

# TO51-TA71

## Sujet : Follow me Watch drone

Réalisation d'un projet nous permettant d'appliquer les méthodes de conception vues en CP58 afin de réaliser une conception 4D. Réalisation de calculs afin de garantir le bon fonctionnement du Follow me watch drone.



## Remerciements

---

Nous tenons à remercier toutes les personnes nous ayant permis de réaliser ce projet en nous soutenant et nous donnant de précieux conseils. Nous remercions tout particulièrement Bertrand MARCONNET et Germain SOSSOU sans qui nous n'aurions pas eu les compétences nécessaires pour réaliser le projet.

## Sommaire

<b>Introduction.....</b>	<b>6</b>
<b>I. Compte rendu de réunion de projet .....</b>	<b>7</b>
<b>II. Cahier des charges fonctionnel .....</b>	<b>9</b>
<b>A. Diagramme bête à cornes.....</b>	<b>9</b>
<b>B. Diagramme pieuvres .....</b>	<b>10</b>
1. Phase 1 : Drone en vol.....	10
1. Phase 2 : Drone au poignet de l'utilisateur .....	13
<b>III. Préconcepts.....</b>	<b>15</b>
<b>A. Liens avec les attentes.....</b>	<b>15</b>
<b>IV. Calculs et études réalisés .....</b>	<b>18</b>
<b>A. Sur les composants .....</b>	<b>18</b>
1. Objectif .....	18
2. Choix technique.....	19
3. Calcul de la poussée .....	21
4. Calcul du temps de vol .....	23
<b>B. Sur le matériau intelligent .....</b>	<b>24</b>
<b>V. Modèle CAO.....</b>	<b>33</b>
<b>A. Partie drone.....</b>	<b>33</b>
1. Récepteur radio (Rx).....	33
2. Contrôleur de vol / ESCs .....	33
3. Moteurs .....	34
4. Les pièces de structures .....	34
5. Les hélices .....	36
6. Batterie.....	37
7. Ecran.....	39
8. Système de vue à la première personne (First Person View).....	39
9. Le bracelet .....	40
<b>B. Partie bracelet .....</b>	<b>41</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>44</b>

## Table des illustrations

Figure 1 : Crazyflie 2.0 .....	7
Figure 2 : Nomenclature Crazyflie 2.0 .....	7
Figure 3 : Diagramme bête à cornes.....	9
Figure 4 : Diagramme pieuvre utilisation "vol" .....	10
Figure 5 : Diagramme pieuvre utilisation "posé" .....	13
Figure 6: Planche préconcept 1 .....	15
Figure 7 : Planche préconcept 2.....	17
Figure 8 : Moteur du CrazyFlie (MCC).....	19
Figure 9 : RC Micro Drone (70€).....	19
Figure 10 : Parrot Mambo (130€) .....	19
Figure 11: Armattan Chameleon.....	20
Figure 12 : Tableau comparatif moteur à courant continu (MCC)/Moteur brushless (MSAP).....	20
Figure 13 : Câblage ESC .....	21
Figure 14 : Calcul de la poussée .....	21
Figure 15 : Résultat rapport poussée/Poids .....	22
Figure 16 : Calcul du temps de vol 1 .....	23
Figure 17 : Calcul du temps de vol 2 .....	23
Figure 18 : Type de fonctionnement matériaux intelligents .....	24
Figure 19 : Les polymères intelligents .....	25
Figure 20 : Résistance pour $R=0,25\text{mm}$ .....	28
Figure 21 : Résistance pour $R=0,2\text{mm}$ .....	28
Figure 22 : Résistance pour $R=0,16\text{mm}$ .....	28
Figure 23 : Temps de chauffe pour $R=0,25\text{mm}$ .....	30
Figure 24 : Temps de chauffe pour $R=0,20\text{mm}$ .....	30
Figure 25 : Temps de chauffe pour $R=0,16\text{mm}$ .....	30
Figure 26 : Pourcentage de batterie utilisé pour $R=0,25\text{mm}$ .....	31
Figure 27 : Pourcentage de batterie utilisé pour $R=0,20\text{mm}$ .....	31
Figure 28 : Pourcentage de batterie utilisé pour $R=0,16\text{mm}$ .....	32
Figure 29 : Recepteur .....	33
Figure 30 : Flytower 4in1 (flight controller and ESCs).....	33
Figure 31 : Turnigy D0703 12000KV .....	34
Figure 32 : Rendu 1 .....	34
Figure 33 : Rendu 3 .....	35
Figure 34 : Rendu 2 .....	35
Figure 35 Carter supérieur et clipsage écran .....	36
Figure 36 : Propriété du produit Structure.....	36
Figure 37 : Hélices.....	37
Figure 38 : Hélice .....	37
Figure 39 : Batterie paramétrée.....	38
Figure 40 : Batteries.....	38
Figure 41 : Ecran .....	39
Figure 42 : Q25-Mini.....	39
Figure 43 : Support caméra .....	40
Figure 44 : Bracelet.....	40

Figure 45 : système de liaison résine/fixation carter .....	41
Figure 46 : Moule de fabrication.....	42
Figure 47 : Ensemble d'un bracelet .....	42
Figure 48 : Rendu du drone.....	43

## Introduction

TO51-TA71 sont des unités de valeur de la formation Génie Mécanique et Conception (GMC) que propose l'Université Technologie de Belfort-Montbéliard (UTBM).

Ces deux UV sont similaires mais appliquées à des étudiants différents (conventionnels ou apprentis).

Le but premier de ces UV est de pouvoir coupler le projet qui va être développé avec un autre projet que l'on retrouvera dans une autre UV (du type CP58).

L'intérêt est de pouvoir approfondir le travail qui va être fait sur le projet à travers la ou les autre(s) UV(s).

Dans notre cas, nous avons effectivement couplé cette UV à projet avec le projet étudié en CP58, à savoir "Follow me Watch Drone".

Le travail réalisé en CP58 s'est porté sur l'étude de la conception paramétrée du produit, permettant d'obtenir un modèle numérique intelligent et personnalisable.

Le but de cette UV à projet est d'approfondir les recherches ainsi que le travail sur ce projet suivant un aspect plus technique, proprement au produit (cahier des charges, concepts, calculs...)

Le "Follow me Watch Drone" est un alliant à la fois l'aspect de faire voler le produit (dans la phase d'utilisation "vol" du produit mais doit également intégrer des matériaux intelligents de sorte à obtenir une action du produit sans intervention de l'utilisateur. Ces matériaux intelligents (matériaux à mémoire de forme) vont être utile et nécessaires à la transition entre les phases de vie utilisation "posé" et utilisation "vol".

Ce rapport présente le travail que nous avons réalisé durant le semestre. Dans un premier temps, nous exposerons le rapport d'information puis nous définirons le cahier des charges fonctionnel. Nous aborderons les différentes manières pour répondre aux besoins de M. Bertrand MARCONNET. Enfin, nous présenterons le concept choisi, les calculs réalisés ainsi que la modélisation 3D.

## I. Compte rendu de réunion de projet

Après la première réunion avec notre suiveur de projet, nous avons obtenu plusieurs informations avec l'objectif de notre projet et ce qu'il attendait. Le sujet de projet est couplé avec l'UV de CP58. Le but de CP58 était la réalisation d'un drone qui pouvait aussi faire une option montre pour l'utilisateur.



Figure 1 : Crazyflie 2.0

Ainsi, nous avons donc dû travailler sur le Follow me watch drone. Qui se base sur le drone Crazyflie 2.0. vendu dans le commerce. Le produit se compose des éléments suivants :

Composants	Nombre
Crazyflie 2.0 control board with all components mounted	1
CW propellers	4
CCW propellers	4
Motor mounts	4
LiPo battery	1
Coreless DC motors	4
Long expansion connector pins	2
Battery holder expansion board	1

Figure 2 : Nomenclature Crazyflie 2.0

Nous pouvons remarquer que le Crazyflie, possède seulement les composants basiques d'un drone. Ainsi, il faut que l'on ajoute à ce produit un écran pour la montre mais aussi les

bracelets « intelligents ». De plus, Le produit de base a les caractéristiques suivantes :

Cependant, avec les composants du drone, nous une marge de manœuvre de seulement 12 grammes de charge utile. Ainsi, il aurait été impossible de faire voler le drone en rajoutant l'écran de la montre avec les bracelets et le système de fixation des bracelets sur l'ensemble du drone.

C'est pourquoi, nous avons convenu avec Bertrand Marconnet que dans le cadre des UVs TO51 et TA71 nous devons reconcevoir le drone afin qu'il puisse voler avec toutes les options nécessaires dont nous avons besoin.



## II. Cahier des charges fonctionnel

Afin de définir correctement notre besoin, nous avons dû commencer par réaliser un cahier des charges fonctionnel par le biais d'une analyse fonctionnelle externe pour pouvoir clairement définir notre cas d'étude. Pour ce faire, nous avons séparé cette partie en deux étapes à savoir le diagramme bête à cornes et les diagramme pieuvre en fonction des différentes situations de vie du produit.

### A. Diagramme bête à cornes

Dans le but de nous familiariser avec le milieu et l'intérêt du produit que nous devons développer à travers ce rapport, nous commençons par répondre aux questions constituant la "bête à cornes".

Tout d'abord, le système et le "Follow me watch Drone".

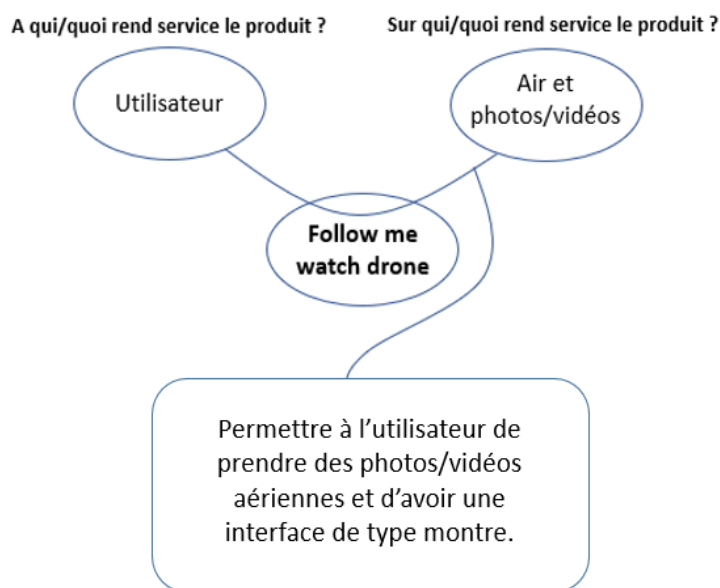


Figure 3 : Diagramme bête à cornes.

- **A qui servira ce produit ?**
  - Le produit servira à l'utilisateur.
- **Sur quoi agira ce produit ?**
  - Le produit agira à la fois sur l'air et également sur l'utilisateur.
- **Dans quel but ?**

- Dans le but de voler et être stable dans l'air et également de se maintenir à l'utilisateur en lui fournissant des informations.

## B. Diagramme pieuvres

Les diagrammes pieuvres nous permettent d'identifier les milieux extérieurs agissant sur le produit. Ils permettent aussi de pouvoir identifier clairement les fonctions principales ainsi que les fonctions contraintes. Dans notre cas, nous étudierons seulement le drone lors de la phase de vie « utilisation ». De plus, on remarque que l'on a deux phases de vie. A savoir lorsque le drone est en vol et lorsque celui-ci est au poignet de l'utilisateur.

Ainsi, dans cette partie, nous allons pour chaque diagramme décrire son milieu environnant, ses fonctions (principales et contraintes) puis, nous ferons une caractérisation des fonctions.

### 1. Phase 1 : Drone en vol

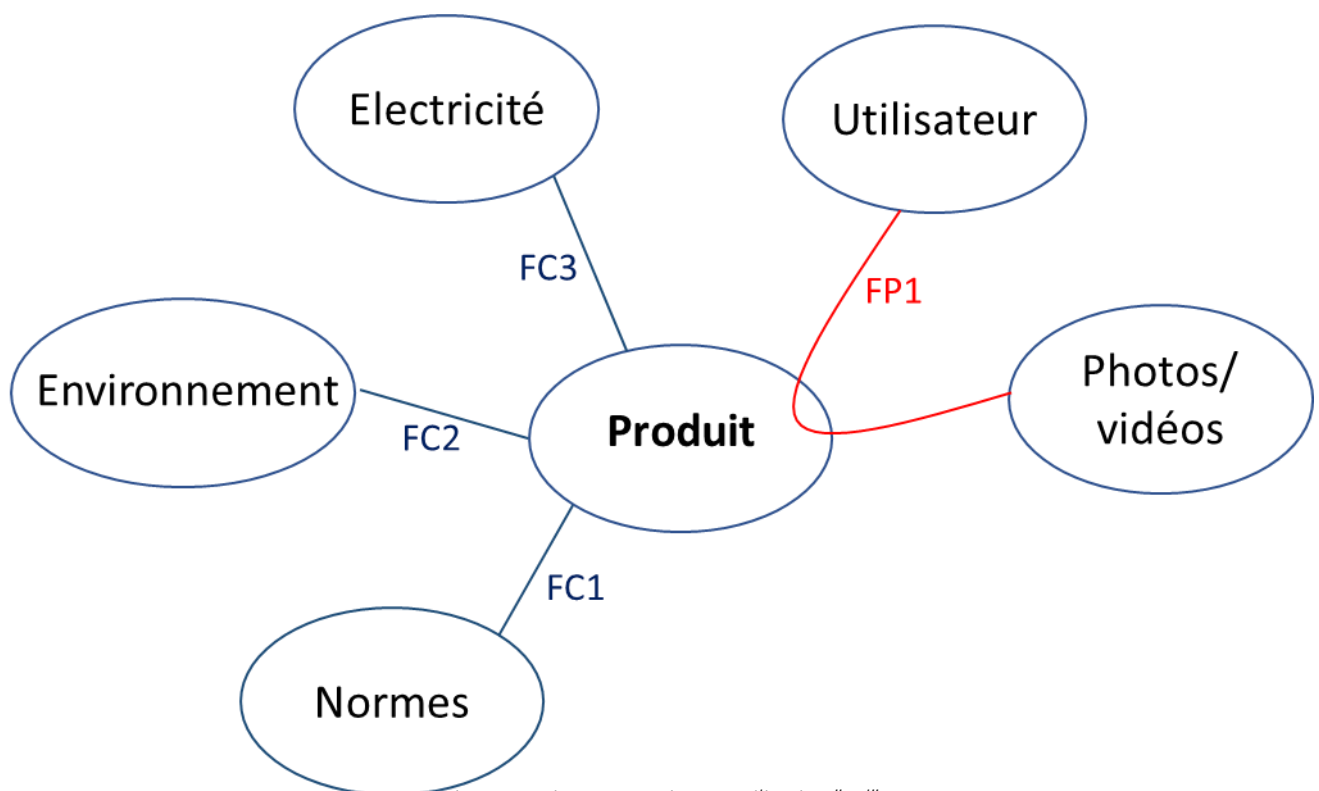


Figure 4 : Diagramme pieuvre utilisation "vol"

- **Éléments du Milieu Environnant**

- Environnement extérieur

- **Fonctions**

- FP1 : Permettre à l'utilisateur de prendre des photos/vidéos aériennes.

- FC1 : Respecter les normes.
- FC2 : Résister à l'environnement extérieur.
- FC3 : Transformer l'énergie électrique en énergie mécanique de rotation.

• **Caractérisation des fonctions**

Fonction	Critère	Niveau	Flexibilité
FP1 : Permettre à l'utilisateur de prendre des photos/vidéos aérienne.	Caméra.	Résolution 720p	F0
		Angle de prise de vue. De 45 à 90°.	F0
	Capacité de stockage.	Mémoire interne.	F1
		Autonomie de la batterie.	F0
	Réussir à avoir suffisamment de portance pour voler.	Couple des moteurs.	F0
		Diamètre des hélices.	F1
		Puissances des moteurs.	F1
		Type de moteur.	F1
	Prendre des photos/vidéos de bonnes qualité.	Résolution.	F0
		Angle de prise de vue. De 45 à 90°.	F0
		Orientation de la caméra. Entre 0 et 20°.	F2
FC1 : Respecter les normes.	Normes.	Mécanique.	F0
		Étanchéité.	F0
		Puissance.	F0
		Dimensions.	F0
FC2 : Résister à l'environnement extérieur.	Température.	-20°C à 70°C	F0
	Humidité.	5%.	F0
	Poussière.	IP56.	F0
FC3 : Transformer l'énergie électrique en énergie mécanique de	Batterie.	Intensité.	F1
		Tension.	F1
		Temps d'utilisation.	F0

rotation.	Mécanique.	Couple des moteurs.	
		Diamètre des hélices	
	Electronique.	Puissances des moteurs.	
		Type de moteur.	

### 1. Phase 2 : Drone au poignet de l'utilisateur

La deuxième phase d'utilisation est significative du drone qui est utilisé en tant que montre, chronomètre, minuteur... Nous appellerons cette phase d'utilisation : "Drone posé". Voici le diagramme pieuvre.

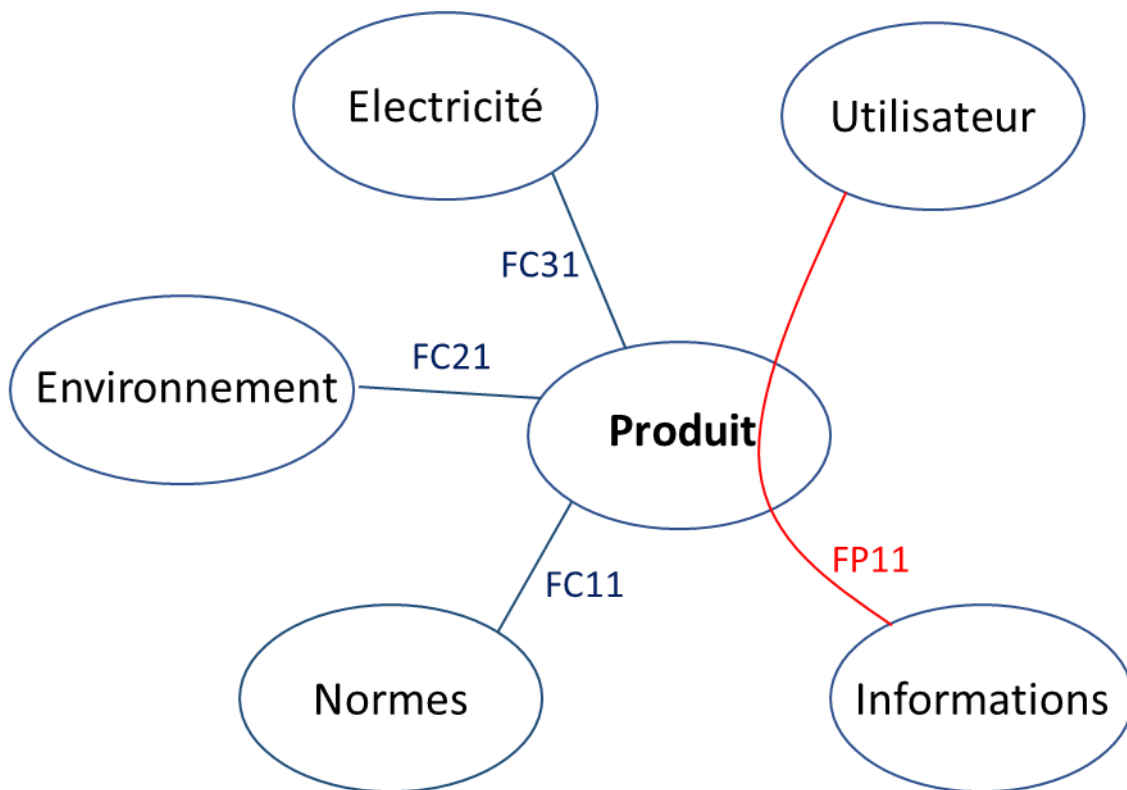


Figure 5 : Diagramme pieuvre utilisation "posé"

- **Éléments du Milieu Environnant**

- Environnement extérieur

- **Fonctions**

- FP11 : Permettre à l'utilisateur d'avoir une interface avec plusieurs fonctions possibles comme la montre, chronomètre, minuteur.
- FC11 : Respecter les normes.
- FC21 : Résister à l'environnement.
- FC31 : Avoir une autonomie suffisante.

- **Caractérisation des fonctions**

Fonction	Critère	Niveau	Flexibilité
FP11 : Permettre à l'utilisateur d'avoir une interface avec plusieurs fonctions possibles comme l'heure, chronomètre, minuteur.	Caractéristiques de l'écran.	Résolution de l'écran. 1 pouce.	F1
	Capacité de stockage.	Mémoire interne.	F1
		Autonomie de la batterie. 1h.	F0
	Interface.	Résolution de l'écran. 1 pouce.	F1
		Application	F2
		Capteurs.	F1
	S'adapter au poignet de l'utilisateur.	Dimensions	F1
		Matériaux intelligents.	F0
FC11 : Respecter les normes.	Normes.	Mécanique.	F0
		Étanchéité. IP56.	F0
		Puissance.	F0
FC21 : Résister à l'environnement extérieur.	Température.	-20°C à 70°C	F0
	Humidité.	5%.	F0
	Poussière.	IP56.	F0
FC5 : Avoir une autonomie suffisante.	Batterie.	Intensité.	F1
		Tension.	F1
		Temps d'utilisation.	F0

### III. Préconcepts

Notre phase d'avant-projet est maintenant terminée, avec l'ensemble des diagrammes pieuvre ainsi que la bête à corne. Nous nous devons désormais de réaliser quelques croquis nous permettant de pré-visualiser le produit final.

Cette étape de réalisation de croquis a deux intérêts majeurs.

#### A. Liens avec les attentes

Dans un premier temps, il est important de rappeler que nous travaillons sur ce projet pour l'unité de valeur CP58. Projet qui a été proposé par le doctorant Monsieur MARCONNET Bertrand. Il est donc essentiel que dès le début du projet, nous soyons sur la même longueur d'onde. C'est-à-dire que ce que nous imaginons réaliser corresponde bien aux attentes de ce doctorant. L'utilisation des préconcepts pour cette phase de vérification est donc primordiale.

En effet, lors du début de ce projet, nous (le groupe de projet) et Monsieur MARCONNET Bertrand n'avions pas la même vision concernant l'aboutissement du projet. En effet, nous n'avions alors pas encore compris que l'intérêt majeur de ce projet "Follow me Watch Drone" était l'utilisation de matériaux innovants (matériaux permettant de se déformer par elle-même sous l'effet d'un changement de température).

Comme le montre ces croquis (préconcepts) ci-après, notre idée de base était de fixer le drone à un bracelet pour la phase utilisation "Drone posé" et de le détacher par la suite de sorte à ce que le drone puisse voler seul, sans le système de bracelet.

Ce premier système n'impliquait donc pas de matériaux intelligents, mais utilisait un

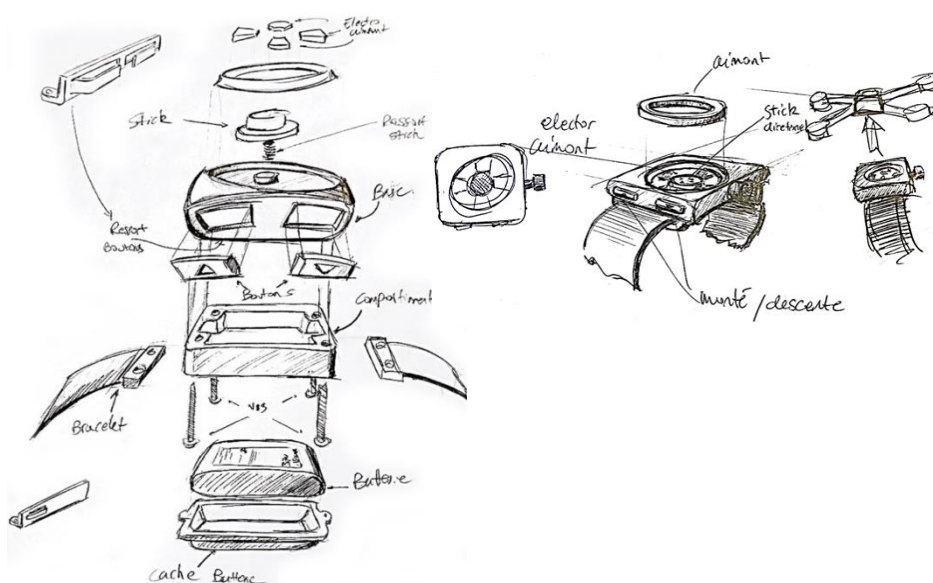


Figure 6: Planche préconcept 1

aimant afin de maintenir le drone en position "posé".

Or, après une réunion avec Monsieur MARCONNET, nous nous sommes rendu compte qu'il y avait une incompréhension du réel besoin de Monsieur MARCONNET de la part du groupe de projet. En effet, le but premier du projet était de répondre aux deux phases d'utilisations de produit, à savoir "Drone en vol" et "Drone posé" sans pour autant ajouter ou supprimer des composant au produit, et surtout, sans l'intervention manuelle de l'utilisateur.

Les préconcepts ont donc dû être revus de sorte à répondre pleinement à la demande initiale dans le but d'obtenir une confirmation de la part de Monsieur MARCONNET et de pouvoir poursuivre le projet.

Voici, ci-après, des seconds croquis changeant considérablement le fonctionnement ainsi que les composants du produit. En effet, dans ce cas, les matériaux intelligents constituent le bracelet de la montre. Cela permettra de fermer manuellement le poignet de sorte à utiliser le "Follow me Watch Drone" comme une montre.

Un fil résistif sera alors implanté au cœur de la matière intelligente, permettant (avec une petite consommation d'énergie électrique) de faire chauffer le fil résistif et donc le matériau intelligent.

Cette action engendrera une déformation du matériau, de la position "contre le poignet" à une configuration initiale "Bracelet en position vol", permettant donc à l'utilisateur de libérer le drone et de pouvoir le faire voler.

L'utilisateur pourra donc faire voler son Drone sans aucune intervention manuelle.



De plus, la "configuration initiale" du bracelet peut également être réalisé de sorte à ce que le bracelet (en matériau intelligent) devienne le pied du drone lors de la phase d'utilisation "Drone en vol".

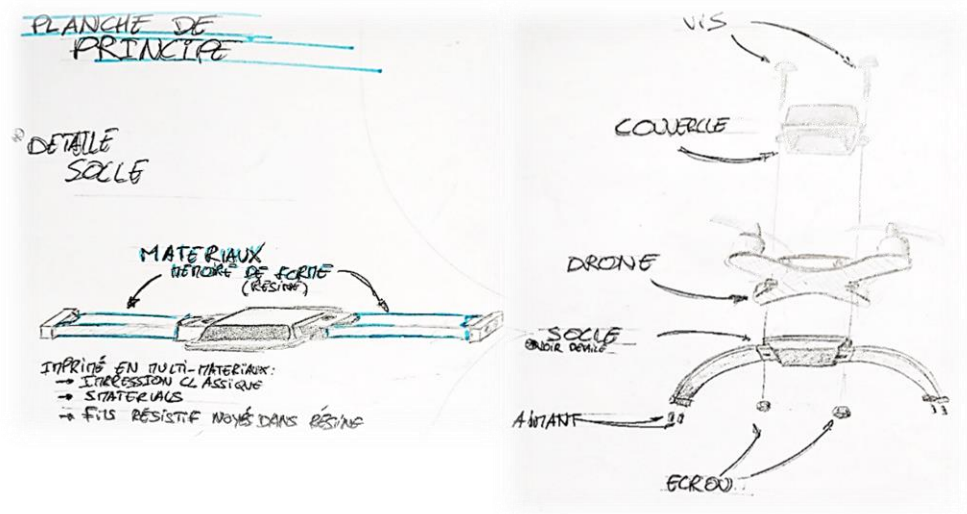


Figure 7 : Planche préconcept 2

Une dernière réunion avec Monsieur Bertrand MARCONNET lui a permis de valider ce préconcept, nous permettant donc de pouvoir poursuivre l'avancement du projet suivant le planning prévisionnel préalablement expliqué.

Ce qui vient d'être expliqué concerne le premier point montrant la nécessité des croquis de préconcepts, nous comprenons donc maintenant que cette étape est primordiale pour la bonne cohésion entre ce que le groupe de projet imagine ce qui est demandé et ce qui est réellement demandé par la personne offrant ce projet.

## IV. Calculs et études réalisés

### A. Sur les composants

#### 1. Objectif

Le but de la reconception étant de procurer une base plus puissante que le CrazyFlie, il nous faut déjà comprendre les inconvénients de ce dernier. Comme vu précédemment, le CrazyFlie est un drone développé pour de petits projets. Le fabricant propose tout un ensemble de pièces et composants à monter en plug and play. Le fabricant préconise de ne pas monter plus de deux modules dessus ou plus de 12g de charge utile.

Voici les notions qu'il est important d'expliquer pour comprendre cette partie :

- La poussée. Elle correspond à la force développée par un couple moteur / Hélice. Ici nous utiliserons la formule de Abbott pour l'estimer. Cette formule a pour avantage d'être relativement simple d'utilisation et requiert des données d'entrées qui sont des caractéristiques de base des composants (tel que le diamètre de l'hélice ou la vitesse de rotation du moteur). Son inconvénient est que c'est une formule approchée. En effet, comme l'aérodynamique est un domaine complexe, les calculs qui y sont relatifs dépendent d'énormément de variables et nécessitent d'effectuer des tests sur les composants utilisés. La formule d'Abbott nous permettra une bonne approximation pour le dimensionnement. Elle donne un résultat en Oz que nous convertirons ici en grammes (ces deux grandeurs sont proportionnelles).

- Le rapport poussée/poids. Comme son nom l'indique, il s'agit d'un coefficient faisant le rapport entre la poussée verticale développée par les quatre moteurs au numérateur et le poids du drone au dénominateur. Le rapport poussée / poids d'un drone doit être au moins supérieur à deux. En effet, un rapport égal à un compense tout juste le poids du drone et ne lui permet pas de décoller. Plus le rapport sera élevé, plus le drone sera capable d'aller vite ou de porter des charges.

- La charge utile. La charge utile d'un drone est la masse qu'il peut porter. Attention cela ne correspond pas à la différence entre la poussée et le poids du drone. Comme vu précédemment on doit « garder » de la poussée pour se mouvoir. La charge utile peut donc se voir comme une fraction du rapport poids puissance.

Par exemple : s'il on veut pouvoir emmener une fois la masse du drone en charge utile

il faut un rapport de au moins trois :

- **1 pour compenser le poids du drone + 1 pour se mouvoir + 1 pour porter la charge utile**

Plus le rapport sera élevé plus le drone sera vif et rapide.

Notre objectif dans la conception du drone est de fournir une base plus puissante que le CrazyFlie en maximisant son rapport poussée/poids.

## 2. Choix technique

Il existe deux types de moteur communément utilisés pour la conception de drone :

- Les moteurs à courant continu (MCC)
- Les moteurs synchrones à aimant permanent (MSAP ou Moteur Brushless)

Les moteurs à courant continu sont utilisés quasiment uniquement sur des drones de petite dimension n'emportant aucune ou très peu de charge utile (généralement très inférieur à la masse du drone). C'est le cas du CrazyFlie et des deux drones suivants.



Figure 10 : Parrot Mambo (130€)



Figure 9 : RC Micro Drone (70€)

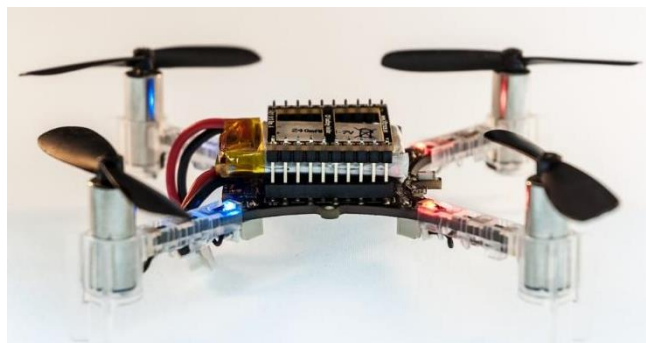


Figure 8 : Moteur du CrazyFlie (MCC)

Les drones présentant les meilleurs rapports poussée/poids sont les drones de course. Ce ne sont pas les drones les plus grands (diagonale moteur/moteur comprise entre 180mm et 250mm) mais ils sont conçus pour atteindre de grandes vitesses.



Figure 11: Armattan Chameleon

Ce type drone utilise des moteurs Brushless. Ces moteurs, à dimensions égale ont un meilleur couple, des vitesses de rotations plus importantes mais surtout un bien meilleur rendement.

	MCC		MSAP
Couple		<	
Rendement		<<	
Vitesse de rotation		<	
Refroidissement		<	
Robustesse		<	
Cout		>	

Figure 12 : Tableau comparatif moteur à courant continu (MCC)/Moteur brushless (MSAP)

Certains drones de courses on des rapports poussée/poids dépassant les 10.

Le point essentiel de la conception du drone sera donc l'utilisation de moteurs brushless. Ce type de moteur ne se contrôle pas de la même manière que les moteurs à courant continu (qui sont piloté par variation de la tension entre les bornes + et – du moteur). Les moteurs brushless nécessite un intermédiaire pour transformer le courant continu délivré par la batterie en trois phases de courant alternatif sinusoïdal déphasées de 120°. Il s'agit de

l'ESC (Electronic Speed Controller). Le schéma ci-dessous montre le câblage d'un ESC.

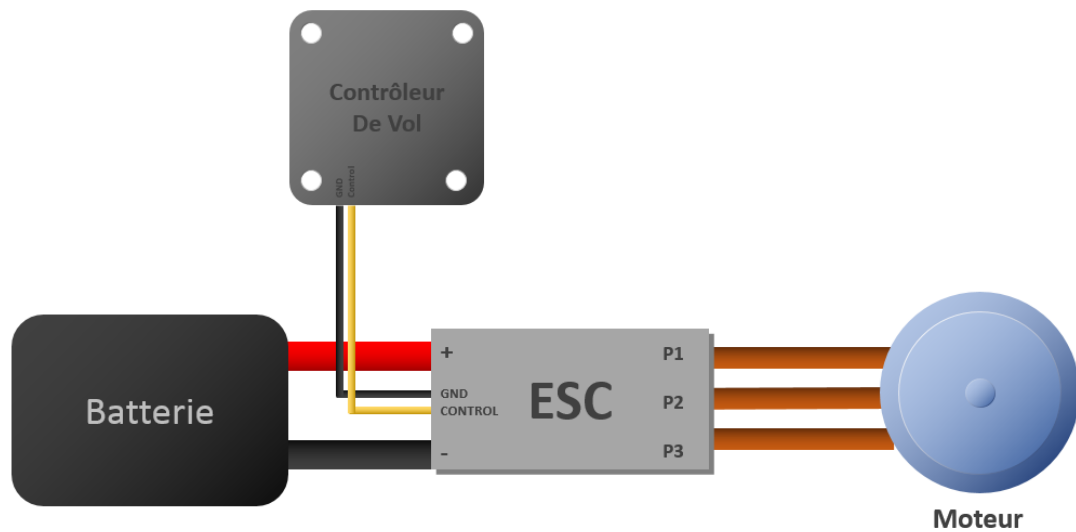


Figure 13 : Câblage ESC

### 3. Calcul de la poussée

Comme dit dans la partie Objectif, nous utiliserons la formule de Abbott pour calculer la poussée générée par le couple hélice/moteur. Elle s'énonce comme suit :

$$P = p * d^3 * \omega^2 * 28.395.10^{-10}$$

Avec :

-P la poussée (g)

-p le pas de l'hélice (in)

-d le diamètre de l'hélice (in)

- $\omega$  la vitesse de rotation de l'hélice.

Equation 1 : Formule d'Abbott

Poussée		
composant		
Batterie	1	Nb cellule
Motors	12000	Kv
Props	2	Diam (in)
	3	Pitch (in)
		537,4 g

Figure 14 : Calcul de la poussée

Poussé/Poids	8,9
Masse utile	416,4 g

Figure 15 : Résultat rapport poussée/Poids

- **Remarque : la constante intègre la conversion des Oz vers les grammes.**

Le pas et le diamètre de l'hélice sont des données constructrices. Il nous reste donc à exprimer la vitesse de rotation de l'hélice en fonction de données connues.

La vitesse de rotation maximal d'un moteur est proportionnelle à la tension d'alimentation par un facteur appelé KV. Le KV représente le nombre de tours par minute que le moteur peut-atteindre par volt. Par exemple un moteur de 1000KV sous 5V peut tourner à 5000 rpm maximum. Nos moteurs sont alimentés par une batterie ion-polymère (ou Li-Po) de tension 1 ou 2 S. le nombre de S correspond au nombre de cellule dans la batterie. Une cellule Li-Po a une tension de 3.7V.

Il vient donc :

$$\omega = KV * S * 3.7$$

Avec :

- $\omega$  la vitesse de rotation (tr/min ou rpm)
- KV le facteur du moteur (rpm/V)
- S le nombre de cellules Li-Po de la batterie

Equation 2 : Vitesse de rotation

Finalement on à la formule d'Abbott en fonction de paramètres donnés par les constructeurs de batteries, de moteurs et d'hélice devient :

$$P = p * d^3 * (KV * S * 3.7)^2 * 28.395.10^{-10}$$

Avec :

- P la poussé (g)
- p le pas de l'hélice (in)
- d le diamètre de l'hélice (in)
- KV le facteur du moteur (rpm/V)
- S le nombre de cellules Li-Po de la batterie

Equation 3 : Formule d'Abbott modifiée

#### 4. Calcule du temps de vol

Pour le calcul du temps de vol on procède en deux étapes :

1) on calcule le temps que les moteurs peuvent tourner plein gaz.

2) on corrige ensuite par un coefficient compris entre 0 et 1. En effet, les moteurs ne sont jamais à vitesse maximal pendant toute la durée du vol. Ce coefficient est arbitraire et doit être corrigé avec des mesures en condition de vol. Style de vol a également un impact sur ce coefficient. Un vol calme et principalement en vol stabiliser consommera moins qu'un vol acrobatique.

Il nous faut connaître le courant max des moteurs et la capacité de la batterie (données constructeur).

Il vient :

$$T_{min} = \frac{C}{4 * I_m * 60} * k$$

Avec

- $T_{min}$  le temps de vol plein gaz (min)

- $C$  la capacité de la batterie (mAh)

- $I_m$  la consommation maximale d'un moteur (mA)

- $k$  coefficient correctif

Equation 4 : Temps de vol

Temps de vol		
Composant		
Batterie	0,75	Capacité
Motors	3,7	Consomation max

k	0,1
---	-----

Figure 16 : Calcul du temps de vol 1

Temps de vol min	2,3
Temps de vol corrigé	22,8

Figure 17 : Calcul du temps de vol 2

## B. Sur le matériau intelligent

Grâce aux avancées technologiques actuelles, les matériaux conventionnels tels que les métaux, aciers, sont remplacés par les polymères, dans la plupart des secteurs d'activité comme l'automobile, l'aéronautique. En effet les niveaux de connaissance et de savoir-faire technologique permettent maintenant de fabriquer des polymères avec les propriétés mécanique et électrique désirées. Rendant ainsi possible la conception de système à des coûts moindres, avec des encombrements et des masses plus faibles.

De plus les polymères ont des propriétés intéressantes par rapport aux matériaux inorganiques. Ils sont légers, peu coûteux, pliables ; ils peuvent être configurés dans des formes complexes et leurs propriétés peuvent être adaptées en fonction de la demande. Grâce à l'évolution conjuguée des sciences et des technologies, un certain niveau « d'intelligence » peut être insufflé à ceux-ci au niveau moléculaire.

Un matériau 4D est un élément qui peut se déformer lorsqu'il est soumis à une stimulation extérieure. On retrouve plusieurs types de technologies comme par exemple :

- Piézoélectrique : Stimulation par charge électrique ou par variation de tension.
- Electrostrictif : même type de stimulation que pour les matériaux piézoélectriques mais la transformation mécanique est proportionnelle au carré du champ électrique.
- Magnétostrictif : Stimulation par champ magnétique.
- Alliage à mémoire de forme : Soumis à un champ thermique, ce matériau subira des transformations de phase qui entraîneront des déformations.

Aussi, en fonction du matériau et de la technologie, on retrouve plusieurs types de pièces. A savoir les pièces réversibles, non-réversibles ou encore les pièces à plusieurs transformations :

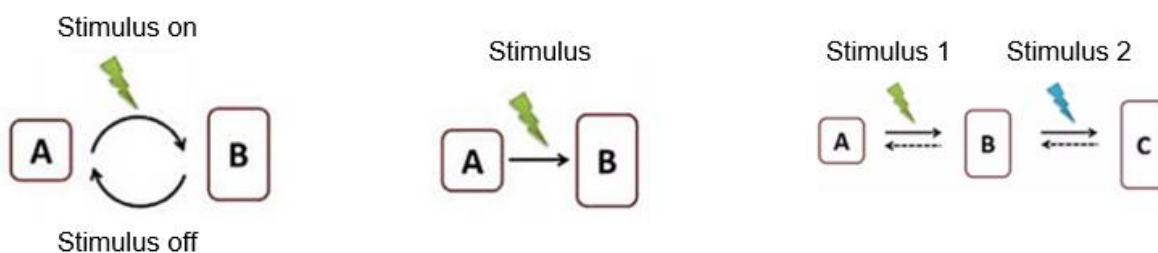


Figure 18 : Type de fonctionnement matériaux intelligents



Notre bracelet aura besoin de se déformer à de multiple reprise et doit avoir une grande déformation possible. Ainsi, nous avons comparé plusieurs types de polymères intelligents.

Type d'actionneur	Déformation maximale	Pression maximale	Densité mécanique d'énergie massique	Densité mécanique d'énergie en volume	Rendement	Vitesse relative
	(%)	(N/mm <sup>2</sup> )	(J/g)	(J/cm <sup>3</sup> )	(%)	
Polymère diélectrique						
-Acrylic	380	8.2	3.4	3.4	60-80	Moyen
- Silicone	63	3.0	0.75	0.75	80	Rapide
Electrostrictif polymère						
- P(VDF-TrFE-CFE)	12	20	0.6	1	90	Rapide
-Graft elastomer	6	24	0.26	0.48	-	Rapide
Electrochimique						
- Polymère conducteur (polyaniline)	10	450	23	23	1	Lent
- Gels polymères (polyelectrolyte)	50	0.3	0.06	0.06	30	Lent
Piézoélectrique						
- Céramique (PZT)	0.2	110	0.013	0.1	>90	Rapide
- Mono-critaux (PZN-PT)	1.7	131	0.13	1	>90	Rapide
- Polymère (PVDF)	0.1	4.8	0.0013	0.0024	60	Rapide
Alliage à mémoire de forme						
- Alliage (TiNi)	>5	>200	>15	>100	<10	Lent
- Polymère	100	4	2	2	<10	Lent
Magnetostrictif						
- Terfenol-D	0.2	70	0.0027	0.025	60	Rapide
Muscle humain	30	0.35	0.07	0.07	>35	Moyen
Composite electrostrictif						
- PU 1%C	15	0.16	0.1	0.14	90	Rapide
- P(VDF-TrFE-CFE)1%C	18	22	2.4	4	90	Rapide
- PU 0.5%SiC	11	0.12	0.12	0.17	90	Rapide

Figure 19 : Les polymères intelligents

Pour pouvoir sélectionner un Polymère nous avons effectué un tableau qui compare les avantages et inconvénients de 3 classes de polymères électro-actifs

Tableau 1 : Tableau de comparaison

Polymères électronique	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Force générée importante</li> <li>-Temps de réponse court</li> <li>-Durée de vie importante</li> <li>-Fonctionne dans des conditions ambiantes</li> </ul>	Champs électriques d'actionnement élevé (de 20 à 15MV/mètres) -1 sens de déformation
Polymères ioniques	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Grand déplacement</li> <li>- Champs électrique d'actionnement faible (10kV/mètres)</li> <li>-Sens de la déformation en fonction de la polarité de la tension</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Temps de réponse lent</li> <li>-Faible force générée</li> <li>-Condition d'utilisation particulière (milieux humide)</li> </ul>
Polyacrylamide	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Basse tension de mise en action</li> <li>-Opère dans les milieux aqueux et dans l'air</li> <li>-Peu coûteux</li> <li>-Propriétés mécanique et de mise en forme variable</li> <li>-Sens de la déformation en fonction de la polarité de la tension</li> </ul>	Temps de réponse moyen

Pour notre cas de figure, nous allons réaliser notre bracelet grâce à un matériau à mémoire de forme. Nous utilisons cette technologie car à l'UTBM, un doctorant a pu développer une imprimante de ce type. De plus, il se trouve que le matériau intelligent est sous forme de résine et c'est un matériau à mémoire de forme. C'est-à-dire que le matériau, sous forme de résine, sera injecté dans un moule (dont on reparlera par la suite). Il est important de mettre en œuvre le bracelet dans la position que l'on souhaite afin de pouvoir faire en sorte par la suite qu'il puisse se déformer comme on le veut.

Aussi, la déformation du bracelet se fera via une stimulation par effet, Joule. Ainsi, nous avons fait le choix d'utiliser un fil résistif pour pouvoir chauffer le matériau correctement. Mais il est nécessaire de réaliser quelques calculs pour pouvoir optimiser les dimensions du fil ainsi que la consommation que ça utiliserait. Car l'effet Joule serait produit en prenant de l'énergie sur la batterie.

Donc, nous allons chercher à calculer la résistance de notre fil résistif afin d'atteindre une température cible avec le diamètre le plus petit possible.

- La longueur du fil.
- Son diamètre.
- La nature du matériau.

La résistance du fil est donc égale à :

$$R = \alpha \frac{l}{S}$$

Avec :

L : La longueur du fil en m

S : La section du fil en m<sup>2</sup>

$\alpha$  : La résistivité du matériau en Ohms.m

Maintenant que nous avons la résistance du fil, il nous faut déterminer l'intensité nécessaire afin de chauffer le fil à la bonne température pour pouvoir engendrer la déformation des bracelets.

Pour ce calcul, nous avons dû poser des hypothèses :

- Nous allons considérer que lorsqu'on alimente le fil, celui-ci va chauffer de manière linéaire jusqu'à atteindre la température de transition vitreuse du matériau intelligent.
- Nous allons considérer que la température de transition vitreuse du matériau est à 60°C. c'est une valeur que nous avons fixée. Elle peut être modifiée si l'on modifie chimiquement la résine. Nous avons choisi 60°C car si on prenait une température inférieure, il y aurait un risque que le matériau intelligent réagisse avec la chaleur extérieure lors des grosses températures.

Nous avons commencé par regarder plusieurs types de matériau pour notre fil résistif afin de pouvoir choisir le meilleur matériau.

De plus, nous avons réalisé les calculs pour trois diamètres de fil différents (à savoir 0.32mm ; 0.40mm ; 0.50mm). Puis nous comparons leur résistance.

Rayon fil (m)	Longueur fil (m)	Section fil (m <sup>2</sup> )	Volume fil (m <sup>3</sup> )
0,00025	0,5	1,9635E-07	9,81748E-08

Matériau	Resistivité (Ohms.m)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Capacité thermique massique [J/kg/K]	Résistance (Ohm)
Cuivre	0,000000017	8920,000	385,000	0,043290145
Aluminium	0,000000027	2700,000	897,000	0,068754935
Fer	0,000000073	8400,000	444,000	0,185892974
Laiton	0,00000007	8490,000	377,000	0,178253536
Nichrome	0,00000108	8400,000	450,000	2,750197417

Figure 20 : Résistance pour R=0,25mm

Rayon fil (m)	Longueur fil (m)	Section fil (m <sup>2</sup> )	Volume fil (m <sup>3</sup> )
0,0002	0,5	1,25664E-07	6,28319E-08

Matériau	Resistivité (Ohms.m)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Capacité thermique massique [J/kg/K]	Résistance (Ohm)
Cuivre	0,000000017	8920,000	385,000	0,067640851
Aluminium	0,000000027	2700,000	897,000	0,107429587
Fer	0,000000073	8400,000	444,000	0,290457771
Laiton	0,00000007	8490,000	377,000	0,27852115
Nichrome	0,00000108	8400,000	450,000	4,297183463

Figure 21 : Résistance pour R=0,2mm

Rayon fil (m)	Longueur fil (m)	Section fil (m <sup>2</sup> )	Volume fil (m <sup>3</sup> )
0,00016	0,5	8,04248E-08	4,02124E-08

Matériau	Resistivité (Ohms.m)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Capacité thermique massique [J/kg/K]	Résistance (Ohm)
Cuivre	0,000000017	8920,000	385,000	0,105688829
Aluminium	0,000000027	2700,000	897,000	0,167858729
Fer	0,000000073	8400,000	444,000	0,453840267
Laiton	0,00000007	8490,000	377,000	0,435189298
Nichrome	0,00000108	8400,000	450,000	6,714349162

Figure 22 : Résistance pour R=0,16mm

Grâce à cette analyse et en jouant sur les différents paramètres, nous pouvons faire plusieurs conclusions :

- Plus le diamètre du fil résistif est important moins la résistance est importante.
- Plus un fil résistif est long plus la résistance est importante.

Ensuite, nous pouvons remarquer que le nichrome est le matériau ayant la plus grande résistance. Or, dans notre cas, nous cherchons à avoir la plus grande résistance possible afin d'avoir un effet Joule important et garantir un maximum de chaleur avec le moins d'énergie possible. En revanche, le nichrome est, parmi tous les matériaux étudiés ici, l'alliage le plus cher.

Nous allons maintenant passer à la deuxième partie de l'étude. Ainsi nous allons déterminer le temps de chauffe du fil afin de porter celui-ci à 60°C.

Principale hypothèse faite ici, on suppose que lorsque le fil atteint 60°C, l'AMF est déployé.

Afin de trouver le temps de chauffe nécessaire au déploiement, nous devons tous d'abord trouver la puissance dissipée par le fil :

$$P = R \cdot I^2$$

P : Puissance en W

R : Résistance (Ohm)

I : Intensité (A)

Une fois la puissance obtenue, nous allons trouver le delta de température par seconde à partir de la capacité thermique massique telle que :

$$\Delta t = \frac{P}{C \cdot \rho \cdot V}$$

$\Delta t$  : Augmentation de température par seconde

$\rho$  : Masse volumique

C : Capacité thermique massique

V : Volume

Pour terminer, il nous suffit de diviser la différence de température souhaités à  $\Delta t$  pour obtenir le temps de chauffe. Attention cependant, la différence de température est de 40°C et non pas de 60°C, considérant un air ambiant de 20°C.

Nous obtenons donc des valeurs de ce type :

Rayon fil (m)	Longueur fil (m)	Section fil (m <sup>2</sup> )	Volume fil (m <sup>3</sup> )
0,00025	0,5	1,9635E-07	9,81748E-08

Matériau	Resistivité (Ohms.m)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Capacité thermique massique [J/kg/K]	Résistance (Ohm)	Intensité batterie (A)	Puissance (W)	Delta Température (s)	Temps de chauffe pour 60°C (s)
Cuivre	0,000000017	8920,000	385,000	0,043290145	3,1	0,4160183	1,233919834	32,41701681
Aluminium	0,000000027	2700,000	897,000	0,068754935		0,6607349	2,778888775	14,39424289
Fer	0,000000073	8400,000	444,000	0,185892974		1,7864315	4,87892578	8,198526028
Laiton	0,00000007	8490,000	377,000	0,178253536		1,7130165	5,451457205	7,337487665
Nichrome	0,00000108	8400,000	450,000	2,750197417		26,429397	71,21894947	0,561648273

Figure 23 : Temps de chauffe pour R =0,25mm

Rayon fil (m)	Longueur fil (m)	Section fil (m <sup>2</sup> )	Volume fil (m <sup>3</sup> )
0,0002	0,5	1,25664E-07	6,28319E-08

Matériau	Resistivité (Ohms.m)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Capacité thermique massique [J/kg/K]	Résistance (Ohm)	Intensité batterie (A)	Puissance (W)	Delta Température (s)	Temps de chauffe pour 60°C (s)
Cuivre	0,000000017	8920,000	385,000	0,067640851	3,1	0,6500286	1,92799974	20,74689076
Aluminium	0,000000027	2700,000	897,000	0,107429587		1,0323983	4,342013711	9,21231545
Fer	0,000000073	8400,000	444,000	0,290457771		2,7912992	7,623321532	5,247056658
Laiton	0,00000007	8490,000	377,000	0,27852115		2,6765883	8,517901883	4,695992106
Nichrome	0,00000108	8400,000	450,000	4,297183463		41,295933	111,2796085	0,359454895

Figure 24 : Temps de chauffe pour R =0,20mm

Rayon fil (m)	Longueur fil (m)	Section fil (m <sup>2</sup> )	Volume fil (m <sup>3</sup> )
0,00016	0,5	8,04248E-08	4,02124E-08

Matériau	Resistivité (Ohms.m)	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )	Capacité thermique massique [J/kg/K]	Résistance (Ohm)	Intensité batterie (A)	Puissance (W)	Delta Température (s)	Temps de chauffe pour 60°C (s)
Cuivre	0,000000017	8920,000	385,000	0,105688829	3,1	1,0156697	3,012499594	13,27801009
Aluminium	0,000000027	2700,000	897,000	0,167858729		1,6131224	6,784396424	5,895881888
Fer	0,000000073	8400,000	444,000	0,453840267		4,361405	11,91143989	3,358116261
Laiton	0,00000007	8490,000	377,000	0,435189298		4,1821691	13,30922169	3,005434948
Nichrome	0,00000108	8400,000	450,000	6,714349162		64,524895	173,8743884	0,230051133

Figure 25 : Temps de chauffe pour R =0,16mm

Dernier calcul, celui de l'utilisation de la batterie par le bracelet. En effet, lors du déploiement du drone et donc du bracelet, la consommation du fil résistif influence l'autonomie de la batterie.

Nous avons donc décidé de calculer quel est le pourcentage de batterie utilisé par le bracelet pour un vol.

Pour cela, nous calculons l'intensité prise par le bracelet et nous la convertissons en mAh. Nous observons ensuite le ratio entre l'intensité prise par le bracelet, et celui fourni par la batterie afin d'obtenir le pourcentage de batterie utilisé. Cependant, il ne faut pas oublier

que la batterie alimente un demi-bracelet, et que la valeur du temps de chauffe est acceptable pour un seul déploiement du bracelet. Le bracelet étant composé de deux demi-bracelet, la valeur de la consommation doit être tout d'abord multiplié par deux. De plus, le bracelet doit être alimenté deux fois par vol (Décollage et atterrissage) c'est pourquoi la valeur obtenue de consommation doit au final être multiplié par 4.

Nous pouvons observer ci-après le pourcentage d'utilisation de la batterie suivant les diamètres de fil ainsi que de la matière utilisée :

Rayon fil (m)	Longueur fil (m)
0,00025	0,5

Matériau	Pourcentage batterie utilisée (%)
Cuivre	14,89
Aluminium	6,61
Fer	3,77
Laiton	3,37
Nichrome	0,82

Figure 26 : Pourcentage de batterie utilisé pour  $R=0,25\text{mm}$

Rayon fil (m)	Longueur fil (m)
0,0002	0,5

Matériau	Pourcentage batterie utilisée
Cuivre	9,53
Aluminium	4,23
Fer	2,41
Laiton	2,16
Nichrome	0,17

Figure 27 : Pourcentage de batterie utilisé pour  $R=0,20\text{mm}$

Rayon fil (m)	Longueur fil (m)
0,00016	0,5

Matériau	Pourcentage batterie utilisée (%)
Cuivre	6,10
Aluminium	2,71
Fer	1,54
Laiton	1,38
Nichrome	0,11

Figure 28 : Pourcentage de batterie utilisé pour  $R = 0,16\text{mm}$

Nous observons ici que pour certains diamètre et matériaux (ex : Cuivre en 0,25mm) la consommation sur la batterie est relativement élevée.

Cependant, les données récoltées ici favorise notre choix vis-à-vis du matériau ainsi que du diamètre du fil. Celui-ci sera du Nichrome de diamètre 0,32mm assurant à la fois le temps de chauffe le plus faible, et à la fois, la plus basse consommation d'énergie.



## V. Modèle CAO

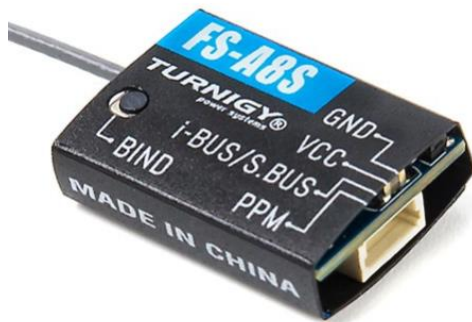
### A. Partie drone

La conception du drone doit intégrer plusieurs axes principaux :

- un rapport poussée/poids élevé (supérieur à 6)
- des dimensions aussi petite que possible.
- un bracelet en matériaux à mémoire de forme.

Après recherche nous avons retenu les composants suivants :

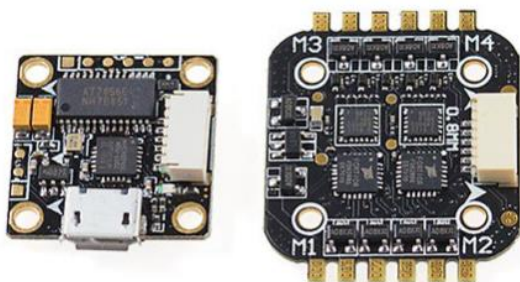
#### 1. Récepteur radio (Rx)



- o Protocole : PPM et SBUS
- o Dimensions : 20x14x5.3mm
- o Poids : 1.2g

Figure 29 : Recepteur

#### 2. Contrôleur de vol / ESCs



Fonction : Contrôleur de vol (à gauche)

4in1 ESC 6A (à droite).

Dimensions : 20\*20mm

Poids : 10g

Figure 30 : Flytower 4in1 (flight controller and ESCs)

### 3. Moteurs



KV : 12000 rpm/V

Dimensions de la cage : 10x5mm

Poids : 1.9g

Tension : 1~2S

Figure 31 : Turnigy D0703 12000KV

Le schéma ci-dessous montre comment ces composants sont à assembler.

Après modélisations de ces composants et pré positionnement :

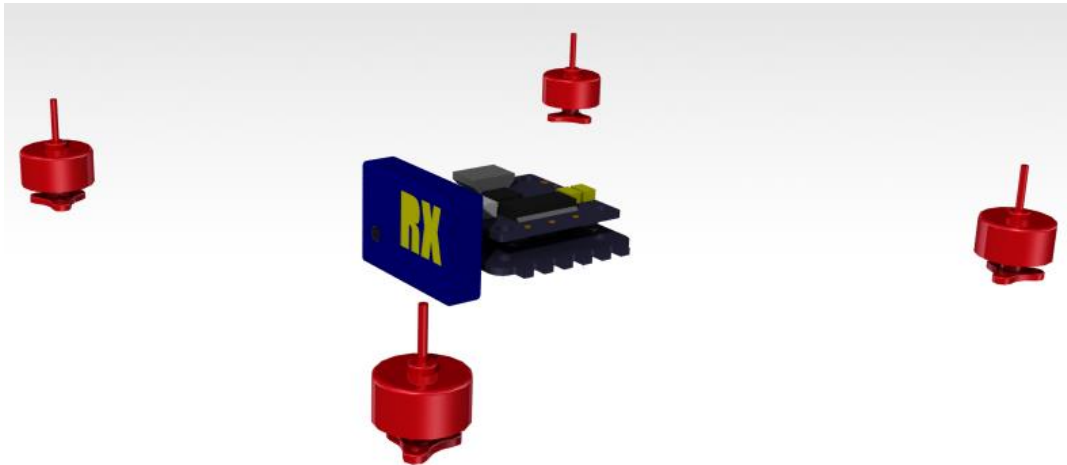
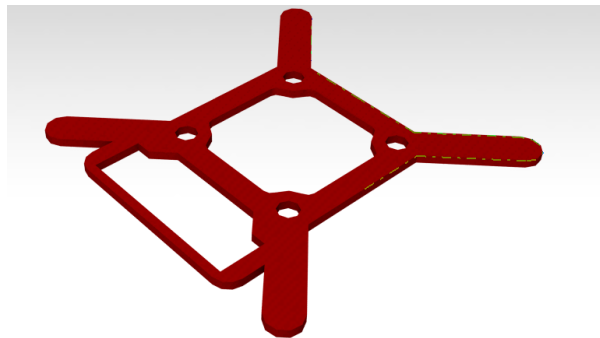


Figure 32 : Rendu 1

### 4. Les pièces de structures

Ces composants (à l'exception des moteurs) sont mis en place grâce au support qui lui-même repose sur le carter Inferieur. Ce dernier intègre les bras de fixation des moteurs et laisse de la place pour placer la batterie.

*Figure 34 : Rendu 2**Figure 33 : Rendu 3*

Le carter supérieur vient bloquer le support sur le carter inférieur. Les deux carters sont clipsés ensemble. Le carter supérieur doit laisser une ouverture pour l'écran et pour la caméra. Il doit également présenter un système de clipsage pour l'écran (voir ci-après).



Figure 35 Carter supérieur et clipsage écran

Pour le calcul du poids on recherche le volume dans les propriétés du product Structure qui regroupe les trois pièces qui nous intéressent.

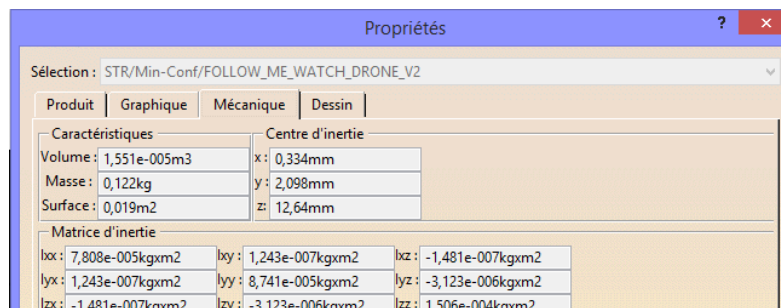


Figure 36 : Propriété du produit Structure

Le poids total des trois pièces de structure, dans le cas où elles sont imprimées en PLA plein (Masse volumique = 1.25g/cm<sup>3</sup>), sera de 19.4g

## 5. Les hélices

Nous avons relevé plusieurs modèles d'hélice pouvant convenir aux moteurs utilisés. Ces derniers sont conçus pour des hélices de diamètre compris entre 1.5 pouce et 3 pouce. En voici la liste :

	Name	Diameter		Pitch		Weight	Material	Blade number
		(in)	(mm)	(in)	(mm)			
<b>Props</b>	CX-95S	1,58	40,1	0	0	NA	NA	3
	GF 3035	3	76,2	3	76,2	1.2	PC	3
		3	76,2	3,5	88,9	1.2	PC	4
	H36	1,25	31,8	0	0	NA	NA	4
	RK 3041	3	76,2	4,1	104,14	1.8	PC	4
	RX3040T	3	76,2	4	101,6	1	NA	3
	DYS X3045	3	76,2	4,5	114,3	1.36	PC	3
	KK2030	2	50,8	3	76,2	1	NA	3

Figure 37 : Hélices

Pour ne pas à avoir à modéliser toutes les hélices une par une (ce qui est à la fois long, fastidieux et complexe) nous avons réalisé un modèle paramétré d'hélice. Les trois paramètres sont le diamètre le nombre de pales et le pesage du moyeu.

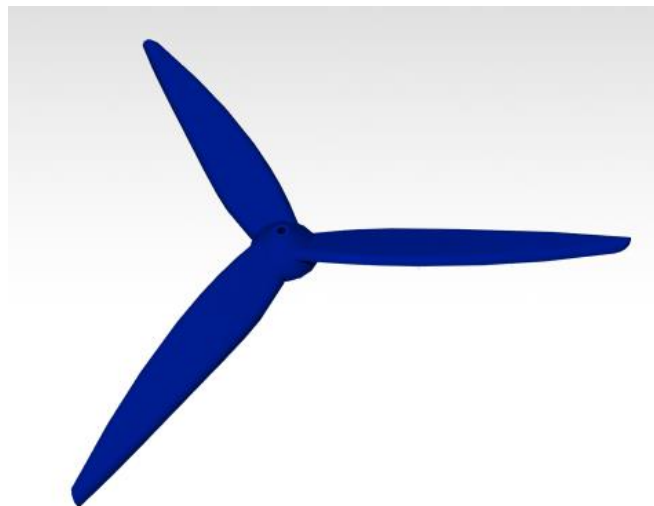


Figure 38 : Hélice

## 6. Batterie

Comme pour les hélices, nous avons relevé un grand nombre de batterie pour la conception. Les batteries seront donc modélisées à partir d'un fichier paramétré en longueur, largeur et hauteur.

Batterie	Capacity (mAh)	Discharge	Voltage	Weight (g)	Dimension (mm)
	1S = 3.7 Volt				
	300	45~90C	1S	9	43x17x6
	300	20~40C	1S	9	34x20x7.5
	350	65~130C	1S	15	52x30x5
	500	25~50C	1S	15	39x25x8.5
	600	65~130C	1S	15	60x20x9
	600	25~50C	1S	18	46x25x8.5
	750	35~70C	1S	19.5	43x24x9.5
	750	65~130C	1S	18	45x25x10
	750	35C	1S	18	43x24x9
	850	20C	1S	20	49x30x8
	950	65~130C	1S	25	70x26x7
	2S = 7.4 Volt				
	300	45~90C	2S	19	45x17x12
	350	20C	2S	21	40x20x15
	350	65C	2S	31	56x30.5x9.8
	450	65C	2S	26	48x29x11
	500	65C	2S	33	55x30x11
	500	35C	2S	35	54x31x14
	550	65~130C	2S	38	56x30.5x12.6
	800	20C	2S	49	54x30x18
	800	30~40C	2S	59	55x30x18
	850	35~45C	2S	50	55x30x18
	850	25~4C	2S	49	60x31x16

Figure 40 : Batteries

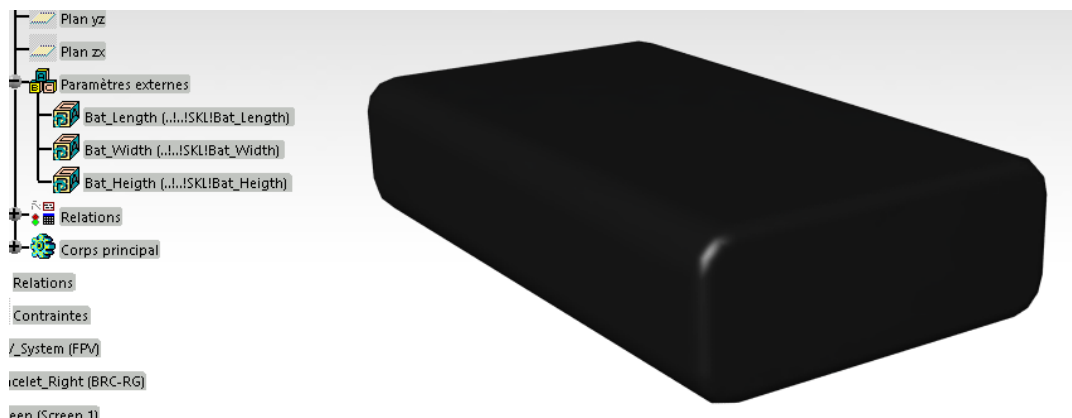


Figure 39 : Batterie paramétrée

## 7. Ecran

Nous avons intégré l'écran fourni par M. Marconnet. Il a pour avantage d'être compact et fin.



Figure 41 : Ecran

Dimensions : 27x27.5x5mm

## 8. Système de vu à la première personne (First Person View)

La caméra.

Dimensions : 12.5x12.5x14mm

-l'émetteur vidéo (VTx)

Dimensions : 25x10x6mm



Figure 42 : Q25-Mini

Poids total : 5.6g

L'intégration de la caméra nécessite d'ajouter une géométrie de maintien sur le support.

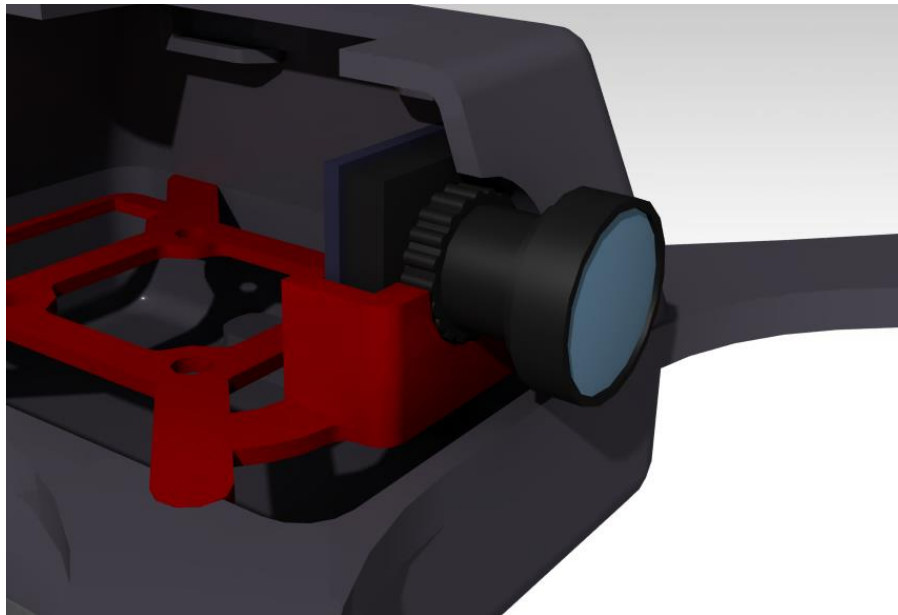


Figure 43 : Support caméra

#### 9. Le bracelet

Le bracelet se décompose en cinq pièces :

- une interface drone
- un matériau à mémoire de forme
- un fil résistif
- une attache
- trois aimants Néodyme

Ses dimensions sont 15x3mm. La longueur est variable pour s'adapter au tour de poignet de l'utilisateur.

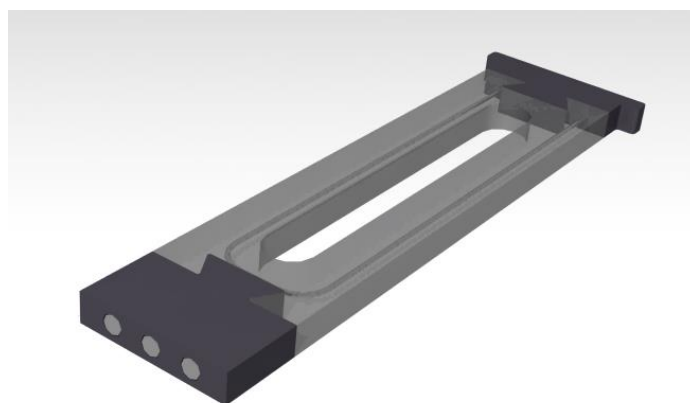


Figure 44 : Bracelet



## B. Partie bracelet

Comme nous l'avons dit précédemment nous avons prévu d'utiliser l'imprimante de l'UTBM pour nos bracelets intelligents. Ainsi, les parties intelligentes seront en résine

En revanche, avec cette technique, plusieurs contraintes de conception sont à noter. En effet, afin de garantir le bon assemblage des bracelets avec le carter mais aussi pour permettre la fermeture autour du poignet de l'utilisateur, il est nécessaire de faire un bracelet avec des parties dites « intelligentes » et d'autres pas. Ainsi, Le bracelet en lui-même sera en matériau intelligent et deux petites parties en matériaux standards seront utilisées au niveau de la liaison avec le carter et aussi pour permettre la fermeture du bracelet.

De plus, afin de garantir la bonne faisabilité au niveau de la fabrication du bracelet, nous avons dû respecter certaines règles. En effet, afin de créer une liaison robuste entre les parties classiques et celle intelligente, nous avons réalisé lors de la conception réaliser une forme de queue d'aronde afin de garantir l'assemblage entre la résine intelligente et les autres pièces du bracelet.

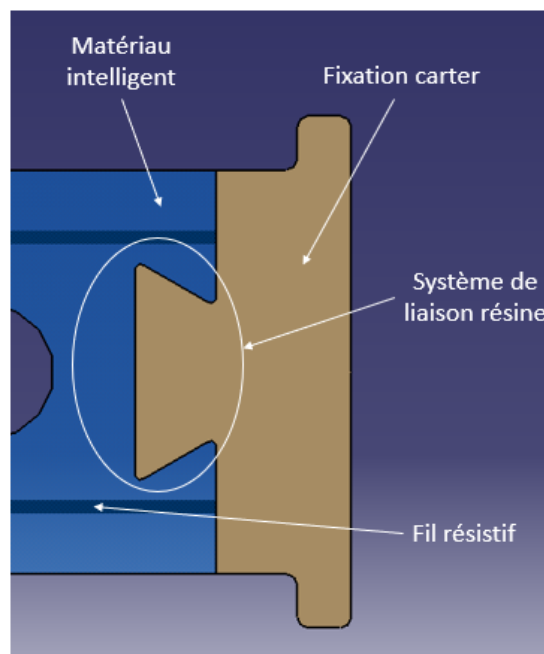


Figure 45 : système de liaison résine/fixation carter

D'un point de vue fabrication pour l'ensemble du bracelet, il nous faut utiliser un moule qui sera imprimé en 3D. En effet, la résine sera coulée à l'intérieur en deux fois. Car on viendra mettre une première couche puis nous placerons le fil résistif et enfin nous finirons de couler le matériau intelligent. Ainsi, nous avons dû réaliser le moule pour préparer la fabrication des bracelets. Ensuite, afin de pouvoir déformer notre résine une fois séchée, il nous faudra la

chauffer. Pour ce faire, nous avons choisi de faire passer à l'intérieur un fil résistif qui sera alimenté grâce à la batterie du drone.

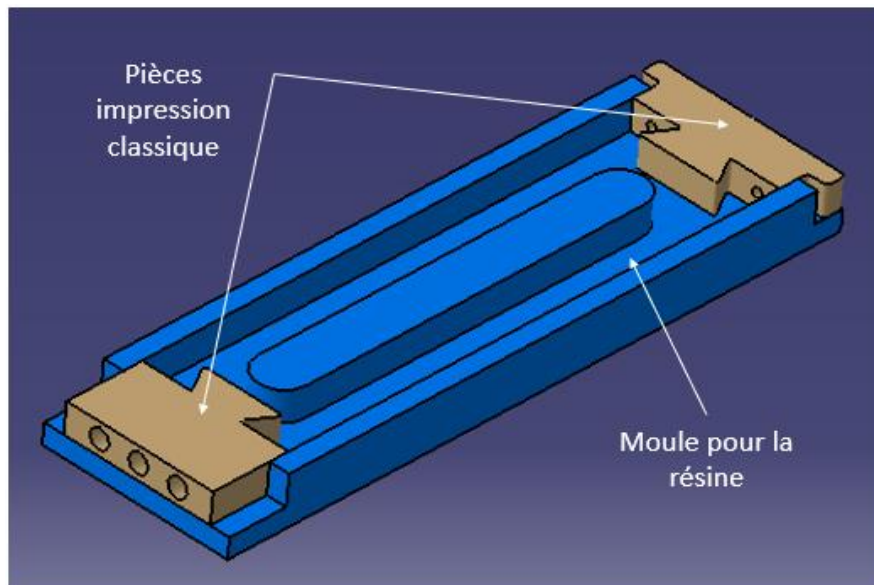


Figure 46 : Moule de fabrication

L'ensemble sera imprimé en une seule fois. Puis, lorsque la résine aura fini d'être coulée, il nous faudra plonger l'ensemble dans une solution qui nous permettra d'enlever le moule sans abimer

Aussi, pour être fixé sur le carter, nous avons décidé de ne pas mettre de pièce afin de réaliser le maintien en position des bracelets mais nous avons fait un système de fixation permettant la mise en position du bracelet. Le maintien en position sera quant à lui réalisé par collage.

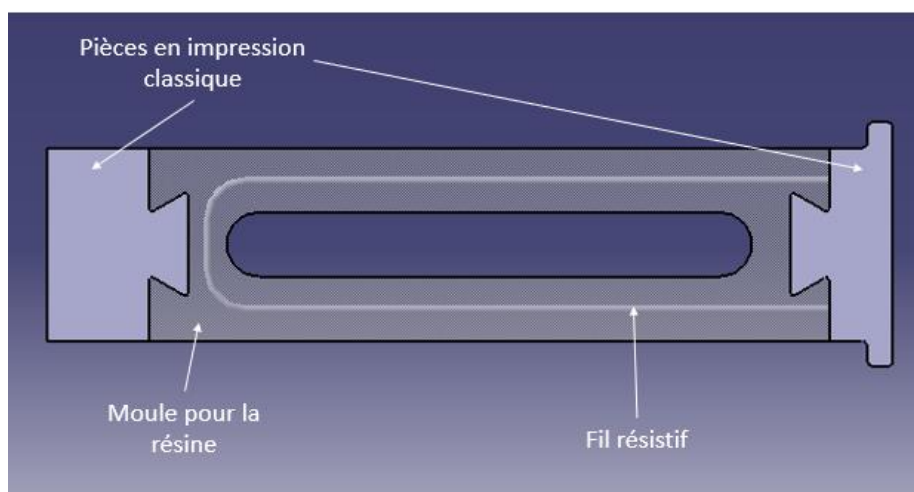


Figure 47 : Ensemble d'un bracelet

Enfin, pour réaliser la fonction de se fixer au poignet de l'utilisateur, nous avons décidé de venir placer des aimants dans la pièce en impression classique.

Ainsi, nous obtenons la CAO complète du drone sur la figure ci-après :



*Figure 48 : Rendu du drone*

## Conclusion

Cette UV que l'on a pu coupler avec CP58, nous a permis d'approfondir beaucoup plus le projet proposé par M. Marconnet. En effet, en CP58 nous avons plus travaillé sur la partie conception du produit tout en utilisant des techniques de conception nouvelles afin de réaliser un produit conçu en 4D. En revanche, en TO51 et TA71, notre objectif était de justifier notre choix de conception. Ainsi, cette UV a été beaucoup plus orientée calcul.

Nous avons réussi à justifier nos choix techniques en démontrant par le calcul que ceux-ci sont logiques et que du coup notre conception fonctionne.

En revanche, nous n'avons pas eu le temps de réaliser un prototype. En effet, la commande des composants devait se faire via un fabricant mais nous n'avons pas pu faire de devis et du coup commander les différentes pièces.

Malgré tout, notre produit est opérationnel si nous devons le fabriquer à l'avenir. Ainsi, ce projet a vraiment été bénéfique pour nous car nous pouvons si on le souhaite créer notre drone avec les composants qui seront le plus optimisés pour notre choix de configuration. Aussi, grâce à notre conception 4D, nous pouvons choisir quel type de drone nous voulons fabriquer. Par exemple soit un drone pour faire de la voltige, des prises de vue (pour faire des vidéos), etc.