

INSA Haut de France

Rapport d'équipe INS'Air HdF

Novembre 2022

Paul Giroux
César Verschueren
Arthur Lambert

Joachim Denantes
Mohamed-Fawzane Ali
P'takinam Maxime Egbad

Remerciements

Dans un premier temps, nous aimerais remercier l'ensemble de l'équipe du Dassault UAV Challenge d'avoir organisé ce concours, qui nous permet de travailler dans des conditions similaires à celles que nous retrouverons dans nos futures carrières d'ingénieur.

Nous remercions également l'INSA Hauts-de-France, ainsi que l'UPHF de nous avoir fourni les locaux. Pour finir, nous aimerais remercier le cadre enseignant de nous avoir accompagné et guidé sur ce projet.

Table des matières

Remerciements	1
Introduction	3
Organisation – Planning prévisionnel.....	4
Législation	5
Cahier des charges	7
Conception mécanique.....	10
Modélisation et CAO	10
Optimisation et Résistance des Matériaux.....	16
Conception électronique	26
Sur le Drone	26
Sur la Ground Station	28
Électronique du système de déploiement du parachute	28
Intelligence Artificielle (IA)	29
Généralités	29
Les neurones.....	30
Contrôle du drone	31
Paramétrage du drone	31
Contrôle manuel	31
Contrôle automatique.....	32
Défibrillateur.....	33
Description d'un DAE	33
Station au sol et Application	36
Application.....	36
Station au sol	37
Budget.....	38
Conclusion et perspectives.....	40
Annexes	41
Attestations AlphaTango des membres du projet.....	41
Propriétés mécaniques du PLA	43
Vue éclatée du drone et dénomination des composants	45
Procédure d'utilisation des Batterie Li-Po (<i>d'après la procédure réalisée en 2021-2022</i>)	48
Bibliographie.....	53

Introduction

Le DASSAULT UAV Challenge est pour nous une réelle première opportunité de travailler sur un projet d'ingénierie. Sur ce dernier, nous travaillons en groupe de 6 personnes de filières différentes. Réunir nos compétences sur un objectif commun est un défi qui nous projettera dans le métier d'ingénieur.

L'enjeu principal sera de réaliser un drone autonome et fonctionnel tout en ayant une mission précise. Nous avons fait le choix de réaliser un drone capable d'amener un défibrillateur en urgence sur une situation de danger. Dans ce rapport, nous ferons tout d'abord le point sur l'organisation de notre travail et sur notre méthode. Ensuite, nous présenterons notre cahier des charges et creuserons les différentes parties techniques du drone. Nous terminerons ce rapport par le budget, et une conclusion globale ainsi que les perspectives envisagées pour ce projet.

Nous souhaitons répondre à une problématique réelle qui est la distance à parcourir entre le lieu du malaise cardiaque et le défibrillateur. En effet, lorsqu'une unique personne extérieure est présente, celle-ci ne peut pas se déplacer vers le défibrillateur. Notre système doit permettre de lui livrer rapidement et en toute sécurité le dispositif avant même l'arrivée des services de secours.

Vu l'état de panique que peut provoquer un malaise cardiaque, notre priorité dans ce rapport comme dans la mise en place du projet sera de s'assurer que l'utilisateur ayant appelé le drone ainsi que toutes les personnes qui peuvent potentiellement interagir avec soient en toute sécurité.

Nous avons opté, comme l'équipe de l'année dernière, pour un drone quadricoptère. En effet, il sera tout à fait adapté pour notre utilisation, celui-ci permettant d'avoir un contrôle en position optimal qui servira notamment à l'atterrissement sur les lieux d'intervention. La vitesse de déplacement étant facilement modulable, le drone pourra se déplacer rapidement en absence de danger et ralentir au moment critique de la mission (atterrissement et décollage notamment). De plus, cette technologie nous offre la possibilité de transporter une charge utile suffisamment importante pour notre usage. Finalement le drone quadcopter se démarque de l'hexacopter par sa plus faible consommation énergétique et donc son temps de vol plus long.

Organisation – Planning prévisionnel

Pour être le plus efficace possible et ne pas nous laisser submerger par les tâches à réaliser, nous avons souhaité mettre en place une méthodologie de projet claire. En effet, pour la rédaction de ce rapport, nous avons divisé le travail en tâches (c.f Figure 1). Venant de spécialités différentes, il a été facile de se diviser les tâches par "expertise". Cela nous permet d'apprendre à travailler en équipe, proche du fonctionnement du monde professionnel.

En plus du travail personnel fourni par chaque personne entre les séances, nous nous retrouvons chaque jeudi pour un rendez-vous hebdomadaire afin de partager nos idées et collaborer plus facilement. Chaque semaine, un point est donc fait sur l'avancée de chacun tout en prenant un moment pour partager nos idées et difficultés. Un compte rendue hebdomadaire est également réalisé avec les points qu'il sera nécessaire d'aborder ou à faire pour la semaine suivante.

Mission	Personnes en charge	CAO Pied + RDM	CAO Drone	CAO Parachute	Simulation	Rapport
Mécanique	Paul Arthur	X	X	X	X	X
Electronique	Maxime César	Recherches + Rapport	X	X		
Application / Station	Joachim Maxime	Recherches + Rapport	X	X		
AI	César	Bibliographie / Recherche	X			
Défibrillateur	Mohamed	Bibliographie / Recherche	X	Rapport	X	
Contrôle	César	Bibliographie / Recherche	X	Rapport	X	
Législation	César	Bibliographie / Recherche	X	Rapport	X	
Budget / Gestion des stocks	Joachim Mohamed	Gestion des stocks	Cout total du projet	Rapport	FSDIE (Financement UPHF)	X
Organisation / Planning	Arthur	Organisation / Planning	X	Rapport	X	

Tableau 1 : Tableau prévisionnel des tâches

DIAGRAMME DE GANTT DASSAULT UAV CHALLENGE - RAPPORT

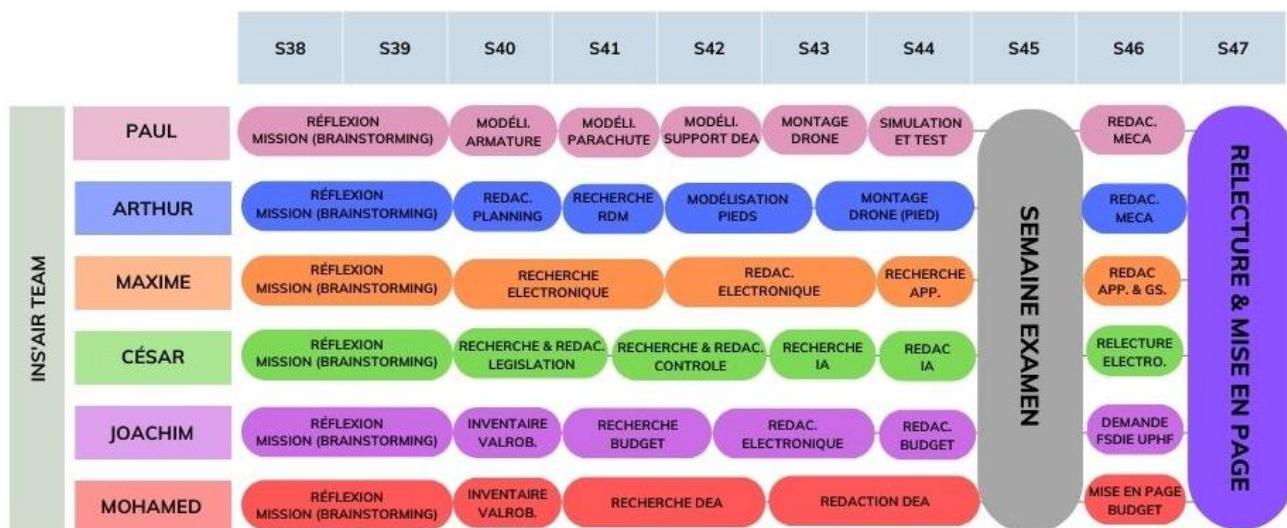


Figure 1 : Diagramme de Gantt et programmation des tâches

Législation

Avant toute chose, il est nécessaire que chacun des membres de l'équipe soit clairement informé sur les différents aspects de la législation relative aux drones.

Il est important de rappeler que nous nous situons aux yeux de la loi dans la catégorie ouverte, c'est-à-dire celle regroupant les opérations à risques faibles. Il est également important de choisir la bonne sous-catégorie, et donc classe, qualifiant notre drone, en fonction du besoin. Cela modifiera alors notre cahier des charges en conséquence.

Il convient déjà de préciser que, pour appartenir à la catégorie ouverte, le drone devra avoir une masse inférieure à 2kg, et devra voler à une hauteur inférieure à celle précisée sur la carte fournie par le gouvernement (Gouvernement Français, s.d.).

Le tableau suivant détaille les sous-catégories et classes, en fonction de leur capacité à survoler des personnes (Ministère de l'écologie, s.d.) :

Sous-catégorie	Classes de drones	Survol de personnes
A1	C0,C1	Toléré en C0 (moins de 250g) Oui si accidentel en C1 (400 g au plus)
A2	C2	Survol interdit Vol à 5m des personnes avec mode basse vitesse Vol à 30m des personnes sinon
A3	C2,C3,C4	Interdit dans tous les cas

Tableau 2 : Autorisation du survol de personnes selon chaque sous-catégorie

Sachant que nous apportons à des personnes un défibrillateur pesant à lui tout seul plus de 250g, le drone sera donc dans la classe C2, et donc dans la sous-catégorie A2.

Sur les sites du gouvernement, on retrouve le descriptif de la sous-catégorie A2 (Ministère de l'écologie, s.d.):

“Pour la sous-catégorie A2 :

Une formation pratique doit être suivie à l'issue de la formation théorique A1/A3. Cette formation peut être une auto-formation réalisée dans les conditions d'exploitation de la sous-catégorie A3 (c'est-à-dire loin des personnes et au moins à 150 m de zones résidentielles, récréatives, industrielles ou commerciales). Un examen complémentaire doit être passé. Il comporte trente questions et un taux de bonnes réponses de 75% est également requis pour obtenir une attestation de réussite. Ce questionnaire porte sur les matières suivantes :

- *Météorologie ;*
- *Performances de vol des UAS ;*
- *Mesures d'atténuation technique et opérationnelle des risques au sol.*

L'attestation est reconnue par tous les États Membres de l'Union Européenne. A ce titre, il est possible de suivre cette formation et passer l'examen développé et proposé par n'importe quel Etat membre de l'Union.”

Etant donné les coûts de la formation pratique requise pour la sous-catégorie A2, nous nous contenterons, dans le cadre de ce projet, de la sous-catégorie A3. Ainsi, nous ne pourrons pas faire voler notre drone à proximité de personne, ni à moins de 150m de zones résidentielles.

La formation à bien évidemment été passée par les pilotes. L'attestation pour chaque pilote et/ou membres est disponible en annexe de ce rapport. Nous notons qu'afin de parer à toute éventualité le jour du concours, plusieurs personnes au sein de l'équipe seront en mesure de prendre le contrôle du drone.

Remarque importante : Dans cette sous-catégorie, le vol en espace public et agglomération étant interdit, nous nous limiterons à des tests où la présence humaine sera simulée par une cible, ou un objet.

Vu la sous-catégorie choisie et vu l'arrêté du 27 décembre 2019 (Gouvernement FR, s.d.) définissant les caractéristiques techniques des dispositifs de signalement électronique, il sera nécessaire d'équiper notre drone d'un dispositif de signalement homologué (voir partie électronique)

Cahier des charges

La première étape ici est de déterminer les objectifs et les critères à atteindre afin d'apporter une réponse optimale à notre problématique. Ainsi, on pourrait définir la problématique comme suit : « Apporter une aide médicale (en l'occurrence, un défibrillateur) à un lieu donné en un temps inférieur à celui mis par une ambulance, ou celui mis pour trouver un défibrillateur sur le lieu de l'accident. »

Il est important de souligner le respect d'un certain budget, à savoir 1000 euros, comme spécifié dans les conditions émises par DASSAULT Aviation. Cela sera détaillé plus tard dans la partie correspondante.

Ci-dessous, vous retrouverez les différents éléments du cahier des charges. Une partie a été proposée par Dassault Aviation dans le cadre de l'UAV challenge, une autre correspond au besoin relatif à notre objectif. Un classement par ordre de priorité interne à l'équipe a été mis en place ci-dessous pour nos différents objectifs, allant de 0 (priorité) à 3 (bien à avoir) :

Thème	Requirements	Level (Ins'air)	Level (Dassault)
UAV Basic Specifications	DGAC compliance	0	Mandatory
	Tracking system is operational	0	Mandatory
Safety	Manual emergency kill switch	0	Mandatory
	Manual mission cancellation trigger is operational	0	Mandatory
	In case of error, UAV automatically end mission	0	Important
	Ending the mission leads to RTH	2	Nice to have
	Ending the mission does not damage the drone	1	Nice to have
	Loss of signal does not lead to loss of UAV	0	Mandatory
	Loss of signal triggers RTH automatically	1	Important
	Real-time battery monitoring	2	Important
	On ground station	2	Nice to have
	Mission can automatically be stopped once below a given battery capacity	1	Nice to have
Trajectory	UAV must stay within the flight area at all time	0	Mandatory
	UAV can follow trajectory A within a 3 meters envelop	0	Mandatory
	Within a 1 meter envelop	2	Important
	Within a 50cm envelop	3	Nice to have
	Within 1 minute	1	Important

	Within 30 seconds	3	Nice to have
	Quantify the uncertainty and performance of the positioning system	2	Important
Flight time	UAV can fly more than 15 minutes	1	Important
	UAV can fly for more than 30 minutes	3	Nice to have
	UAV can fly indefinitely	/	Nice to have
Autonomousness & Intelligence	UAV can follow a flight plan autonomously	0	Mandatory
	Along with a real-time through monitoring on ground station	2	Important
	Along with a real-time video from the UAV	0	Nice to have
	Onbord computing	0	Nice to have
	UAV can guide itself by computer pattern recognition	2	Nice to have
	Complex pattern recognition and/or classification and/or any machine learning technique	3	Nice to have
	Relevant reinforcement learning	3	Nice to have
	Fixed wing UAV can take_off autonomously	/	Nice to have
	Within less than 10 meters	/	Nice to have
	Vertically(VTOL)	/	Nice to have
Payload	UAV can carry 150g of payload	0	Important
	UAV can carry 500g+ of payload	2	Nice to have
	UAV can air drop a payload on a point target within 40cm radius	1	Important
	Within 5cm radius	3	Nice to have
	Without any bounce	0	Nice to have
	Air dropping autonomous	/	Nice to have
	Air dropping triggered by pattern recognition	2	Nice to have
	Air dropping from a fixed-wing UAV	/	Nice to have

Tableau 3 : Cahier des charge fourni pour le concours

Cahier des charges inhérent à notre problématique (Drone) :

Thème	Requirements	Level (Ins'air)
Sécurité	Limiter l'impact de la chute (69J)	1
	Pas d'ouverture du parachute pour une hauteur inférieur à 5m	1
	Se poser à une distance comprise entre 2 et 3m de la cible	1
Connection avec le drone	Récupération des données du vol (respect de la RGPD)	1
Protection du drone	Les pieds sont les premières pièces à devoir casser	1
Défibrillateur	Atterrissage en vitesse réduite	1

Tableau 4 : Cahier des charges relatif à la mission pour le Drone

Cahier des charges inhérent à notre projet (application):

Thème	Requirements	Level (Ins'air)
Précision	Le GPS doit être précis à 10m	3
Rapidité	Pouvoir appeler les secours rapidement (inférieur à 20 sec.)	3
UI Design	L'application doit être facile/ergonomique à utiliser	3

Tableau 5 : Cahier des charges relatif à la mission pour l'application Mobile

Conception mécanique

Modélisation et CAO

L'ensemble de la CAO du drone a été réalisée à l'aide du logiciel Autodesk Fusion 360. En plus de bénéficier d'une licence étudiante gratuite, ce logiciel nous permet d'organiser le travail en groupe. Ce logiciel a également été utilisé afin de réaliser des simulations dans l'optique de réaliser le dimensionnement des pièces de structure de notre drone.

Vu le coût et la complexité des procédés de fabrication habituellement utilisés dans le cadre de la fabrication de drones (injection plastique, fibre de carbone, extrusion aluminium, ...), nous avons fait le choix d'utiliser l'impression 3D. Cette technologie, déjà maîtrisée par plusieurs membres de l'équipe, nous offre de très nombreuses possibilités. En effet, en plus de réduire drastiquement le coup de la matière première tout en garantissant une conception légère, elle nous permet de répliquer facilement et rapidement toute sorte de pièces. Conscients que la réalisation de notre drone nécessitera probablement plusieurs tentatives et prototypes, c'est un argument supplémentaire en faveur de l'impression 3D.

Si nous sommes convaincus que l'impression 3D est la solution optimale pour répondre à nos besoins, cette technologie n'est pas exempte de défauts dont il nous faudra tenir compte. Ce procédé se basant sur la fabrication additive, il nous faudra prendre garde à la fusion entre les différentes couches de notre matériau. Malgré cela, nous devrons tenir compte de l'anisotropie des pièces ainsi créée dans la conception du drone. Une réflexion sera menée sur l'orientation de celle-ci au moment de leur fabrication afin de garantir la meilleure résistance possible selon les contraintes auxquelles la pièce sera soumise. Bien que légère, nous devons garder en tête que l'impression 3D reste plus lourde que l'injection plastique lorsque l'on cherche à se ramener à une résistance mécanique égale.

Afin de concevoir le drone, celui-ci a été découpé en 4 parties :

- Le centre (constitué de 3 étages, il est le support de toute l'électronique. il est le cœur du drone)
- Les bras et pieds (chargés de porter les 4 moteurs ainsi que de répartir les forces liées à l'atterrissement)
- Le support du défibrillateur (permet le maintien en toute sécurité du défibrillateur en vol)
- Le parachute (en charge de garantir la sécurité en cas de chute du drone)

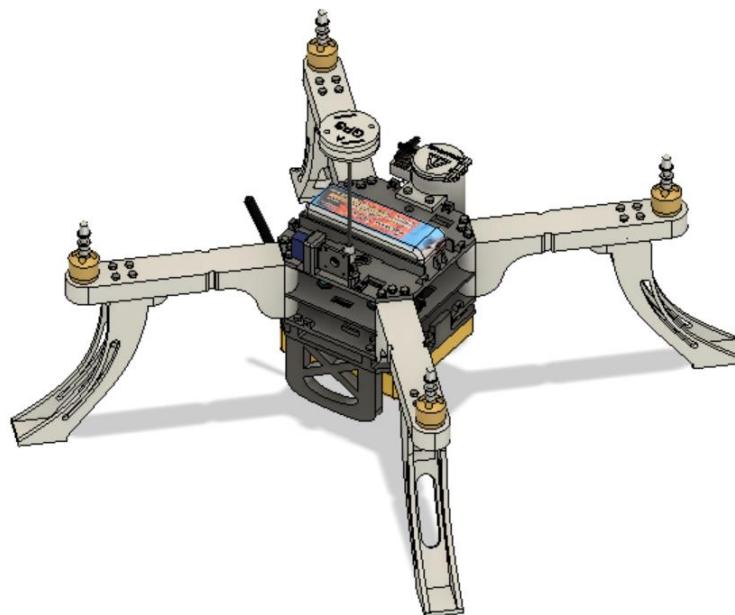
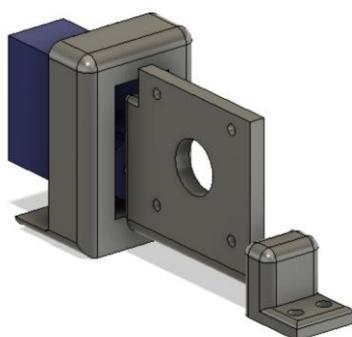


Figure 2 : Vue globale du montage du drone

Chacune de ces trois grandes parties seront détaillées dans la suite de ce rapport :

Le centre :

Il est le cœur du drone. Composé de 3 étages, il sera le support de toute l'électronique du drone. C'est sur le centre du drone que viendront se fixer chaque bras, ainsi que tout le système du parachute. Il est important que chacune des plaques soit imprimée de tel sorte à ce que l'ensemble de ces composants soit en mesure de supporter les chocs et impacts éventuels. Dimensionné pour contenir la batterie sur sa partie supérieure, le plus gros de l'électronique sera situé sur les plaques deux et trois. Des trous rectangulaire (visible sur les *figures 4 et 5* ci-après) situés sur la cellule supérieure ainsi que sur la cellule central permettent le passage des câbles entre les 3 niveaux.



Sur la plaque supérieure, on installe une caméra dont l'angle est contrôlé par un servomoteur. Ce système permettra par la suite de pivoter la caméra vers le bas au moment de l'atterrissement afin de toujours visualiser la zone d'atterrissement. Le retour vidéo sera traité sur la station au sol via un système d'intelligence artificielle (comme décrit dans la partie dédiée). Ce système sera fixé à l'aide de vis M3x8 pris dans des inserts filetés.

Figure 3 : Système de contrôle de l'angle caméra

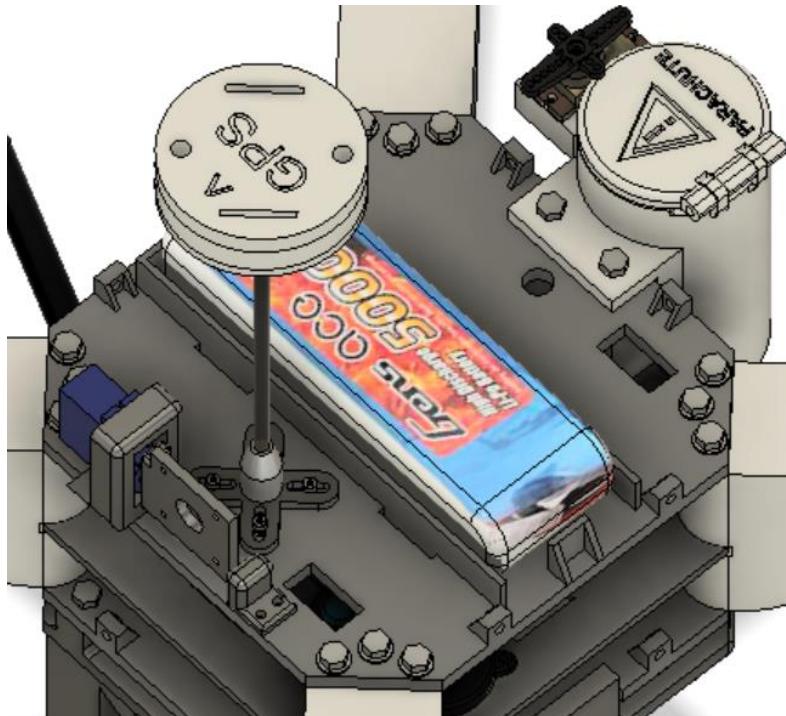


Figure 4 : partie centrale - plaque supérieure

La plaque supérieure doit permettre de fixer la batterie en toute sécurité ainsi que le mât du GPS et le bouton de pré-armage. On retrouve également la caméra inclinable avec un servo-moteur. La batterie sera fixée via un système de scratch double face qui viendra enlacer la batterie à deux hauteurs différentes. Les composants sont vissés sur la plaque à l'aide d'inserts filetés et de vis (M3x8 pour le buzzer et le pixHawk) dans la pièce imprimée en 3D.

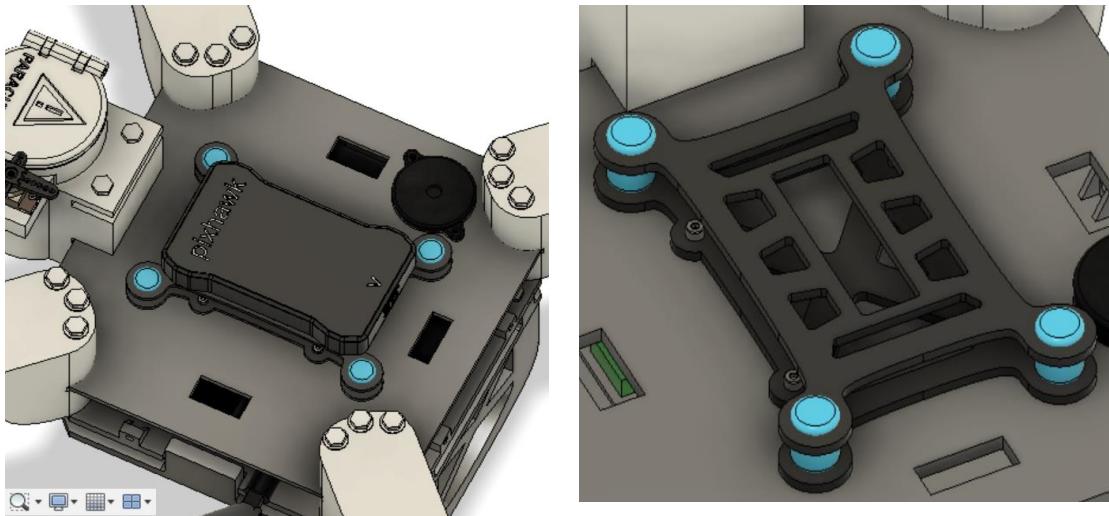


Figure 5 : partie centrale – plaque centrale

La seconde plaque contient le pixHawk ainsi que le buzzer. Note importante : Afin d'être maintenu en toute sécurité et à l'abri des vibrations, le pixHawk doit toujours être fixé sur sa plaque support avec les silent blocs (ici à droite). Comme pour la plaque supérieure, Les composants sont vissés sur la plaque à l'aide d'inserts filetés dans la pièce imprimée en 3D.

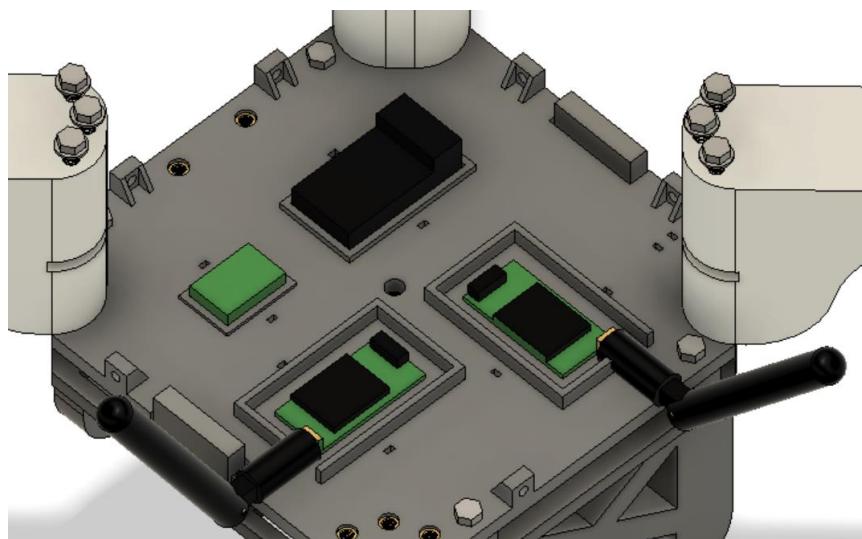


Figure 6 : partie centrale - plaque du bas

Sur la plaque du bas finalement on retrouve toute la partie émission/réception du drone avec notamment le récepteur de la télécommande ainsi que le multiplexeur associé, l'émetteur/récepteur 433MHz de la télémétrie ainsi que l'émetteur de flux vidéo. Tous les composants sont attachés via des rilsans passés dans les trous prévus.

Les bras et pieds :

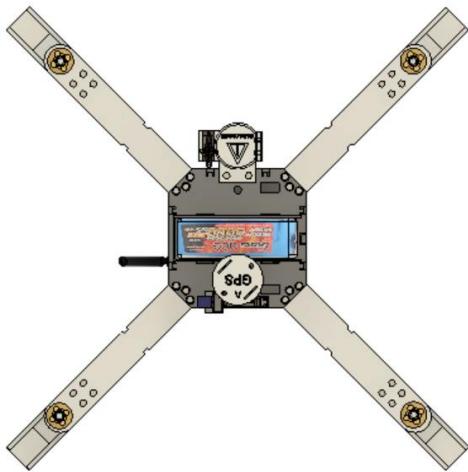


Figure 7 : Vue supérieure du drone avec les 4 bras

Vu le choix expliqué en introduction de nous tourner vers un drone Quadcopter, nous retrouvons logiquement 4 bras sur lesquels reposent les moteurs (comme il est possible de le voir Figure 7). L'envergure total du drone est de 580mm (sans les hélices)

Afin de garantir la bonne stabilité du drone au décollage et à l'atterrissement, les pieds sont écartés par rapport au centre du drone. Cela engendre cependant un risque supplémentaire sur la structure centrale par le principe du bras de levier.

Toute la modélisation de cette structure fortement contrainte a fait l'objet de simulations via le logiciel Fusion 360. La structure a été modélisée de sorte à fragiliser les 4 pieds, l'idée étant de s'assurer qu'en cas de choc violent, ce soient les pieds qui cassent et non la structure centrale, qui

comme expliqué précédemment, représente le cœur de notre drone. (Voir partie RDM et simulation dans la suite du rapport)

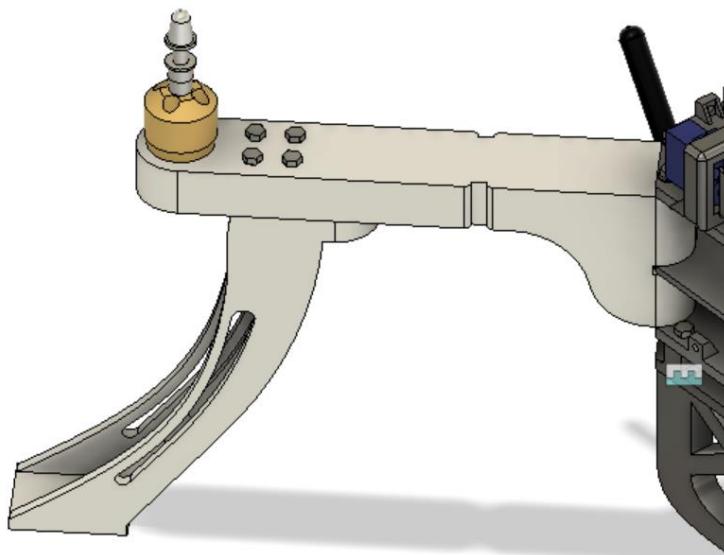


Figure 8 : Montage d'un bras et pied du drone

Sur cette image illustrant le montage de l'un des bras de notre drone, on observe clairement les deux pièces maintenues ensemble par 4 vis M6x30mm (des inserts filetés seront insérés dans les pieds pour le maintien). Les moteurs seront également fixés via des vis. Les bras seront maintenus au corps du drone via 3 vis M4x60mm traversant les 3 étages de la partie centrale et prise sur un insert fileté dans la plaque inférieure.

Maintien du Défibrillateur :

Le système de maintien du défibrillateur est somme toute basique ; il réexploite la technique d'attache de la batterie via deux rubans scratch double face passés dans la plaque de maintien (on peut voir sur l'image ci-dessous les rainures pour le passage du ruban Scratch). Afin de ne pas glisser, le défibrillateur est maintenu de chaque côté par des arceaux.

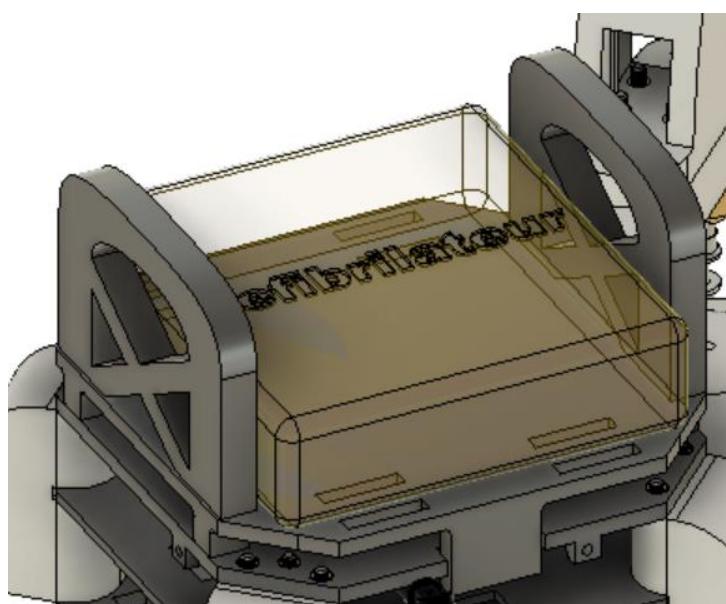


Figure 9 : Support du Défibrillateur

Comme on peut le voir sur cette photo, afin de pouvoir passer à la fois les rilsans de la plaque n°3 (maintien de l'électronique) ainsi que les rubans scratchs, nous avons développé le système de fixation afin de laisser un espace entre la plaque du bas et le système de fixation du défibrillateur.

Parachute :

Afin de respecter les règles fixées par la DGAC, au titre de l'arrêté du 17 décembre 2015 relatif à la conception des aéronefs civils qui circulent sans personne à bord, aux conditions de leur emploi et aux capacités requises des personnes qui les utilisent (Gouvernement FR, s.d.), nous devons garantir pour notre drone la limite de l'énergie d'impact à la suite d'une chute libre depuis la hauteur maximale d'opération à 69 joules.

Bien que notre drone ne soit pas régi par la présente réglementation de par sa masse inférieure à 2Kg, nous sommes conscients du fait que notre drone devrait, dans le cadre de son fonctionnement, voler en agglomération à proximité de personnes en détresse. Pour des raisons de sécurité, nous avons donc fait le choix d'installer un parachute.

Pour rappel, on donne l'Energie cinétique comme : $E_c = \frac{1}{2}mv^2$

On prendra de plus $s = 2$ un coefficient de sécurité sur la vitesse.

Dans notre cas on sait que la masse maximale du drone sera de 2kg donc : $v^2 < \frac{69}{s^2}$

$$v < \frac{8.3}{2} \approx 4.2 \text{ m.s}^{-1}$$

	Drone mass (in kg)	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	7	8	10	12
Parachute area (in m²)														
1		3,9	4,6	5,1	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2	7,9	8,5	9,1	10,2	11,1
1,5		3,6	4,1	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	6,5	7,1	7,7	8,2	9,2	10,1
2		3,3	3,8	4,3	4,7	5,1	5,4	5,7	6,1	6,6	7,2	7,7	8,6	9,4
2,5		3,1	3,6	4,0	4,4	4,8	5,1	5,4	5,7	6,3	6,8	7,2	8,1	8,9
3		3,0	3,5	3,9	4,2	4,6	4,9	5,2	5,5	6,0	6,5	6,9	7,7	8,5
4		2,8	3,2	3,6	3,9	4,3	4,6	4,8	5,1	5,6	6,0	6,4	7,2	7,9
5		2,6	3,0	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	4,8	5,3	5,7	6,1	6,8	7,5
6		2,5	2,9	3,3	3,6	3,8	4,1	4,4	4,6	5,0	5,4	5,8	6,5	7,1
8		2,3	2,7	3,0	3,3	3,6	3,8	4,1	4,3	4,7	5,1	5,4	6,1	6,6
10		2,2	2,6	2,9	3,1	3,4	3,6	3,8	4,0	4,4	4,8	5,1	5,7	6,3
15		2,0	2,3	2,6	2,8	3,1	3,3	3,5	3,7	4,0	4,3	4,6	5,2	5,7

<-- Speed in m/s

Tableau 6 : lien entre masse, surface du parachute et vitesse de chute

Ainsi, avec l'abaque ci-dessus, il semble que nous ayons besoin d'un parachute d'environ 1.5 m^2 .

Dans le cas retenu, pour des questions de praticité et de facilité de mise en œuvre, nous avons choisi un parachute circulaire de rayon 700 mm. Afin de permettre l'évacuation correcte de l'air et afin d'améliorer la stabilité de notre parachute, un trou de 50mm de rayon est prévu au centre du parachute.

Pour la toile nous choisissons un tissu extrêmement fin et léger (de l'ordre de $20 \text{ à } 30 \text{ g.m}^{-2}$), l'objectif du parachute n'étant certainement pas d'alourdir le drone.



Figure 10 : Illustration pour la couture du parachute circulaire

Pour ce qui est de l'éjection du parachute, nous optons pour un système à ressort. Il a l'avantage d'être facile à confectionner et peu coûteux. Il nécessite un unique servo-moteur (dans notre cas un SG90 de 9g suffira). Nous devons cependant garder en tête que ce choix augmente le temps de déploiement par rapport aux systèmes à air comprimé. Ainsi, nous avons fait le choix de ne pas enclencher le parachute automatiquement si le drone se situe à moins de 5m du sol (un déclenchement manuel via la télécommande restera cependant possible).

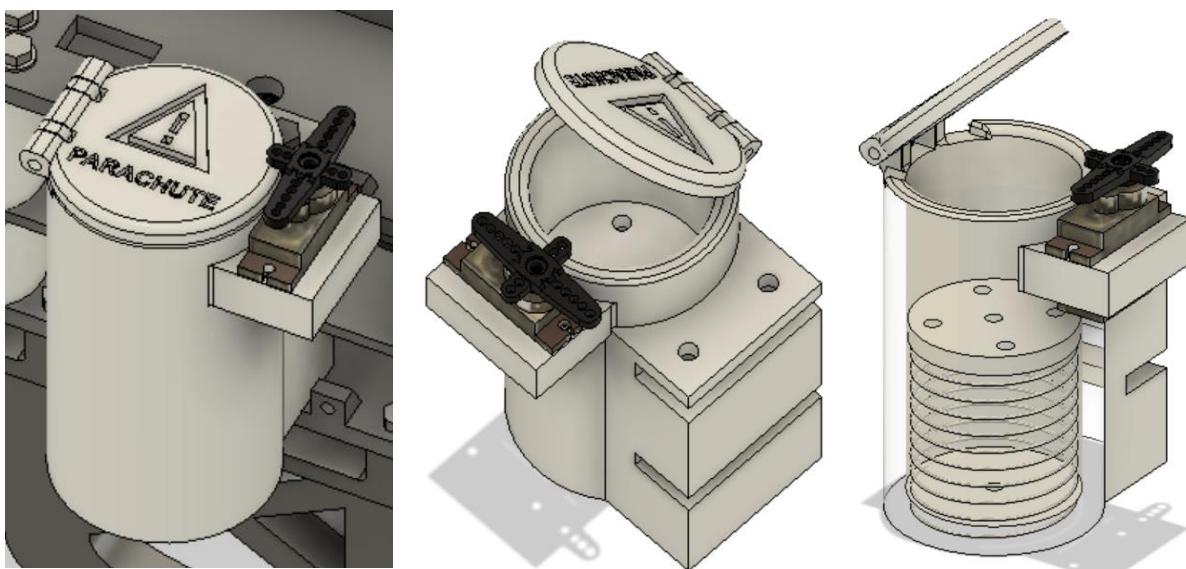


Figure 11 : Système d'éjection du parachute

Optimisation et Résistance des Matériaux

Optimisation de la masse :

Afin de s'assurer une résistance optimale tout en préservant la légèreté de la structure du drone, comme présenté en introduction de la partie précédente, nous n'avons eu de cesse que de réaliser des simulations via le logiciel Fusion 360.

Dans le but d'alléger la structure, nous adapterons le remplissage de nos pièces d'impression 3D en fonction des contraintes auxquelles elles sont soumises. Pour exporter le résultat de nos simulations sur le Slicer de l'imprimante 3D, nous allons découper nos pièces selon un maillage spécifique. Vu la précision requise, nous utiliserons la simulation sur le cloud Autodesk. Ainsi nous décrirons ici le cas du bras qui présente un résultat très visuel.

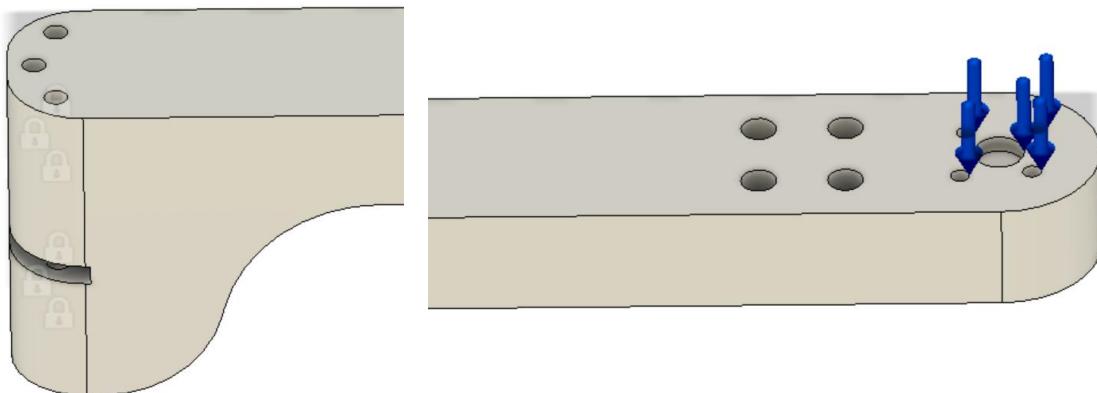


Figure 12 : Paramétrage des contraintes mécanique sur le bras du drone

On commence par indiquer à notre modèle la position des contraintes mécaniques. La charge est répartie de manière égale sur les quatre points d'appui du moteur électrique.

Ensuite, on définit le maillage de notre pièce. On choisit de réaliser un maillage linéaire avec comme dimension 1% de la longueur maximale de notre pièce, soit 2.25mm. Les autres paramètres sont laissés par défaut.

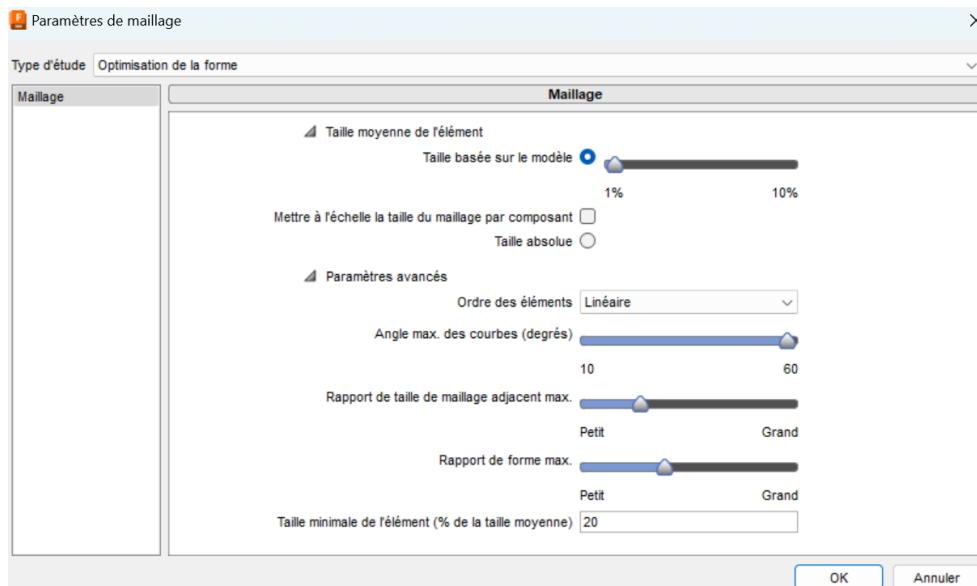


Figure 13 : Paramétrage des dimensions du maillage sur Fusion 360

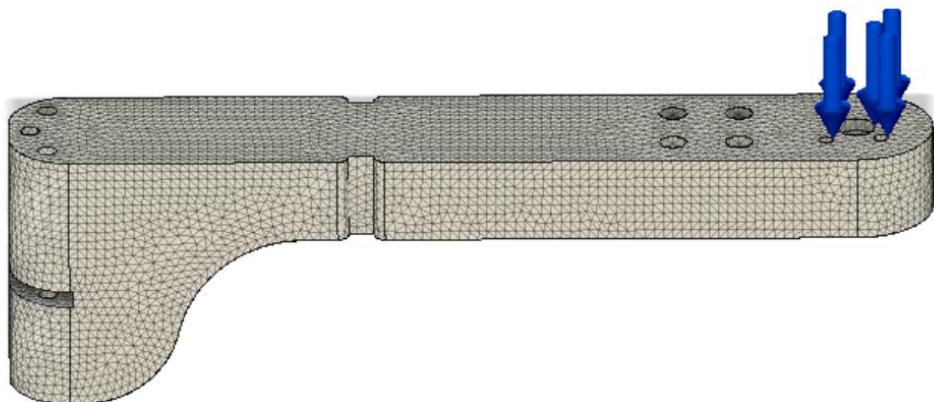


Figure 14 : Maillage de la pièce

Une fois la simulation lancée on récupère le résultat suivant :

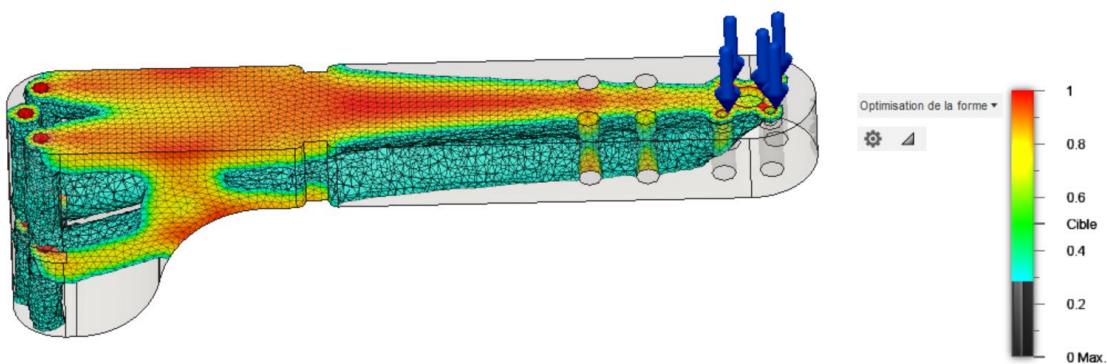


Figure 15 : Résultat de la simulation d'optimisation de la forme pour le bras

Note : lors de la modélisation du bras nous avions émis des doutes quant au phénomène de concentration de contrainte qui pourrait se produire au niveau des fixations du pied. Cette simulation nous rassure donc vis-à-vis de cela.

Enfin via le logiciel PrusaSlicer (Prusa, s.d.), il nous est possible de prévoir un remplissage plus important sur les zones fortement contraintes.

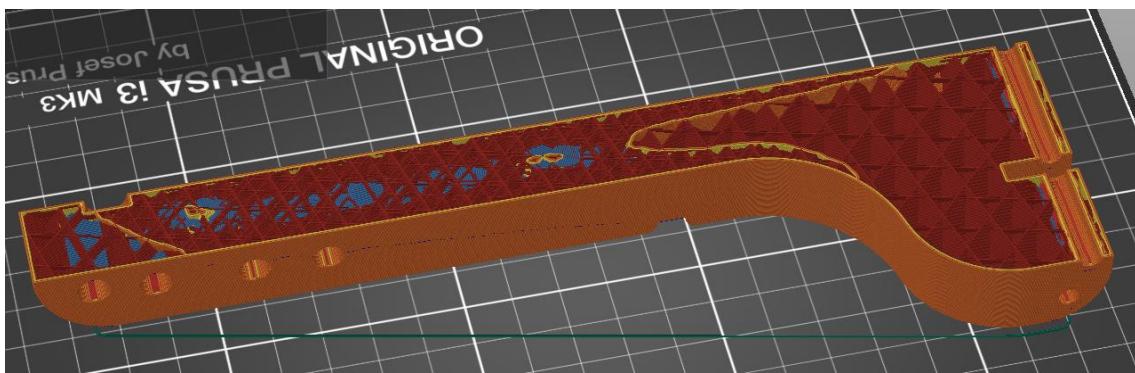


Figure 16 : modèle découpé avec Prusa Slicer (zone d'impression avec remplissage plus élevé)

Grâce à cette méthode, nous avions environ 20 grammes de matière économisable par bras. Afin de garantir une bonne qualité d'impression, nous n'avons cependant pas gardé strictement le résultat de la simulation en optimisation (Comme on peut le voir sur la figure 15) celui-ci aurait été trop compliqué à imprimer dans la direction que nous avons choisi (voir la section dédiée aux propriétés mécaniques de l'impression en PLA dans la suite du rapport).

Propriétés mécaniques du PLA :

Afin de réaliser le dimensionnement des pièces, nous avons besoin de connaître et d'indiquer au logiciel les propriétés mécaniques du PLA que nous utiliserons pour nos impressions. Comme expliqué précédemment, l'anisotropie des solides en impression 3D, liée notamment à la direction des couches d'impression ainsi qu'à la direction des motifs de remplissage, est une réelle difficulté. Pour définir l'ensemble des paramètres, nous aurions eu besoin d'obtenir l'accès au laboratoire d'essais de traction de l'école, qui est équipé de machines adaptées aux matériaux polymères. Malheureusement, vu la date de rendu de ce rapport et vu le planning chargé de ce début d'année (avec notamment une semaine d'examen), nous n'aurions pas pu obtenir les autorisations dans les temps. Nous nous sommes donc rabattus vers une étude publiée en ligne, qui avait déjà retenu l'attention de l'équipe de l'école l'an dernier pour le Dassault UAV Challenge. Ayant démontré sa fiabilité l'an passé, c'est cette même étude que nous présentons dans la suite (JA, et al.). Cette étude regroupe des tests de fatigue et des essais de flexion, selon les paramètres d'impression décrits ci-dessous (figure 16) :

Parameter		Values		
Nozzle Diameter & Filament Width (mm)	0,3	0,4	0,6	
Layer Height (mm)	0,1	0,2	0,3	
Infill Density (%)	25	50	75	
Printing Velocity (mm/s)	20	30	40	
Layer Orientation	X-Axis	Y-Axis	Z-Axis	
Infill Pattern	Linear	Rectilinear	Honeycomb	

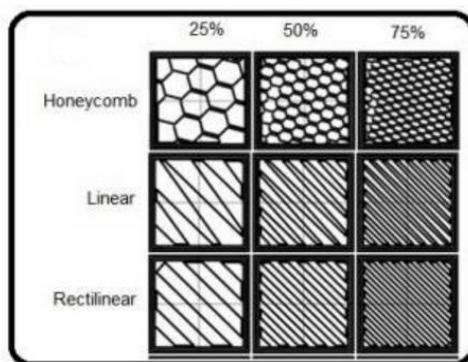


Figure 17 :Différents motifs et paramètres d'impression (JA, et al.)

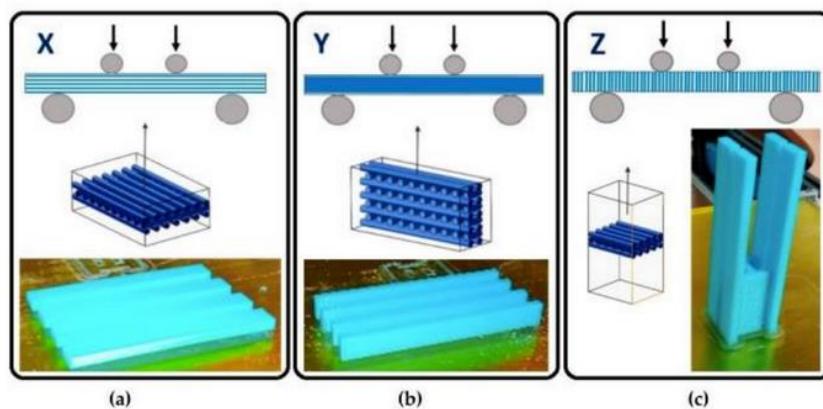


Figure 18 : Axes d'orientation de l'impression (JA, et al.)

Comme il est possible de le voir en figure 18, L'anisotropie de l'impression est étudiée à l'aide de trois éprouvettes imprimées selon les axes X, Y et Z. L'étude permettra ainsi de conclure sur les deux sources d'anisotropie précédemment relevées (orientation des couches et orientation de la structure de remplissage).

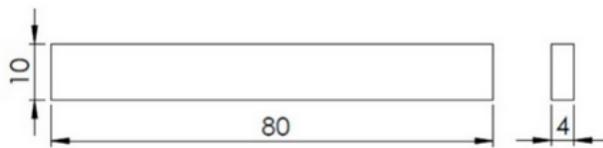


Figure 19 : dimension des éprouvettes utilisées dans l'étude (JA, et al.)

Pour effectuer les expérimentations, cette étude utilise des éprouvettes en PLA imprimées avec une Pyramid 3Dstudio XL Single Extruder. Les fichiers G-Code ont été créés avec le logiciel Slic3r à partir des paramètres d'impression ci-dessus. Le filament utilisé provient de l'entreprise Fillamentum Company et il s'agit d'un filament de diamètre 3 mm qui a été extrudé à une température de 210 °C. Les propriétés mécaniques du filament fournies par Fillamentum Company sont les suivantes (tableau 7) :

Mechanical Property	Value
Yield Strength	60 MPa
Elongation at Break	6 %
Tensile Modulus	3600 MPa
Flexural Strength	83 MPa
Flexural Modulus	3800 MPa

Tableau 7 : Tableau des propriétés mécaniques du filament utilisé pour mener l'étude (JA, et al.)

L'équipe de l'an dernier avait repris tous les résultats de cette étude dans un tableau pour extraire les informations essentielles. En priorité, nous avons besoin de la contrainte maximale avant rupture ainsi que du module de Young. Nous vous avons mis à disposition en annexe le tableau complet des résultats de cette étude.

Voici sous forme de graphes les résultats dont nous avons besoin :

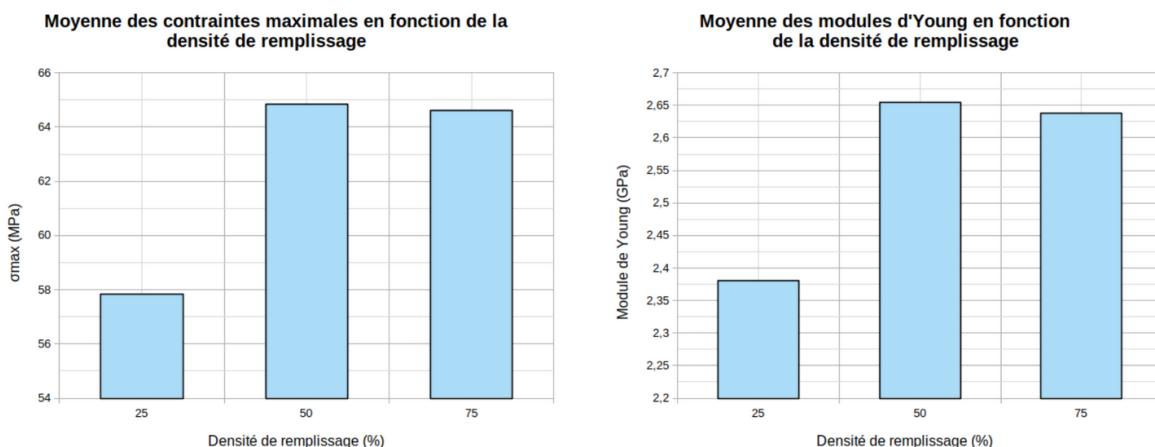


Figure 20 : Contrainte maximale et module de Young en fonction de la densité de remplissage

Ces résultats vont nous permettre d'alléger nos impressions, car nous remarquons qu'une densité de remplissage de 50 % a environ la même résistance qu'une densité de remplissage de 75 %. Nous considérons donc que nous n'imprimerons pas nos pièces au-delà d'une densité de 50 %.

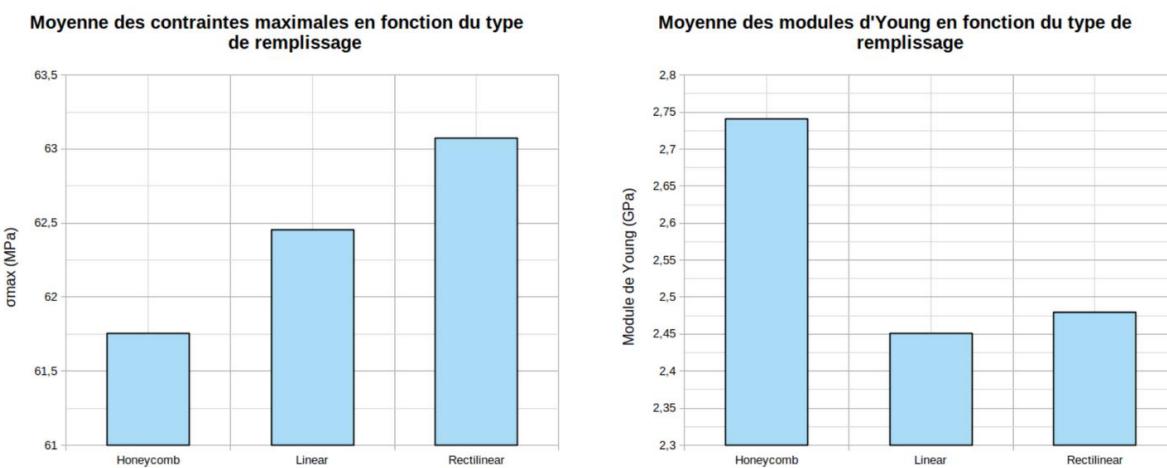


Figure 21 : Contrainte maximale et module de Young en fonction du motif de remplissage

Contre toute attente, le motif de remplissage en nid d'abeille n'est pas celui qui procure la meilleure résistance mécanique. À la suite d'une discussion avec l'équipe de l'an dernier, nous avons évoqué le motif de remplissage en gyroïde. Après plusieurs recherches, nous avons trouvé des résultats très intéressants concernant ce type de remplissage. En plus de procurer un gain de masse, la gyroïde s'étend sous contrainte et augmente alors la résistance mécanique comme vous pouvez le voir sur le tableau suivant (établi par les membres de l'équipe de l'an dernier).

	Weight (g) $\pm 0,01$	% relative to Gyroid	Breaking load (g) ± 50	% relative to Gyroid
Gyroid	6,53	-	9000	-
3D Honeycomb	7,10	108,7	8850	98,3
Rectilinear	6,63	101,5	7150	79,4

Tableau 8 : Essais de traction avec des impressions en gyroïde effectués par Stefan de la chaîne YouTube CNC (Stefan, s.d.)

Compte tenu des propriétés de ce type de remplissage, nous l'utiliserons par la suite dans nos impressions.

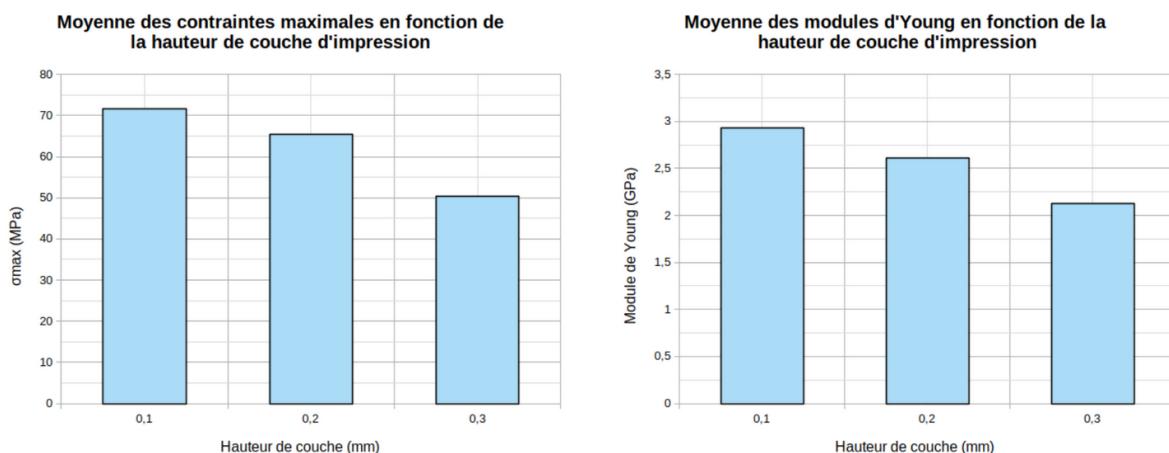
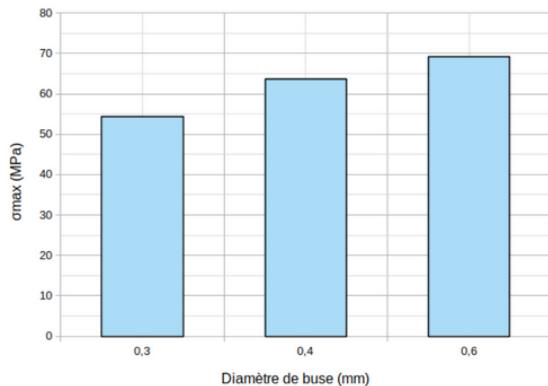


Figure 22 : Contrainte maximale et module de Young en fonction de la hauteur de couche

Ces graphes nous indiquent qu'une hauteur de couche de 0,1 mm engendre une résistance mécanique plus importante. Cela est dû à la meilleure fusion des couches. En effet, étant donné que la buse est plus proche de la couche n-1, elle la refait fondre en déposant la couche n.

Moyenne des contraintes maximales en fonction du diamètre de la buse



Moyenne des modules d'Young en fonction du diamètre de la buse

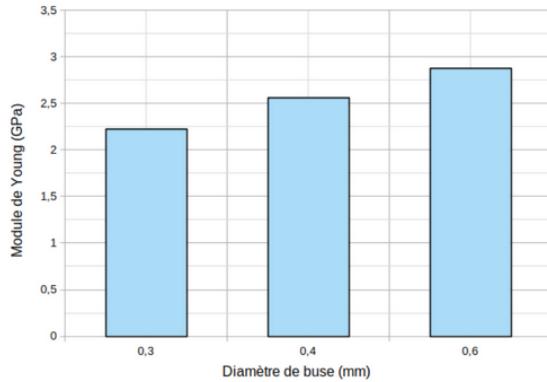
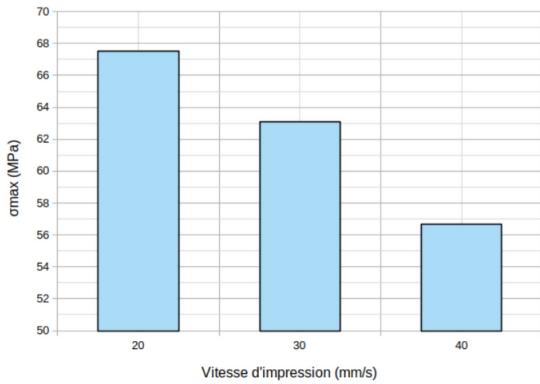


Figure 23 : Contrainte maximale et module de Young en fonction du diamètre de la buse

Lors de cette étude, le paramètre “Line Width” dans le slicer a été réglé à la même dimension que le diamètre de la buse utilisée (il s’agit de la largeur d’impression couverte par un passage de buse).

On observe donc que la buse de 0.6mm offre une meilleure résistance que la buse de 4mm

Moyenne des contraintes maximales en fonction de la vitesse d'impression



Moyenne des modules d'Young en fonction de la vitesse d'impression

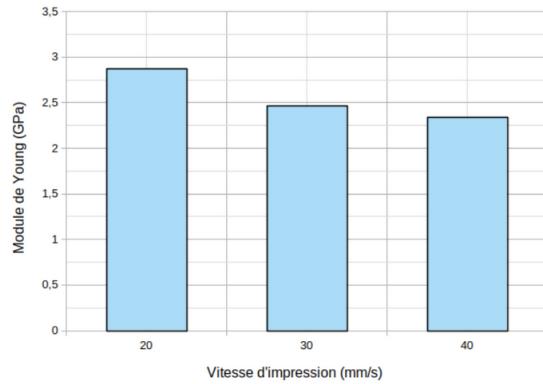


Figure 24 : Contrainte maximale et module de Young en fonction de la vitesse d'impression

Nous voyons sur ces graphes que la résistance mécanique maximale est atteinte pour une vitesse de 20 mm/s. En effet, la vitesse d'impression étant réduite, la fusion entre les couches est meilleure et la résistance mécanique augmente. Pour les pièces et les endroits plus sollicités, nous allons donc imprimer plus lentement. Compte tenu de tous ces résultats, nous allons alors être en mesure de dimensionner nos pièces pour obtenir un châssis à la fois léger et robuste.

En conclusion, nous avons défini trois paramétrages d'impression pour les différentes pièces :

	Grande résistance	Standard	Fragile
Vitesse	$20\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$	$40\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$	$80\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$
Densité	20%	10%	5%
Remplissage	Gyroïde	Rectilinéaire	Honeycomb
Hauteur Couche	0.1 mm	0.2 mm	0.2 mm
Diamètre Buse	0.6 mm	0.4 mm	0.4 mm

Tableau 9 : Résumé des paramètres d'impression choisis

Impression 3D :

A l'aide des données récoltées dans l'étude précédente, nous sommes en mesure de définir les paramètres d'impression pour chaque pièce de notre drone. Nous réaliserons nos impressions à partir de PLA de diamètre 1.75mm. Les pièces seront réalisées à partir des imprimantes de l'association ValRobotik (dont dépend notre équipe), à savoir une Dagoma Neva et une Prusa I3 ainsi que sur l'imprimante personnelle de Paul qui est une Creality Sermoon D1 légèrement modifiée. (Dagoma, s.d.) (Prusa) (Creality)

Nous imprimerais toutes nos pièces avec une buse de 0,6 et 0,4mm.

Voici toutes les pièces en plastique que nous allons devoir imprimer sur notre drone, ainsi que les paramètres d'impression que nous avons choisis (selon le tableau précédemment défini) :

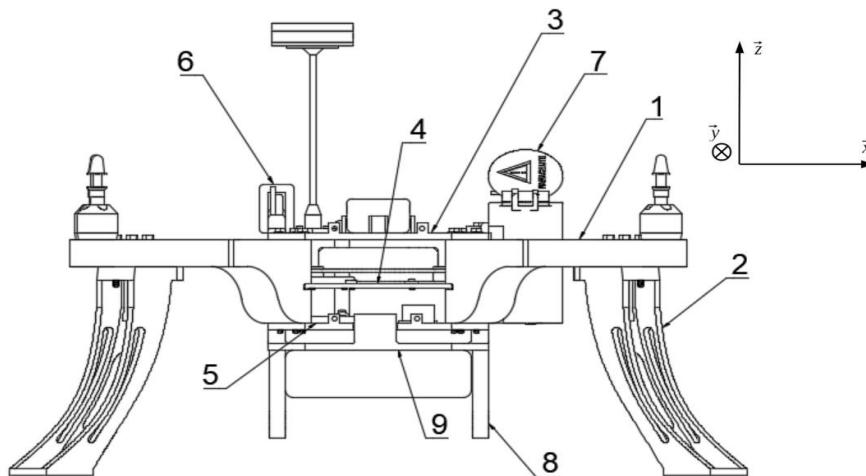


Figure 25 : Montage du Drone avec numérotation des pièces d'impression 3D

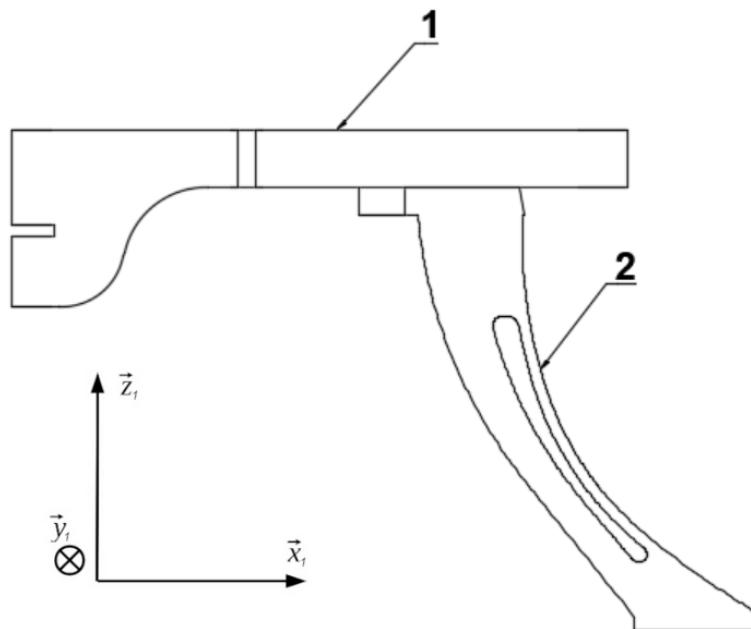


Figure 26 : Montage des bras et pied avec numérotation des pièces d'impression 3D

Numéro de la pièce	Dénomination	Mode d'impression	Axe d'impression
1	Bras (x4)	Grande Résistance	Z_1
2	Pieds (x4)	Fragile	Z_1
3	Cellule Supérieure	Grande Résistance	Z
4	Cellule Centrale	Grande Résistance	Z
5	Cellule Inferieure	Grande Résistance	Z
6	Support camera	Standard	Z
7	Système Parachute	Standard	Z
8	Plaque Support Défibrillateur	Standard	Z
9	Arceau maintien Défibrillateur	Standard	X

Tableau 10 : liste des paramètres choisis pour chaque pièce en impression 3D

Dimensionnement des Pieds :

Nous avons souhaité inscrire au cahier des charge une sécurité supplémentaire en cas de choc. Comme expliqué précédemment dans la partie dédiée, nous avons fait le choix de fragiliser les pieds. Ainsi, en cas de choc trop violent, pour lequel le procédé de fabrication par impression 3D ne permettrait pas une résistance suffisante pour garantir l'intégrité physique du drone, nous nous assurons que la pièce endommagée soit celle choisie. Dans notre cas, ce sera les pieds. Nous avons choisi cette pièce car elle sera simple à changer sur le drone.

Nous avons réalisé le dimensionnement en prenant en compte un choc d'environ 5G, soit pour une masse de 2kg, une force de 100N. Tout indique qu'en cas de chute, l'impact ne sera pas uniformément réparti sur les pieds. Les simulations sont donc réalisées avec 100N sur un seul pied.

Afin de fragiliser la structure, on ajoute des trous afin d'amincir les surfaces fortement sollicitées. On simule ensuite sur fusion 360 :

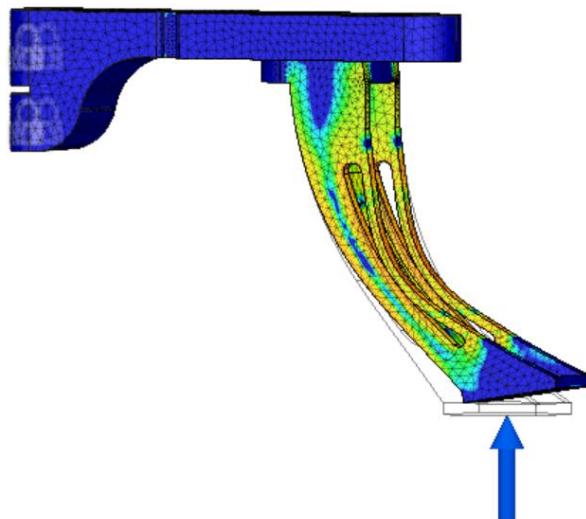


Figure 27 : simulation des efforts appliqués sur un pied

Comme on peut le voir sur le résultat de simulation, le pied semble comme prévu subir les efforts au niveau des zones choisies. Du fait de sa structure élastique, il est même possible que celui-ci absorbe le choc en se déformant sans céder pour autant. (Cela reste une hypothèse formulée d'après le résultat des simulations, et nous serons sans doute amener à réaliser un test en conditions réelles pour en être certains)

Il nous semble important de noter que les pieds seront soumis à de nombreux tests en conditions plus ou moins réelles. Il est donc possible que la forme de ceux-ci ait évolué d'ici à la compétition, et ce dans le but de respecter au mieux le cahier des charges fixé.

Conception électronique

Sur le Drone

Vous pouvez trouver ci-dessous un schéma expliquant comment les différents composants de notre drone communiquent entre eux :

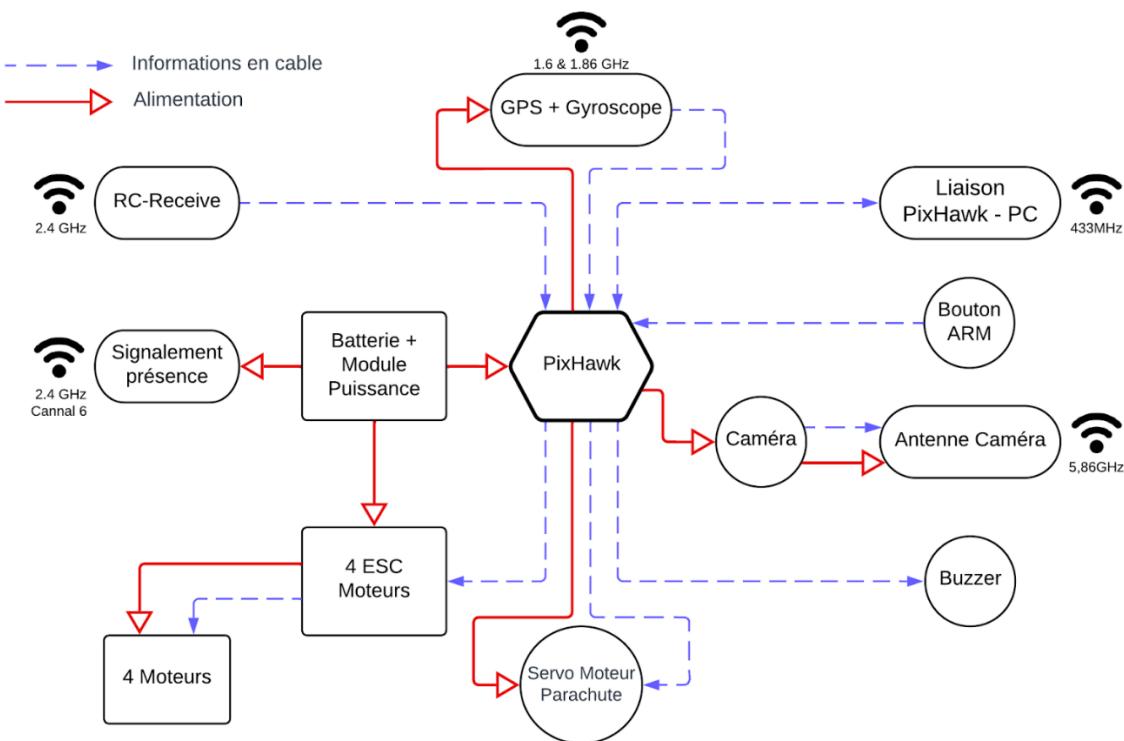


Figure 28 : Schéma des communications et d'alimentation dans le drone

Concernant l'alimentation du drone, nous utiliserons des batteries Li-Po d'une capacité de 3300mAh, d'une tension nominale de 11,1V et d'une capacité de décharge de 50C. Le choix de ce type de batterie a été motivé par leur excellent rapport poids-performance, apportant une autonomie de vol optimale. Un défaut majeur de ces batteries est qu'elles peuvent devenir dangereuses si elles sont mal entretenues. C'est pourquoi nous les manipulons avec toutes les précautions nécessaires, incluant notamment un respect strict des procédures de charge, décharge et de stockage (utilisation de sac ignifuge notamment). Une procédure stricte d'utilisation des batteries ayant été mis en place par l'équipe de l'an dernier, c'est sur cette base que nous avons défini la procédure d'utilisation des batteries pour cette année à retrouver en annexe du présent rapport. La batterie sera reliée à un module de puissance qui permettra d'alimenter directement le PixHawk en 5V, les 4 moteurs ainsi que le dispositif de signalement qui sont quant à eux alimentés en 11.1V.

Pour des questions de sécurité, et afin de respecter les exigences du cahier des charges, notre drone sera équipé d'un parachute pour qu'en cas de problème technique, il puisse amortir sa chute et atterrir en toute sécurité. Ce dispositif aura pour but à la fois de préserver son intégrité physique mais également d'assurer la sécurité de potentielles personnes se trouvant à proximité. Nous verrons dans une partie dédiée l'électronique liée à son déploiement.

Concernant les moteurs, nous utiliserons 4 moteurs brushless ARR KV1000 de 1000 KV. Pour contrôler la vitesse de chacun de ces moteurs, nous utiliserons 4 ESC de référence XT-XINTE 30A.

Notre drone comprendra aussi un bouton d'armement sur le drone en lui-même. Celui-ci permettra de pré-armer le drone pour qu'il nous signale s'il est prêt à décoller ou non. Si c'est le cas, cela nous permettra de prendre nos distances avec le drone pour qu'on puisse finaliser l'armement du drone en sécurité, à l'aide de la radio-télécommande ou de la station au sol. Le buzzer présent sur le drone permet quant à lui de communiquer à l'utilisateur l'état de la connexion entre le drone et la base au sol, de savoir quand il s'arme et se désarme, et de prévenir en cas de descente d'urgence.

Conformément aux exigences de la DGAC présente dans la partie législation, notre drone est équipé d'un dispositif de signalement électronique de présence, le Zéphyr Beacon AM.

Le drone est équipé d'un GPS M8N qui fonctionne avec la fréquence de 1,6 GHz. Celui-ci nous permettra d'avoir une localisation précise du drone en vol et ainsi d'effectuer un suivi de mission en continu via le logiciel Mission Planner (plus de détails dans le chapitre lié au contrôle du drone).

Pour le pilotage manuel du drone, il est équipé d'un récepteur radio télécommande de référence FrSky ACCST X8R à 8 channels. 4 channels seront utilisés pour le pilotage manuel, 1 sera réservé au mode de vol, 2 permettront l'arrêt d'urgence (avec et sans déploiement du parachute). Le dernier servira au contrôle manuel de l'angle de la caméra

Nous avons aussi un module de télémétrie en 433MHz qui est en liaison avec un ordinateur. Celui-ci permettra d'avoir des informations constantes sur l'état du drone pendant le vol que ce soit la position GPS, le niveau de la batterie, l'orientation, l'inclinaison, la vitesse...

Pour finir, nous avons une caméra (référence 700TVL) liée à une antenne de fréquence 5,86 GHz pour transmettre un flux vidéo au PC.

Tous les composants du drone sont contrôlés par le PixHawk 4 qui sera notre contrôleur pour ce projet. Vous pourrez voir sur la figure ci-dessous le récapitulatif des différents composants sur le PixHawk :

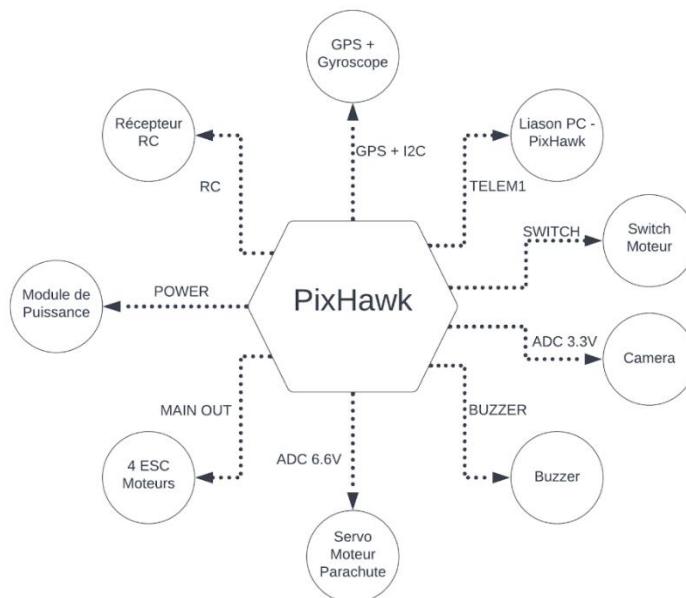


Figure 29 : Schéma représentant les éléments connectés au Pixhawk

Sur la Ground Station

Nous allons maintenant nous intéresser à la station au sol :

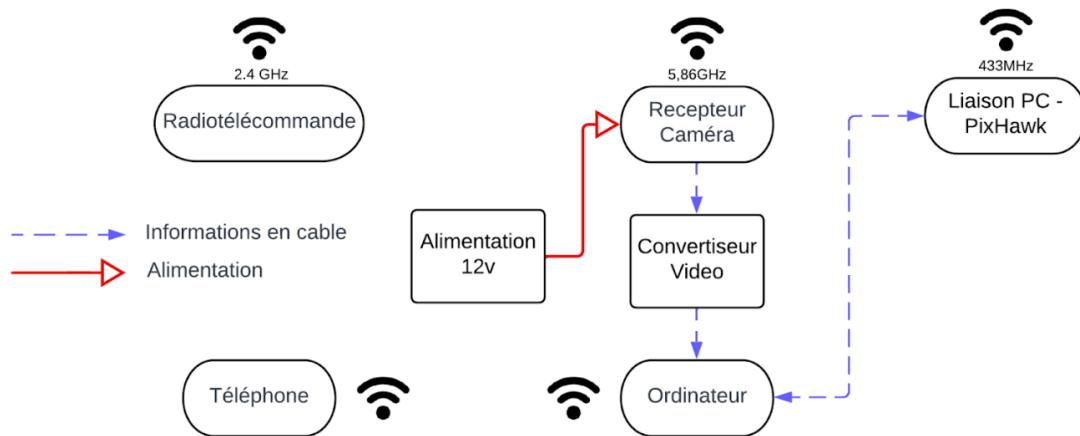


Figure 30 : Schéma des communications et d'alimentation dans la station au sol

Pour le pilotage manuel, nous utiliserons une radio-télécommande de référence Taranis X9D Plus 2019 comprenant une antenne de fréquence 2,4 GHz.

Concernant le flux vidéo, nous aurons un récepteur de fréquence 5,86 GHz qui permettra de le recevoir et de le transmettre à un convertisseur de flux vidéo, qui l'enverra à l'ordinateur via un branchement USB.

Le module de télémétrie présenté précédemment communiquera avec la base au sol et donnera les informations venant du PixHawk. Sur l'ordinateur, on aura donc les informations de la télémétrie, du drone et le flux vidéo transmis via flux USB ; tout ceci nous permettra de connaître l'état, la position, la vitesse et le déroulement de la mission du drone.

Nous prévoyons d'utiliser le flux vidéo pour détecter les obstacles, en traitant les images par l'intermédiaire d'une IA. (cf: partie IA)

Enfin, nous utiliserons un smartphone sur lequel sera installé notre application. (cf partie application)

Électronique du système de déploiement du parachute

Le parachute sera propulsé hors de son compartiment par un ressort. La partie électronique du système de déploiement se résume donc à un servomoteur appliquant une force suffisante pour empêcher cette éjection lors du fonctionnement normal, et laisser le parachute être propulsé hors de son étui en cas de chute. Ce servomoteur sera contrôlé via le PixHawk, le déploiement du parachute pourra donc être commandé manuellement à partir de la radiocommande sur laquelle on assignera un switch qui y sera consacré, et qui nous servira pour les premiers tests.

Nous inclurons aussi dans notre programme de commande du drone une partie qui ordonnera le déploiement du parachute si une forte accélération vers le sol est captée par l'accéléromètre intégré au PixHawk. Nous espérons à terme rendre le déploiement du parachute entièrement automatisé. Attention, comme nous l'avons dit précédemment, afin de s'assurer que l'éjection/ouverture du parachute ne présente pas un risque supplémentaire pour les usagers au sol, nous avons choisi de ne pas déployer le parachute à une altitude inférieure à 5m

Intelligence Artificielle (IA)

Généralités

Lorsque l'on automatise un système, pour le rendre le plus efficient possible, il faut qu'il ait accès au plus d'informations possible par rapport à son environnement. Il existe plusieurs solutions, comme la technologie LIDAR, les émetteurs/récepteurs ultrasons, mais aussi l'Intelligence Artificielle (IA) qui est petit à petit de plus en plus développée afin d'être utilisée pour résoudre des problématiques variées. C'est cette solution que nous utiliserons, couplée avec le retour vidéo de la caméra. Cette technologie a été choisie pour des raisons de sécurité (pas d'impact important sur la masse du drone), d'autonomie (utilisation de la batterie modérée) mais également de coûts.

Cette solution sera implémentée en langage Python, pour des raisons de compatibilité avec le contrôle du drone, mais aussi car c'est un langage répandu disposant d'une large documentation et maîtrisé par tous les membres de notre équipe.

Il existe plusieurs types d'IA, qui fonctionnent différemment et ont leurs domaines d'application respectifs. Le plus optimal pour du traitement vidéo est le Deep Learning. Utilisant un réseau de neurones (plus de détails à ce propos seront fournis plus tard dans ce chapitre), ce procédé fonctionne en deux temps :

- **Phase d'entraînement :** On fait passer dans le réseau de neurones des données dont on connaît le résultat, et le système va modifier ses neurones afin de faire en sorte de renvoyer le bon résultat. A noter que même si cela est tentant de rentrer le plus de données possibles, le faire reviendrait à conditionner le système de façon qu'il cherche le cas correspondant exactement à l'entraînement, ce qui ne se produira jamais en situation réelle. (On se retrouve à faire ce qu'on appelle du surapprentissage). Il faut donc trouver un bon équilibre afin de rendre le système le plus performant possible.
- **Phase d'utilisation :** Une fois notre système entraîné, on peut envoyer des données non structurées (spécifique au Deep Learning ; pour du Machine Learning par exemple les données doivent être structurées en amont de l'IA), en l'occurrence un flux vidéo, et le système nous renverra normalement un résultat similaire à ce qu'on a prévu lors de l'entraînement.

Remarque : La différence entre les données structurées et non structurées réside dans le fait que des données structurées sont toutes de même format tandis que les données non structurées peuvent être de formats différents.

Maintenant que le fonctionnement global a été expliqué, regardons plus en détail le réseau de neurones :

Les neurones

La manière la plus simple d'expliquer le fonctionnement d'un neurone est à l'aide d'un schéma :

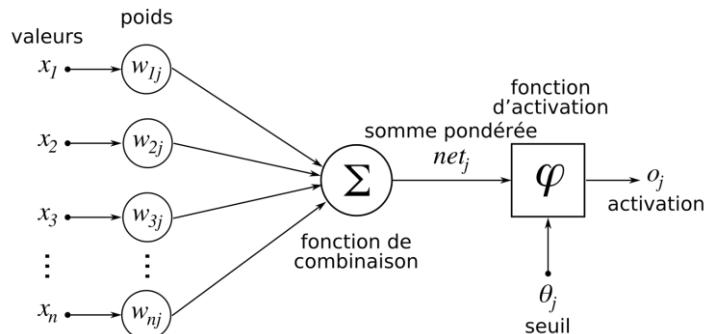


Figure 31 : Schéma d'un neurone (Meyer)

Un neurone va recevoir, en entrée, plusieurs valeurs affectées d'un poids (symbolisant leur degré d'importance). Toutes ces entrées sont ensuite combinées (somme pondérée), et le résultat passe ensuite par une fonction d'activation, qui va décider de l'état de sortie (en l'occurrence, 0 ou 1). L'entraînement effectué avec un seul neurone permet de construire ce qu'on appelle une frontière de décision linéaire, or ce cas est assez limitant, surtout lorsqu'on parle de traitement de flux vidéo. On utilise alors un réseau de neurones, c'est-à-dire des neurones mis en cascade, comme le montre le schéma suivant :

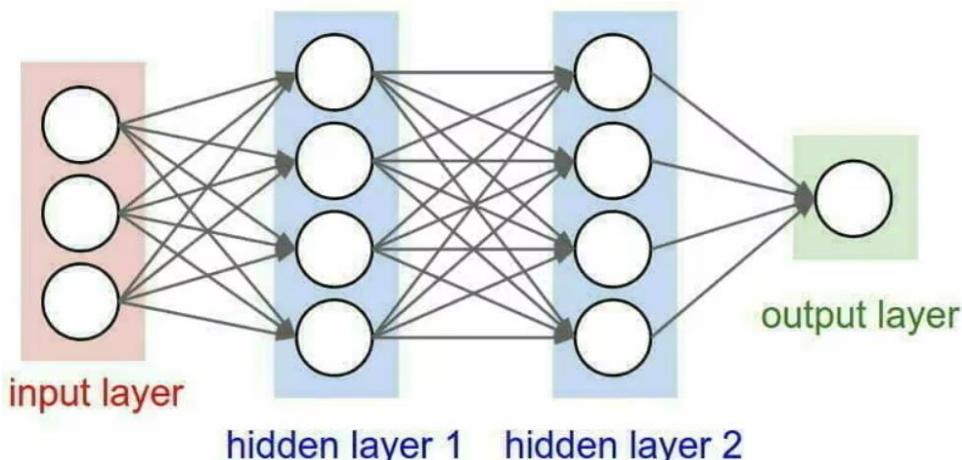


Figure 32 : Schéma d'un réseau de neurones (Thiry)

Remarque : L'entraînement consiste en fait à mettre à jour les coefficients de chaque neurone en fonction de la sortie voulue. On utilise pour cela un algorithme de rétropropagation du gradient.

Voici donc la liste des objectifs liés à cette partie (dans leur ordre de priorité) :

- Reconnaître une cible (personne) et parvenir à atterrir à une distance comprise en 2 et 3 mètres d'elle
- (Si les délais nous le permettent) Déetecter d'éventuels obstacles sur sa trajectoire et les éviter.

Contrôle du drone

Pour répondre efficacement à notre problématique, le drone sera équipé de deux modes de contrôle : un mode manuel, avec un pilote au sol, et un mode automatique pour lequel le drone sera contrôlé via les informations fournies par la station au sol.

Paramétrage du drone

Pour pouvoir paramétrier correctement le PixHawk, nous utiliserons Mission Planner (ArduPilot Dev Team, s.d.). Il s'agit d'un logiciel non seulement compatible avec le système d'exploitation du contrôleur de vol, mais aussi très complet, permettant ainsi l'accès à tous les paramètres du PixHawk, comme la calibration des capteurs (GPS, magnétomètre...) ou encore la régulation des correcteurs PID de chaque moteur.

Remarque : le mode Autotune pourra être utilisé pour le réglage automatique des PID. Cela requiert un vol de test et nécessite une grande vigilance de la part du pilote lors de la réalisation automatique des mesures par le drone.

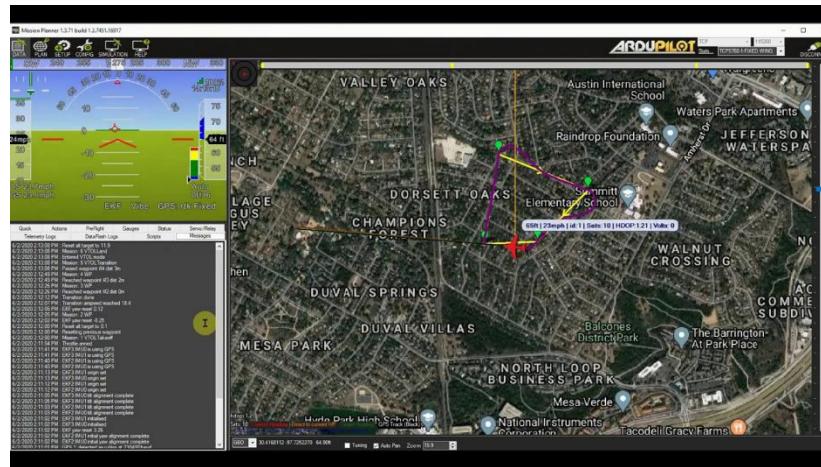


Figure 33 : Capture d'écran du logiciel Mission Planner

Contrôle manuel

Le contrôle manuel est surtout présent pour des raisons évidentes de sécurité. Le drone devra permettre à un pilote via une radiocommande connectée au système de réception et au contrôleur de vol de reprendre le contrôle si besoin. Également, le drone pourra changer de mode de contrôle à tout moment, à l'aide d'un interrupteur sur la radiocommande.

Remarque : Lors des tests en situation comme lors du concours, un pilote disposant des autorisations requises sera toujours présent pour reprendre le contrôle manuellement en cas de problème.

Contrôle automatique

Lors du vol dans le cadre de la mission que nous réalisons, il est crucial que le drone ne mette pas en danger les personnes présentes sur le lieu où l'accident s'est produit (la victime, qui sera la cible du drone, mais aussi les personnes ayant signalé l'accident, ou encore les témoins). Le drone va alors devoir détecter les personnes présentes et atterrir à 2m de chacune d'entre elles. Nous utiliserons pour cela les informations renvoyées par la caméra et traitées par l'IA (cf. chapitre IA).

Afin de contrôler notre drone nous utiliserons la bibliothèque Dronekit, une librairie Python utilisée par de nombreuses personnes (la documentation est donc bien fournie avec de nombreuse réponse aux questions). Cette librairie permet le contrôle du drone directement via des scripts python. Elle permet également de récupérer les informations liées au drone (position GPS, vitesse, orientation, état des moteurs, etc...) via la liaison télémétrique entre la station et le drone.

Deux modes de vol seront utilisés : un mode rapide lorsque le drone se situe en altitude et qu'il cherche à rejoindre le point de coordonnées GPS qui lui a été fourni, et le mode basse vitesse qui sera utilisé lors des phases de décollage et d'atterrissement. Au besoin, un mode super-lent pourra être envisagé au moment de l'atterrissement selon les tests réalisés. Il est important de noter que le choix a été fait de ne pas faire redécoller le drone une fois la charge récupérée par l'utilisateur. Cela aurait augmenté les risques pour les personnes présentes autour du lieu d'intervention.

Pendant les phases de test, lorsque les points GPS sont connus à l'avance, nous utiliserons le logiciel Mission Planner. Celui-ci permet une gestion extrêmement simple de la trajectoire, du décollage et de l'atterrissement. Ce logiciel implémente également la fonction Return To Home, qui est un plus en termes de sécurité. Nous utiliserons notamment Mission Planner lors de la réalisation des tests de sécurité.

Défibrillateur

L'arrêt cardiaque se définit comme une mort naturelle avec perte brutale de conscience. Elle intervient chez un sujet ayant ou non une maladie cardiaque connue. Il est estimé que, chaque année, quasiment 60 000 personnes subissent une mort subite cardiaque. Le taux de survie sans séquelles majeures n'est cependant que de 3%. Dans le cadre de la lutte contre la mort subite cardiaque depuis 2007, l'état favorise l'installation de DAE (Défibrillateur automatisé externe), la loi du n°2018-527 du 28 juin 2018 vient renforcer ce cadre législatif et réglementaire.

Description d'un DAE

Le DAE est un dispositif médical qui aide à la réanimation des personnes en situation d'arrêt cardiaque. Il est utilisable par toute personne diplômée ou non et de tout âge.

Le DAE est un élément clé pour augmenter la chance de survie d'une personne en arrêt cardiaque. Il est expliqué aux personnes en formation de premiers secours la chaîne de survie avec l'utilisation d'un défibrillateur.

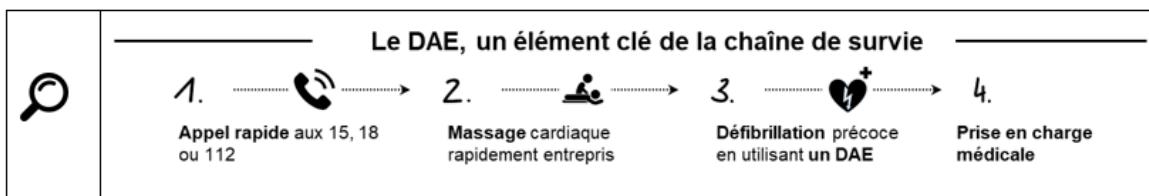


Figure 34 : Place du défibrillateur dans la chaîne de survie pour les arrêts cardiaques (Gouvernement FR)

Tout DAE doit être signalé, déclaré et maintenu. La signalisation sert à guider l'utilisateur sur la localisation du défibrillateur. Il doit être déclaré auprès de la GéoDAE (Gouvernement FR), la base nationale de défibrillateurs.

La maintenance du DAE comprend plusieurs actions nécessaires :

- La vérification du voyant d'autotest
- La vérification de la péremption des batteries et des électrodes
- Le contrôle périodique du DAE géré par le fabricant

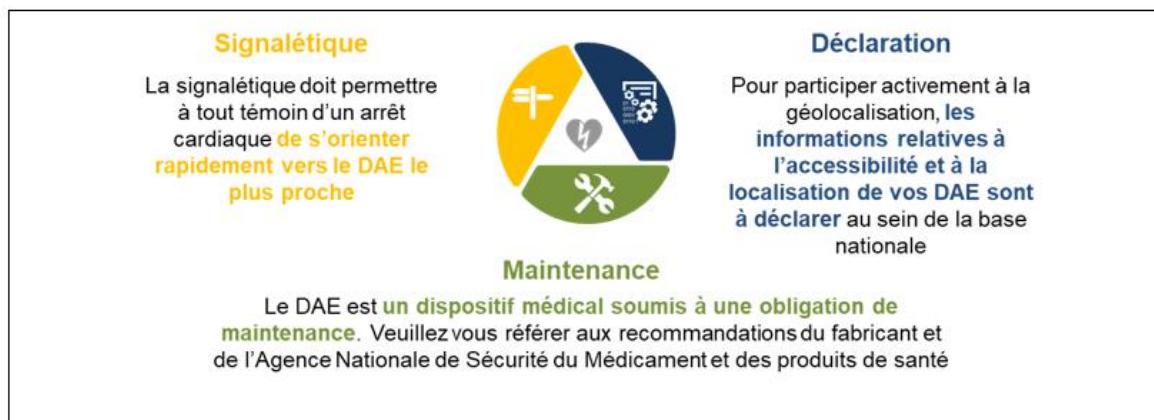


Figure 35 : obligations relatives à la possession d'un DAE (Gouvernement FR)

Pour les propriétaires d'ERP exploitants de DAE, pour les dispositifs installés à partir du 1^{er} janvier 2020, il est désormais obligatoire d'apposer sur le boîtier ou à proximité immédiate de l'appareil une étiquette conforme au modèle suivant :



Figure 36 : plaque signalétique type d'un défibrillateur (Gouvernement FR)

DAE utilisé par notre équipe

On a cherché un défibrillateur avec comme contrainte première le poids et la portabilité. Celles-ci sont des problématiques de taille puisque la charge utile est prise en compte dans le poids total du drone. Un DAE "standard" que l'on trouve dans la rue pèse 2kg avec la batterie, ce qui était impossible à utiliser pour nous. On s'est donc tournés vers des entreprises un peu plus spécialisées avec des modèles qui correspondaient plus à notre cahier de charges.

Le défibrillateur de Schiller FRED EASYPORT (Schiller, s.d.) collait parfaitement à nos objectifs avec son poids de 490 g et son format de poche qui permet un transport facile sous le drone.



Figure 37 : illustration du défibrillateur Schiller FED EASYPORT (Schiller, s.d.)

Ce défibrillateur est un défibrillateur semi-automatique ce qui signifie que l'utilisateur doit manuellement délivrer le choc en appuyant sur un bouton. Cependant il guide l'utilisateur grâce à l'écran incorporé. Le transport de DAE n'est pas une application très répandue donc les normes sont

inexistantes. Cependant, dans le cadre de notre utilisation, on considère que le transport est sécurisé. Nous devrons porter une attention particulière au maintien des batteries. On transportera le défibrillateur avec 2 sets d'électrodes : un set pour les enfants et un set pour les adultes.

Ce défibrillateur représente cependant un budget considérable : tout d'abord à l'achat, le défibrillateur surpassé le budget maximum autorisé de 1000€. L'entretien représente un coût considérablement supérieur. C'est pour cela que pour satisfaire le budget et l'entretien, nous allons utiliser une impression 3D lestée de même volume et de même masse que le défibrillateur que nous avons évoqué ci-dessus.

Station au sol et Application

Application

Lorsque l'utilisation d'un défibrillateur est nécessaire, chaque minute compte. Pour faciliter l'envoi du défibrillateur sur les lieux en situation d'urgence, nous souhaitons créer une application mobile sur laquelle il sera possible d'appeler directement le drone. Cette application devra permettre sans actions supplémentaire de l'utilisateur d'appeler les secours. En effet il est impératif de s'assurer que toute personne sur les lieux reçoive les instructions essentielles rapidement en attendant le dépôt du défibrillateur et l'arrivée des secours.

Dans le cas d'une utilisation en situation réelle, le poste de secours devra bien évidemment avoir la possibilité d'envoyer un drone défibrillateur au cas où la personne en charge sur l'accident n'a pas l'application sur son téléphone.

L'application devra donc envoyer la localisation GPS de la personne prise en charge sur un serveur connecté à la station au sol du drone. Une fois l'information envoyée, le drone partira automatiquement sur le lieu de l'appel et descendra proche de la cible.

Afin de développer cette application nous prévoyons d'utiliser l'outil React Native qui est un langage de programmation développé par l'entreprise Meta et basé sur JavaScript. Ce choix est motivé par le fait que certains membres de l'équipe connaissent déjà ce langage. De plus, cela nous permet de développer notre application à la fois pour Android et IOS avec le même code. Nous utiliserons le GPS intégré au smartphone pour collecter les coordonnées GPS. Les données sont ensuite simplement envoyées sur le serveur.

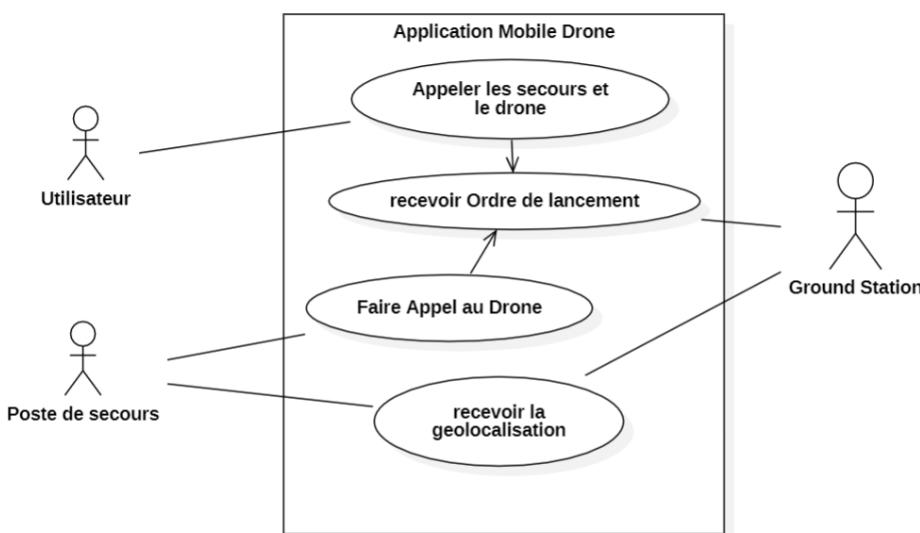


Figure 38 : Diagramme de cas d'utilisations pour l'application mobile

Dans ce diagramme, il est important de noter que l'utilisateur n'a qu'une action simple à faire. Cela a été réfléchi pour simplifier et donc accélérer au maximum les actions que l'utilisateur (sauveteur civil) aura à exécuter. Pour rappel il a été défini dans le cahier des charges que le temps requis par l'utilisation de l'application ne devait pas dépasser les 20 secondes.

Station au sol

La station au sol est composée d'un serveur. Il s'occupe de collecter les coordonnées GPS de l'application, de les envoyer au drone et de donner l'information au drone de s'envoler. Afin de s'assurer du bon déroulé de l'opération, le drone restera en contact permanent avec la station au sol via le système de télémétrie. Lorsque le drone est en vol, l'ensemble des données seront collectées afin de permettre la détection d'éventuels problèmes. Vu le caractère sensible des données collectées, et afin de respecter la législation relative à la collecte et au traitement des données (RGPD), tout ce qui touche à la localisation sera supprimé dans les 24 heures suivant l'intervention du drone.

Budget

Description	Montant TTC	Lien & Facture	A acheter	Prix valorisés
Pack Pixhawk + GPS + Module Alim.	157,84 €	Aliexpress	NON	63,14 €
Télémétrie	66,82 €	Aliexpress	NON	26,73 €
Moteurs (x4)	95,96 €	Mini-planes	OUI	95,96 €
Hélices (x12)	10,02 €	Aliexpress	NON	4,01 €
Batterie Li-Po 3300mAh 50C	42,90 €	Voir facture Racing Shop	NON	17,16 €
Télécommande Taramis X9D	233,99 €	flashrc	OUI	233,99 €
Récepteur télécommande	34,50 €	Aliexpress	OUI	34,50 €
ESC (x4)	17,92 €	Aliexpress	NON	7,17 €
Filament 3D 2,3kg PLA (x2)	83,72 €	Amazon	OUI	83,72 €
Composants électroniques de base	10,00 €	Amazon	OUI	10,00 €
Chargeur LiPo ImaxB6	33,62 €	Aliexpress	NON	13,45 €
Rondelle M4 (x36)	0,39 €	FixNVis	NON	0,16 €
Rondelle M6 (x16)	0,40 €	FixNVis	OUI	0,40 €
Vis six pans M4*60 (x24)	7,95 €	FixNVis	OUI	7,95 €
Vis six pans M4*35 (x16)	2,60 €	FixNVis	OUI	2,60 €
Vis six pans M4*20 (x16)	1,36 €	FixNVis	OUI	1,36 €
Vis six pans M6*30 (x10)	1,99 €	FixNVis	OUI	1,99 €
Vis pozidriv M2*12 (x32)	0,70 €	FixNVis	OUI	0,70 €
Vis pozidriv M3*8 (x48)	1,44 €	FixNVis	OUI	1,44 €
Inserts Plastique M6 (2x25pc)	19,98 €	Amazon	OUI	19,98 €
Inserts Plastiques M4 (50pc)	9,99 €	Amazon	OUI	9,99 €
Inserts Plastiques M3 (100pc)	9,99 €	Amazon	NON	4,00 €
Pack Caméra + Récepteur/émetteur vidéo	47,77 €	Aliexpress	OUI	47,77 €
Toiles parachutes (4m)	36,95 €	Ripstop	OUI	36,95 €
Ressort (d50, l100mm)	11,71 €	Aliexpress	OUI	11,71 €
Servo moteur	6,70 €	Aliexpress	OUI	6,70 €
Rilsan	3,95 €	amazon	NON	1,58 €
Zéphyr Beacon AM	40,00 €	StudioSport	NON	16,00 €

*Câbles et autre composants électroniques de base achetés en magasin spécialisé

Total (non valorisé) :	991,16 €
-------------------------------	-----------------

Tableau 11 : Récapitulatif des achats et budget pour le drone

Pour la construction du drone, une partie des pièces seront récupérées sur le modèle de l'an dernier. C'est notamment le cas du PixHawk, de la télémétrie, des batteries ou encore du module de signalisation électronique. Ce choix est dû au fait que nous avons cette année, comme l'an passé, décidé de réaliser un drone Quadcopter.

Afin de définir la quantité de PLA requise pour la construction de notre drone, nous avons pu, à l'aide du logiciel Prusa Slicer estimer à un peu moins de 1kg le poids total du PLA nécessaire pour réaliser les impressions pour un drone. Avec 4,6Kg de PLA nous estimons donc pouvoir réaliser entièrement cinq drones complets.

Total déjà acheté (valorisé à 40%)	153,38 €	Nb. Éléments :	10
Total à acheter	607,71 €	Nb. Éléments :	18
Total	761,09 €		28

Tableau 12 : Récapitulatif du budget avec valorisation

En conclusion, le budget total requis pour la construction est de **989,80€**, dont 10 éléments valorisés pour un total de 383,45€ avant valorisation (153,38 € après valorisation à 40%) et 18 éléments pour 607,71€ de matériel à acheter neuf. Cela donne un total après valorisation de 761,09€

Conclusion et perspectives

Le but principal de ce projet est de concevoir et mettre en œuvre un drone capable d'amener un défibrillateur en urgence sur une situation de danger. Cela nous a offert une occasion d'enrichir nos connaissances sur les différents domaines étudiés au cours de ce rapport, et plus généralement sur le monde de l'aéronautique et ses applications.

Cela a également permis d'apprendre à organiser notre travail, de mieux collaborer afin d'accomplir tous ensemble un projet. Tout cela a renforcé notre motivation, et notre désir de voir ce projet mené à son terme.

Nous souhaitons pouvoir continuer à travailler sur ce projet, en poussant le plus loin possible chaque partie, afin de rendre ce projet le plus abouti possible, avant de passer au plus vite (tout en respectant le cahier des charges bien sûr) à la partie de test, et d'amélioration des différents points posant d'éventuels problèmes.

Nous vous remercions d'avoir pris le temps de lire ce rapport, et de nous avoir donné cette opportunité. Nous espérons, avec votre soutien, continuer ce projet.

Annexes

Attestations AlphaTango des membres du projet

 <p>MINISTÈRE CHARGE DES TRANSPORTS <small>Liberté Equalité Fraternité</small> Direction générale de l'Aviation civile Direction de la sécurité de l'aviation civile</p> <p>A1/A3 BONJUS CATÉGORIE OUVERTE</p>		 <p>dgac direction générale de l' aviation civile D S A C</p> <p>A1/A3 OPEN SUB CATEGORY</p>
<p>Attestation de réussite à l'examen en ligne pour exercer les fonctions de télépilote dans les sous-catégories A1 et A3 <i>Proof of completion of the online exam for UAS operations in the sub-categories A1 and A3</i></p>		
<p>Nom / Last name : LAMBERT Prénom / First name : Arthur</p> <p>Numéro de télépilote / Remote pilot identifier : FRA-RP-000000014877 Date de fin de validité / Expiration date : 23/09/2027</p> <p>Note : si le titulaire de la présente attestation détient également un certificat de réussite à l'examen pour la sous-catégorie A2, la date de fin de validité de ce dernier, si elle est ultérieure, prévaut sur la date de fin de validité ci-dessus. <i>Note : if the holder of this certificate also holds a current A2 sub-category certificate, then the expiration date of the A2 certificate supersedes the expiration date above.</i></p> <p>Attestation générée le / Printed on : 24/09/2022 à 12:08</p> <p>50 rue Henry Farman 75720 Paris CEDEX 15</p>		
  <p>EASA European Union Aviation Safety Agency</p>		

Figure 39 : Attestation d'Arthur

 <p>MINISTÈRE CHARGE DES TRANSPORTS <small>Liberté Equalité Fraternité</small> Direction générale de l'Aviation civile Formation des télépilotes d'aéronefs civils circulant sans personne à bord utilisés à des fins de loisir</p>	<p>FORMATION DES TÉLÉPILOTES D'AÉRONEFS CIVILS CIRCULANT SANS PERSONNE À BORD UTILISÉS À DES FINS DE LOISIR TRAINING OF PILOTS OF CIVIL UNMANNED AIRCRAFT USED FOR RECREATIONAL PURPOSES</p> <p>Articles D.136-7 et suivants du code de l'aviation civile et arrêté relatif à la formation des télépilotes d'aéronefs civils circulant sans personne à bord utilisés à des fins de loisir</p>	 <p>dgac direction générale de l' aviation civile D S A C</p>															
<p>Ce présent document constitue un extrait du registre des télépilotes ayant suivi la formation requise par l'Article L.6214-2 du Code des transports introduit par la Loi n° 2016-1423 du 24 octobre 2016 relative au renforcement de la sécurité de l'usage des drones civils, qui énonce :</p> <p><i>"Tout télépilote doit avoir suivi une formation visant à permettre le contrôle et l'évolution d'un aéronef circulant sans personne à bord en assurant dans le respect des règles et des conditions d'emploi relatives à la navigation aérienne." Cette obligation n'est pas applicable à l'utilisation de loisirs d'aéronefs circulant sans personne à bord, lorsque leur masse est inférieure à un seuil fixé par arrêté réglementaire. Ce seuil ne peut être supérieur à 800 grammes."</i></p> <p>Dans le cas où la formation reçue est le cours en ligne mis en place par le ministre chargé de l'aviation civile conformément à l'article D.136-8 du code de l'aviation civile, le présent document constitue l'attestation de suivi de formation précisée par ce même article. L'identité du titulaire est celle déclarée par la personne ayant réussi le questionnaire en ligne de vérification des connaissances théoriques. Toute fausse déclaration peut être punie par la loi.</p>																	
<p>In the case where the training received is the online course set up by the minister in charge of civil aviation in application of Article D.136-8 of the civil aviation code, this document constitutes the training attestation mentioned in the same article. The identity of its holder is the one declared by the person who has passed the online knowledge check questionnaire. False declarations are punishable by law.</p>																	
<p>Attestation générée le: 23/11/2022 à 14:26 Statut : VALIDE Attestation générée on Status</p>																	
<table border="0" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">TITULAIRE: HOLDER</td> <td style="width: 33%;">Civilité: M Title Nom: GIROUX Name Prénom: Paul André François First name Date de naissance : 05/09/2002 Birth date Lieu de naissance : 88000 Birth place Nationalité: FRANCE Nationality</td> <td style="width: 33%;">ORGANISME FORMATEUR: Training organization Référence: Reference</td> </tr> <tr> <td colspan="2">FORMATION: TRAINING</td> <td>Organisme formateur : DGAC</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>Training organization</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>Reference</td> </tr> <tr> <td colspan="2">DATE DE FORMATION : 25/08/2022 TRAINING DATE</td> <td>DATE DE FIN DE VALIDITÉ : 24/08/2027 END OF VALIDITY</td> </tr> </table>			TITULAIRE: HOLDER	Civilité: M Title Nom: GIROUX Name Prénom: Paul André François First name Date de naissance : 05/09/2002 Birth date Lieu de naissance : 88000 Birth place Nationalité: FRANCE Nationality	ORGANISME FORMATEUR: Training organization Référence: Reference	FORMATION: TRAINING		Organisme formateur : DGAC			Training organization			Reference	DATE DE FORMATION : 25/08/2022 TRAINING DATE		DATE DE FIN DE VALIDITÉ : 24/08/2027 END OF VALIDITY
TITULAIRE: HOLDER	Civilité: M Title Nom: GIROUX Name Prénom: Paul André François First name Date de naissance : 05/09/2002 Birth date Lieu de naissance : 88000 Birth place Nationalité: FRANCE Nationality	ORGANISME FORMATEUR: Training organization Référence: Reference															
FORMATION: TRAINING		Organisme formateur : DGAC															
		Training organization															
		Reference															
DATE DE FORMATION : 25/08/2022 TRAINING DATE		DATE DE FIN DE VALIDITÉ : 24/08/2027 END OF VALIDITY															

Figure 40 : Attestation de Paul



**FORMATION DES TÉLÉPILOTES D'AÉRONEFS CIVILS CIRCULANT
SANS PERSONNE A BORD UTILISÉS A DES FINS DE LOISIR**
**TRAINING OF PILOTS OF CIVIL UNMANNED AIRCRAFT
USED FOR RECREATIONAL PURPOSES**

Articles D.136-7 et suivants du code de l'aviation civile et arrêté relatif à la formation exigée des télépilotes d'aéronefs civils circulant sans personne à bord utilisés à des fins de loisir



Le présent document constitue un extrait du registre des télépilotes ayant suivi la formation prévue par l'article L. 6214-2 du Code des transports introduit par la Loi n° 2016-1428 du 24 octobre 2016 relative au renforcement de la sécurité de l'usage des drones civils, qui énonce :

« Tout télépilote doit avoir suivi une formation visant à permettre le contrôle de l'évolution des aéronefs circulant sans personne à bord, en sécurité et dans le respect des règles et des conditions d'emploi relatives à la navigation aérienne. Cette obligation n'est pas applicable à l'utilisation de loisir d'aéronefs circulant sans personne à bord, lorsque leur masse est inférieure à un seuil fixé par voie réglementaire. Ce seuil ne peut être supérieur à 800 grammes. ».

Dans le cas où la formation reçue est le cours en ligne mis en place par le ministre chargé de l'aviation civile conformément à l'article D.136-8 du code de l'aviation civile, le présent document constitue l'attestation de suivi de formation prévue par ce même article. L'identité de son titulaire est celle déclarée par la personne ayant réussi questionnaire ligne de vérification des connaissances théoriques. Toute fausse déclaration peut être punie par la loi.

This document is an extract of the register of remote pilots who have completed the training mentioned in Article L.6214-2 of the "Code des transports" introduced by Law n° 2016-1428 of 24 October 2016 related to the strengthening of the security of civil drones usage, which provides that:

"All remote pilots must have undergone training to enable the control of the evolution of unmanned aircraft in safety and in compliance with the rules and conditions of use relating to air navigation. This obligation is not applicable to the use of recreational unmanned aircraft when their mass is below a threshold fixed by regulation. This threshold can not be greater than 800 grams."

In the case where the training received is the online course set up by the minister in charge of civil aviation in application of Article D.136-8 of the civil aviation code, this document constitutes the training attestation mentioned in the same article. The identity of its holder is the one declared by the person who has passed the online knowledge check questionnaire. False declarations are punishable by law.

Attestation générée le: 23/09/2022 à 23:47 Attestation generated on	Statut : VALIDE Status
TITULAIRE: HOLDER	Civilité: M Title Nom: VERSCHUEREN Name Prénom: César First name Date de naissance : 18/11/2003 Birth date Lieu de naissance : Armentières Birth place Nationalité: FRANCE Nationality
FORMATION: TRAINING	Organisme formateur : DGAC Training organisation Référence : 375 Reference
DATE DE FORMATION : 23/09/2022 TRAINING DATE	DATE DE FIN DE VALIDITE : 22/09/2027 END OF VALIDITY

Figure 41 : Attestation de César

Propriétés mécaniques du PLA

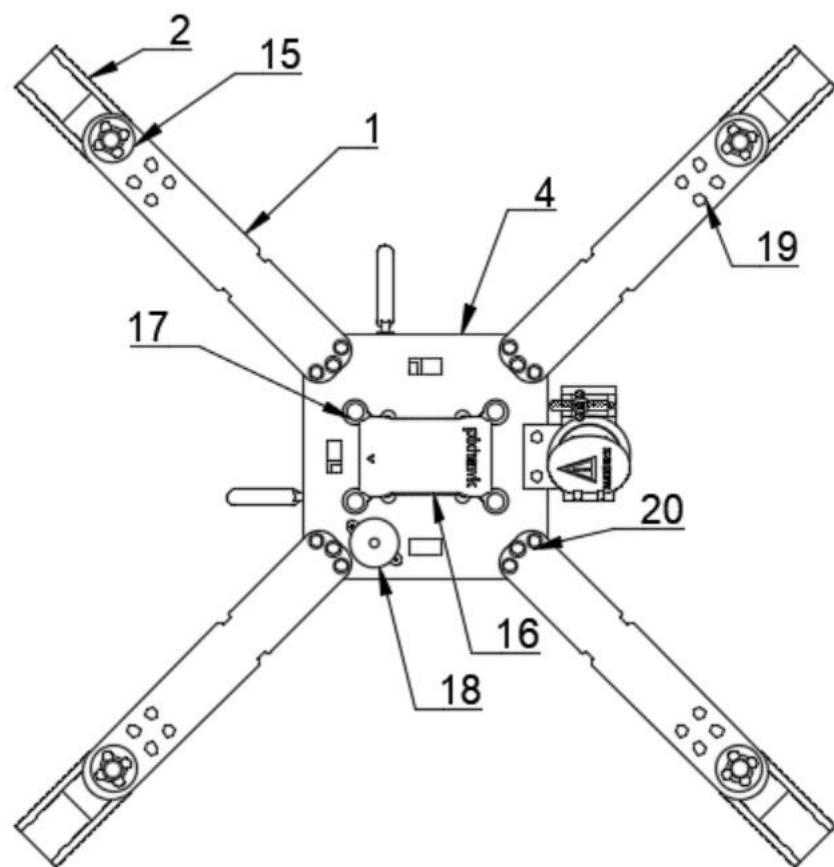
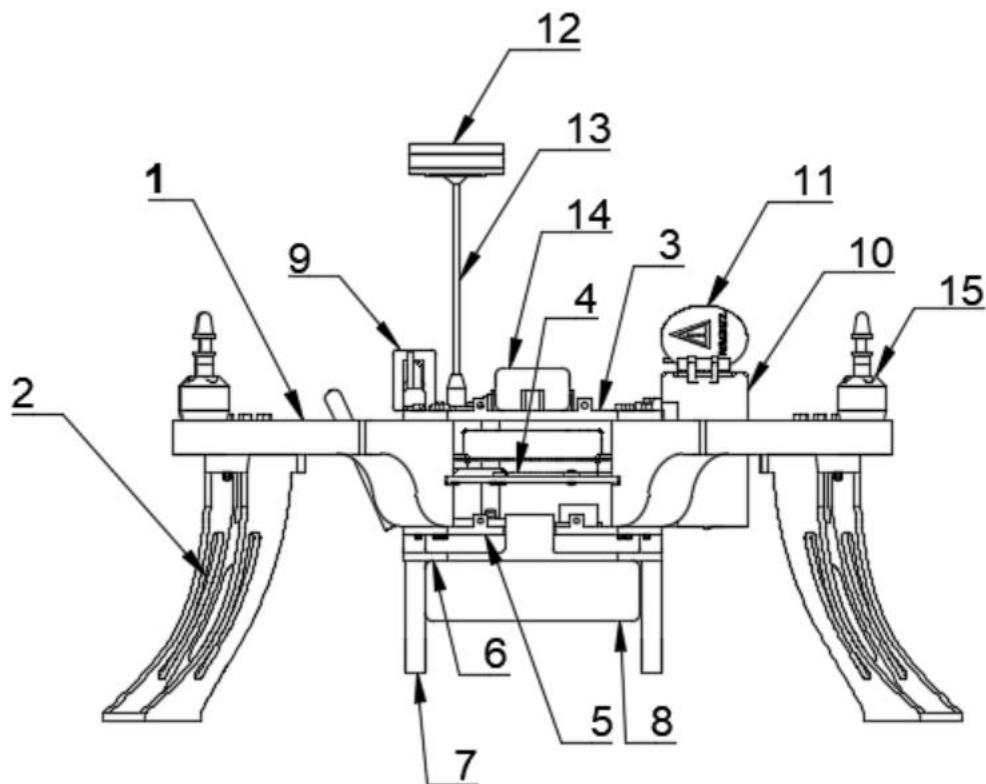
N°	Filament Width (mm)	Layer Height (mm)	Infill Density (%)	Infill type
1	0,3	0,1	25	Rectilinear
2	0,3	0,1	50	Linear
3	0,3	0,1	75	Honeycomb
4	0,3	0,2	25	Honeycomb
5	0,3	0,2	50	Rectilinear
6	0,3	0,2	75	Linear
7	0,3	0,3	25	Linear
8	0,3	0,3	50	Honeycomb
9	0,3	0,3	75	Rectilinear
10	0,4	0,1	25	Linear
11	0,4	0,1	50	Honeycomb
12	0,4	0,1	75	Rectilinear
13	0,4	0,2	25	Rectilinear
14	0,4	0,2	50	Linear
15	0,4	0,2	75	Honeycomb
16	0,4	0,3	25	Honeycomb
17	0,4	0,3	50	Rectilinear
18	0,4	0,3	75	Linear
19	0,6	0,1	25	Honeycomb
20	0,6	0,1	50	Rectilinear
21	0,6	0,1	75	Linear
22	0,6	0,2	25	Linear
23	0,6	0,2	50	Honeycomb
24	0,6	0,2	75	Rectilinear
25	0,6	0,3	25	Rectilinear
26	0,6	0,3	50	Linear
27	0,6	0,3	75	Honeycomb

N°	Printing Velocity (mm/s)	La Y-axiser Orientation	E (GPa)	Std	Rp0,2 (MPa)
1	20	X-axis	2,36	0,18	53,8
2	30	Y-axis	3,06	0,07	83,5
3	40	Z-axis	1,79	0,03	11,8
4	30	Y-axis	2,74	0,03	69,7
5	40	Z-axis	1,23	0,1	7,92
6	20	X-axis	2,71	0,03	60,1
7	40	Z-axis	0,59	0,05	6,71
8	20	X-axis	2,78	0,11	60,6
9	30	Y-axis	2,81	0,06	65,1
10	30	Z-axis	2,29	0,29	37,1
11	40	X-axis	3,34	0,19	67,9
12	20	Y-axis	3,69	0,08	95,3
13	40	X-axis	2,41	0,07	50,2
14	20	Y-axis	3,45	0,33	85
15	30	Z-axis	2,07	0,21	26,2
16	20	Y-axis	3,19	0,06	73,4
17	30	Z-axis	1,2	0,09	10,6
18	40	X-axis	1,44	0,27	26,7
19	40	Y-axis	3,61	0,07	87,4
20	20	Z-axis	3,02	0,27	43,4
21	30	X-axis	3,23	0,02	70,8
22	20	Z-axis	2,33	0,25	21,3
23	30	X-axis	2,85	0,19	63,4
24	40	Y-axis	3,7	0,14	90,8
25	30	X-axis	1,9	0,08	44
26	40	Y-axis	2,96	0,15	75,2
27	20	Z-axis	2,3	0,15	25,3

N°	Std	σ_{max} (MPa)	Std	ϵ	Std
1	3,19	64,2	8,18	4,72	1,16
2	0,95	96	2,98	4,9	0,64
3	1,74	11,8	1,74	0,7	0,13
4	4,1	79	4,97	4,68	1,1
5	1,58	7,96	1,58	0,81	0,24
6	3,09	80,8	2,36	5,85	0,5
7	1,76	6,7	1,76	1,2	0,22
8	3,45	64,1	4,43	3,37	0,32
9	3,61	79,2	6,11	4,91	0,59
10	4,04	37,1	4,04	1,64	0,05
11	3,16	83,7	4,53	4,57	0,17
12	4,26	120	1,38	5,34	0,2
13	6,97	72,3	8,23	5,72	0,18
14	3,67	104,6	2,16	4,98	0,17
15	3,34	26,1	3,34	1,49	0,41
16	1,15	83,8	3,87	4,09	0,36
17	1,6	10,6	1,6	1,02	0,13
18	3,25	35,7	4,11	5,09	0,74
19	2,53	95,5	7,35	3,73	0,72
20	3,64	43,5	3,64	1,5	0,12
21	3,51	93,1	4,52	5,09	0,22
22	3,22	21,4	3,22	0,53	0,6
23	6,54	86,4	3,27	5,36	0,64
24	2,28	109,5	4,7	5,11	0,95
25	5,16	60,4	4,43	6,21	0,28
26	3,49	86,7	8,68	4,54	1,56
27	6,61	25,4	6,61	0,91	0,61

Tableau 13 : Résultats de l'étude "Mechanical Properties of 3D-Printing Polylactic Acid Parts subjected to Bending Stress and Fatigue Testing" (JA, et al.)

Vue éclatée du drone et dénomination des composants



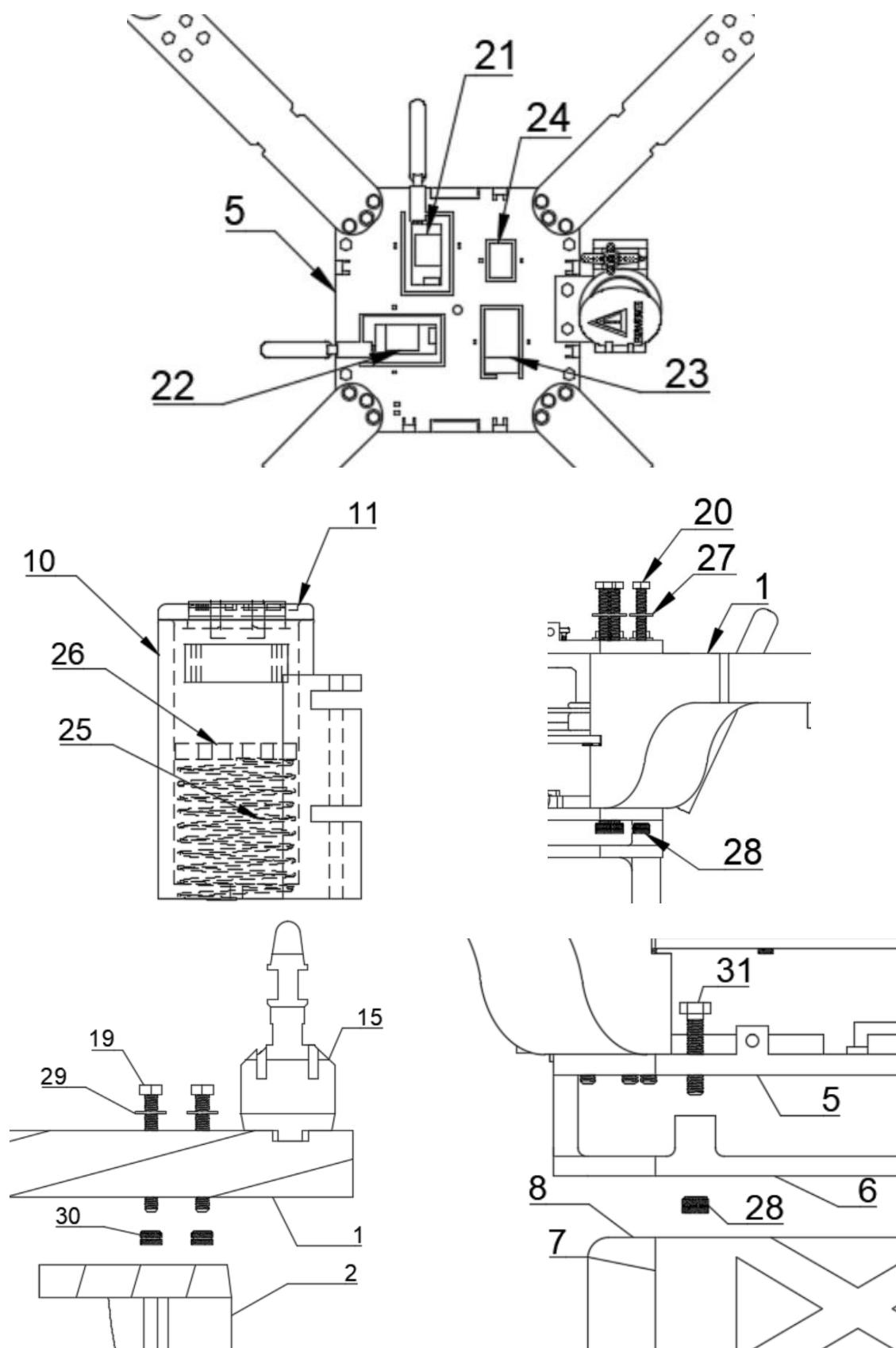


Figure 42 : Vue éclatée des composants du drone

<i>Numéro</i>	<i>Pièce</i>
1	Bras (x4)
2	Pied (x4)
3	Cellule Supérieure
4	Cellule Centrale
5	Cellule Inférieure
6	Cellule support Défibrillateur
7	Arceau Maintien Défibrillateur
8	Défibrillateur
9	Support Caméra
10	Conteneur Parachute
11	Couvercle Parachute
12	Boîtier GPS
13	Mât
14	Batterie
15	Moteurs (x4)
16	PixHawk
17	Support PixHawk avec silentblocs
18	Buzzer
19	Vis six pans M6*30 (x16)
20	Vis six pans M4*60 (x12)
21	Antenne Télémétrie
22	Antenne Flux Vidéo
23	Récepteur Télécommande
24	Multiplexeur Télécommande
25	Ressort (d50, l100mm)
26	Plaque d'éjection Parachute
27	Rondelles M4
28	Inserts plastiques M4
29	Rondelles M6
30	Inserts plastiques M6
31	Vis six pans M4*20 (x4)

Tableau 14 : Liste des différentes pièces du drone

Procédure d'utilisation des Batterie Li-Po (*d'après la procédure réalisée en 2021-2022*)

ATTENTION : Les batteries LiPo sont EXTRÊMEMENT DANGEREUSES lorsqu'elles sont mal utilisées ! Ces batteries ne doivent être en aucun cas au contact de l'eau, trop chargées ou trop déchargées à cause d'un risque d'EXPLOSION.

Lecture des Information sur la Batteries :



1. C'est la capacité de la batterie.
2. C'est le taux de décharge de la batterie ou encore appelé courant continu en pointe. Ce nombre signifie combien de fois la batterie est capable de délivrer en courant sa capacité en continu. Ici on a donc $3300 \text{ mAh} * 50 \text{ C} = 165 \text{ A}$ en continu.
3. C'est la tension nominale de la batterie (incluant toutes les cellules). Ce n'est pas spécifié ici, mais il s'agit d'une 3S (3 cellules). La tension nominale de chaque cellule est donc $11.1 \text{ V} / 3 \text{ S} = 3.7 \text{ V}$.
4. C'est la quantité d'énergie stockée par la batterie
5. C'est le connecteur de contrôle de chaque cellule ou connecteur d'équilibrage. C'est grâce à ce connecteur que l'appareil de charge sera capable d'équilibrer les cellules à la même tension (ce qui est très important !).
6. C'est le connecteur de puissance de la batterie. Celui-ci est un connecteur DEAN T-PLUG mais on peut également trouver des connecteurs XT60 sur certaines batteries. C'est par ce connecteur que la charge et la décharge de la batterie va se faire.

Mesure de Sécurité :

- Les batteries doivent être stockées dans leur sac de protection ignifugé et à l'abri du froid (pour éviter leur perte de capacité). Ce sac permet de contenir l'explosion si la batterie entre en combustion.
- Garder les batteries dans le sac de protection lors de la charge. Il est prévu pour.
- Souvent contrôler l'état des batteries : faire l'équilibrage des cellules régulièrement et contrôler si les batteries sont gonflées. Si une batterie vient à gonfler, il faut l'amener au plus vite à la déchetterie la plus proche.
- Ne jamais dépasser le taux de charge ou de décharge maximal.
- À chaque utilisation, la batterie doit être sous l'œil attentif d'au moins une personne.
- Ne manipulez ces batteries uniquement si vous êtes sûr de ce que vous faites.



Figure 1 : Sac de confinement ignifugé pour les batteries Li-Po

Stockage à long terme (plusieurs semaine ou mois) d'une batterie Lipo : Pour un stockage à long terme, une batterie LiPo ne doit être en aucun cas chargée au maximum. Son taux de charge doit se trouver aux alentours de 30 ou 40%.

Mise en Charge:

⚠ Toujours avoir un œil sur les batteries lors de leur chargement !

Remarques :

- L'appareil peut être branché au secteur sans la batterie sans risque.
- La batterie peut être branchée à l'appareil après sa mise en route tant que le programme de charge n'a pas été lancé.

Étape 1 : Branchement de l'appareil au secteur et sélection du bon type de batterie



Figure 2 : Sélection du programme sur le module de charge batteries

Sélectionner le bon type de batterie (ici LiPo) à charger en appuyant sur Batt. Type et terminer la sélection en appuyant sur Enter.

Étape 2 : Connecter la batterie à l'appareil



Figure 3 : Connecteur d'équilibrage (à gauche) et prise DEAN (à droite)

Il suffit de brancher le connecteur DEAN ainsi que le connecteur d'équilibrage au boîtier (il y a un détrompeur suivant le nombre de cellules, vous ne pouvez pas vous tromper).

Étape 3 : Naviguer entre les modes avec les flèches (charge, fast charge, discharge, balance - toujours charger vos LiPo avec ce mode -, etc...) et sélectionner celui qui vous intéresse avec le bouton Enter.

Mode Charge : Sélectionner ce mode en appuyant sur Enter. L'intensité de chargement, affichée sur l'écran, se met à clignoter. Une batterie LiPo est normalement capable de supporter deux fois sa charge, c'est-à-dire en intensité deux fois le nombre indiqué pour sa capacité. Pour l'exemple page 1, cette batterie a une capacité de 3300 mAh, en théorie elle est donc capable de supporter une intensité de 6.6 A. Plus l'intensité de chargement sera élevée, plus le chargement de la batterie sera rapide ... mais aussi plus il sera destructeur pour la batterie. Pour un chargement efficace et "soft" nous vous préconisons de charger la batterie en intensité à une fois sa capacité, donc ici à 3,3 A. Vous pouvez augmenter et diminuer l'intensité avec les flèches. Une fois l'intensité réglée, appuyer sur Enter pour sélectionner le type de LiPo avec les flèches (1S, 2S, 3S, etc...) et valider avec la touche Enter. Une

fois la batterie connectée et les réglages faits, vous pouvez commencer la charge en appuyant longuement sur Enter. L'appareil va contrôler la batterie et vous pourrez ensuite apercevoir la tension de chaque cellule en naviguant avec les flèches. Vous pouvez à chaque instant stopper la charge en appuyant sur le bouton Stop. Une fois la charge terminée, l'appareil s'arrêtera automatiquement et bipera (un son très aigu et fort) pour vous demander de débrancher la batterie.



Figure 4 : Mode charge de l'appareil

Mode décharge : Ce mode permet de décharger la batterie afin de faire des cycles d'entretiens. Nous vous recommandons de faire un cycle d'entretiens à vos batteries après chaque stockage long. Cela permet de vérifier son bon fonctionnement avant de la remettre sur le drone. De la même façon que le mode "charge", sélectionner l'intensité de décharge de la batterie (limitée à 2 A au maximum - utilisez la même règle de calcul que pour le mode charge, mais si l'intensité calculée dépasse les 2 A, choisissez 2 A). Sélectionner ensuite le type de LiPo à décharger (la tension indiquée est plus faible que celle de charge, car il s'agit de la tension minimale de la batterie à ne pas dépasser pour la décharge ~20% de la charge de la batterie).



Figure 5 : Mode décharge de l'appareil

Mode Equilibrage : Ce mode permet de charger la LiPo en équilibrant les tensions de charge de chaque cellule à 3.7 V. L'équilibrage d'une batterie est très important pour ne pas avoir une cellule en sous charge ou en surcharge. Nous vous recommandons de toujours charger vos LiPo avec ce mode de chargement.



Figure 6 : Mode Balance de l'appareil

Mode Stockage : Ce mode permet de mettre la batterie dans un état qui permet de la préserver dans le cas de longs stockages sans utilisation (plusieurs semaines à plusieurs mois). Ce mode met la batterie à une capacité de charge de 30 à 40%.



Figure 7 : Mode Stockage de l'appareil

Liens utiles pour les batteries Li-Po :

<http://blog.patrickmodelisme.com/post/qu-est-ce-qu-une-batterie-lipo>

<https://www.absolu-modelisme.com/les-batteries-en-modelisme>

<https://www.mini-meca-rc.com/content/16-abc-du-lipo>

<https://www.rcteam.fr/fr/blog/le-guide-des-batteries-lipo-n5>

Bibliographie

ArduPilot Dev Team. (s.d.). *Documentation Mission Planner*. Récupéré sur
<https://ardupilot.org/planner/>

Creality. (s.d.). *Sermono D1 User Manuel*. Récupéré sur creality.com:
<https://www.creality.com/fr/pages/download-sermono-d1>

Dagoma. (s.d.). *Notice d'utilisation Imprimante Dagoma*. Récupéré sur dagoma3d.com:
<https://www.dagoma3d.com/utilisation-disco>

Gouvernement FR. (s.d.). *Arrêté du 27 décembre 2019 définissant les caractéristiques techniques des dispositifs de signalement électronique et lumineux des aéronefs circulant sans personne à bord*. Récupéré sur LegiFrance:
<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000039685188>

Gouvernement FR. (s.d.). *GeoDAE - base publique*. Récupéré sur geo.data.gouv.fr:
<https://geo.data.gouv.fr/fr/datasets/a701db3964e8fd81823c92afc029f138ffa207b3>

Gouvernement FR. (s.d.). *Les défibrillateurs automatisés externes (DAE)*. Récupéré sur Ministère de la Santé et de la Prévention: <https://solidarites-sante.gouv.fr/prevention-en-sante/preserver-sa-sante/dae>

Gouvernement Francais. (s.d.). *Restrictions UAS catégorie Ouverte et aéromodélisme*. Récupéré sur GeoPortail: <https://www.geoportail.gouv.fr/donnees/restrictions-uas-categorie-ouverte-et-aeromodelisme>

JA, T.-R., R, J.-M., J, L., O, T.-R., G, G.-G., & JJ, R. R. (s.d.). *Mechanical Properties of 3D-Printing Polylactic Acid Parts subjected to Bending Stress and Fatigue Testing*. *Materials (Basel)*. Récupéré sur www.ncbi.nlm.nih.gov:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6926899/>

Meyer, A. (s.d.). *Introduction au Deep Learning pour l'image*. Récupéré sur perso.liris.CNRS.fr:
https://perso.liris.cnrs.fr/alexandre.meyer/public_html/www/doku.php?id=image_deeplearning

Ministere de l'écologie. (s.d.). *exploitation drones en categorie ouverte*. Récupéré sur ecologie.gouv.fr: <https://www.ecologie.gouv.fr/exploitation-drones-en-categorie-ouverte>

Prusa. (s.d.). *Prusa I3 HandBook*. Récupéré sur prusa3d.com:
https://www.prusa3d.com/downloads/manual/prusa3d_manual_mk3_fr_3_04.pdf

Prusa. (s.d.). *Telechargement de Prusa Slicer*. Récupéré sur pusa3D.com:
https://www.prusa3d.com/fr/page/prusaslicer_424/

Schiller. (s.d.). *Défibrillateur cardiaque de poche Schiller Fred EasyPort*. Récupéré sur mediprostore.com: <https://www.mediprostore.com/defibrillateur-cardiaque-de-poche-schiller-fred-easyport.html>

Stefan, Y. (s.d.). *Quels sont les avantages du remplissage gyroïde*. Récupéré sur qastack.fr:
<https://qastack.fr/3dprinting/7037/what-are-the-advantages-of-gyroid-infill>

Thiry, L. (s.d.). *Fondamentaux du Deep learning*. Récupéré sur di.ens.fr:
https://www.di.ens.fr/louis.thiry/slides_J2