



PARIS PANTHÉON - ASSAS UNIVERSITÉ

RAPPORT TECHNIQUE

Bras à Hélice à un degré de liberté

Maitres de Stage :

-Rémi GRIOT
-Laurie CONTEVILLE

Stagiaire :

- Yann Kader Axel Obou N'DO

EFREI PARIS

INNOVATIONLAB- JANVIER 2022-MARS 2022

Table des matières

I- PRESENTATION DU STAGE	2
II- DESCRIPTION FONCTIONNELLE	4
1- Le besoin.....	4
2- Le produit	5
a- Système de contrôle	5
b- Les capteurs	6
c- Le moteur.....	6
d- Le bras en aluminium.....	9
e- L'alimentation	9
3- Fonctionnalités	9
III- PARTIE ELECTRONIQUE	10
1- Environnement de travail	10
a- Microcontrôleur	10
b- Environnement de développement	11
c- Plateforme de versionnage	12
2- Composants électroniques	13
a- Moteur	13
b- ESC.....	17
3- Structure du code.....	Erreurs ! Signet non défini.
a- Machine d'état.....	Erreurs ! Signet non défini.
b.....	22
IV- PARTIE MECANIQUE	30
1- Description du matériel	30
a- Vue globale	30
b- Structure de base	32
2- Pièces modélisées	33
a- Support Moteur	34
b- Carter de protection	35
c- Support ESC.....	37
d- Support centrale inertuelle	37
e- Support de carte STM32	38
f- Absorbeur de choc	38
3- Tests ou ouvertures.....	38
V- ANNEXE	46
1-a : Rotule supérieure.....	31
1-b : Rotule supérieure de profil	31
1-c : Rotule inférieure.....	32
1-d : Rotule inférieure autre point de vue	32
1-e : Prototype de bras.....	33
2-a : vue de profil Profilé en aluminium.....	33
2-b : vue de face du profilé en alu.....	34
2-c : illustration écrou en T.....	34
2-d : vue du bas support moteur.....	34

Année 2021-2022

2-e : vue de profil support moteur.....	34
2-f : vue du haut support moteur.....	35
2-g : vue de face support moteur.....	35
2-h : carter de bas	35
2-i : carter de haut.....	36
2-j : carter de profil.....	36
2-k : carter v2 du bas.....	36
2-l : carter v2 de profil.....	36
2-m : carter v2 du haut.....	36

I- PRESENTATION DU STAGE

Le stage proposé par l'INNOVATION LAB EFREI PARIS, en la conception de matériel pédagogique dans l'optique de faire une introduction aux différents organes d'un

Année 2021-2022

drone, dans leur fonctionnement individuel comme groupé. Cette maquette présente l'avantage d'être ergonomique.



Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer 0 au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-a :

Bras de test

Pour la réalisation de tests sur des parties spécifiques, évitant l'utilisation d'un drone complet, pouvant poser des soucis de sécurité, le dispositif est composé d'un bras fixé sur un axe. Le bras est donc mobile seulement dans un plan. Au repos ce bras est en position verticale. A l'une des extrémités sont fixés un moteur et une hélice. Le but pour des étudiants utilisant ce matériel est d'asservir la vitesse de rotation du moteur afin que le bras se stabilise dans une position, à priori horizontale. Ces fonctions pourront être complétées selon d'autres besoins identifiés. En plus de l'aspect pédagogique, la maquette devra être facilement fabricable (impression 3D) et répllicable à bas coût. Le stage se tiendra dans les locaux de l'INNOVATION LAB EFREI PARIS sur une période de trois mois de janvier 2022 à avril 2022.

Les missions du stagiaire seront donc de compléter le prototype en réalisant la conception 3D des pièces manquantes où améliorant celles existant déjà, de trouver les bonnes caractéristiques pour les pièces comme le moteur à utiliser et l'hélice en plus du type d'alimentation de tout le système. Une fois cette tâche réalisée, les objectifs suivants seront de réaliser un algorithme de contrôle du moteur puis un algorithme pour asservir le bras en position en fonction des données récupérées par des capteurs extérieurs.

Les étapes clés sont donc :

- Choix d'un environnement de travail adapté au matériel fourni
- Conception des pièces mécaniques
- Conception algorithmique
- Intégration du tuple moteur, esc et hélice
- Récupération de la position au travers d'un gyroscope

II- DESCRIPTION FONCTIONNELLE

1- Le besoin

De manière générale nous pouvons définir un drone comme tout engin mobile terrestre aérien où maritime se mouvant sans un opérateur humain dans son habitacle. Ainsi L'EFREI dans sa majeure Systèmes Embarqués possède une spécialité axée sur les drones. En passant par le contrôle et l'asservissement, à la localisation et à la prise de décision, Cette filière touche plusieurs niveaux d'abstraction la fabrication et la programmation de drones.

Les besoins de la filière Systèmes Robotiques et Drones se situent au niveau de matériel pédagogique pour améliorer la compréhension des cours qui se veulent pratiques. C'est donc dans ce cadre qu'intervient l'innovation Lab. de l'EFREI qui a pour but d'encadrer les projets étudiants. La nécessité de matériel pédagogique permettant l'explication et la clarification de l'utilité de filtres de Kalman ou de boucles d'asservissement durant les cours de contrôle et commande ou de robotique mobile avancée se faisait donc sentir. L'équipement qui répondrait à ce besoin devrait venir de l'innovation Lab de l'école elle-même, être réplicable facilement et peu onéreux. Ce besoin implicite fut relevé lors de l'étude des différents modules composant la majeure SRD. Pour une meilleure visualisation de l'utilité du bras robot un schéma montrant sa fonction dans un cours de robotique mobile avancé permet d'éclaircir et de comprendre son enjeu, qui est de rendre pratique les notions abordées durant le cours.

Nous pouvons schématiser les fonctions qu'il est possible de réaliser et de travailler dans le cas du cours de robotique mobile avancée.

Majeure SRD

Robotique mobile avancée

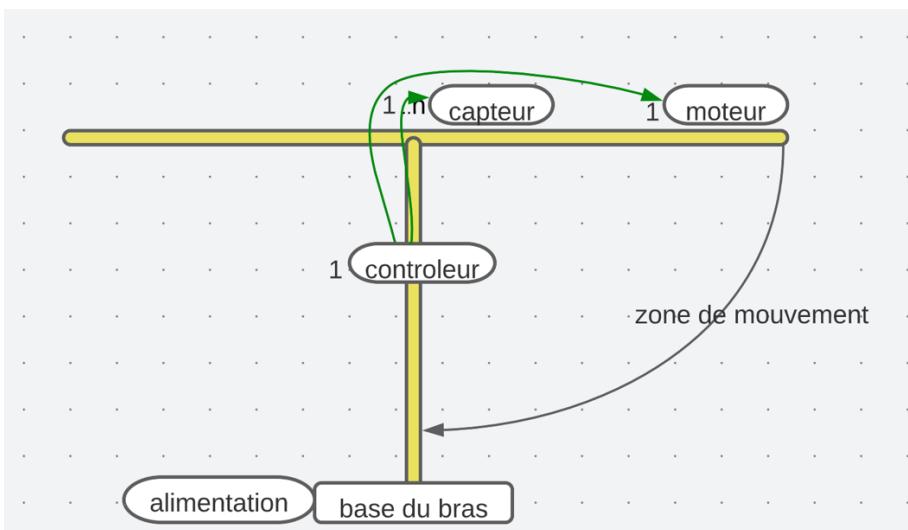
Bras robot

Fonctions

- Implémentation filtre de Kalman
- Lecture des données d'angles
- Interprétation des données sur Matlab

2- Le produit

Le produit à fournir sera un prototype de bras robotisé imitant le fonctionnement d'un drone pour des raisons de sécurité et de contrôle des différents incidents nous utiliserons un seul moteur de drone attaché à la fin du bras robotisé. Ce bras servira de support aux différents éléments qui constituent les pièces essentielles de notre système.



*Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer **O** au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-b : vue simplifiée du produit*

Une vue simplifiée des éléments électroniques importants du système met en avant 4 éléments qui sont :

- Le système de contrôle
- Les capteurs
- Le moteur
- Le bras en aluminium
- L'alimentation

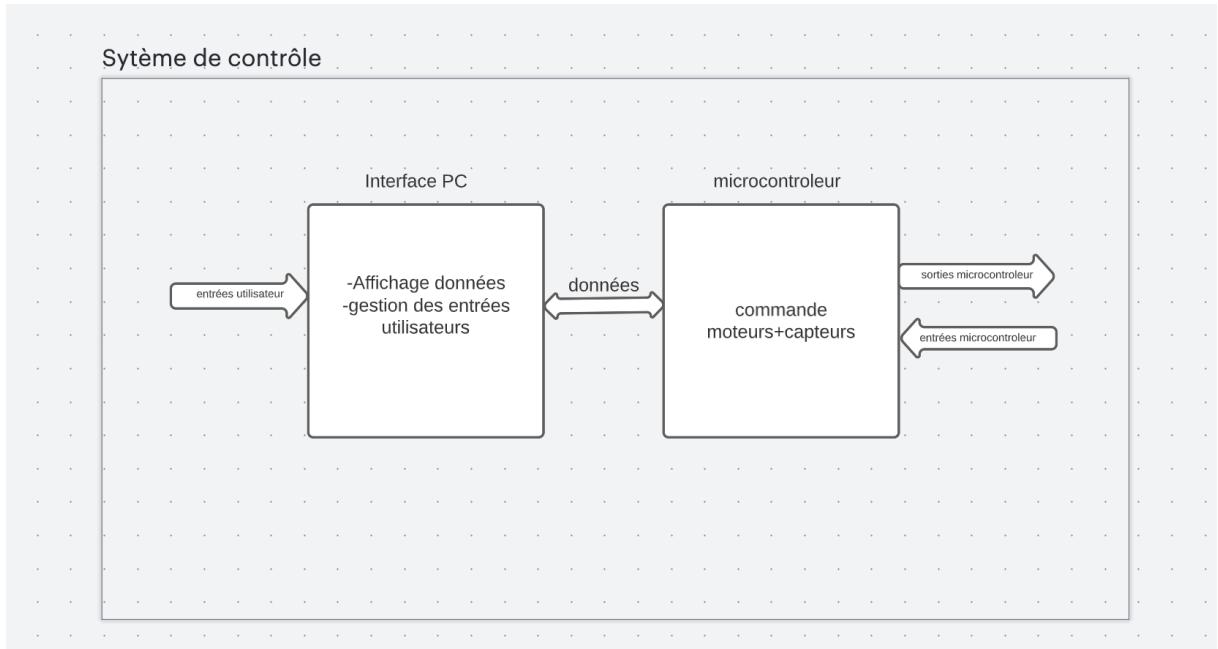
Revenons sur les éléments précédents pour apporter des précisions

a- Système de contrôle

Le système de contrôle joue le rôle de cerveau du système. Celui-ci est constitué de deux parties :

- **Le microcontrôleur** qui permet d'intégrer les différents éléments électroniques au travers de ses ports. En outre il renferme la partie logicielle du projet étant un outil programmable.

- **L'interface PC** laissant la possibilité à l'utilisateur d'accéder aux fonctionnalités et aux données fournies par le système en cours d'utilisation via son ordinateur. Nous pouvons noter comme données la vitesse de rotation de l'hélice, l'angle d'inclinaison du bras et la puissance des gaz du moteur. Toutes ces informations seront transférées via la communication série.



Erreurs ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-c : Schéma Contrôleur

b- Les capteurs

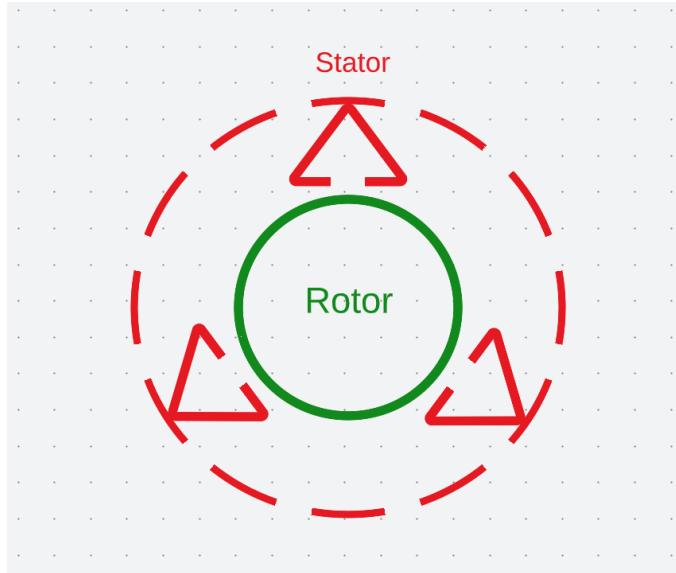
Les capteurs seront les sens du système, récoltant les informations extérieures et les renvoyant au système de contrôle pour un traitement de ces données brutes.

Ils interagiront principalement avec notre microcontrôleur.

Ceux-ci seront choisis selon les fonctionnalités à implémenter pour le stage. Ainsi pour l'asservissement nous auront besoin de connaître la position de notre bras sur un axe, d'où l'utilisation

c- Le moteur

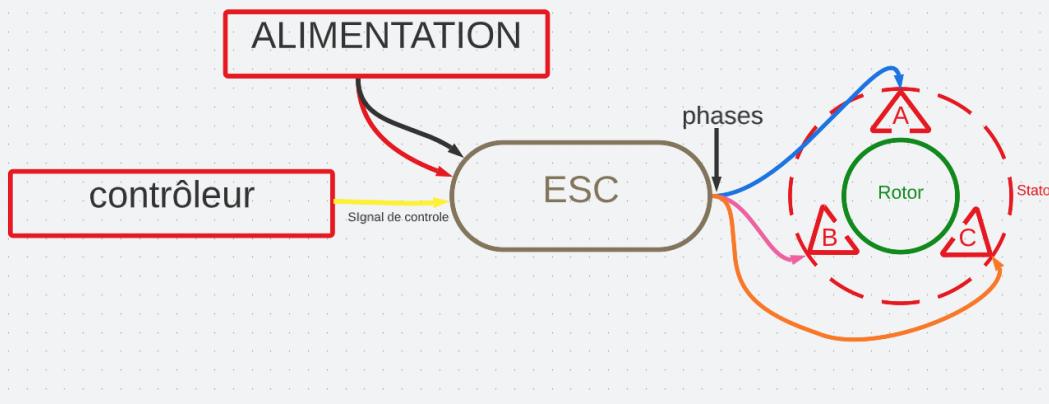
Le moteur est le point principal du stage, son contrôle et la récupération d'informations le conquérant sont des étapes primordiales. Ceux que nous utiliserons seront des moteurs brushless, populaires dans la conception des drones.



Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-d : illustration moteur brushless

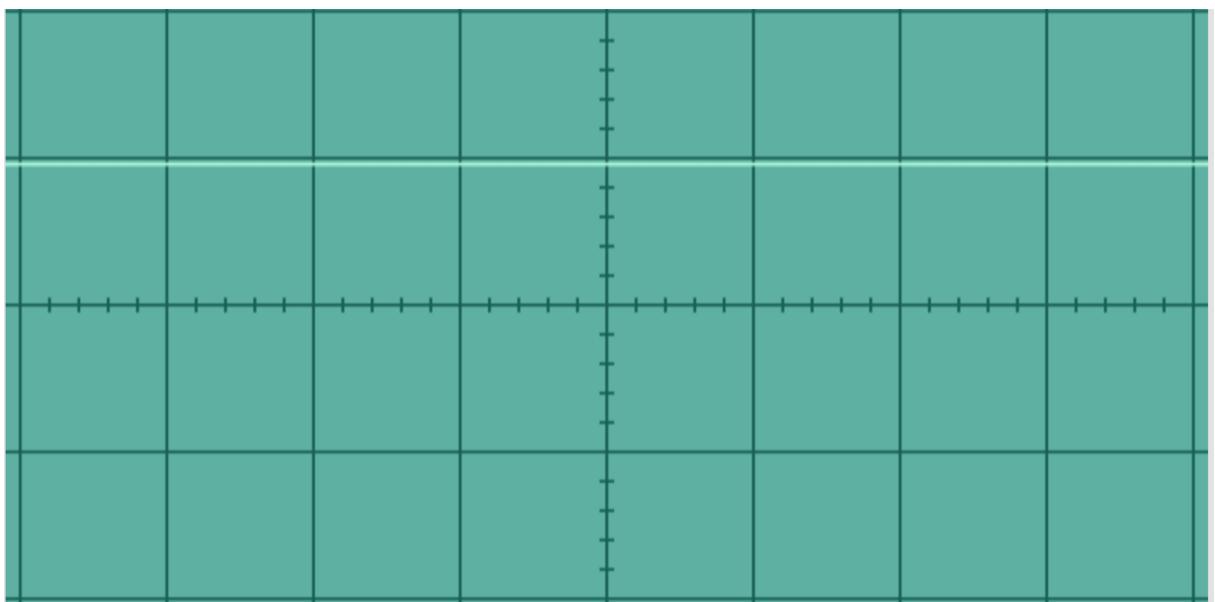
De façon générale Ils sont composés d'un rotor fait d'aimants fixes et d'un stator qui lui est un ensemble de plusieurs bobines de cuivres. Le mouvement est réalisé en faisant circuler le courant en via un onduleur de phase dans les bobines de cuivres. Il possède en général 3 phases.

Les moteurs sont généralement alimentés en courant continu. La quantité de courant détermine la vitesse à laquelle celui-ci fonctionne, un voltage important représente donc une capacité de rotation importante mais un surdimensionnement peut causer des problèmes d'intégrité structurelle. Un contrôle doit donc être réalisé avec un composant entre l'alimentation et le moteur : un contrôleur de vitesse électronique ou plus communément un ESC, ainsi le terme que nous utiliserons pour ce composant. Ainsi cette composante récupère en entrée le courant et l'intensité qu'elle va repartir dans les bobines de fils liées aux phases.



Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-e : illustration montage brushless

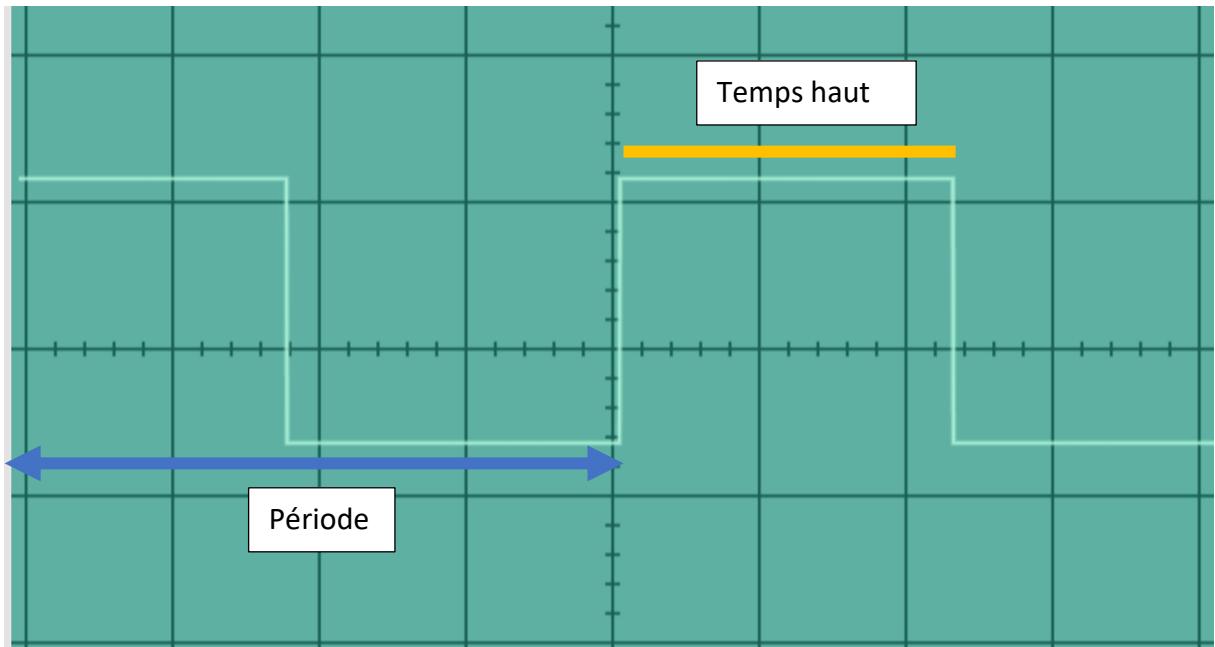
Ici, une vue simplifiée de la place de l'ESC dans un montage basique de moteur de drone. Le courant produit par notre alimentation est continu. De façon illustrée, son allure à l'oscilloscope se rapproche du schéma ci-dessous :



Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-f : illustration courant continu

Notre moteur devant être contrôlé en vitesse pour être asservi il ne peut être directement lié à une alimentation par sa conception, d'où l'utilité de l'ESC qui, en fonction de la commande de l'utilisateur activera de façon successive les phases du moteur pour entraîner une rotation de l'axe.

Le signal de commande envoyé par le contrôleur est un signal carré dont la fréquence est définie par les spécifications de l'ESC. Le terme que nous utiliserons pour nous référer à ce signal est issue de l'anglais, Pulse Wave Modulation (PWM)



Envoyé à une certaine fréquence, La PWM permet une rotation fluide de notre moteur.
Le temps durant lequel le signal est à 1 définit la vitesse à laquelle le moteur tourne.

d- Le bras en aluminium

Le squelette du système ayant des parties manquantes, il faudra fournir les pièces nécessaires à l'installation de composants électroniques. Cette partie est entièrement mécanique et sera traitée dans la partie mécanique.

e- L'alimentation

Le choix de l'alimentation pour le système pour des questions de sécurité a été limité aux générateurs de laboratoire. L'ensemble des tests du prototype pourront donc être réalisés dans un environnement stable. Néanmoins un dimensionnement du système d'alimentation est réalisé dans l'optique de rendre le dispositif portable.

3- Fonctionnalités

Un certain lot de fonctionnalités a été identifié pour le produit pour qu'il puisse être viable. Il doit donc être capable :

- D'être asservi en position
- De communiquer via USB avec un ordinateur
- Avoir plusieurs modes de fonctionnements dont un mode manuel et automatique
- Transmettre les informations de l'état du moteur

Ces fonctionnalités sont rattachées à la partie microcontrôleur de notre système et des capteurs qui y sont rattachés.

III- PARTIE ELECTRONIQUE

1- Environnement de travail

a- Microcontrôleur

Les deux microcontrôleurs en lice pour réaliser le stage étaient la gamme Arduino et Nucléo.



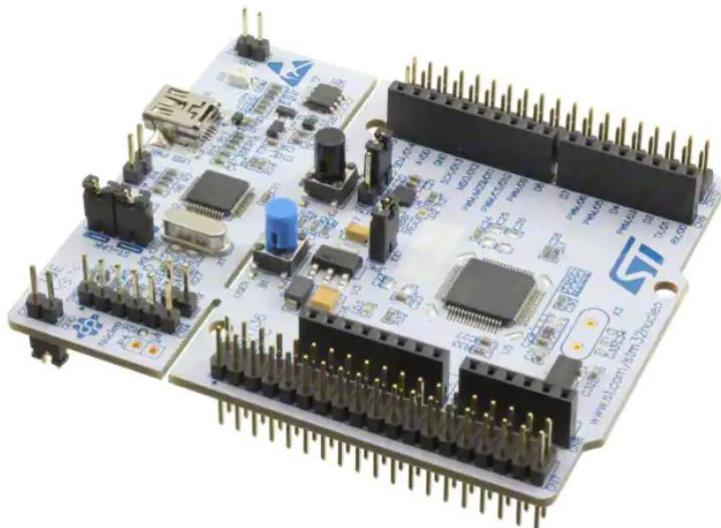
Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-g : Arduino uno R3



Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-h : NUCLEO-C031C6

La carte à utiliser devait se rapprocher des technologies du marché de l'embarqué. La gamme Arduino est orienté découvert avec un environnement en C++ hermétique. La gamme Nucléo est utilisée dans le domaine de l'embarqué pour la réalisation de prototype. Elles possèdent des caractéristiques amplement suffisantes pour la réalisation des missions du stage. Elle est préférable à Arduino car elle est utilisée dans le domaine professionnel et offre beaucoup plus de liberté de manipulation contrairement à la dernière qui est plus axée sur la découverte et la simplicité d'utilisation pour des utilisateurs moins aguerris.

La carte retenue pour le stage est un modèle de STMicroelectronics : la Nucléo L476RG.



Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici. -i: Nucléo L476RG

b- Environnement de développement

Le choix de notre IDE s'est fait selon la compatibilité avec la carte Nucléo et aussi l'accessibilité aux registres pour les manipulations.

L'environnement qui nous fournissait l'accès à ces informations importantes était Cube IDE.



Compatible avec les cartes de développement Nucléo incluse dans ses bibliothèques et utilisable hors ligne, il convient au besoin de contrôle et d'accessibilité des paramètres.

MCU/MPU Selector | Board Selector | Example Selector | Cross Selector

MCU/MPU Filters

Commercial Part Number:

PRODUCT INFO >

MEMORY >

TIMER >

ANALOG >

COMMUNICATION INTERFACE >

USB INTERFACE >

EXTERNAL MEMORY INTERFACE >

OTHER INTERFACE >

GRAPHICS >

SECURITY >

OTHER PERIPHERAL >

Features Block Diagram Docs & Resources Datasheet Buy

 STM32Cube

STM32U5 ultra-low-power MCU series with comprehensive STM32Cube ecosystem

MCUs/MPUs List: 3458 items Display similar items Export

Comme...	Part No.	Reference	Marke...	Unit Price ...	Board	Package	Flash	RAM	I...x	Fre...
★ STM32C0...	STM32...	STM32C...	Comin...	NA		WL CSP 12 1.7x1...	32 k...	6 kB...	10 48 ...	
★ STM32C0...	STM32...	STM32C...	Comin...	NA		WL CSP 12 1.7x1...	32 k...	6 kB...	10 48 ...	
★ STM32C0...	STM32...	STM32C...	Comin...	NA		TSSOP-20	16 k...	6 kB...	18 48 ...	
★ STM32C0...	STM32...	STM32C...	Comin...	NA		TSSOP-20	16 k...	6 kB...	18 48 ...	
★ STM32C0...	STM32...	STM32C...	Comin...	NA		UFQFPN 20 3x3...	16 k...	6 kB...	18 48 ...	
★ STM32C0...	STM32...	STM32C...	Comin...	NA		UFQFPN 20 3x3...	16 k...	6 kB...	18 48 ...	
★ STM32C0...	STM32...	STM32C...	Comin...	NA		TSSOP-20	32 k...	6 kB...	18 48 ...	
★ STM32C0...	STM32...	STM32C...	Comin...	NA		TSSOP-20	32 k...	6 kB...	18 48 ...	
★ STM32C0...	STM32...	STM32C...	Comin...	NA		UFQFPN 20 3x3...	32 k...	6 kB...	18 48 ...	

Erreurs ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-j : interface projet STM32

1DOF_Bench.ioc – Pinout & Configuration >

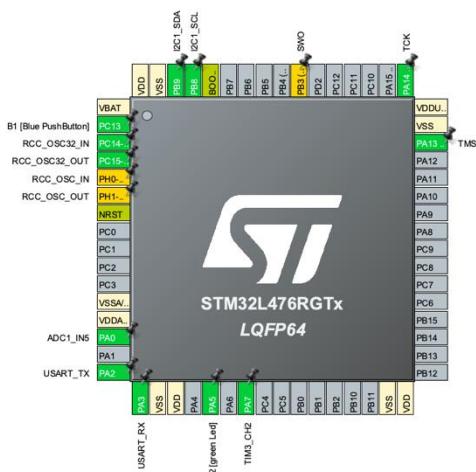
Pinout & Configuration | Clock Configuration | Project Manager | Tools

Software Packs | Pinout

Pinout view System view

Categories A-Z

- System Core >
- Analog >
- Timers >
- Connectivity >
- Multimedia >
- Security >
- Computing >
- Middleware >



Erreurs ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-k : interface paramétrage des broches

c- Plateforme de versionnage

La plateforme utilisée lors du stage pour le versionnage et le regroupement des données est GitHub. Toutes les dépendances y sont ainsi que les informations supplémentaires sur les composantes du système.



2- Composants électroniques

Les composantes électroniques seront reliées à notre microcontrôleurs

a- Moteur

Pour le besoin de notre stage nous avions besoin de choisir un moteur et une hélice correspondant à la charge à soulever.

Les caractéristiques à regarder étaient la vitesse de rotation, le couple et l'envergure de l'hélice à choisir.

La vitesse de rotation est synonyme de réactivité, plus le nombre de RPM est élevé plus les mouvements sont rapides mais le couple dans ce cas est faible. Ce paramètre est prédominant dans les constructions axées sur la vitesse et la légèreté.

Cependant les constructions axées sur la stabilité et le déplacement de charges lourdes vont opter pour un couple plus important.

Une autre donnée importante à noter est le nombre de Kv qui se trouve être le voltage multiplié par le nombre de tours minutes, ce paramètre est souvent celui qui est précisé pour connaître la catégorie du moteur que nous choisissons. Plus le nombre de Kv est élevé, plus nous avons de la vitesse, plus il est bas, plus nous avons de couple.

Ce tableau récapitulatif met en lien le nombre de Kv et la taille de l'hélice

Frame size	Propeller size	Motor Size	KV Rating
150 mm or smaller	3 inch or smaller	1306 or smaller	3000 KV or higher
180 mm	4 inch	1806	2600 KV
210 mm	5 inch	2204-2206	2300 KV-2600 KV
250 mm	6 inch	2204-2208	2000 KV-2300 KV
350 mm	7 inch	2208	1600 KV
450mm	8/9/10 inch	2212 or larger	1000 KV or lower

La charge :

Dans notre cas la charge de manière théorique pouvait se situer entre 450 grammes et 300 grammes, pour un bras de levier ayant une longueur comprise entre 90cm et 60 cm (500 g/mètre pour le profilé en aluminium). Il faut compter à cela le poids du moteur et celui de l'ESC

Poussée théorique en fonction de la charge :

En théorie on définit la poussée minimale nécessaire qu'un drone doit pouvoir développer en multipliant son poids par deux et ajoutant une marge de 30% de plus du poids du drone, les calculs sont approximatifs et l'équipement pouvant s'avérer plus lourd que prévu.

Cette charge est ensuite répartie sur les 4 moteurs

(Source : Construire son drone)

Pm= Poussée minimale

Nd= Poids du drone

Pu= Poussée moteur unique

Poussée minimale = $2 \times \text{poids du drone} + 30\% \text{ poids du drone}$

Poussée d'un moteur = poussée minimale / nombre de moteurs

Exemple : un drone quadrirotor de 3 kg doit pouvoir développer une poussée minimale de

$$Pm = 2 \times 3 + 30 \times 3/100 = 6 + 0,9 = \underline{\underline{6,9 \text{ kg}}}$$

$$Pu = 6,9/4 = \underline{\underline{1,725 \text{ kg}}}$$

Pour information, cette poussée ne doit pas être atteinte à plein régime mais à un régime avoisinant les 50-60% de la poussée totale dégagée par le moteur. Lui permettant de décoller du sol et de se trouver en position stationnaire sans être à plein régime.

Année 2021-2022

Poussée Pratique en fonction de la charge :

Code commande 850-8476



I _x	0,74 cm ⁴
I _y	0,74 cm ⁴
W _x	0,74 cm ³
W _y	0,74 cm ³
G	0,49 kg/m
A	1,82 cm ²
VPE/PU	1 pièce
L	1000 mm

Profilés de structure - données techniques

EN AW – AIMgSi0,5	DIN EN 573
Tolérances	DIN EN 12020-2
Processus d'anodisation	E6C0

Dans notre cas nous devrons prendre en compte le poids du bras du moteur, le poids de l'ESC et aussi du moteur.

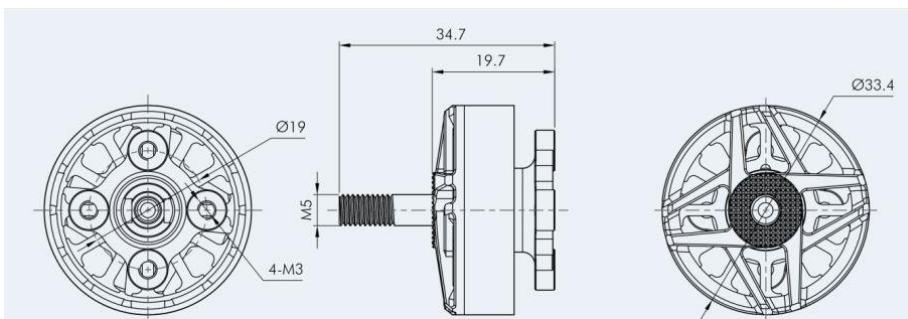
Se retrouvant dans une boucle insolvable nous allons supposer un poids du moteur + hélice de 30 g, 30 g pour l'ESC et un poids de 250 g pour le bras (une longueur de bras de 50cm). Les longueurs supérieures à 50cm donnent une poussée minimale située entre 1173 g et 828 g en considérant les mêmes paramètres. Cette puissance devra être développée par un seul moteur à 50-60% de régime : solution faisable mais chère en matériel et gourmande en énergie. Avec un bras plus court nous obtenons une Pm de 703,8g.

Choix du moteur :

Notre choix s'est porté sur le Tmotor T90, qui développe 1300Kv avec les spécifications suivantes :



Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-l : moteur F90



Specifications

Test Item	KV1300	Weight (Incl. Cable)	46.6g
Motor Dimensions	Φ33.4*34.7mm	Internal Resistance	76mΩ
Lead	20#AWG 230mm	Configuration	12N14P
Shaft Diameter	4mm	Rated Voltage(Lipo)	5-6S
Idle Current(10V)	0.95A	Peak Current(60s)	45.1A
Max. Power(60s)	1059W		

Test Report

Type	Propeller	Throttle	Thrust (g)	Voltage (V)	Current (A)	RPM	Power (W)	Efficiency (g/W)	Operating Temperature (°C)		
HQ 70403	F90 KV1300	30%	353.46	24.24	2.14	8192	51.97	6.80	96 (Ambient Temperature:27°C)		
		35%	478.74	24.22	3.31	9342	80.15	5.97			
		40%	596.38	24.19	4.55	10488	110.13	5.42			
		45%	758.30	24.15	6.71	11716	162.08	4.68			
		50%	947.57	24.10	8.83	12801	212.90	4.45			
		55%	1131.80	24.06	11.29	13891	271.71	4.17			
		60%	1290.19	24.01	14.27	14807	342.61	3.77			
		70%	1585.74	23.90	20.64	16402	493.17	3.22			
		80%	1865.32	23.78	27.73	17739	659.40	2.83			
		90%	2210.20	23.63	36.73	18865	867.82	2.55			
		100%	2360.61	23.48	45.11	19617	1059.16	2.23			
<i>erreurs : les colonnes de la dernière ligne sont vides</i>											
30% 319.66 24.24 1.78 8506 43.23 7.39											

Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-m : Tests réalisés par le constructeur

A 60% de son régime, il génère une poussée suffisante, supérieure à 1kg. Et peut être alimentée jusqu'à 24volts.



b- ESC

Le choix de l'ESC se fait par rapport au moteur choisi et à sa consommation en électricité. L'ampérage en pic de notre ESC doit pouvoir couvrir la consommation maximale en courant de notre système. Le système arrivera à ces valeurs de façon ponctuelle en fonction des accélérations qu'il subira. Dans notre cas le pc de consommation à 100% est de 45 Ampères.

Test Report

Type	Propeller	Throttle	Thrust (g)	Voltage (V)	Current (A)	RPM	Power (W)	Efficiency (g/W)	Operating Temperature (°C)
HQ 70403	F90 KV1300	30%	353.46	24.24	2.14	8192	51.97	6.80	
		35%	478.74	24.22	3.31	9342	80.15	5.97	
		40%	596.38	24.19	4.55	10488	110.13	5.42	
		45%	758.30	24.15	6.71	11716	162.08	4.68	
		50%	947.57	24.10	8.83	12801	212.90	4.45	
		55%	1131.80	24.06	11.29	13891	271.71	4.17	96 (Ambient Temperature:27°C)
		60%	1290.19	24.01	14.27	14807	342.61	3.77	
		70%	1585.74	23.90	20.64	16402	493.17	3.22	
		80%	1865.32	23.78	27.73	17739	659.40	2.83	
		90%	2210.20	23.63	36.73	18865	867.82	2.55	
		100%	2360.61	23.48	45.11	19617	1059.16	2.23	
		30%	319.66	24.24	1.78	8506	43.23	7.39	

Il nous faudra donc un ESC pouvant couvrir la totalité des besoins avec un Marge de 30%.

Dans l'annexe le choix de l'ESC est détaillé. Un ESC idéal devrait donc se trouver aux alentours de 60 Ampère pour les valeurs maximales.

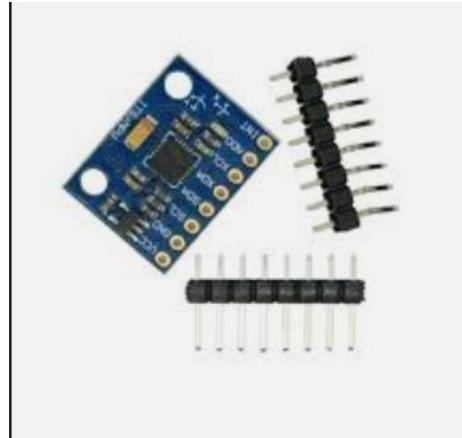
Notre choix s'est donc porté sur la même marque fournissant le moteur



Année 2021-2022

c- Centrale inertielle

Pour la récupération des positions de notre bras nous avons opté pour une centrale inertielle accessible dont les capacités conviennent à l'utilisation prévue : MPU6050.

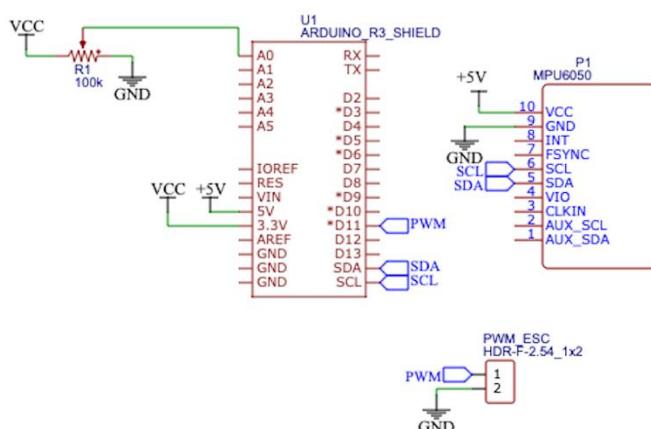


Son protocole de communication est l'I2C.

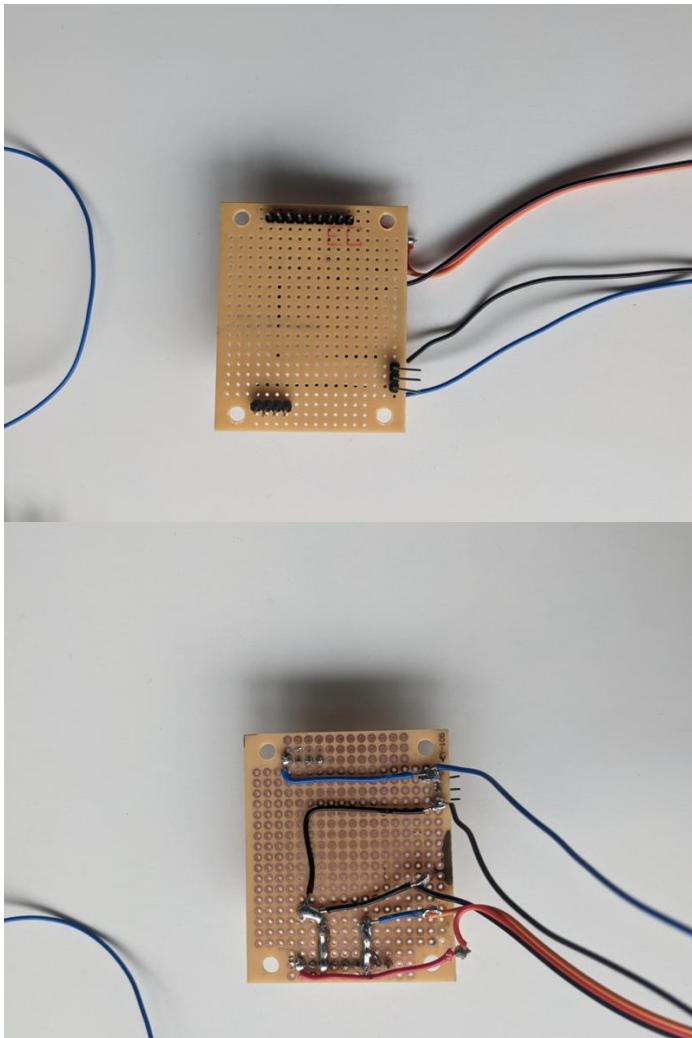
d- StripBoard

La possibilité de fabriquer un circuit imprimé étant faible la solution la plus optimale était la fabrication d'un circuit sur plaque de cuivre.

Sur la carte nous utiliserons un potentiomètre pour la prise en compte de données manuelles.



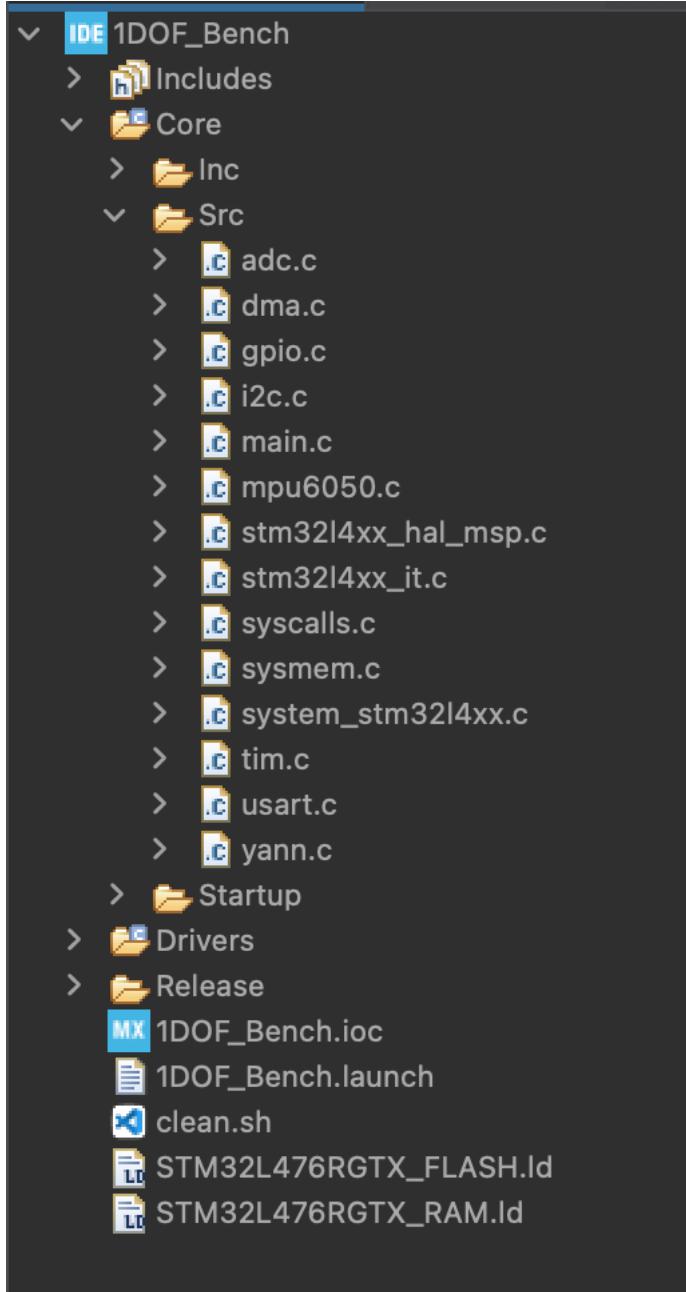
Année 2021-2022



Les fils sont déportés pour une manipulation en sécurité.

IV- PARTIE CODE

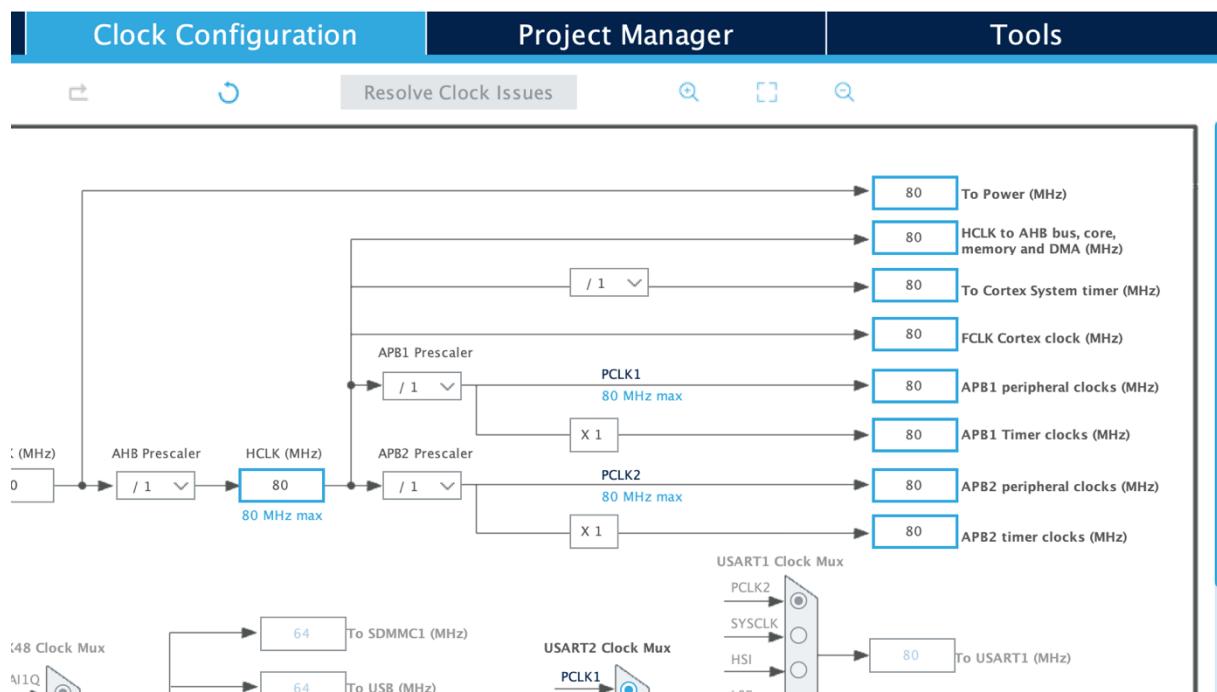
1- Fichiers



La majorité des fonctions sont implémentées dans les fichiers yann.c et main.c.

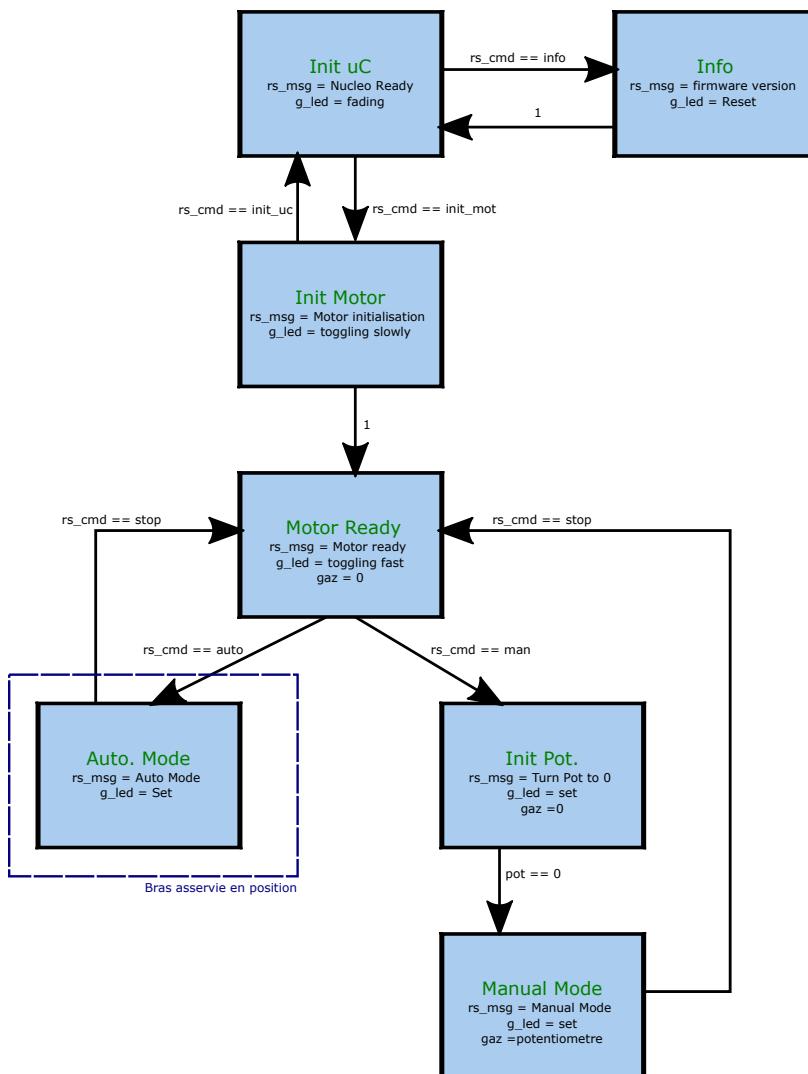
Dans le fichier IOC nous avons la configuration des ports mais aussi les fréquences d'utilisation.

La fréquence de fonctionnement de la carte est de 80 MHz, celle-ci peut être modifiée pour des tâches précises en utilisant des prescalers qui permettent de diviser la tension.



2- Machine d'état

Le programme principal sera basé sur cet automate, représentant les différents états de notre système et les conditions de passage



Cette structure de donnée est déclarée dans le projet Cube IDE, fichier yann.c

```
#include<string.h>

enum states{init_uc,motor_ready,manual_mode_pot,manual_mode_term, auto_mode,info_mode,init_pot};

extern float firmware_version;
```

Son implémentation est réalisée dans le main.c

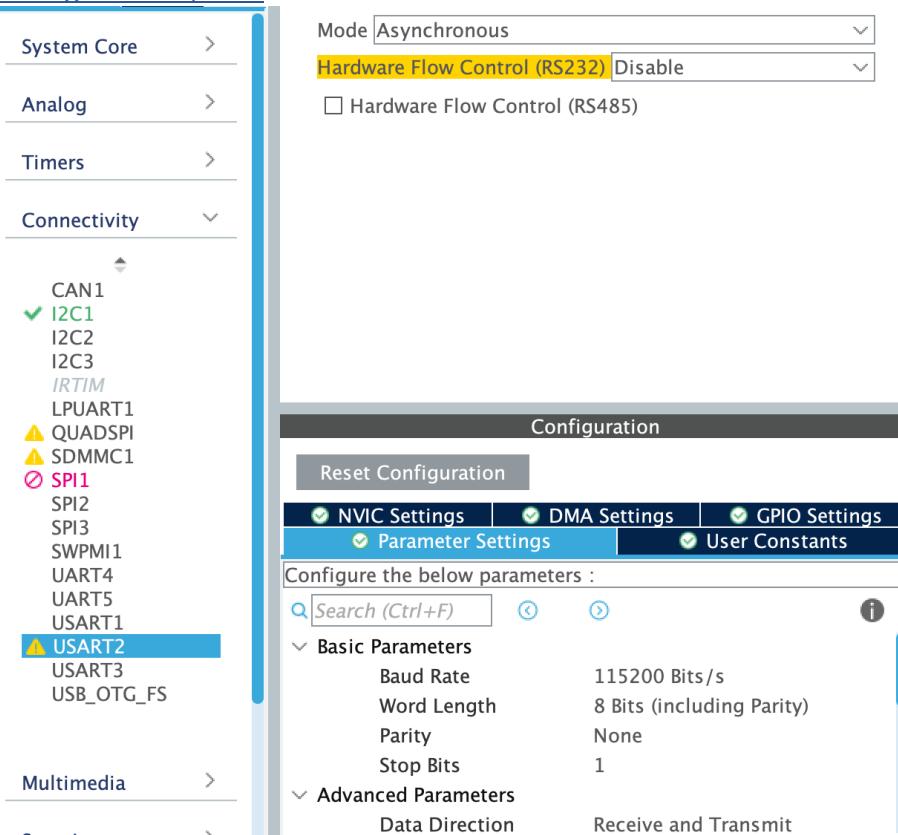
Dans les différents états :

Année 2021-2022

- Init_uc : La carte est initialisée
- Info : Nous recevons les informations du Firmware, des différentes fonctions et aussi des commandes.
- Init_motor : Nous commençons la phase initialisation moteur, il reçoit du signal mais n'est pas actif, il est dans un état d'attente.
- Motor_ready : Le moteur est prêt à repartir
- Auto_mode : les commandes sont rentrées à partir du clavier et de l'interface utilisateur
- Init_pot : L'utilisateur est amené à initialiser le potentiomètre qui se trouve sur le bras pour commencer à l'utiliser
- Manual mode : les commandes sont rentrées à partir du potentiomètre

Dans chaque état où nous avons accès à des données nous attendons un caractère de retour, « 6 ».

3- Configuration ports



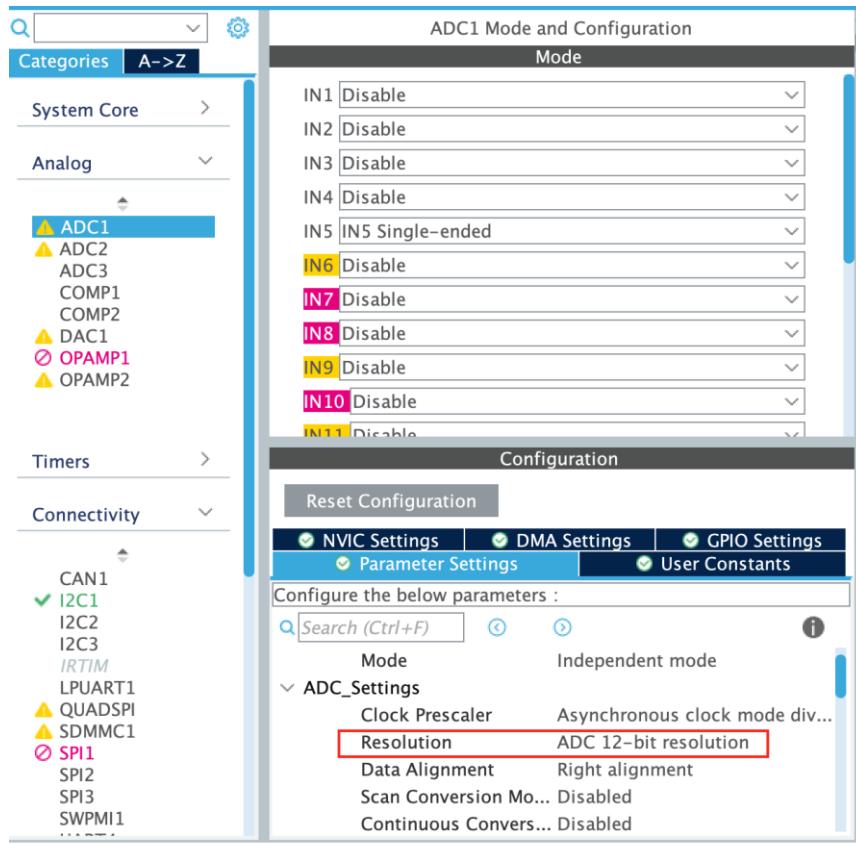
a- Communication UART

La communication UART est implémentée de base durant la création du projet par L'IDE.

b- Potentiomètre

Le potentiomètre utilise un convertisseur analogique numérique intégré à la carte par l'intermédiaire de la sortie analogique A0.

Année 2021-2022



ADC1 Mode and Configuration

Mode

IN1	Disable
IN2	Disable
IN3	Disable
IN4	Disable
IN5	IN5 Single-ended
IN6	Disable
IN7	Disable
IN8	Disable
IN9	Disable
IN10	Disable
IN11	Disable

Configuration

Configure the below parameters :

Search (Ctrl+F)	Mode	Independent mode
ADC_Settings		
Clock Prescaler	Asynchronous clock mode div...	
Resolution	ADC 12-bit resolution	
Data Alignment	Right alignment	
Scan Conversion Mo...	Disabled	
Continuous Convers...	Disabled	

Notons que les paramètres de division de fréquence n'ont pas été modifiés car la vitesse à laquelle nous arrive les informations n'influent pas sur leur collecte. Cependant la résolution de notre Convertisseur est importante car elle détermine le nombre de valeurs possibles à coder et donc la précision de nos commandes.

Nous travaillerons avec une résolution de 12bits que nous utiliserons pour coder la plage de tension de 3,3V.

Avec cette résolution nous pouvons coder 4096 valeurs avec un pas quantique de 8mV.

c- ESC

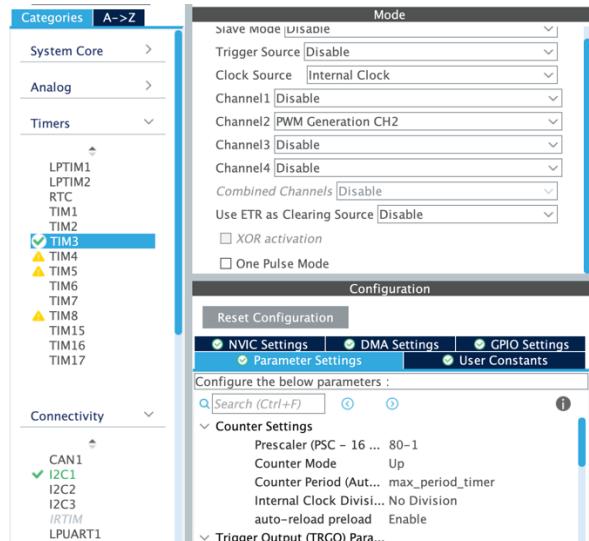
Notre ESC doit recevoir un signal PWM à une certaine fréquence, sans quoi le signal ne sera pas reconnu. Tous les signaux doivent donc être envoyés à 500Hz ou moins.

FEATURES:

1. Special core program for multi-rotor controllers greatly improves throttle response.
2. Specially optimized firmware for excellent compatibility with disc-type motors.
3. All settings except the timing are preset, making usage simple, highly intelligent and adaptive.
4. The twisted-pair design of the throttle signal cable effectively reduces the crosstalk produced in signal transmission and makes flight more stable.
5. Compatible with various flight-control systems and supports a signal frequency of up to 621Hz.
(Note: all throttle signals over 500Hz are non-standard signals).
6. Perfect combination with T-MOTOR brand motor Makes even better performance.

Dans la configuration de nos ports nous devrons donc tenir compte de deux paramètres. La résolution de notre compteur qui va générer la PWM et aussi son prescaler.

Année 2021-2022



Considérant le potentiomètre et sa résolution nous pouvons avoir une résolution de 4096 pour notre compteur. Pour un cycle de période il comptera donc 4096 fois

Notons que la fréquence de base est à 80Mhz et que nous compterons 4096.

Ainsi nous pouvons compter 19 531 fois 12bits par seconde.

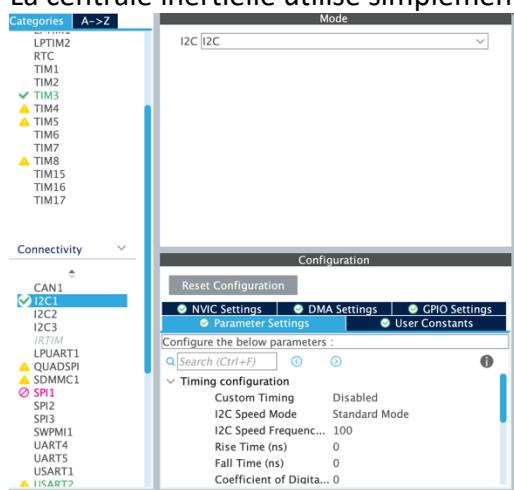
La fréquence de comptage est donc à 19kHz mais nous avons besoin d'une fréquence proche de 500HZ, ainsi de combien devons-nous diviser notre fréquence pour avoir une fréquence proche de 500Hz et donc une période de 2millisecondes ? nous devons diviser par 39.

Pour une résolution de 4096, la valeur du prescaler doit être égale à 39

Fréquence carte/résolution compteur = fréquence de comptage

d- Centrale inertie

La centrale inertie utilise simplement le protocole I2C



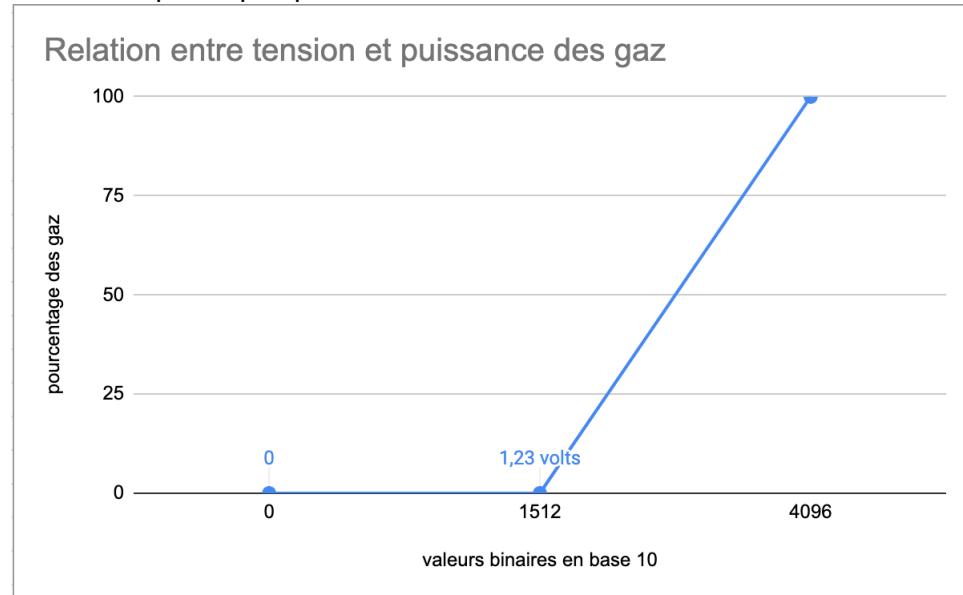
Année 2021-2022

4- Implémentations fonctionnalités

a- Commande drone

Après des tests réalisés via le potentiomètre pour l'initialisation du drone et sa commande nous nous sommes rendu compte que lier directement notre CAN et la sortie PWM posait une souci majeur.

L'ESC ne répond qu'à partir d'une valeur minimale de tension qui avoisine les 1,23 Volts.

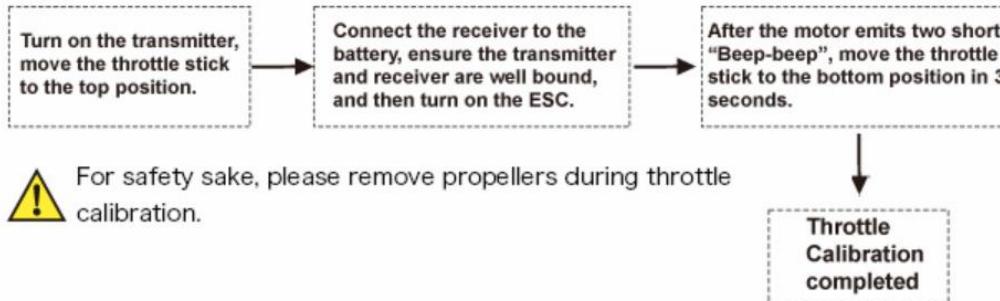


Donc la valeur que nous devons compter pour avoir une réponse de notre moteur est 1512, en termes de largeur de porte nous avons donc 720 microsecondes

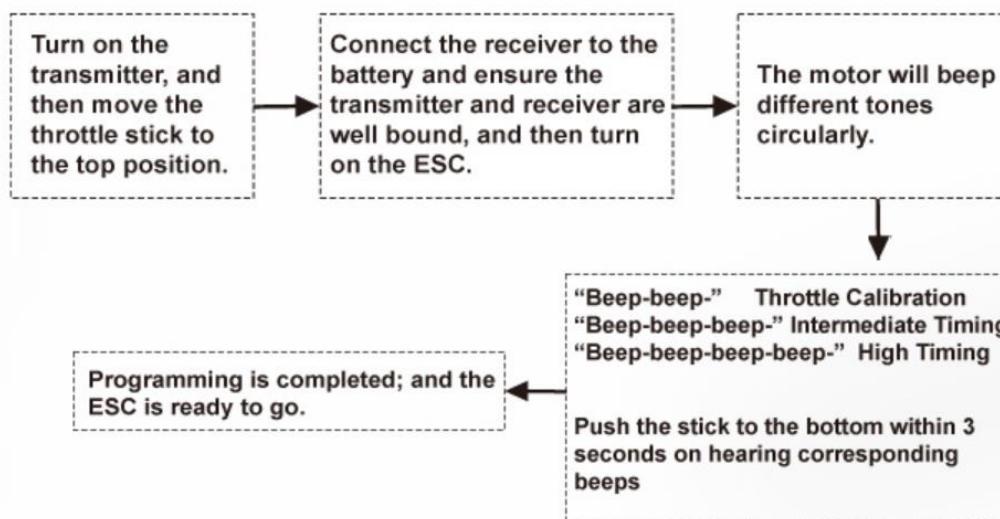
	Valeur compteur	Largeur porte
Valeur maximale moteur	4095	2 millisecondes
Valeur minimale moteur	1512	0,720 millisecondes

Le but fut donc de pouvoir mettre le drone à la position minimale pour pouvoir suivre le protocole d'initialisation.

STEP 2: THROTTLE RANGE CALIBRATION



STEP 3: ESC PROGRAMMING



C'est ainsi que nous avons pu réaliser la fonction de mapping qui nous permet de traiter avec le potentiomètre sur toute la longueur de sa course les valeurs disponibles du moteur

	Valeurs minimales	Valeurs maximales
Potentiomètre	0	4095
Moteur	1512	4095

b- Commande centrale inertielle

La commande de la centrale inertielle se fait au travers de la bibliothèque MPU6050.h

```

HAL_I2C_Mem_Read(I2Cx, MPU6050_ADDR, WHO_AM_I_REG, 1, &check, 1, i2c_timeout);

if (check == 104) // 0x68 will be returned by the sensor if everything goes well
{
    // power management register 0X6B we should write all 0's to wake the sensor up
    Data = 0;
    HAL_I2C_Mem_Write(I2Cx, MPU6050_ADDR, PWR_MGMT_1_REG, 1, &Data, 1, i2c_timeout);

    // Set DATA RATE of 1KHz by writing SMPLRT_DIV register
    Data = 0x07;
    HAL_I2C_Mem_Write(I2Cx, MPU6050_ADDR, SMPLRT_DIV_REG, 1, &Data, 1, i2c_timeout);

    // Set accelerometer configuration in ACCEL_CONFIG Register
    // XA_ST=0,YA_ST=0,ZA_ST=0, FS_SEL=0 -> @ 2g
    Data = 0x00;
    HAL_I2C_Mem_Write(I2Cx, MPU6050_ADDR, ACCEL_CONFIG_REG, 1, &Data, 1, i2c_timeout);

    // Set Gyroscopic configuration in GYRO_CONFIG Register
    // XG_ST=0,YG_ST=0,ZG_ST=0, FS_SEL=0 -> @ 250 @/s
    Data = 0x00;
    HAL_I2C_Mem_Write(I2Cx, MPU6050_ADDR, GYRO_CONFIG_REG, 1, &Data, 1, i2c_timeout);
    return 0;
}
return 1;
}

void MPU6050_Read_Accel(I2C_HandleTypeDef *I2Cx, MPU6050_t *DataStruct)
{
    uint8_t Rec_Data[6];

    // Read 6 BYTES of data starting from ACCEL_XOUT_H register
    HAL_I2C_Mem_Read(I2Cx, MPU6050_ADDR, ACCEL_XOUT_H_REG, 1, Rec_Data, 6, i2c_timeout);

    DataStruct->Accel_X_RAW = (int16_t)(Rec_Data[0] << 8 | Rec_Data[1]);
    DataStruct->Accel_Y_RAW = (int16_t)(Rec_Data[2] << 8 | Rec_Data[3]);
    DataStruct->Accel_Z_RAW = (int16_t)(Rec_Data[4] << 8 | Rec_Data[5]);

    /**
     * convert the RAW values into acceleration in 'g'
     * we have to divide according to the Full scale value set in FS_SEL
     * I have configured FS_SEL = 0. So I am dividing by 16384.0
     * for more details check ACCEL_CONFIG Register
     */
    DataStruct->Ax = DataStruct->Accel_X_RAW / 16384.0;
    DataStruct->Ay = DataStruct->Accel_Y_RAW / 16384.0;
    DataStruct->Az = DataStruct->Accel_Z_RAW / Accel_Z_corrector;
}

void MPU6050_Read_Gyro(I2C_HandleTypeDef *I2Cx, MPU6050_t *DataStruct)
{
    uint8_t Rec_Data[6];

```

A l'intérieur de cette bibliothèques les informations qui nous seront utiles sont celles idées au gyroscope pour la récupération de la position

c- Boucle d'asservissement

La boucle d'asservissement est codée en dur dans l'état Auto_mode. Dans cette boucle nous devons considérer que le plan du sol représente le plan de notre centrale inertielle. Il faut donc la ramener dans un plan à 90 degrés comme plan de base où sa position est égale à 0 degrés

Année 2021-2022

```

case auto_mode:
    printf("State: Auto mode \n\r");
    printf("> Press 6 for motor ready mode\n\r");
    if (MPU6050_Init(&hi2c1) == 1) {
        printf("> Gyro MPU6050 initialized\n\r");
    } else {
        printf("> Gyro MPU6050 not working\n\r");
        etat = motor_ready;
        break;
    }
do {
    if (HAL_UART_Receive(&huart2, (uint8_t*) r_buffer, 2, 10)
        == HAL_OK) {
    }
    //pseudo asservissement à 45deg
    MPU6050_Read_All(&hi2c1, &mpu);
    //Load_pwm(htim3, k);
    //we pick the Kalman estimated Angle and subtract 90 to bring the vertical bar to an horizontal angle
    true_angle = 90 - mpu.KalmanAngleX;
    printf("beforeangle %.2f \n\r", true_angle);
    HAL_Delay(50);

    while (true_angle < 45.00) { //while the angle doesn't go past this threshold we keep incrementing k and load k
        HAL_Delay(40);
        MPU6050_Read_All(&hi2c1, &mpu);
        true_angle = 90 - mpu.KalmanAngleX;
        printf("angle %.2f \n\r", true_angle);
        load_pwm(htim3, k); // K was the minimal value for the motor to start
        k++;
    };
    while (true_angle > 48.00) { // If this too much we will start to decrement K
        HAL_Delay(40);
        true_angle = 90 - mpu.KalmanAngleX;
        MPU6050_Read_All(&hi2c1, &mpu);
        printf("angle %.2f \n\r", true_angle);
        load_pwm(htim3, k);
        k--;
    };
} while (r_buffer[0] != '6');
etat = auto_mode;
break;
}

```

V- PARTIE MECANIQUE

1- Description du matériel

a- Vue globale

La Partie mécanique est composée de tous les éléments statiques ou dynamiques non électroniques. La fabrication de ceux-ci sera assurée sur place grâce au matériel sur place.

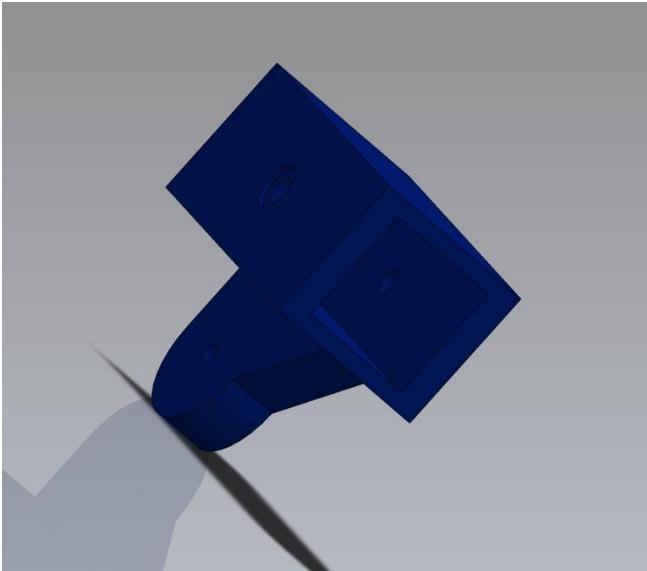
Nous pouvons évoquer

- Les imprimantes 3D :
- La découpeuse Laser :
- La Fraiseuse numérique :

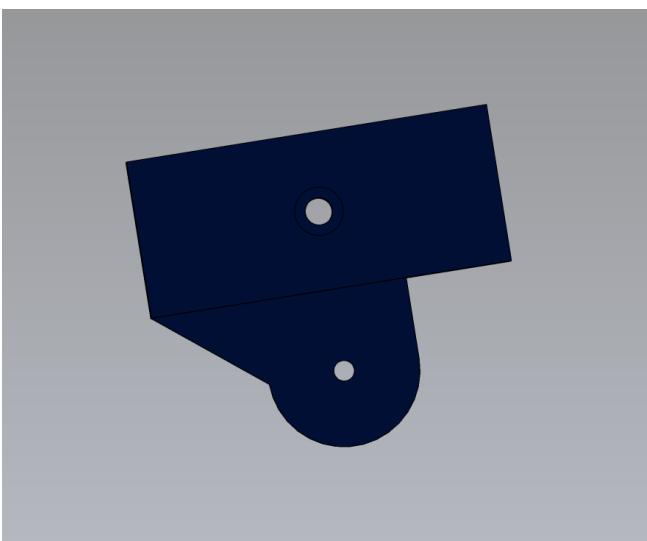
La majorité des besoins du stage en termes de pièces mécaniques peut être résolues par l'impression 3D, d'où l'utilisation de SolidWorks durant le stage.



Des pièces étaient déjà présente sur la structure fournie comme support pour le stage, nous partions de celles-ci.

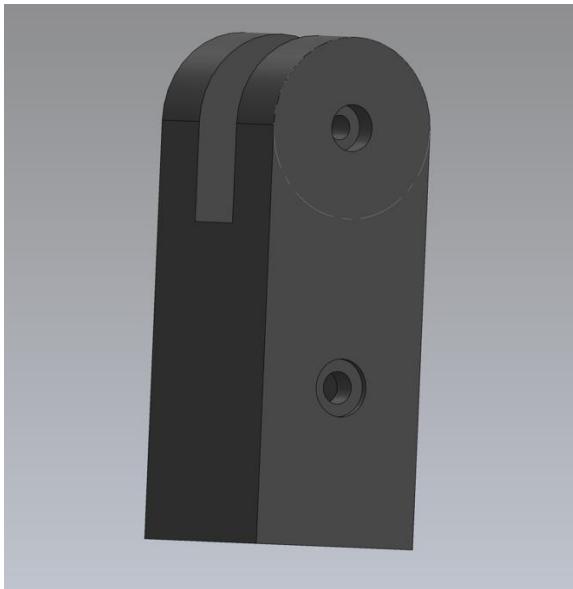


Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-n : Rotule supérieure

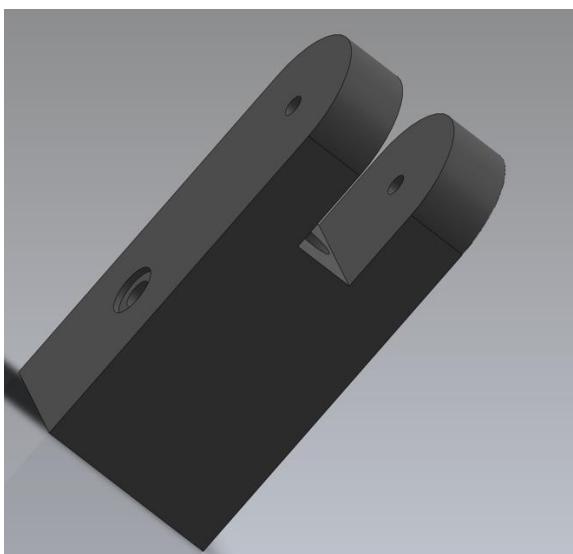


Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-o : Rotule supérieure de profil

Année 2021-2022



Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-p : Rotule inférieure



Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-q : Rotule inférieure autre point de vue

b- Structure de base

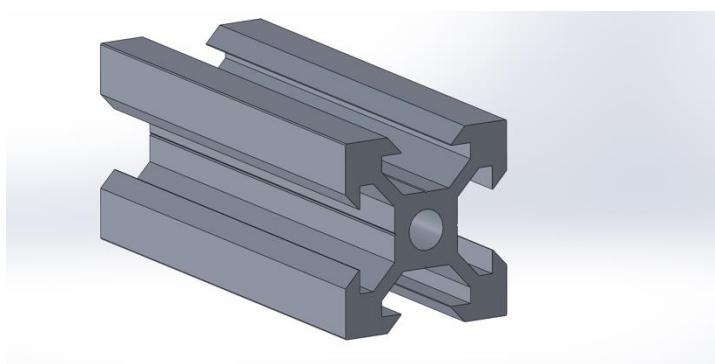
La structure de base est constituée de profilés en aluminium montés en T. Un profilé constitue la base de notre structure avec un socle imprimé en 3D. La rotule en deux parties se trouve au niveau du corps du second profilé qui sera en mouvement.



Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-r : Prototype de bras

2- Pièces modélisées

Les pièces modélisées doivent pouvoir s'adapter à la forme du profilé en aluminium pour garantir une fixation solide.



Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-s : vue de profil Profilé en aluminium



Année 2021-2022

Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-t : vue de face du profilé en alu

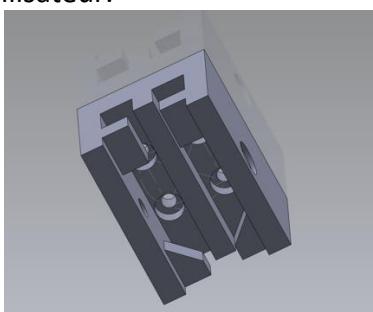
Les pièces doivent faciliter la fixation utilisant des écrous en T sur le corps du profilé.



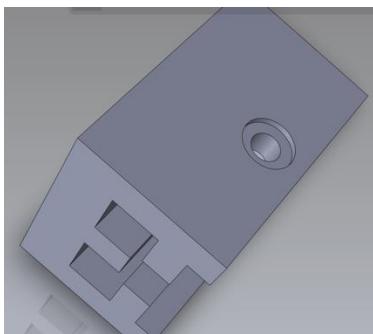
Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-u : illustration écrou en T

a- Support Moteur

Le support du moteur joue un rôle important, nous permettant de fixer de façon solide le moteur sur le bras à une position non définitive, donnant une marge de manœuvre à l'utilisateur.

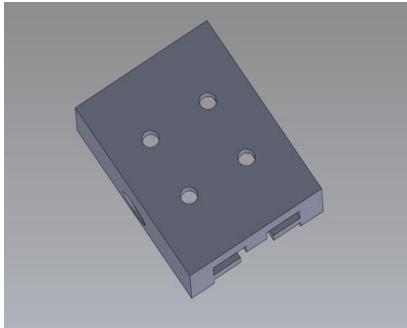


Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-v : vue du bas support moteur

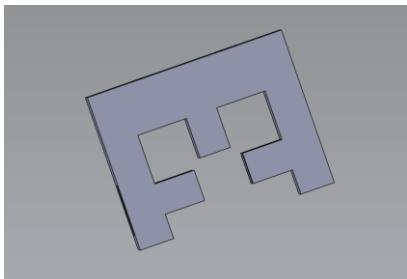


Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-w : vue de profil support moteur

Année 2021-2022



Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-x : vue du haut support moteur



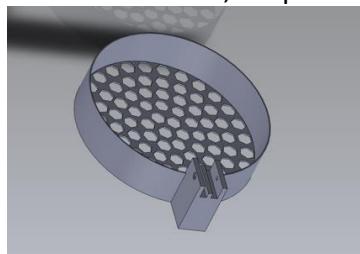
Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-y : vue de face support moteur



Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-z : Moteur fixé

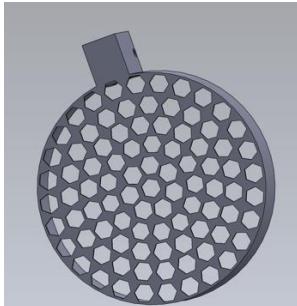
b- Carter de protection

Le cahier de protection nous permet d'éviter les accidents liés à un contact direct avec l'hélice en mouvement. Plusieurs designs ont été mis en œuvre pour cette pièce. Le premier prototype ayant été proposé posait le souci de la déformation lors de la mise en route du moteur, les pièces suivantes ont été une réponse à ce souci.

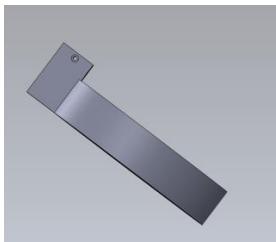


Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-aa : cahier de bas

Année 2021-2022

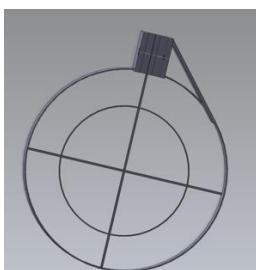


Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-bb : carter de haut

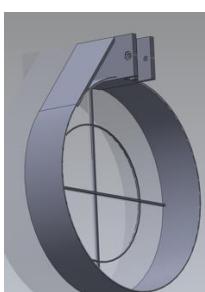


Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-cc : carter de profil

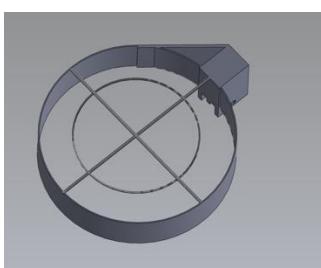
Le problème de cette pièce est qu'elle limite l'appel d'air de notre moteur, nous nous retrouvons donc face à un souci d'alimentation en air, le prototype suivant réduisait la taille de la grille au-dessus du carter



Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-dd : carter v2 du bas



Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-ee : carter v2 de profil

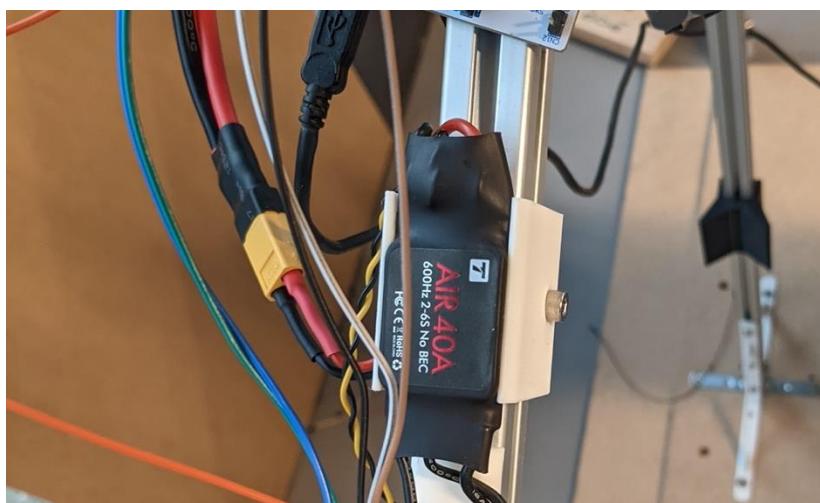
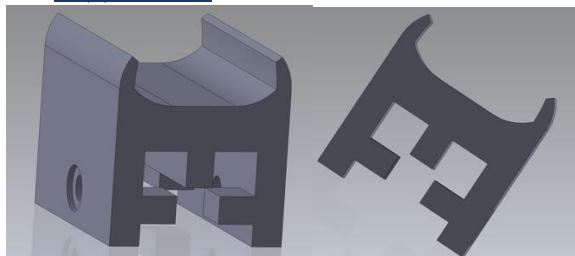


Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-ff : carter v2 du haut

Année 2021-2022

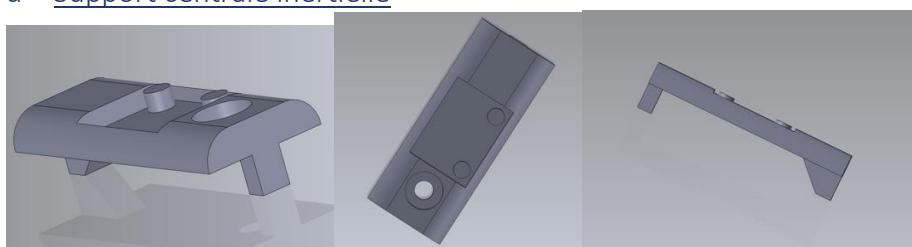
Ce prototype réduisait la taille de la grille, mais ajoutait aussi une source de rigidité au niveau de l'arceau pour éviter les déformations

c- Support ESC



Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-gg : ESC monté

d- Support centrale inertuelle

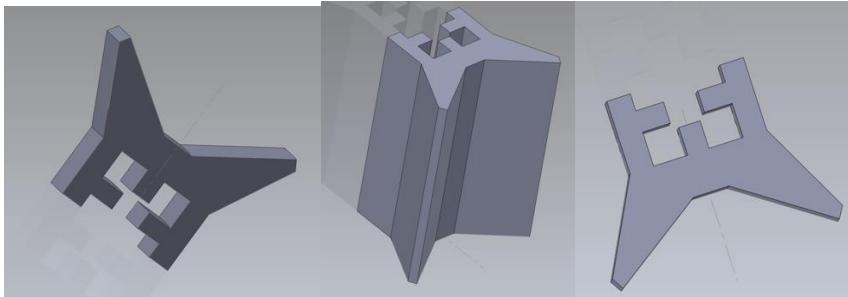




Erreur ! Utilisez l'onglet Accueil pour appliquer O au texte que vous souhaitez faire apparaître ici.-hh : Centrale inertielles montée

e- Support de carte STM32

f- Absorbeur de choc



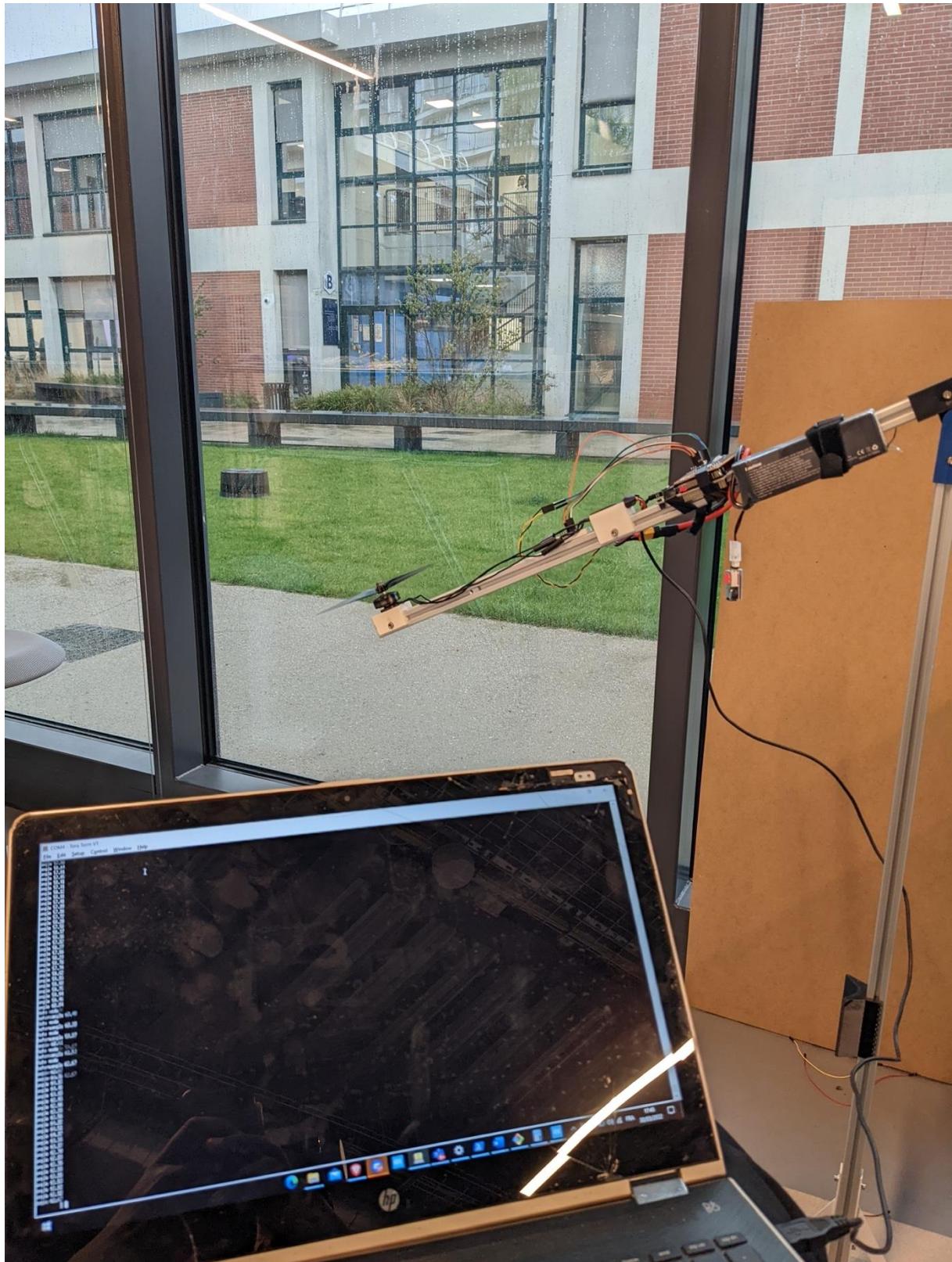
3- Tests ou ouvertures

Les possibles ouvertures au niveau mécanique seraient une revue des rotules et de leur fonctionnement pour une optimisation.

VI- PRODUIT FINAL

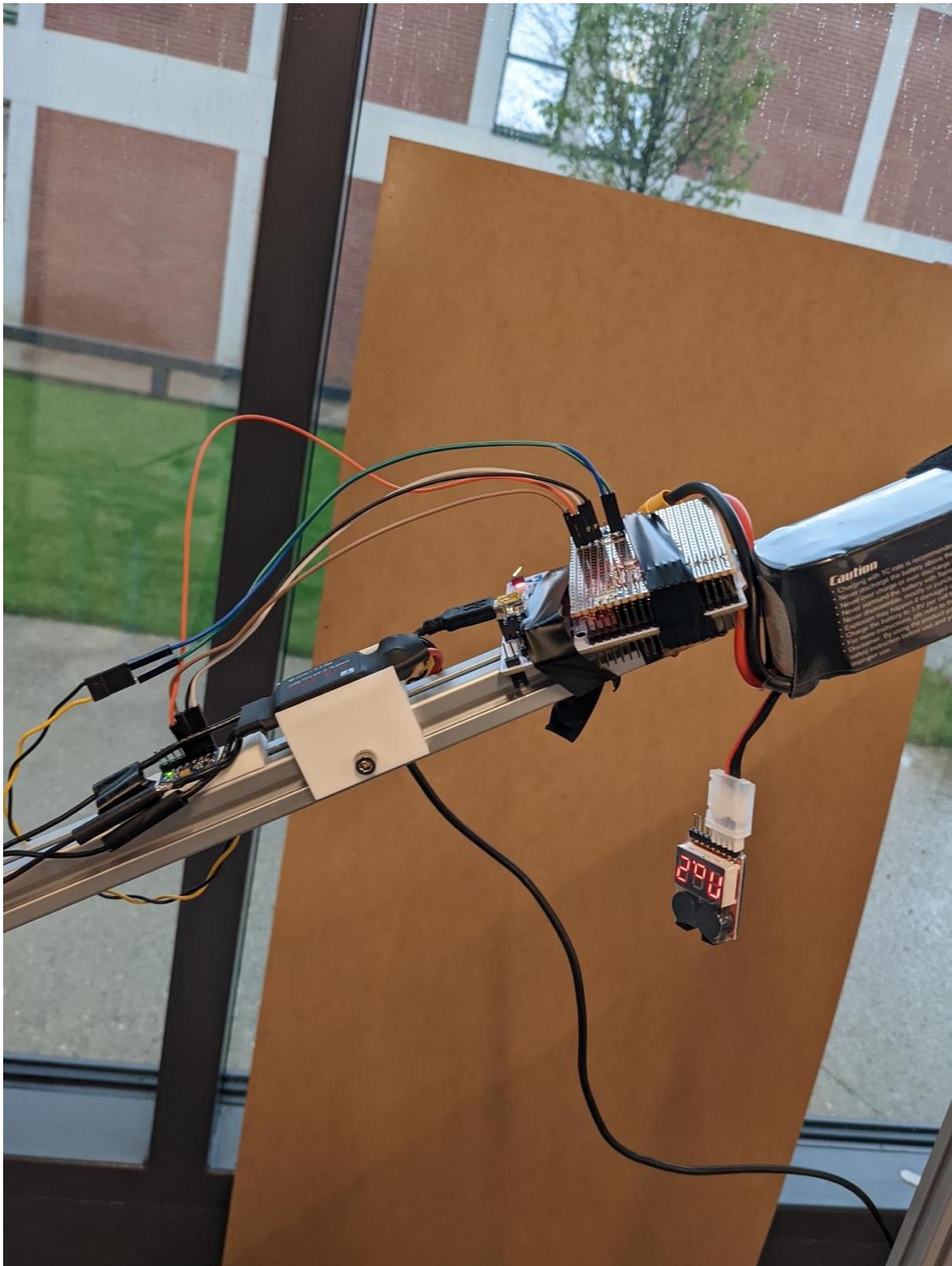
Le Produit à la fin du stage arrive à accomplir les missions qui lui étaient assignées. Il possède en outre les pièces modélisées en 3D et les fonctions logicielles basiques.

Année 2021-2022

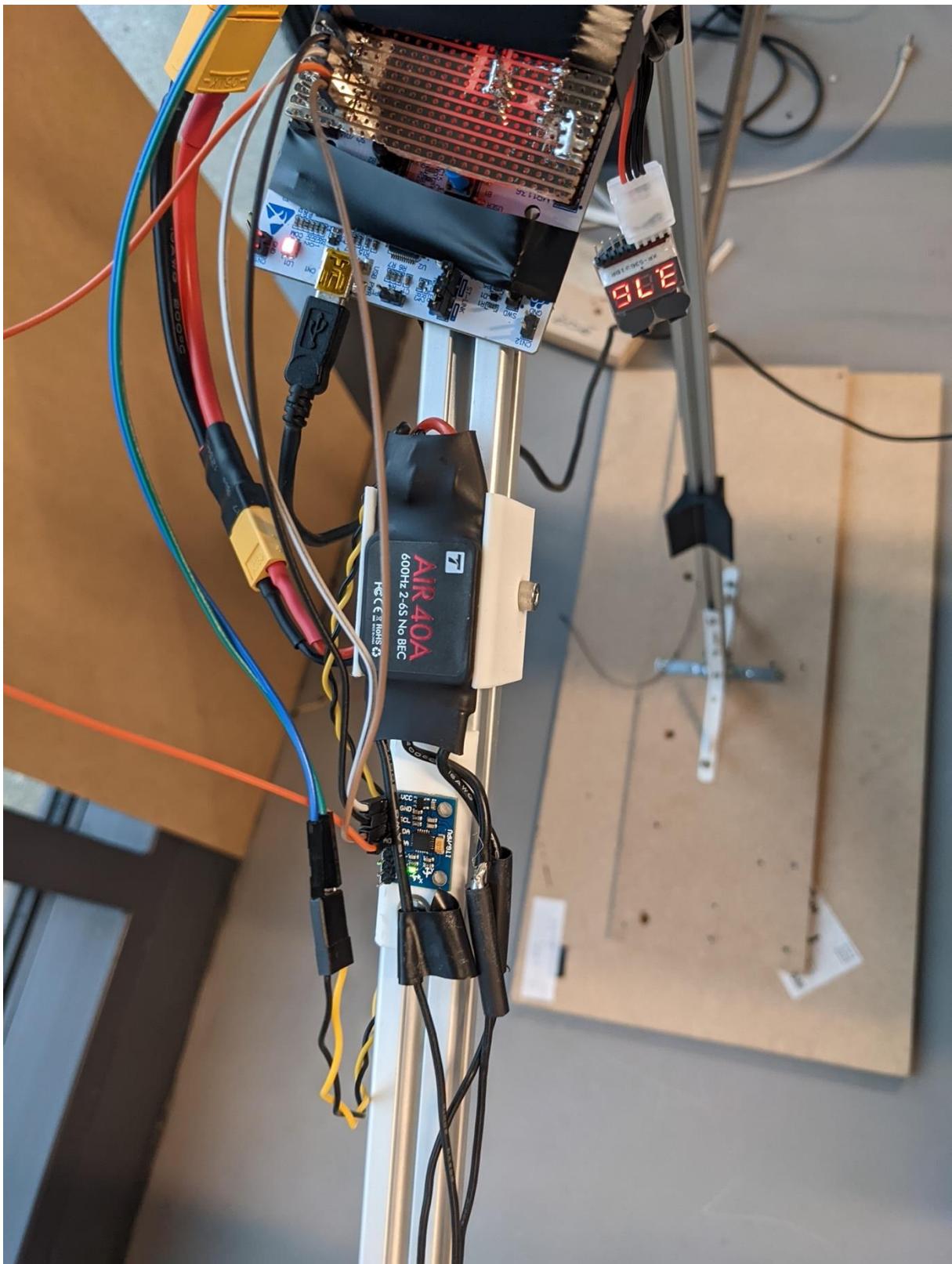


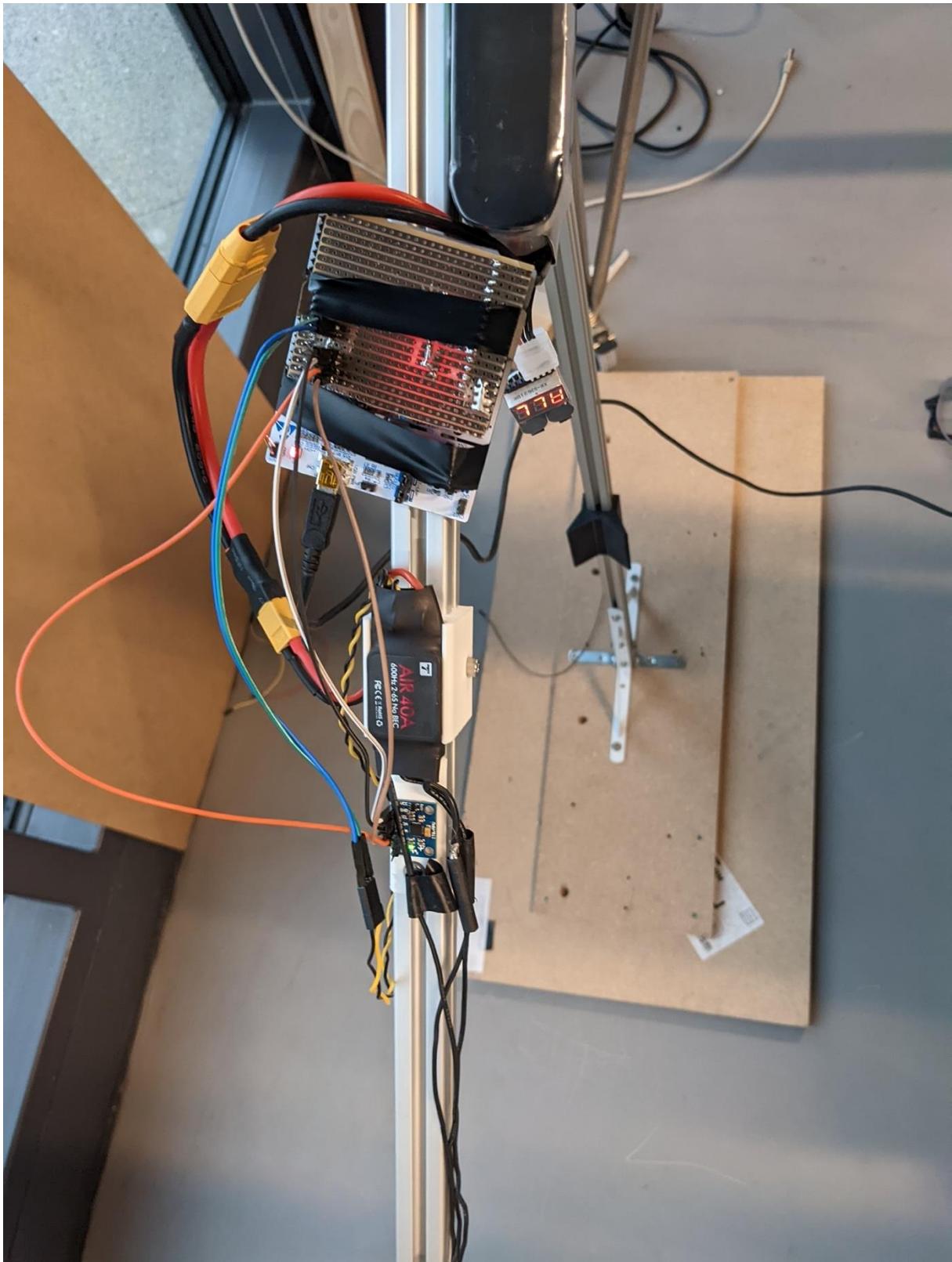
Année 2021-2022



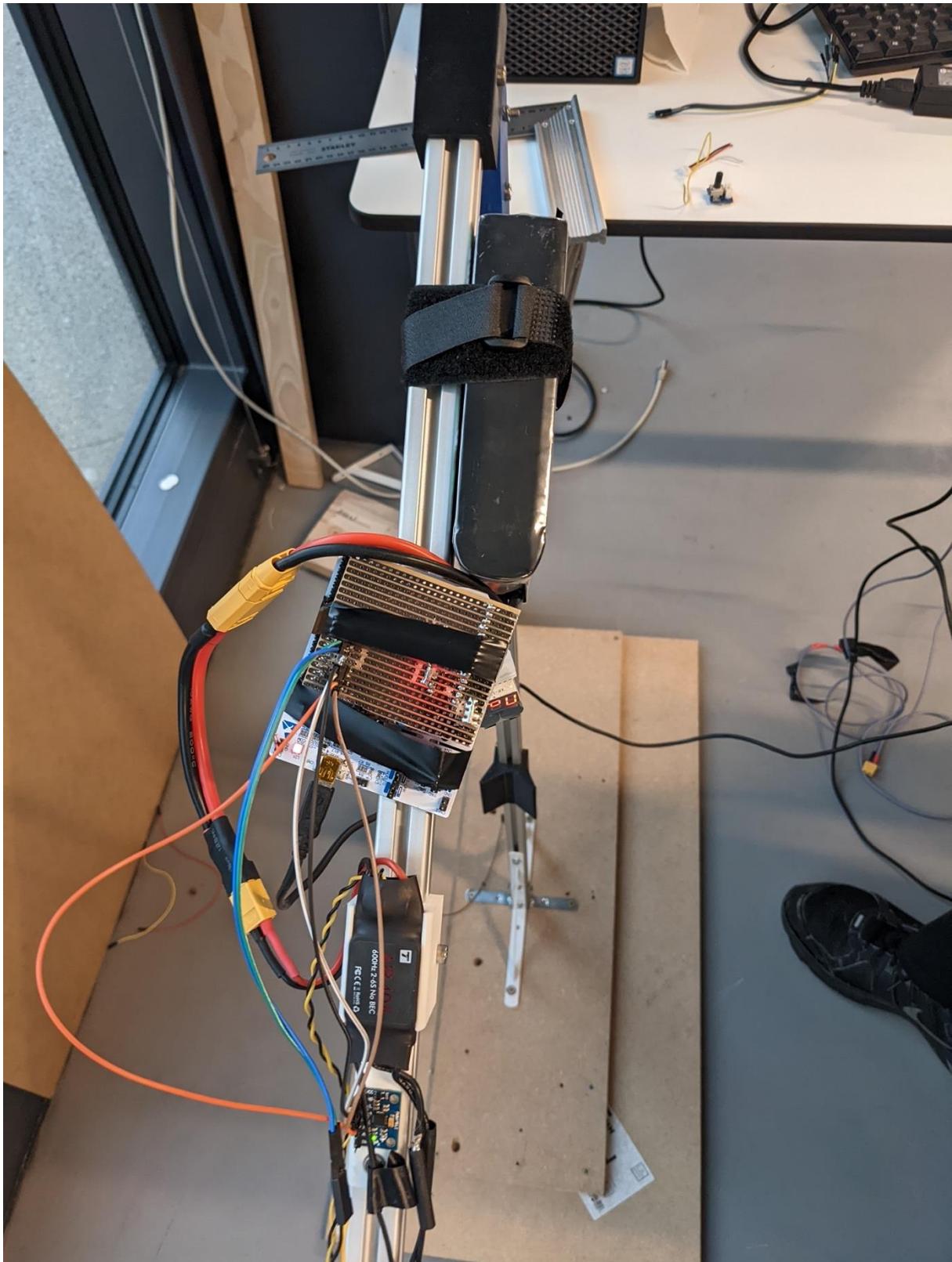


Année 2021-2022

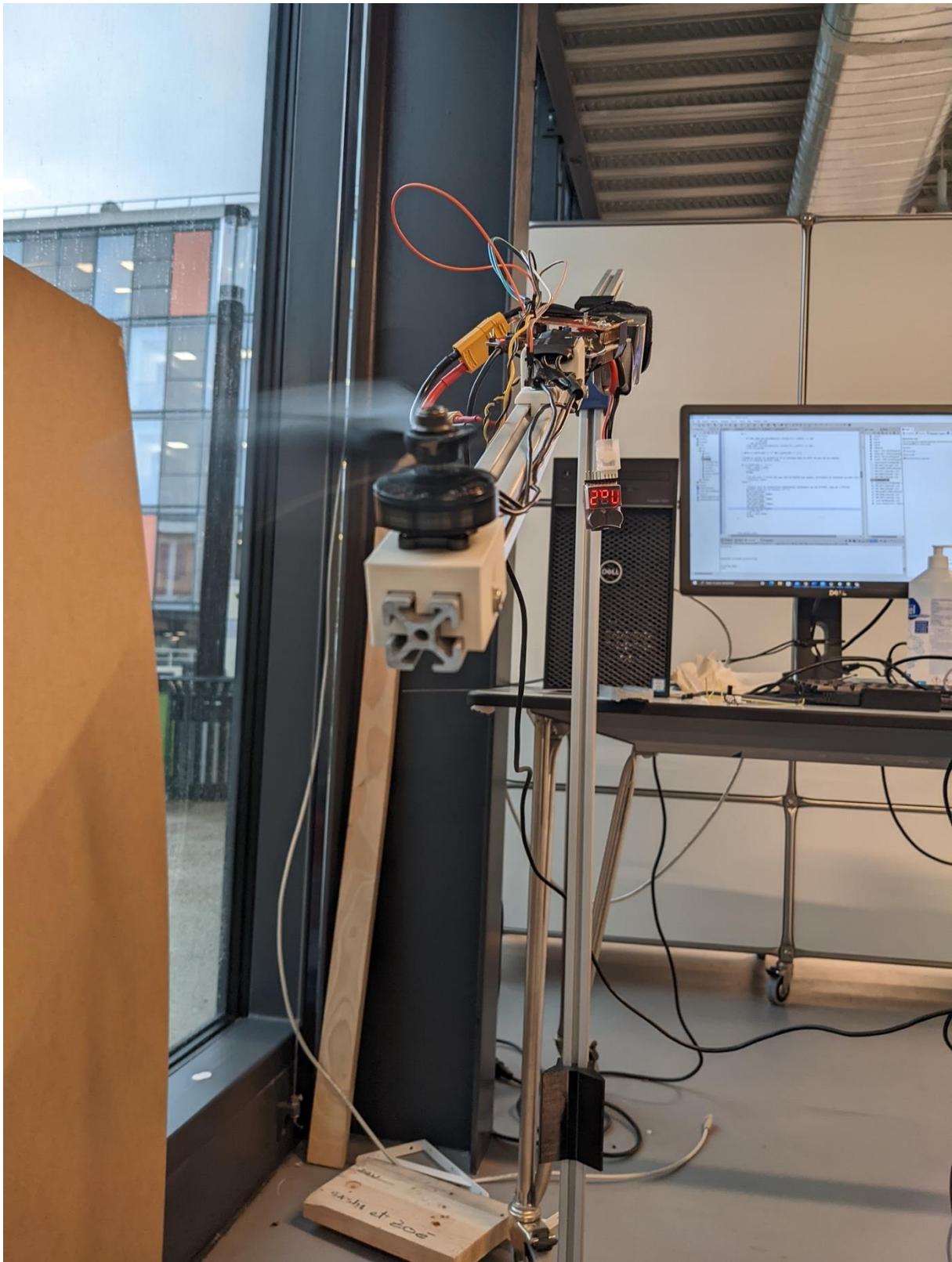




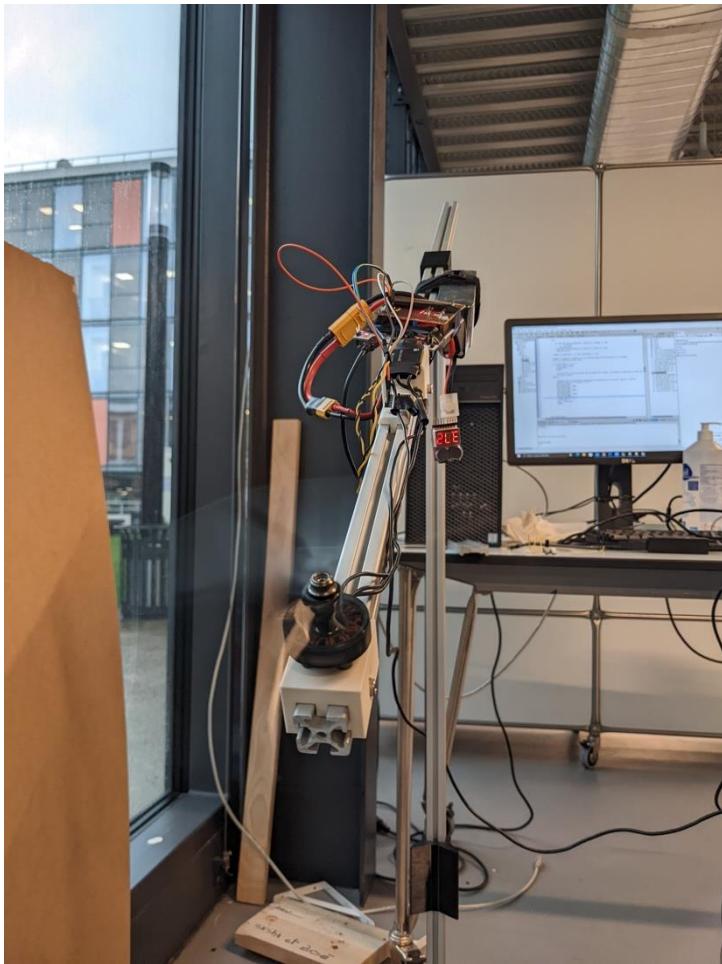
Année 2021-2022



Année 2021-2022



Année 2021-2022



VII- ANNEXE

Centrale inertie :

Choix ESC : <https://lucidcam.com/how-to-choose-esc-for-quadcopter/>
ESC :

Année 2021-2022

Moteur :

Lien GitHub : https://github.com/InnovationLab-EFREIParis/Stage_1DOF_DroneBench.git