

Mini-Bee TLR4

# TESTS MOTEURS

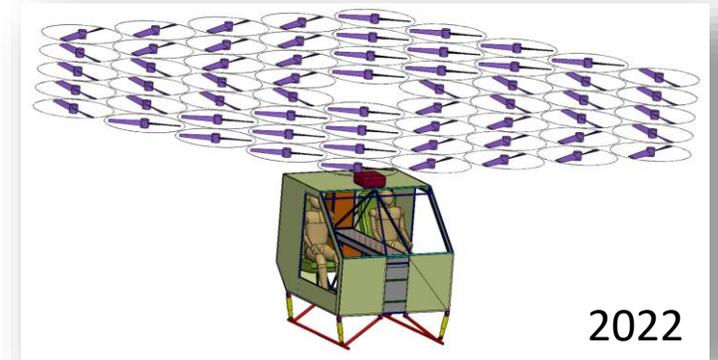
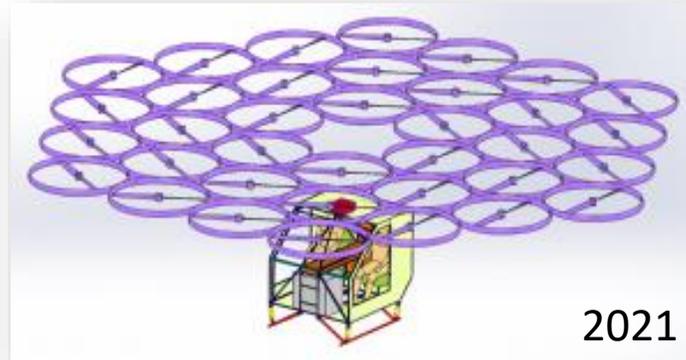
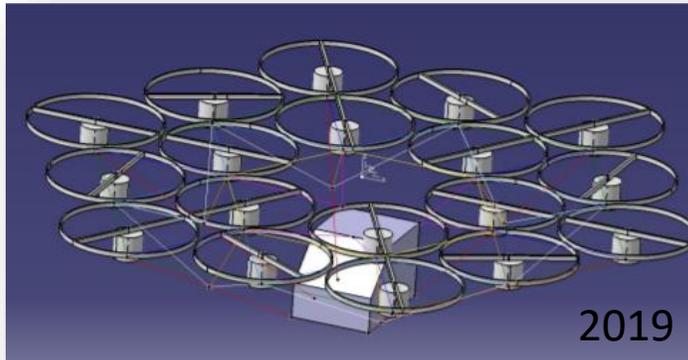
3<sup>ème</sup> année Equipe PING n°2

- ✓ Contexte du projet : objectifs, partenaires, moyens
- ✓ Phase 1 (novembre/mi-décembre)
  - ✓ Choix des appareils : moteur, carte de puissance
  - ✓ Création du banc de test : maquette, programme, circuit
- ✓ Phase 2 (mi-décembre/mi-février)
  - ✓ Amélioration maquette
  - ✓ Essais et analyse des résultats : test, problème, sécurité
- ✓ Conclusion
  - ✓ Budget
  - ✓ Reste à faire

# CONTEXTE DU PROJET

- ✓ Introduction et objectifs
- ✓ Partenaires études et industrie (chaîne de puissance)
- ✓ Analyse du cahier des charges du projet

## TECHNOPLANE



**Projet Mini-Bee** : ambulance volante déployable rapidement en zone dangereuse

**Objectif TLR4** : obtenir un 1<sup>er</sup> prototype

**Notre Objectif** : réaliser les tests sur moteur BLDC (matériel standard de drone)



Structure et aménagement



CentraleSupélec

Modélisation de la chaîne  
de production



Chaîne de puissance

## Écoles partenaires



Test Moteurs BLDC



Prototype du FCU et capteur



Structure du Mini-Bee



Revue de conception  
clôture et TRL3

**ROTAX**  
 AIRCRAFT ENGINES



**EMRAX**  
 INNOVATIVE E-MOTORS

**ST**  
 life.augmented

**T-MOTOR**  
 THE SAFER PROPULSION SYSTEM

**1 x**  
 Rotax 915S



**2 x**  
 Emrax 268  
 tension 100V  
 courant 900A



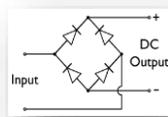
Pont de diode et  
 supercondensateur  
 1F



**15 x**  
 Carte de contrôle  
 STM32  
 Carte de puissance



**60 x**  
 Moteur et hélices



 <h2 style="margin-left: 20px;">Contraintes limites</h2>	
Poussée fournie par la chaîne	> 7 250 N
Vitesse de rotation des hélices	2 000 tour/min < RPM < 2 700 tour/min
Nombre de rotors	60
Diamètre des rotors	75 cm < D < 90 cm
Vitesse verticale	4 m/s
Vitesse de croisière	170 km/h
Masse du Mini-Bee	< 750 kg
Diamètre de la surface prise par une pale	110 m <sup>2</sup> < S < 160 m <sup>2</sup>
Coût total	< 300 000 €
Accélération maximale	5 G (49.03m/s <sup>2</sup> )
Charge supportée par le parachute	800 kg
Norme hélicoptère	CS27 et TSO
Qualité des composants électroniques	Certifiables

### Remarque :

On souhaite vérifier que la vitesse indiquée est suffisante. On doit comparer la vitesse en bout de pale du moteur avec 85% de la vitesse du son

### Informations :

Diamètre pale : 80 cm

Rotation par minute : 2700 tour/min

### Résultat :

V<sub>bout\_de\_pâle</sub> = **113,1 m/s**

V<sub>85%\_son</sub> = **290m/s**

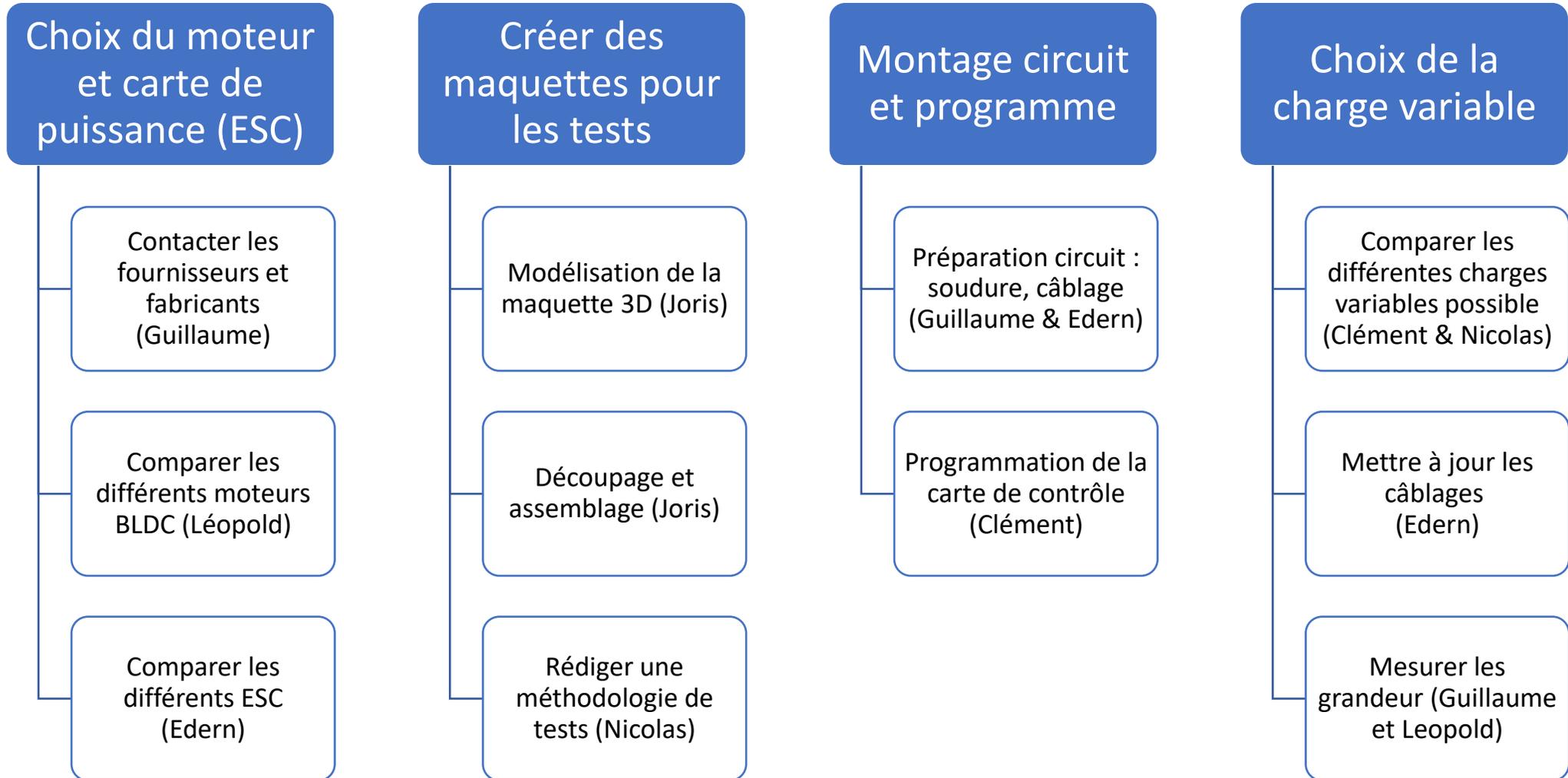
### Conclusion :

V<sub>85%\_son</sub> = 2.6 x V<sub>bout\_de\_pâle</sub>

La vitesse de rotation est faible. Pour atteindre le rendement max à 290m/s, il faut une vitesse de rotation de 6900 tour/mins maximum.

## PHASE 1 (*TERMINÉE*)

- ✓ Notre organisations (phase 1)
- ✓ Choix du moteur
- ✓ Choix de la carte de puissance
- ✓ Création banc de tests (maquette, programme, circuit)



Année		2022										2023					
Nombre Jour Travaillés		11					12					1			2		
Durée du Projet sur Calendrier		nov					déc					janv			févr		
Semaine Nb		46	47	48	49	50	51	52	53	1	2	3	4	5	6		
Tâche	Durée (jour)																
Prise en main du sujet	36	[Barre verte]															
Commander le matériel	46		[Barre verte]					[Barre grise]									
Préparer les commandes de matériel	25		[Barre verte]														
Faire valider la commande de matériel	25		[Barre verte]														
Acheter le matériel	25		[Barre verte]														
Réceptionner le matériel	22																
Rédiger les documents spécifiques	29		[Barre verte]														
Décrire les différents essais à faire	29		[Barre verte]														
Faire les schéma de câblage des différents essais souhait	29		[Barre verte]														
Valider les essais à réaliser	22		[Barre verte]														
<b>Réalisation maquette (Joris - Nicolas)</b>	12																
Maquette 1 (test de charge verticale)	9																
Valider la maquette à l'entreprise	1																
Acheter le matériels manquants	1																
Soumettre le projet de maquette au Lab pour construction	5																
Maquette 2	12																
Valider la maquette à l'entreprise	1																
Acheter le matériels manquants	1																
Maquette 3	1																
Valider la maquette à l'entreprise	1																
Faire matrice avantage inconvénient	1																
Créer la maquette	12																
Amélioration maquette (protection + adapté nouveau mot	5																
<b>Recherche moteur (Léopold - Guillaume)</b>	12																
Rechercher le moteur répondant au cahier des charges	3																
Contacteur fournisseur	3																
Recherche de charge variable potentiel	3																
Réaliser un cahier d'expérimentation	9																
Proposer des schémas de câblage	9																
Réaliser une liste du matériel nécessaire	2																

## Intrant

- Contact fournisseur
- Tension d'entrée
- Puissance attendue

## Extrant

- Datasheet des moteurs
- Liste comparative des caractéristiques moteurs (puissance, RPM, poussée, poids, etc..)
- Proposition potentielle de charge variable

Moteur	U13II KV130 	U13II KV65 	U12II KV120 	MP8318 
Poids (g)	990	975	778	500
Prix (\$)	379	383,69	369	75
Voltage (V)	48	100	48	48.38
Poussée (Kg)	7,7 - 24,3	9,7 - 28,7	5,5 - 20,4	12,5
Puissance (W)	979 - 5659	1431 - 6727	696 - 4526,4	3000 (MAX)
Note (/10)	8	5	10	6



Nous avons choisi le U12II KV120 car ses critères de poids, prix, tension et poussée correspondent le mieux au cahier des charges qui est fixé. Les RPM avoisine 4000 !

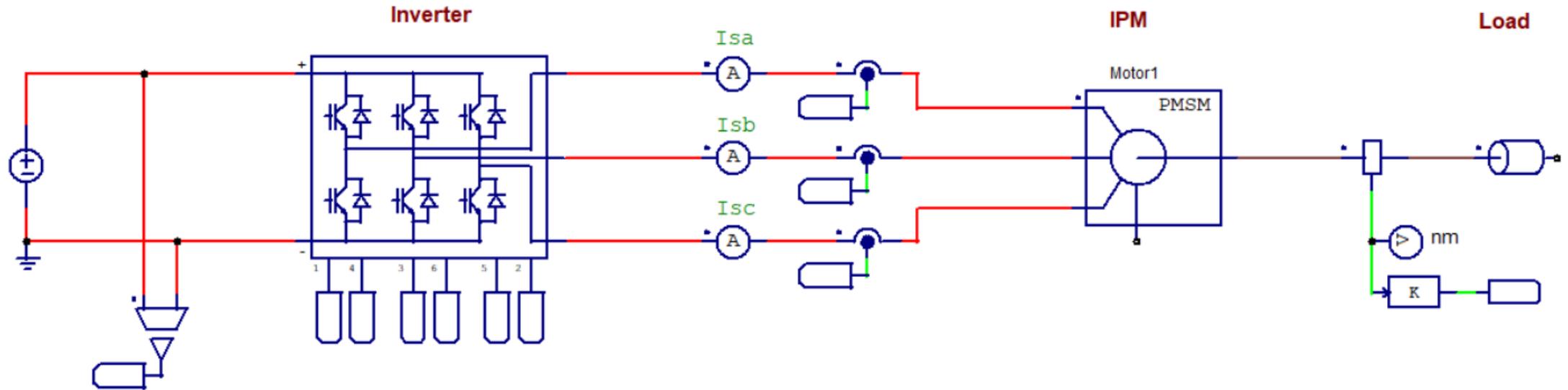
	Points	U13II KV130			U12II KV120		MP8318		
ESC		ESC AT 115A	Flame 180A V2	DJI Takyon Z14120	Flame 100 A HV	Alpha 120A	ALPHA 60A	Flame 60A 600Hz	FLAME 80A HV V2
Poids (g)	- 1,5 orange - 2,5 rouge	-	279	130	139	359	73	74	109
Tension (V)	- 1 orange - 2 rouge	48	43,2	48	48	43,2	43,2	43,2	43,2
Prix (\$)	- 0,5 orange - 1 rouge	116,85	276	198,82	138,10	180,60	116,85	106,22	127,47
Courant continu (A)	- 1,5 orange - 3 rouge	115	180	120	100	100	60	60	80
<b>SCORE /10</b>		8,5	3,5	8	10	6	6	6	7,5

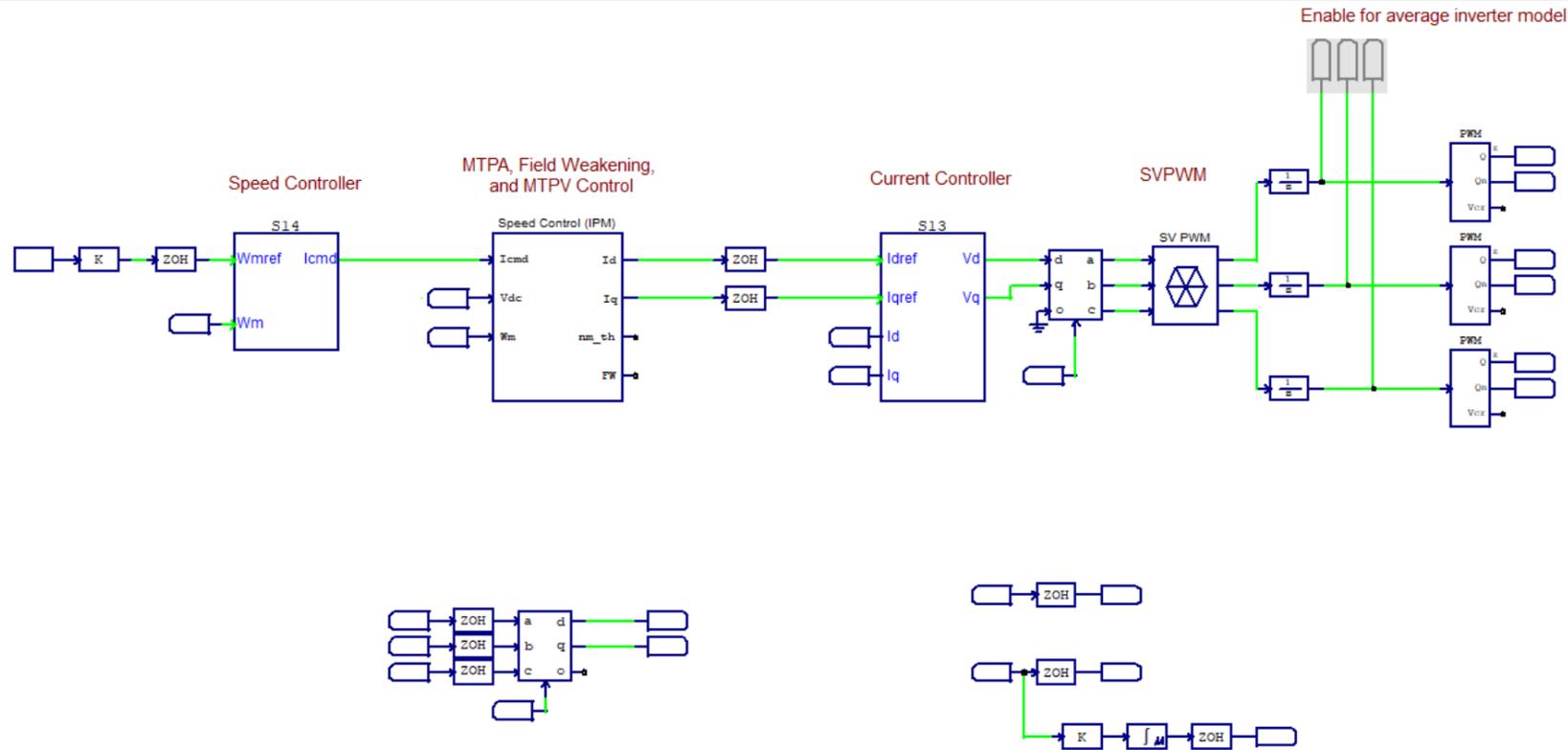


Le moteur choisit est le U12II KV120.

La carte de contrôle qui correspond le mieux est la Flame 100A HV du même fabricant T-motor

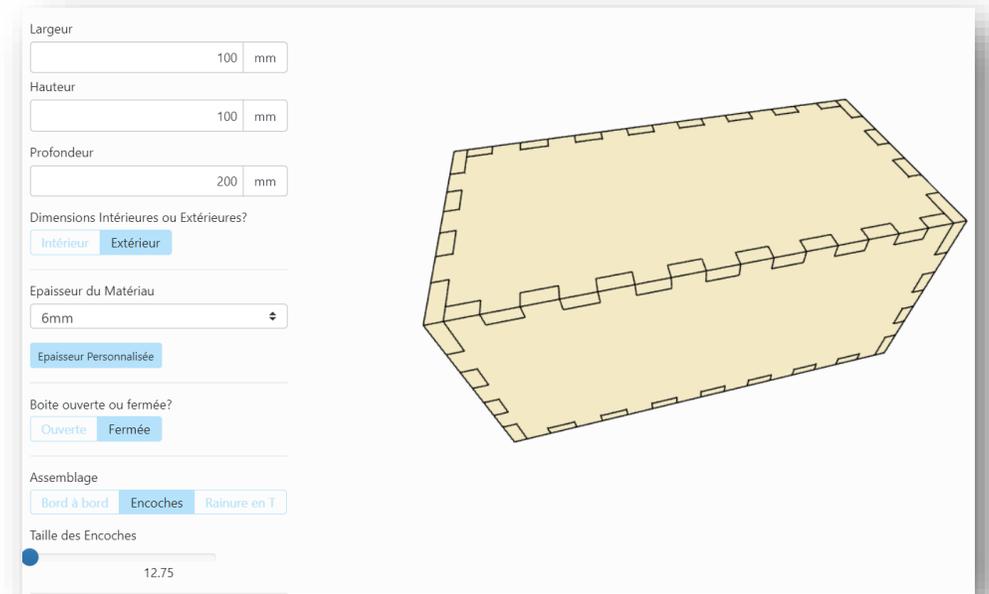
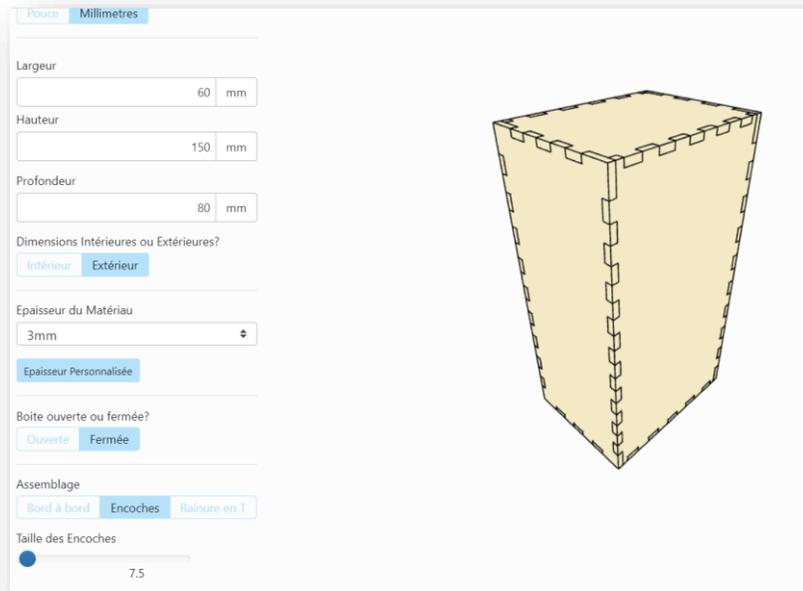
Afin d'avoir des résultats plus rapidement en attendant les appareils.  
Il était prévu de faire une simulation sur le logiciel PSIM.





La simulation PSIM de l'ESC a été mise en suspens à cause de sa complexité sur le logiciel PSIM. Il est pour l'instant impossible de reproduire les caractéristiques de l'ESC.

## Modélisation 3D



A l'aide du logiciel MakerCase, il a été possible de modéliser la maquette en 3D et de la découper au laser dans du plexiglass.

### Remarque :

Afin d'avoir un bon emboîtement des différentes parties, la précision du laser est réglé sur 0,122 micro

## Pièces découpées

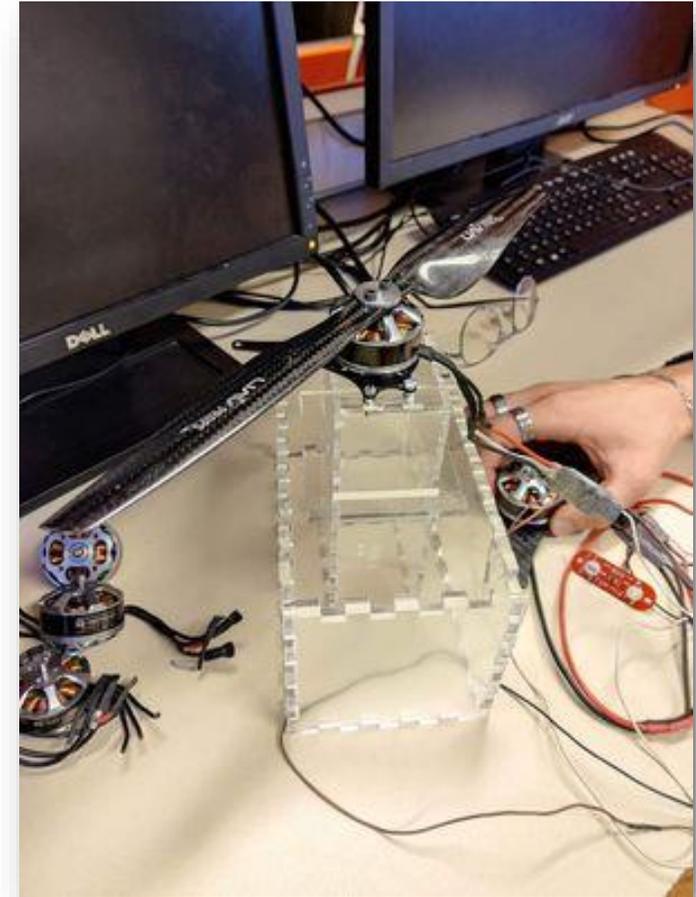


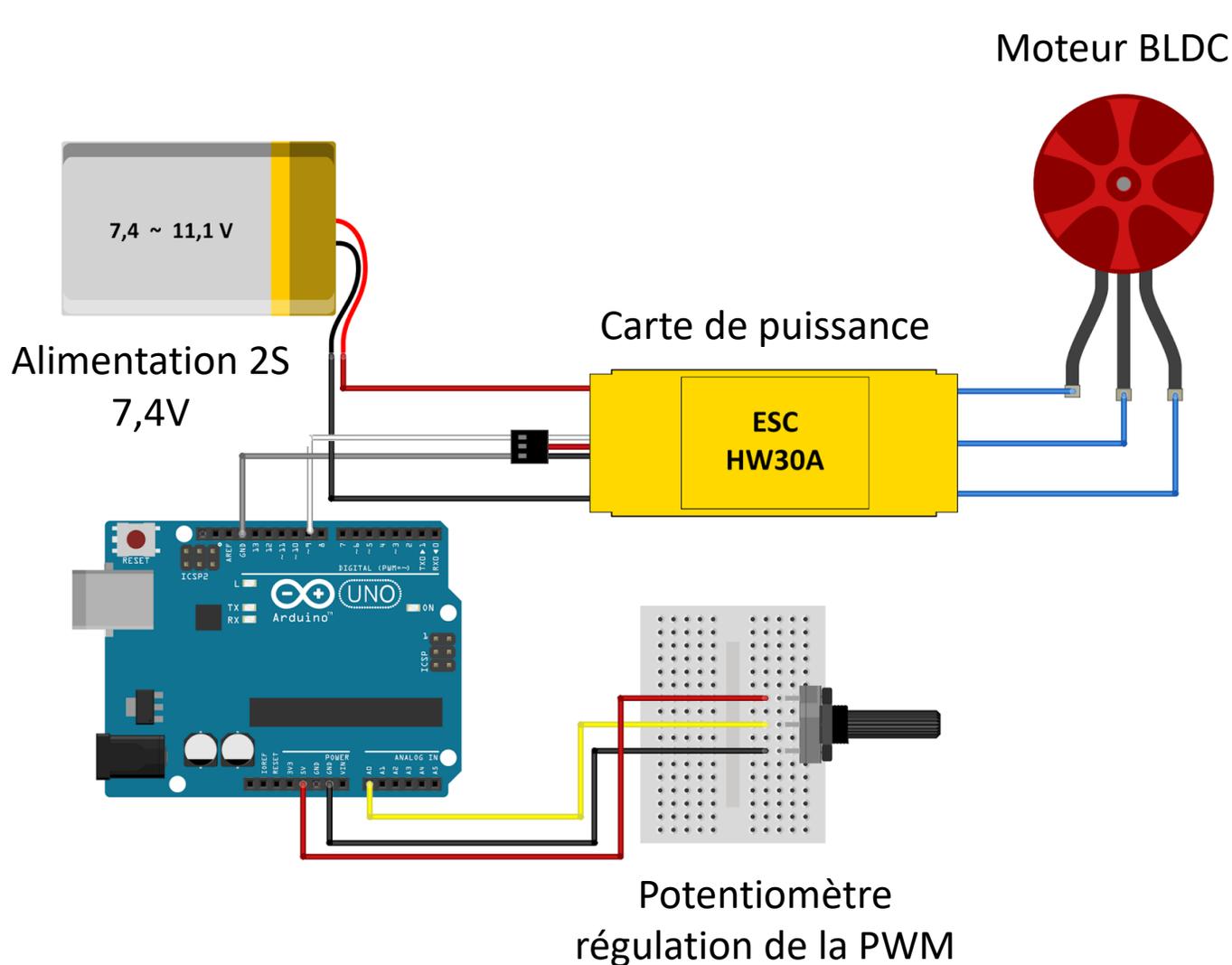
### Remarque assemblage :

Le prototype est trop petit pour les moteurs MN3508 envoyés par M. Dutertre.

Nous avons décidé de les réutiliser pour créer un 2<sup>nd</sup> prototype en phase 2

## Prototype assemblé





Le premier circuit réalisé utilisé un potentiomètre pour contrôler la vitesse de rotation du moteur.

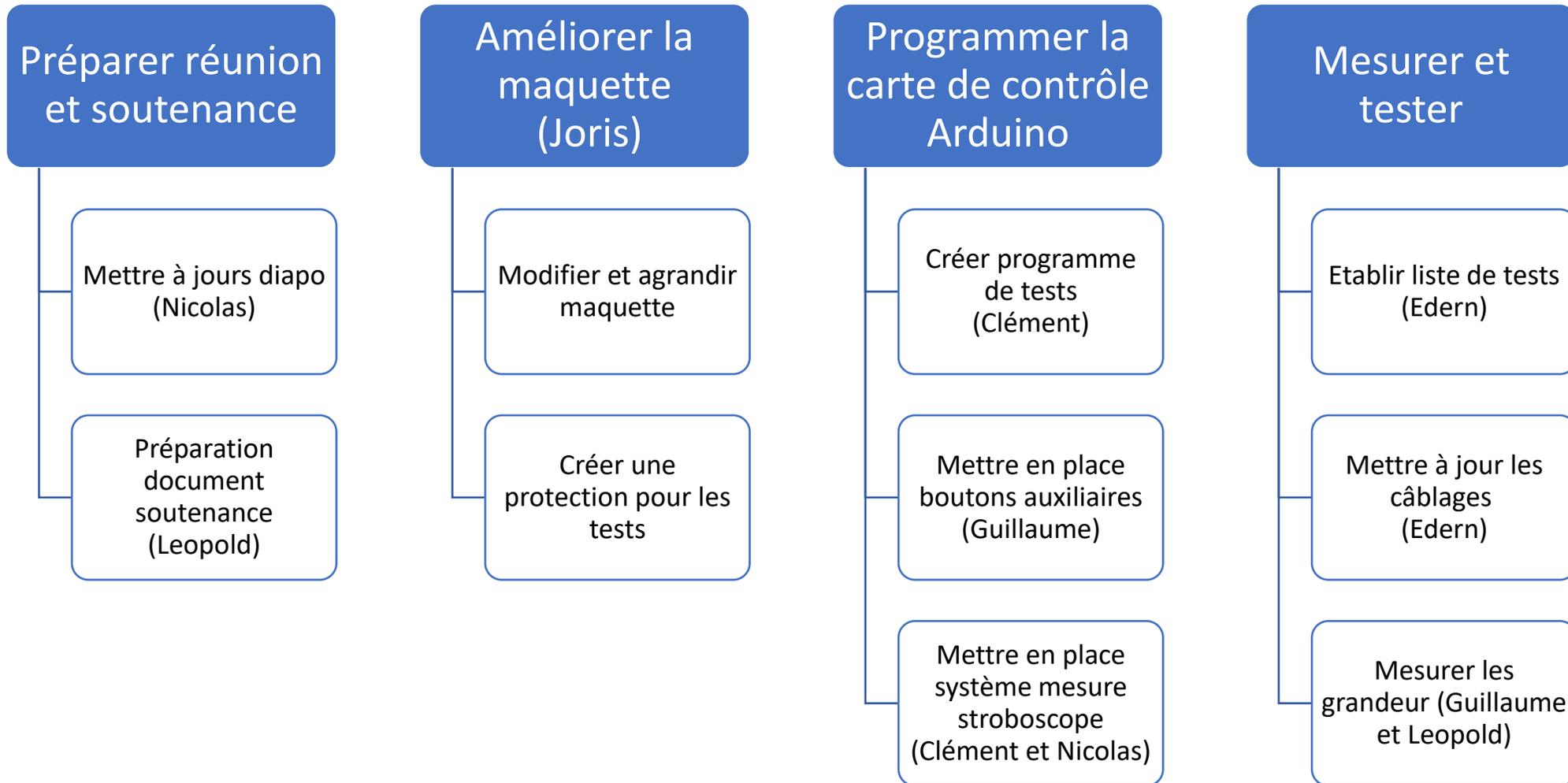
L'Arduino remplace la carte de contrôle. Elle envoie une PWM à l'ESC qui s'occupe de redistribuer la puissance sur les différentes phases du moteur.

### Remarque :

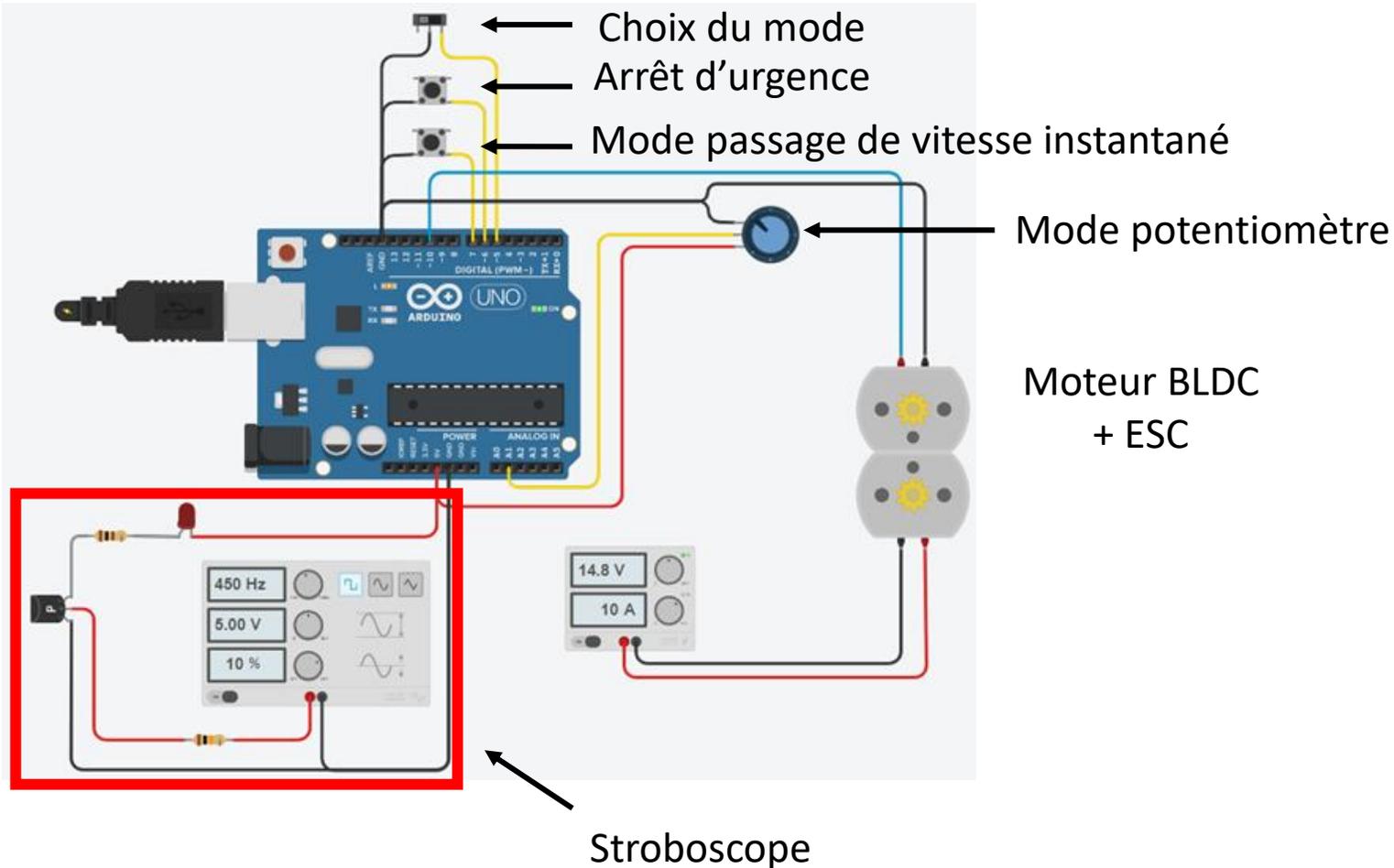
Au début l'ESIGELEC nous a passé des moteur de 2005. Nous n'avions pas les datasheet. L'entreprise nous a ensuite envoyé des modèles MN3508.

## PHASE 2 (*EN COURS*)

- ✓ Nos objectifs
- ✓ Notre organisations (phase 2)
- ✓ Amélioration du banc d'essai (maquette, circuit, programme)
- ✓ Tests effectués et problème rencontré
- ✓ Résultats et conclusion
- ✓ Reste à faire



## Circuit amélioré



Ce nouveau câblage nous permet de gagner du temps pour réaliser les différents tests et mesures.

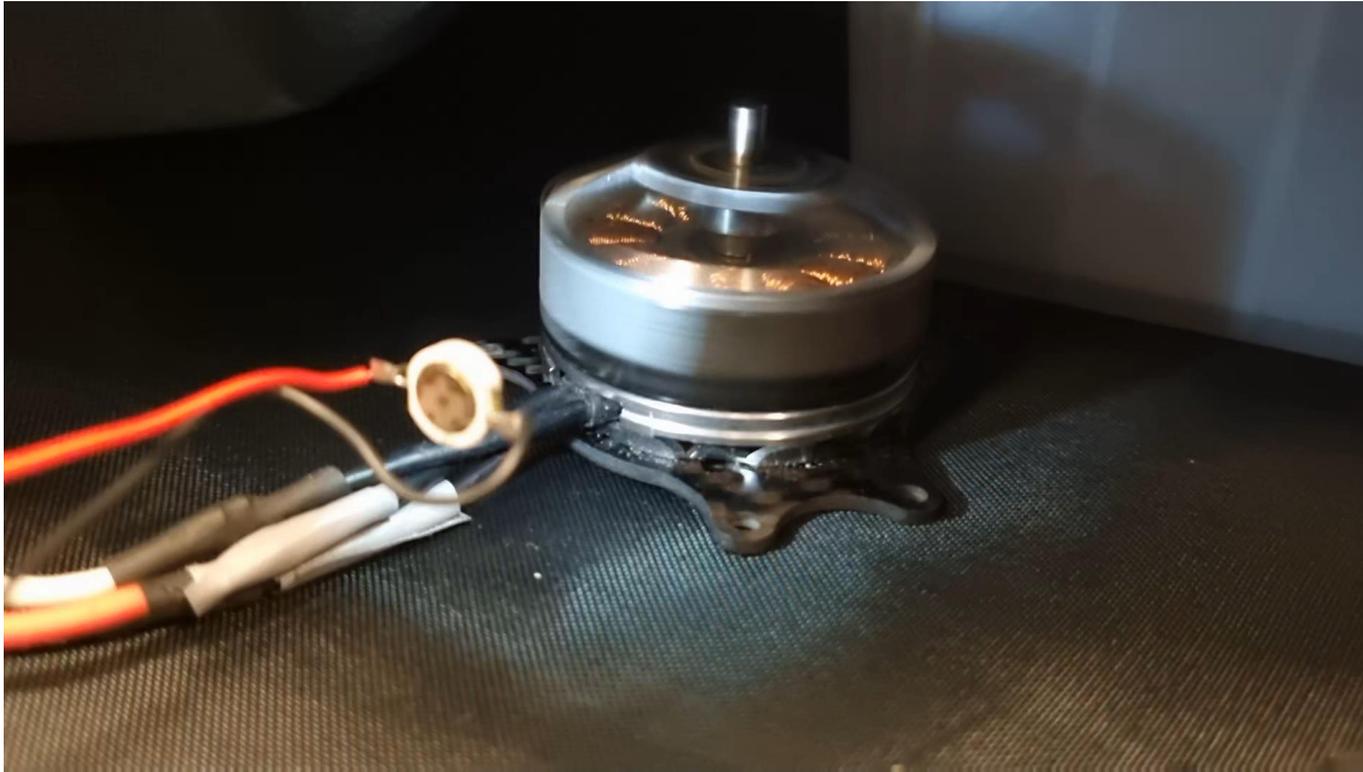
Le programme associés est en annexe

### Remarque sur la mesure de vitesse :

Nous avons essayé de réaliser un montage qui permet de mesurer :

- le temps de transition entre 2 vitesse
- la vitesse de rotation

Nous avons utilisé l'effet stroboscopique. (→ slide →)



## Fonctionnement :

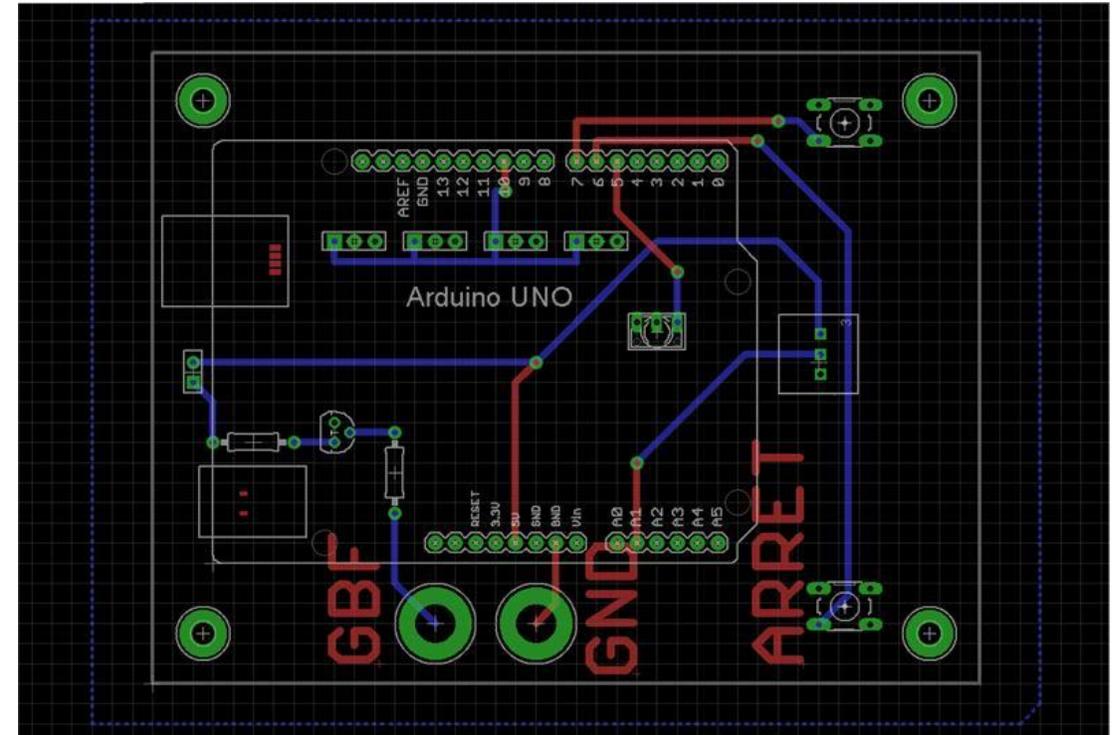
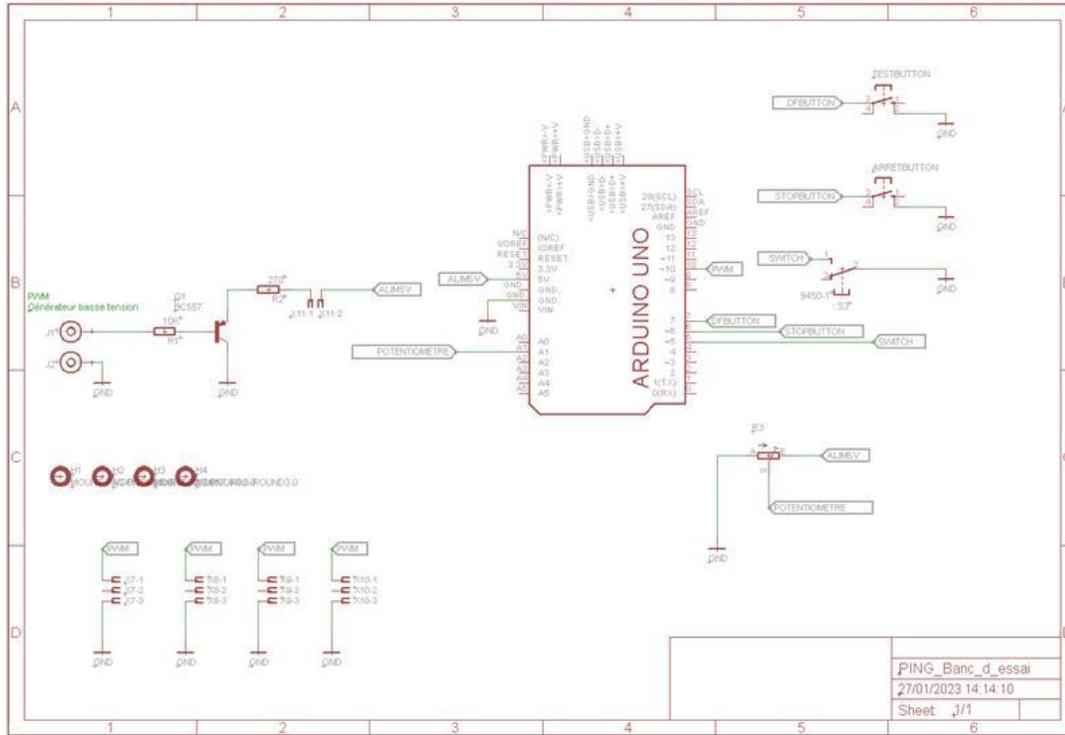
Avec le clignotement d'une LED, on visualise au ralentie la rotation du moteur *à vide*. On utilise un GBF. Avec la fréquence, on calcule la vitesse de rotation.

Via la vidéo on peut retrouver le temps de passage entre 2 vitesses !

Résultat : Nous avons trouvé une fréquence qui rend le moteur immobile à nos yeux.

Limite : Le montage de se faire dans *l'obscurité* avec un moteur *à vide*

Comment faire ? Nous utilisons un codeur incrémental !



A l'aide du logiciel EAGLE, on a schématisé le même circuit afin d'en faire une carte simplifié.  
L'objectif de simplifier les le montage avec moins de câble et des PINS spéciaux pour faire des mesures.

## Test 1: Changement de mode de fonctionnement

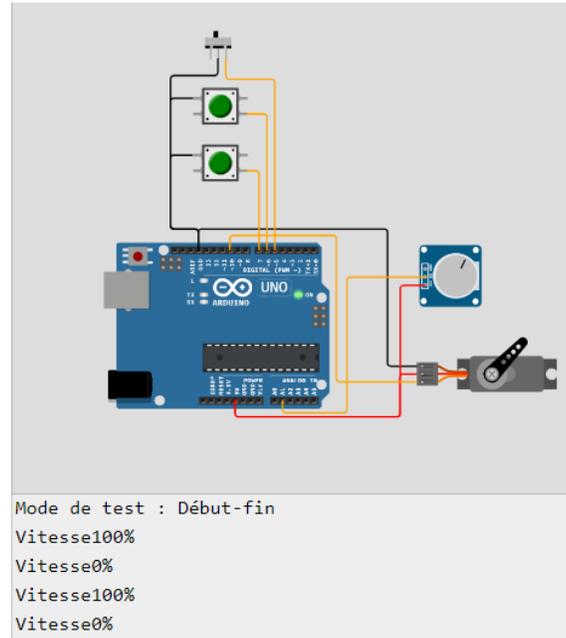
### Code associé (complet en annexe)

```

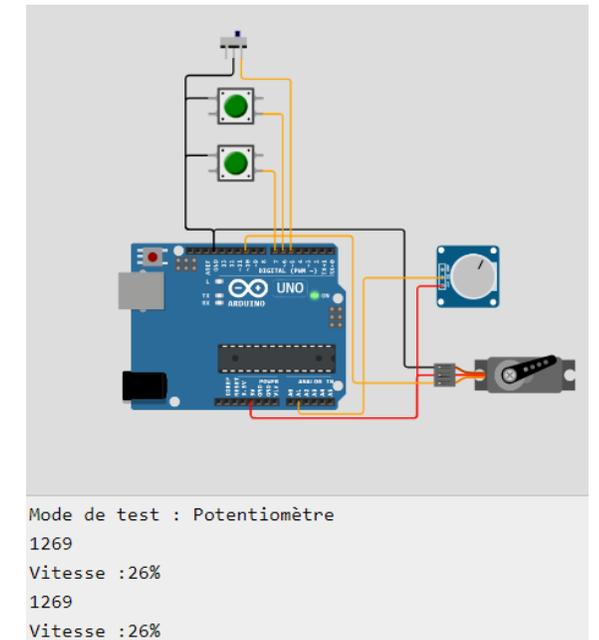
59 |         if (stateSwitch == HIGH){           //Vérification du mode de test
60 |             if(lastStateSwitch != stateSwitch){
61 |                 Serial.println("Mode de test : Début-fin");
62 |                 lastStateSwitch = stateSwitch;
63 |             }

```

Mode de test : Début-fin



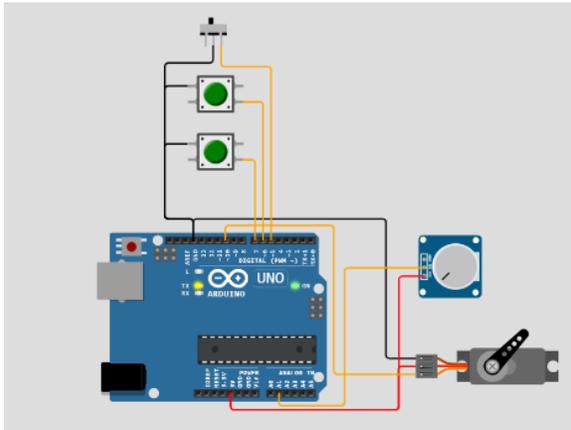
Mode de test : Potentiomètre



Les tests ont été réalisés dans un premier temps en simulation sur le site « wokwi.com ». Ils ont été vérifiés sur le montage final.

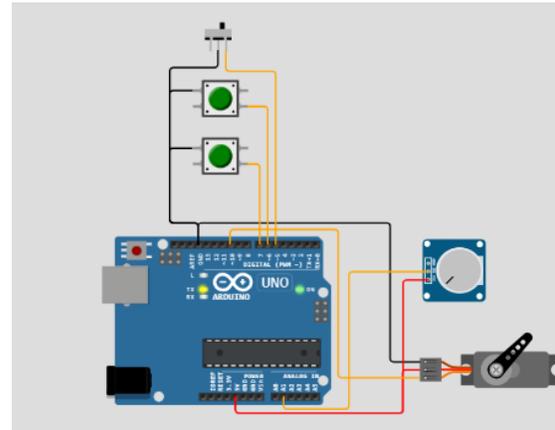
## Test 2: Fonctionnement mode d'arrêt d'urgence

### Mode de test : Début-fin



```
Servo attaché
Mode de test : Début-fin
Vitesse100%
Vitesse0%
ARRET URGENCE
ARRET URGENCE
ARRET URGENCE
```

### Mode de test : Potentiomètre

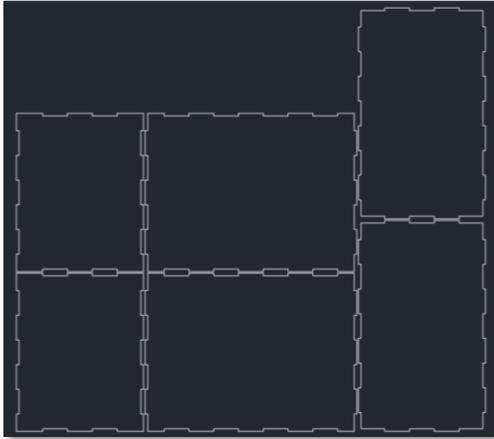


```
Mode de test : Potentiomètre
2000
Vitesse :100%
2000
Vitesse :100%
ARRET URGENCE
ARRET URGENCE
```

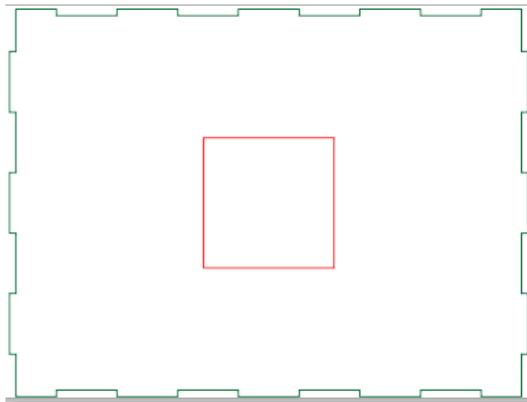
### Code associé (complet en annexe)

```
51 void loop() {
52   if (arretUrgence == 0){ //Verification de la non activation de l'arrêt d'urgence
53     int valueArret = digitalRead((6));
54
55     if (valueArret == HIGH) { //Vérification de l'état du bouton d'arrêt d'urgence
56       stateSwitch = digitalRead((5));
57
58     }
59   }
60
61   if (valueArret == LOW){ //Initialisation du mode arrêt d'urgence
62     servoVit.writeMicroseconds(0);
63     arretUrgence = 1;
64   }
65
66   else {
67     Serial.println("ARRET URGENCE");
68   }
69 }
```

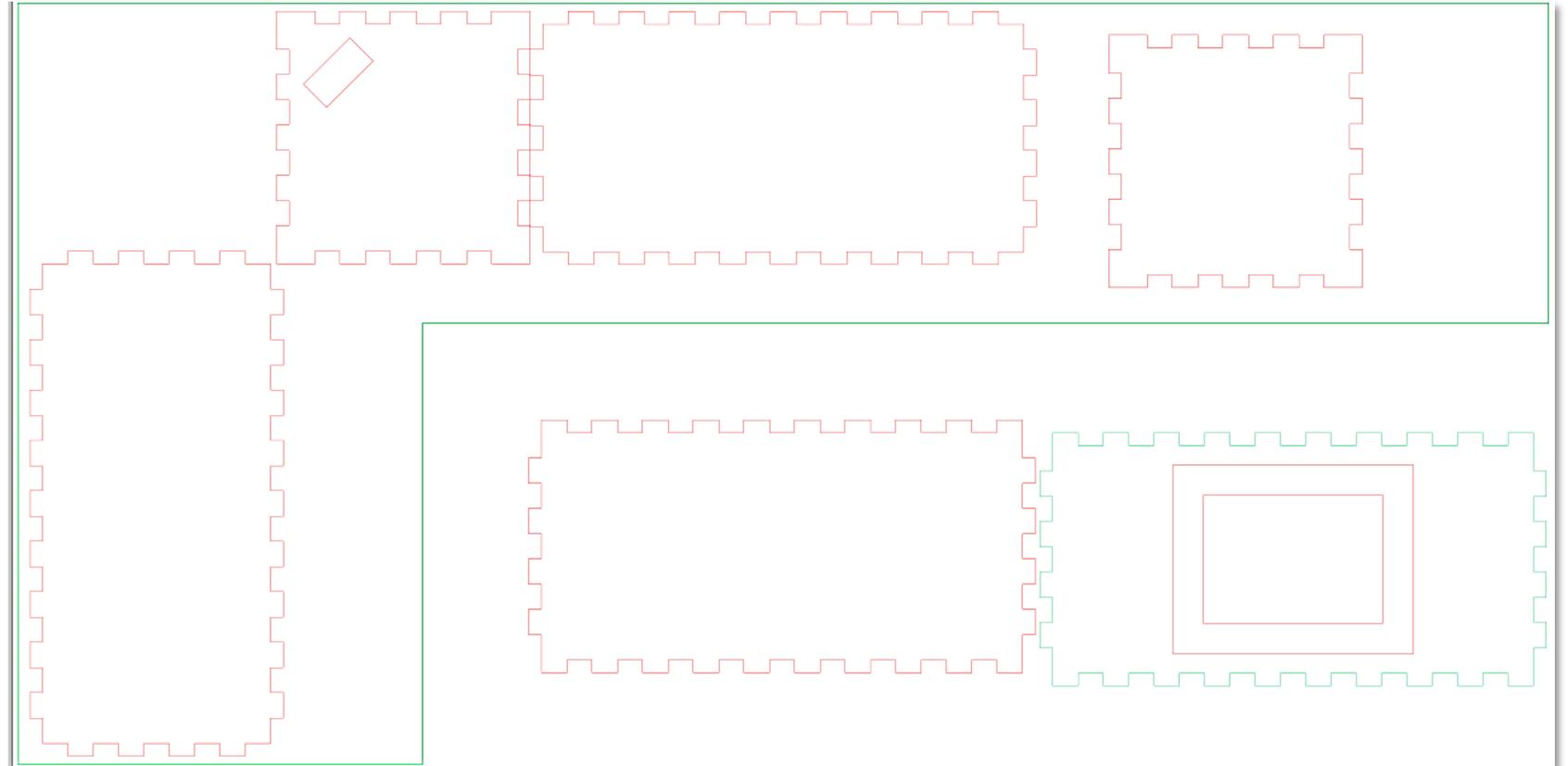
## Plan du banc d'essai



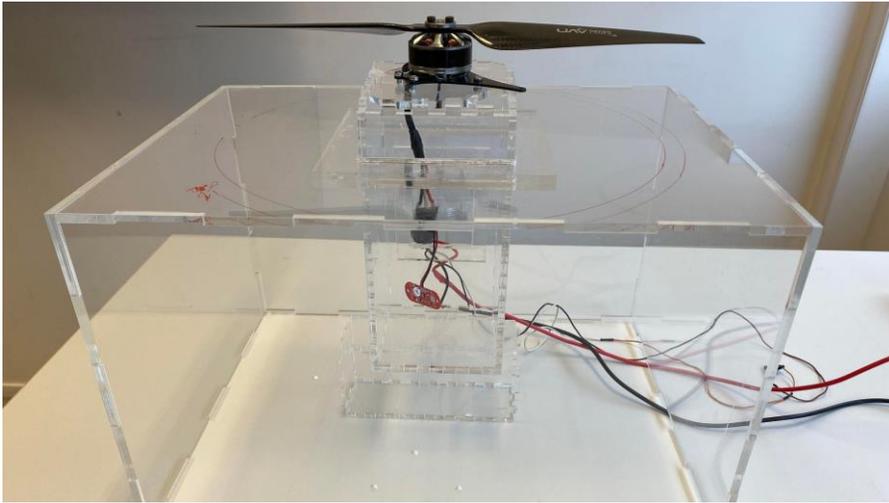
Plan de la maquette



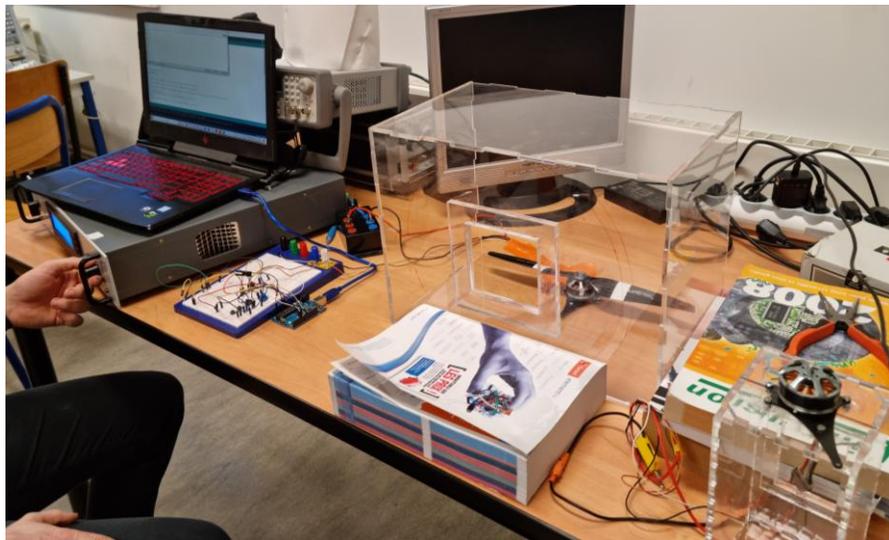
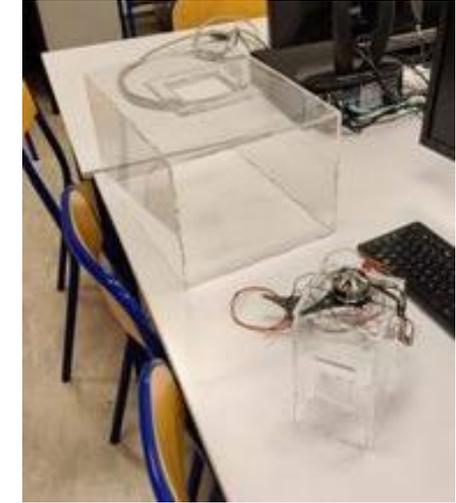
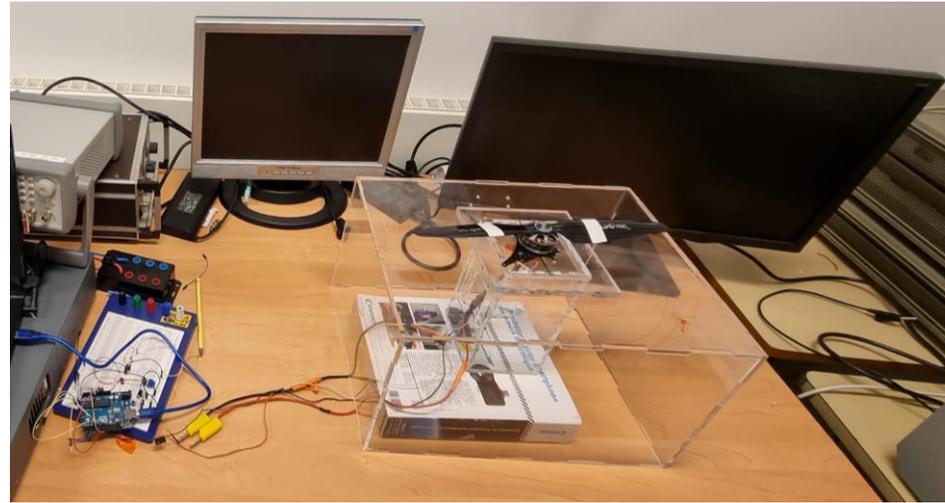
Face avant de du banc



Plan pilier central



*Moteur avec charge*



*Moteur fixé*

## Remarque 1 :

Le deuxième prototype 2 permet de réaliser tests :

- 1 à 2 moteur fixes avec une hélice
- 1 moteur mobile avec une hélice et une charge

## Remarque 2 :

Le plexiglass est solide et protège en cas de choc

- **Objectif court terme**

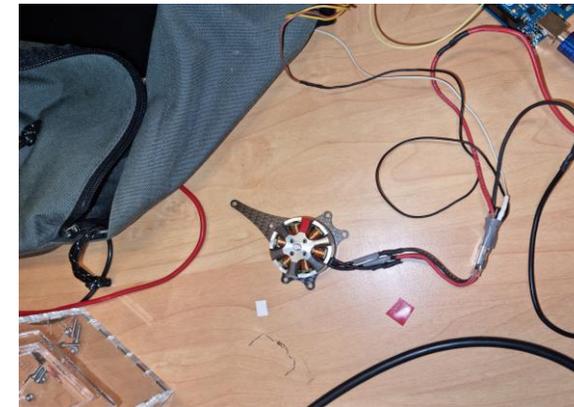
- Démarrer le BLDC
- Contrôler le BLDC à vide (position Take-off)
- Faire des tests avec une hélice

- **Objectif long termes**

- Faire des tests avec une charge variable
- Réaliser les tests précédents avec une inclinaison différentes / variation de puissance

# Cas test A : Objectif - Mise en place de l'installation

**Observations :**  
**Pas de remarques particulières.**



N°	Description	Statut	Variation	Courant (A)
A	Test mise en place de l'installation	OK		
A01	Démarrage à vide	OK		
A02	Test des composants de la plaque	OK		
A02	Variation de vitesse au potentiomètre	OK		
A03	Sécurité de l'installation	OK		
A04	Essais réalisés à vide avec 1 moteurs	OK		
A05	Essais réalisés à vide avec 2 moteurs	OK		
A06	Essais réalisés à vide avec 3 moteurs	OK		
A07	Essais réalisés avec 1 moteur et une hélice sur maquette fixe	OK		
A08	Essais réalisés avec 1 moteur et une hélice sur maquette mobile	OK		

**Conclusion :** Nous avons réussi à faire fonctionner l'ESC grâce à l'Arduino afin de faire tourner les moteurs

# Listes des tests

- ✓ Tests effectués
  - ✓ Test du programme et du circuit
  - ✓ Test maquette
  - ✓ Test à vide : 1 à 3 moteur
  - ✓ Test avec hélice fixé : 1 et 2 moteurs
  - ✓ Test avec hélice mobile : 1 moteur
  - ✓ Test avec hélice mobile et charge (50g à 1.2 kg)
- ✓ Mesure faites
  - ✓ Mesure du courant avant l'ESC
  - ✓ Mesure du courant de chaque phases
  - ✓ Mesure de la tentions
  - ✓ Mesure de la vitesse de rotation

# Cas test B: Objectif - Tests 1 moteur à vide

## Observation :

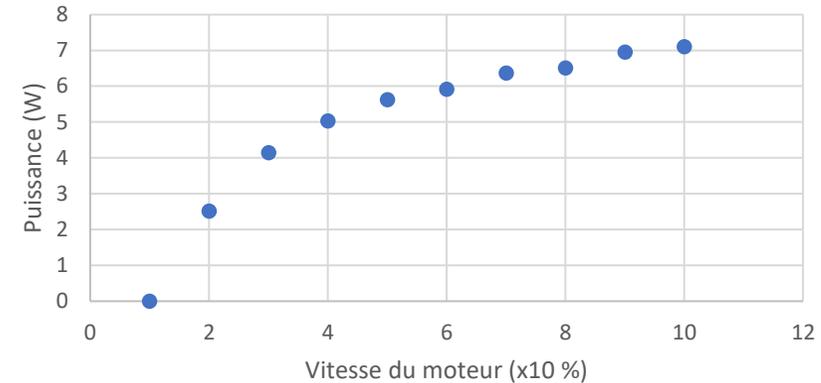
On remarque que son accélération est instantané, inférieur à 1 sec.

Le moteur démarre à partir de 15% de sa vitesse maximale.

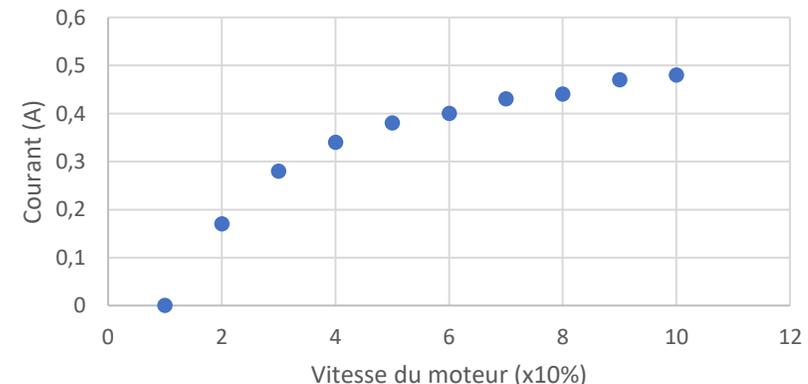
## Conclusion :

Le moteur à une puissance minimal pour tourner. Il y a une sécurité en cas de problème, il redémarre.

Puissance en fonction du pourcentage de vitesse



Évolution du courant en fonction de la vitesse du moteur

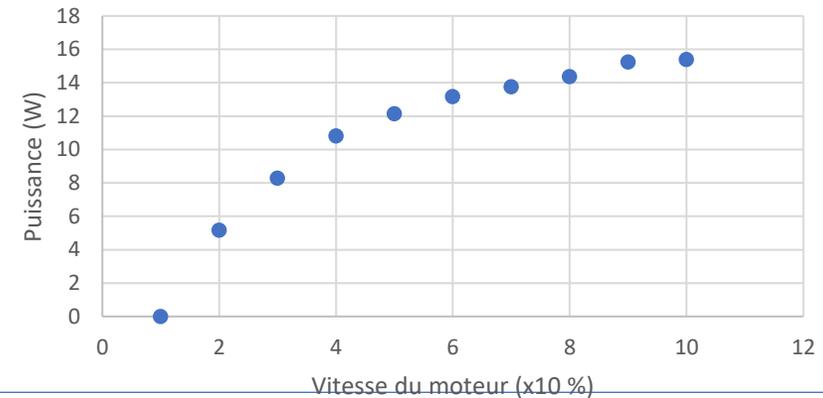


# Cas test C: Objectif - Tests 2 moteur à vide

**Observation :** La puissance est doublé par rapport au test A

**Conclusion :** Le comportement est bien celui attendu

Puissance en fonction du pourcentage de vitesse



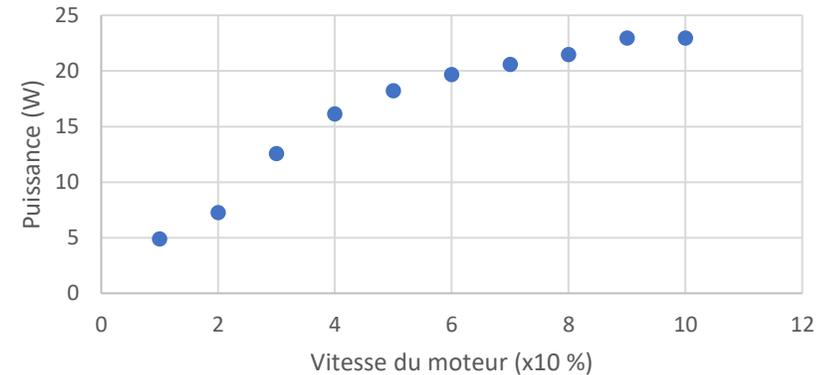
N°	Indice	Description	Statut	Variation	Courant (A)	Rpm	Puissance (W)	Hauteur	Commentaires
23	C	Tests 2 moteurs à vide	OK						
24	C	1 10% de la vitesse	OK		0		0		démarrage à 15% / 0.21 A
25	C	2 20% de la vitesse	OK		0,35		5,18		
26	C	3 30% de la vitesse	OK		0,56		8,288		
27	C	4 40% de la vitesse	OK		0,73		10,804		
28	C	5 50% de la vitesse	OK		0,82		12,136		
29	C	6 60% de la vitesse	OK		0,89		13,172		
30	C	7 70% de la vitesse	OK		0,93		13,764		
31	C	8 80% de la vitesse	OK		0,97		14,356		
32	C	9 90% de la vitesse	OK		1,03		15,244		
33	C	10 100% de la vitesse	OK		1,04		15,392		

# Cas test D: Objectif - Tests 3 moteur à vide

**Observation :** La puissance n'est pas triplé !

**Conclusion :** Il faut tester avec 4+ moteur. Nous ne pouvons pas les faire pour l'instant

Puissance en fonction du pourcentage de vitesse



N°	Indice	Description	Statut	Variation	Courant (A)	Rpm	Puissance (W)	Hauteur	Commentaires
34	D	Tests 3 moteurs à vide							
35	D	1 10% de la vitesse	OK		0,33		4,884		démarrage à 15% / 0.21 A
36	D	2 20% de la vitesse	OK		0,49		7,252		
37	D	3 30% de la vitesse	OK		0,85		12,58		
38	D	4 40% de la vitesse	OK		1,09		16,132		
39	D	5 50% de la vitesse	OK		1,23		18,204		
40	D	6 60% de la vitesse	OK		1,33		19,684		
41	D	7 70% de la vitesse	OK		1,39		20,572		
42	D	8 80% de la vitesse	OK		1,45		21,46		
43	D	9 90% de la vitesse	OK		1,55		22,94		
44	D	10 100% de la vitesse	OK		1,55		22,94		

# Cas test E - Objectif : Tests 1 moteur avec hélice

Observation:

N°	Indice	Description	Statut	Variation	Courant (A)	Rpm	Puissance (W)	Hauteur	Commentaires
45	E	<b>Tests 1 moteurs avec hélice</b>	OK						
46	E	1 10% de la vitesse	OK		0		0		démarrage à 15% / 0.12 A
47	E	2 20% de la vitesse	OK		0,22		3,256		
48	E	3 30% de la vitesse	OK		0,48		7,104		
49	E	4 40% de la vitesse	OK		1,05		15,54		
50	E	5 50% de la vitesse	OK		2,01		29,748		
51	E	6 60% de la vitesse	OK		3,05		45,14		
52	E	7 70% de la vitesse	OK		5,7		84,36		
53	E	8 80% de la vitesse	OK		8,3		122,84		
54	E	9 90% de la vitesse	OK		11,3		167,24		
55	E	10 100% de la vitesse	OK		11,3		167,24		

# Cas test F - Objectif : Démarrage à 50% avec un moteur

Observation :

---

# Cas test G - Objectif :

Observation :

# Cas test H - Objectif :

Observation :

# Cas test I - Objectif :

**Observation :**

# Cas test J - Objectif :

Observation :

# Cas test K - Objectif :

Observation :

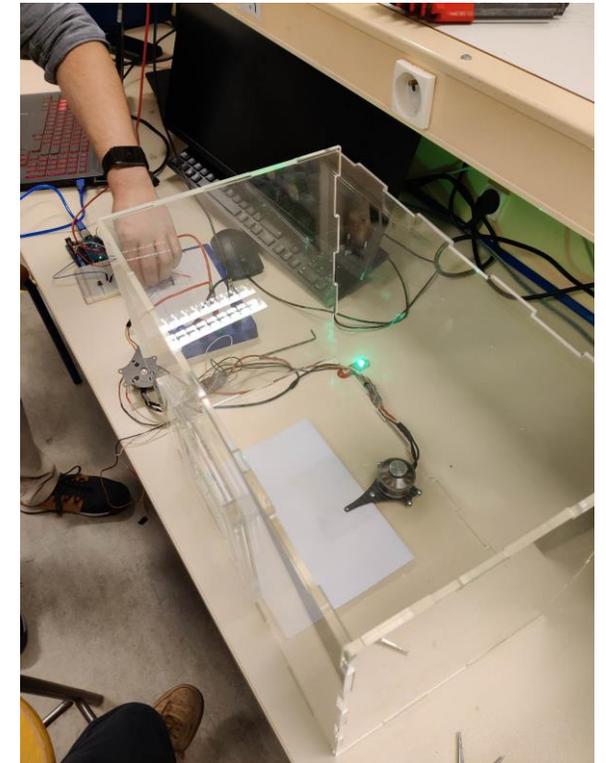
# Cas test L - Objectif :

Observation :

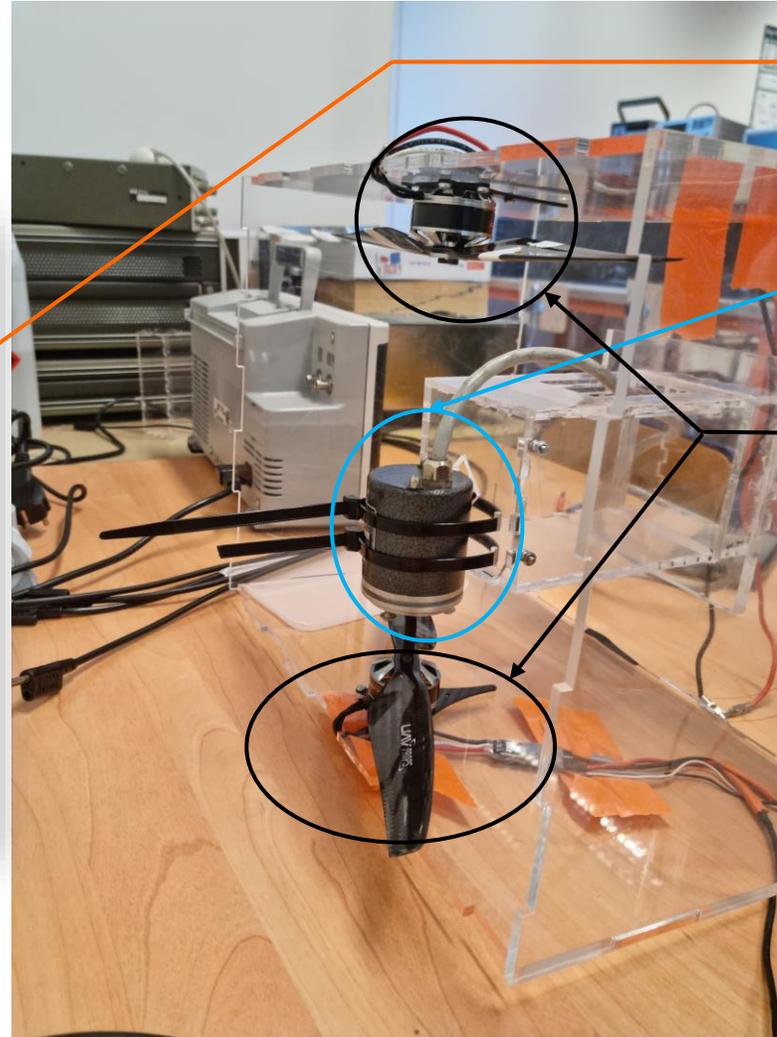
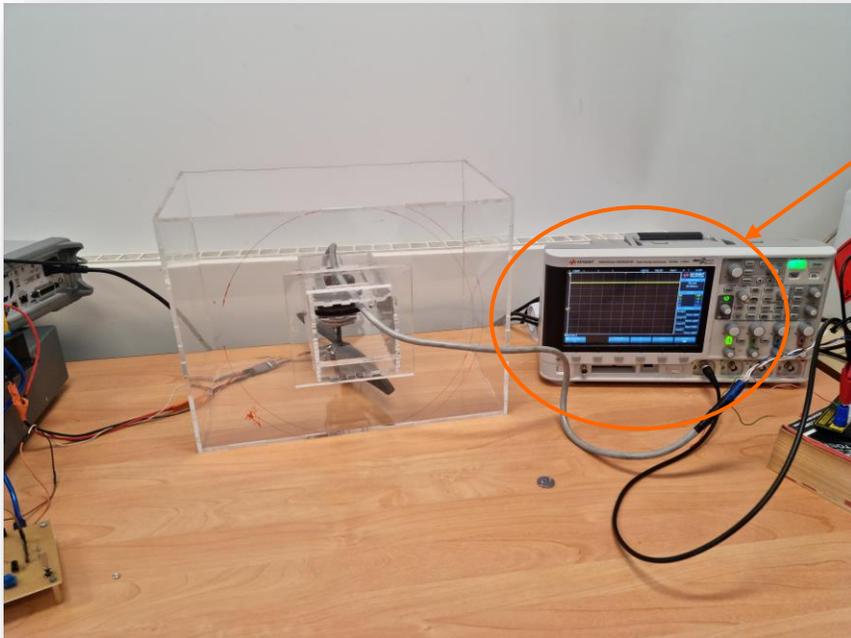
# Tests moteur

- Premier essai :  
Le moteur a tourné sans charge.
- Essai avec charge :  
Nous avons fixé le moteur sur le côté de la maquette pour avoir une protection, et avons rajoutés une hélice pour mettre une charge sur le moteur. Voir illustration ci-contre :  
Nous avons fais plusieurs tests sur le moteur avec l'hélice comme charge allant de 10% de sa puissance à 90%.

Les mesures correspondent aux valeurs de la datasheet.



# Mesure de la rotation du moteur

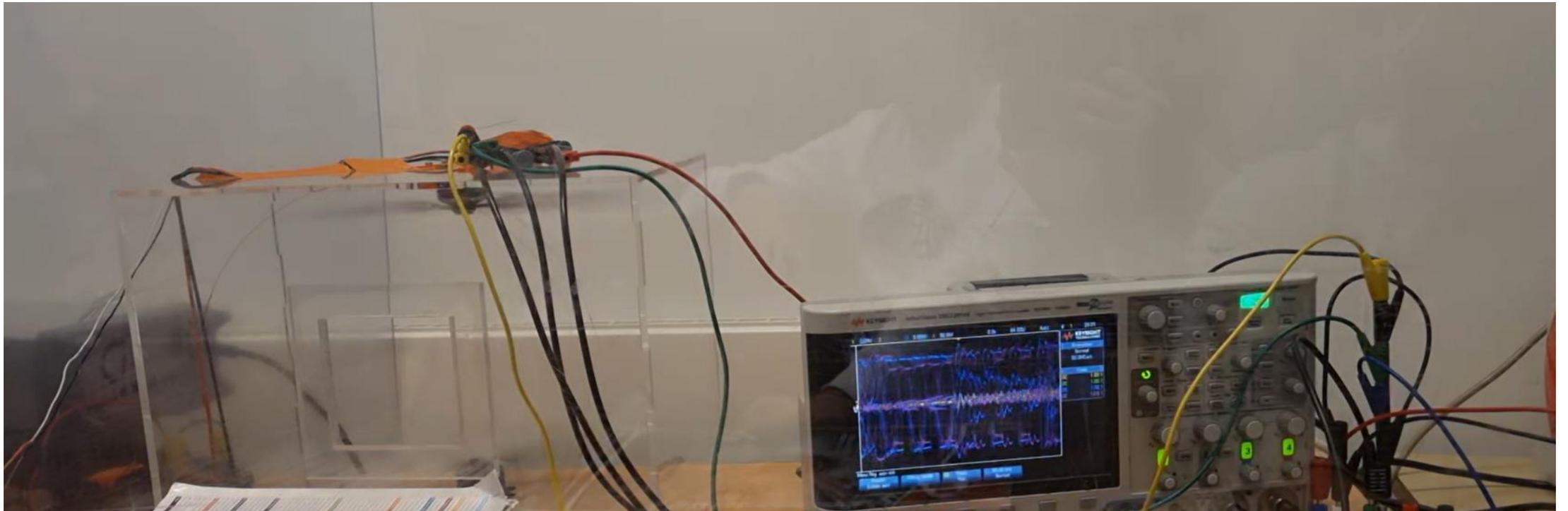


Oscilloscope  
On mesure le nombre de tours par seconde avec la tension et la fréquence enregistré

Codeur incrémental

Moteurs fixés sur la maquette

# Visualisation des 3 phases



# Problème liés aux tests du moteur

- Accident mineur :

Lors du test à 90 % de la puissance du moteur, celui-ci a légèrement soulevé la maquette qui était bloquée par un poids de 1,5kg. En se soulevant, les hélices ont sectionnées les câbles d'alimentations et ont détruit le condensateur de l'unité de commande.

- Conclusion et mesures mise en place :

Pour les prochains essais, faire vraiment attention à la sécurité. Faire attention au positionnement des câbles. **Faire encore plus attention à l'hélice qui peut propulser des objets à très grande vitesse et éventuellement provoquer de graves blessures.**

# Différents essais réalisés

## Sans charge avec 2 moteurs:

- Moteur démarre à 14% de la puissance max à environ 0,15A.
- Pour un courant de 1A le moteur non chargé est à 68% de ses capacités max
- Pour un courant de 1,1A il atteint les 100% de sa capacité max

## Sans charge avec 1 moteur :

- Le moteur est à 100% de ses capacités à 0,6A

## Sans charge avec 3 moteurs

- Commence à tourner à 0,25A soit 13%
- 1A = 37%

# Estimation du prix

Description	Quantité	Prix unitaire	Prix total
Moteur U12II KV120	60	369\$	22 140\$
ESC Flame 100 A HV	15	138,10\$	2 071,5\$
		<b>Total</b>	<b>24 211,5\$</b>