A et 330kv. De cela, nous pouvons estimer le couple.

$$45A / 330kv = 0.136363...Nm$$

Nous utilisons une batterie 4S soit de 14,8 V.

$$330kv * 14,8V * 2\pi / 60 = 511.45rad/s$$

Nous estimons avoir besoin d'une vitesse de déplacement des pattes de 4π rad/s.

$$\text{soit } 511.45 / 4\pi = 40.7$$

Par rapport à notre vitesse de déplacement souhaitée, nous pouvons appliquer un réducteur entre les moteurs et les articulations de 1/40. Les moteurs ne pouvant pas tourner à vitesse maximum de façon continue. Nous avons donc choisi d'utiliser un réducteur de 1/25.

$$(45A/330kv) * 25 = 3.41Nm$$

Avec ces moteurs et les réducteurs, le couple des articulations sera donc de 3.41Nm.

Cela nous permettra de se déplacer avec aisance, monter les escaliers et également d'avoir une charge utile si jamais nous souhaitons rajouter des fonctionnalités et des capteurs sur le robot.

II.4 Transmission

Nous allons donc devoir installer des réducteurs entre les moteurs et l'articulation. Nous avons décidé pour cela de concevoir nos réducteurs en utilisant des engrenages en plexiglass.

Chapitre III : Module de gestion de l'environnement

Notre robot se devra, durant son fonctionnement, de pouvoir interagir avec son environnement et le percevoir correctement. Pour ce faire, il sera doté de différents capteurs.

III.1 L'étude de son environnement

III.1.1 Besoin

Le but final de ce robot est de pouvoir sécuriser de façon autonome un environnement comme un bâtiment.

Pour ce faire, il va devoir réussir à analyser son environnement et déterminer où il se situe dans le bâtiment pour pouvoir rejoindre les autres parties du bâtiment le plus rapidement possible.

Il devra également détecter les escaliers, que ça soit d'en bas, ou d'en haut.

Puis sa dernière mission sera de détecter si une intrusion a eu lieu au sein du bâtiment.

III.1.2 Options et solution

Pour réussir ces objectifs, nous allons donc embarquer sur le robot plusieurs capteurs.

Pouvoir connaître son environnement et se repérer dedans nécessite de pouvoir obtenir beaucoup d'informations lors du déplacement du robot. Plusieurs solutions s'offrent donc à nous comme des capteurs ultrasons de chaque côté du robot ou des caméras avec un grand champ de vision. Mais les capteurs ultrasons ne nous donneraient pas assez d'informations. Et en vu de nos capacités et notre temps disponible, l'analyse d'image avec les caméras nous semble trop ambitieux.

Nous avons opté pour un lidar 360, permettant d'obtenir rapidement un maximum d'informations tout autour du robot ce qui nous permettrait de cartographier avec précision le bâtiment.

Concernant la détection des escaliers, nous allons installer un capteur ultrason à l'avant du robot, il sera monté sur un système mobile avec un servo moteur ce qui nous permettra d'analyser les distances sous et au-dessus du robot.

La détection d'intrusion consistera à détecter la présence ou non, d'un être humain dans le bâtiment. Pour ce faire nous aurions pu utiliser une caméra thermique mais en raison budgétaire nous avons décidé d'utiliser une caméra infrarouge. Cette caméra sera également placée à l'avant du robot et grâce à deux projecteurs infrarouge, nous permettra de détecter les personnes de jour comme de nuit.

III.2 L'autonomie du robot

III.2.1 Besoin

Le robot doit pouvoir se déplacer correctement sur ses quatre pattes, et malgré le fait que le sol du bâtiment est normalement plat. Il doit pouvoir s'adapter à un sol escarpé tout en restant stable pour ne pas perturber les mesures du lidar.

III.2.2 Options et solutions

Nous avons choisi d'utiliser des brushless pour déplacer le robot. Nous devons donc connaître l'angle des pattes pour venir contrôler les vitesses et les positions de ces moteurs. Pour ce faire, nous pouvons utiliser des encodeurs ou des potentiomètres. L'angle des pattes est un angle limité donc nous avons choisi d'utiliser des potentiomètres. Cela permettra d'avoir en temps réel la position précise des pattes sans potentiel décalage qu'aurait pu créer les encodeurs. Nous installerons donc un potentiomètre par articulation soit douze au total. Nous utilisons des potentiomètres de 10K ohm, fonctionnement parfaitement avec une carte Arduino.

Pour pouvoir s'adapter au variation du sol, notre problème était de savoir si les pieds touchaient le sol ou non. Nous avons donc envisagé plusieurs solutions comme des capteurs de contact sous le pied ou encore un capteur de distance au niveau de chaque pattes. Mais nous connaîtront parfaitement la hauteur au sol du robot grâce à la position et à la taille des pattes. Ainsi un capteur de position et d'angle comme des accelerometre et des gyroscopes nous suffit amplement pour déterminer si oui ou non, les pieds reposent sur le sol.

Chapitre IV : Alimentation

Nous abordons ici la partie décrivant les besoins énergétiques de notre robot.

IV.1 Besoin

L'alimentation de notre robot devra répondre aux besoins de consommation des différents modules qui le constituent : carte Arduino, JNX30D, moteurs, Lidar360, Fisheye, etc.

Explicitons les plages de tensions et consommation recommandées des composants utilisés:

- Carte Arduino : 5-12V ; 30mA
- Carte JNX30D : 6-19V ; 40w
- Moteur ACK-5312CP (*12) : 14.8V ; 5A
- Lidar360 : 5-9V ; 250mA
- Caméra Fisheye 5MP OV5647 : 2.6-3V
- Servo MG90s : 3-7V ; 250mA
- HCSR04 : 5V ; 2mA

En considérant le cas où l'ensemble des composants fonctionnent en même temps, la batterie du robot devra être en mesure de délivrer une tension minimale de 14.8V et un courant d'environ 60A pour un temps donné.

Nous considérons que les moteurs ne tourneront jamais à leur vitesse maximale, et donc ne consommeront jamais 45A.

Nous avons besoin que notre robot puisse effectuer des patrouilles régulières dans son espace de travail. Il nous faut un robot pouvant fonctionner durant des rondes de 5 min, avec un temps de recharge arbitraire de 40-60 min.

En partant de ces besoins, la batterie nécessite une capacité de :

$$C = A/t = 60 / (60/5) = 5A/h = 5000mA/h$$

De plus, le chargeur d'une telle batterie devra délivrer un courant de 5A.

Besoins de la batterie:

- Tension délivrable : 14.8V
- Capacité : 5Ah
- Courant minimum livrable : 60A

IV.2 Options et solutions

Plusieurs types de batterie nous sont proposés sur le marché, chacun présentant son lot d'avantages. Le tableau suivant (voir figure IV.2.1) expose les avantages/inconvénients de ceux-ci :

	Nickel-Cadmium	Lithium -Ion	Lithium-Polymère (variante Li-Ion)	Nickel Metal Hydrure (variante Ni-Cd)
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - rechargeable - charge rapide 	<ul style="list-style-type: none"> - léger - capacité intéressante - rechargeable 	<ul style="list-style-type: none"> - plus stable que Li-Ion (pas de risque d'inf) 	<ul style="list-style-type: none"> - rechargeable - meilleur rendement que Ni-Cd - pas d'effet mémoire
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - *"effet mémoire" - autonomie dépassé - lourd 	<ul style="list-style-type: none"> - risque d'inflammation - cher 	<ul style="list-style-type: none"> - nécessite un chargeur adapté 	<ul style="list-style-type: none"> - lourd - recharge plus longue

Figure IV.2.1 : Tableau avantages/ inconvénients des types de batterie envisageable

*l'effet mémoire caractérise le phénomène où la charge de la batterie tend à diminuer avec le temps et recharge.

Notre choix se porte donc sur les batteries de type Lithium-Polymère car elles constituent les batterie les plus efficaces, les moins lourdes et présentent peu de risques.

Une batterie Li-Po 4S 50C de 5000mAh est donc optimale pour l'alimentation de notre robot.

La caractéristique 4S signifie que la batterie se compose de 4 cellules disposées en série, délivrant chacune une tension de 3.7 V, soit un total de $4 \times 3.7 = 14.8V$.

La caractéristique 5000mAh renvoie à la capacité de l'accumulateur. Elle décrit le courant pouvant être livré pour un temps d'utilisation donné, lorsque la batterie est complètement chargée. Ici, cette batterie est en mesure de délivrer 5A en continu en une heure d'utilisation.

La caractéristique 50C (taux de décharge) signifie que la batterie peut délivrer 50 fois la capacité maximale de l'accumulateur, réduisant la période d'utilisation par la même occasion. Ici, cela signifie que la batterie peut livrer un courant maximal de $C_{max} = 50 \times 5 = 250 A$.

Ainsi, cette batterie est capable de délivrer un courant de 60A, sur une période de 5 minutes d'utilisation. On se garde le droit d'utiliser une batterie supplémentaire afin de doubler le temps d'action.

Chapitre V : Répartition du travail

Cette partie expose les différentes tâches dans la réalisation du projet. Nous prévoyons les tâches à réaliser jusqu'à la fin du 1er semestre de notre année (début Janvier 2022), car nous manquons d'expérience pour prévoir précisément le travail à accomplir.

V.1 Diagramme de Gantt

Notre première estimation du travail à accomplir se décline comme le montre la Figure V.1.1.

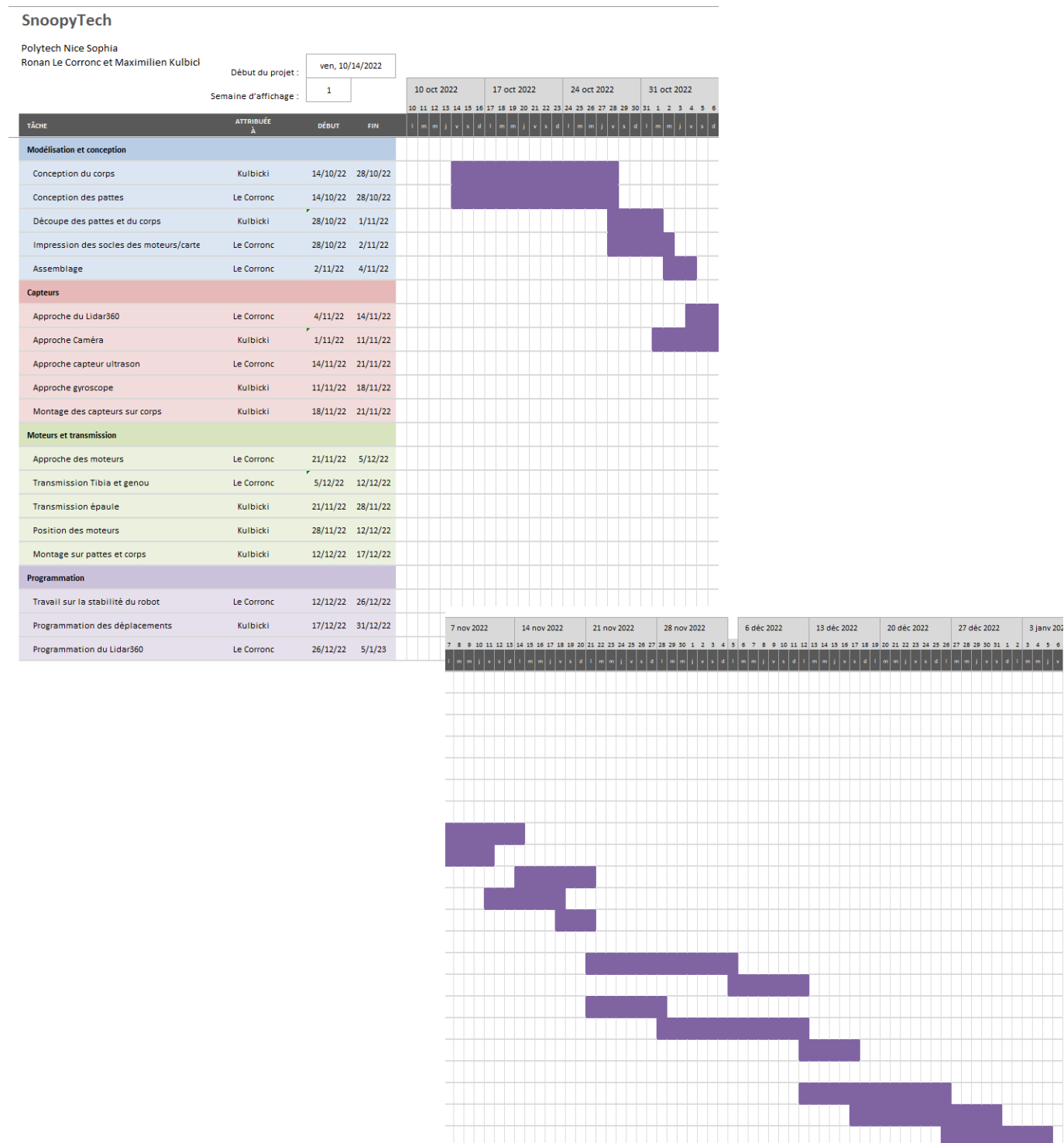


Figure V.1.1 : Diagramme de Gantt

V.2 Equipement nécessaire

Nom	Quantité	Prix	Prix total	Poids(g)	Lien	Description
Corps et pattes						
Tube en fibre de carbone	1	23,36 €	23,36 €	71	Lien	Color: 2pcs 30x28x500mm
Roulement	8	0,95 €	7,60 €	5	Lien	
Motorisation						
Brushless ACK-5312CP	12	26,10 €	313,20 €	155	Lien	
ESC 40A	4	27,65 €	110,60 €	132,8	Lien	Color: 4xESC with wires
Capteurs						
yoyeetoo Slamtec RP LIDAR	1	109,99 €	109,99 €	363	Lien	
Capteur ultrason	1	1,23 €	1,23 €	13	Lien	
Servo SG90	1	1,90 €	1,90 €	9	Lien	
Caméra Raspberry Pi	1	6,28 €	6,28 €	18,4	Lien	
Potentiometre 10K	2	0,68 €	2,35 €	10	Lien	Color: 10 K Ohm
Accelerometre MPU6050	1	2,59 €	2,59 €	6	Lien	
Alimentation						
Batterie 4S 5000mAh	1	49,01 €	49,01 €	459	Lien	Color: 4s 5000mAh 60C
Prix total	597,15 €	Poids total	3279,6gr			

Conclusion

En conclusion, ce rapport nous a permis de définir les contraintes techniques que notre robot doit respecter. Nous avons dû analyser les différentes solutions qui se présentaient à nous lors de la conception de certaines pièces, le choix des moteurs et des capteurs. Nos choix se sont portés vers les solutions qui nous paraissaient les plus judicieuses et les moins coûteuses.