



SOFAB

by Telecom Valley

Mini-Conf.
2 Décembre 2016



TelecomValley
Animateur Azuréen du Numérique

Conception et réalisation d'un quadricoptère pour la prise de vue aérienne



Gaétan LAURE

www.gaetanlaure.com

Plan

- I. Introduction
- II. Composants utilisés
- III. Design du châssis
- IV. Construction
- V. Utilisation d'ArduPilot
- VI. Essais en vol

I. Introduction

○ Types de drones :

- Multirotors :



Tricoptère



Quadricoptère



Hexacoptère /
Octocoptère

- Drones à voilure fixe :



Aile volante



Motoplanneur

I. Introduction

○ Applications :

- Prise de vue aérienne
- Reconstruction 3D (de sites archéologiques, bâtiments...)
- Agriculture de précision (caméras hyperspectrales)
- Livraison (DHL, Amazon, Google...)
- Recherche de personnes et sauvetage (en mer / montagne)
- Analyse des couches de neige / prédiction d'avalanches
- ...

I. Introduction

- Drone pour la prise de vue :



DJI – Phantom 4 (~ 1400 €)

➤ Drone populaire

I. Introduction

- Drone pour la prise de vue :
 - Caméra stabilisée et orientable
 - Modes de vol automatiques (avec un GPS) :
 - Rester à un point fixe
 - Vol en ligne droite
 - Rotation autour d'un point fixe
 - Retour au point de décollage en cas de perte de signal / batterie faible
 - Analyse d'image, mode « Follow Me », évitement d'obstacles etc... (pour les derniers modèles dont le Phantom 4)

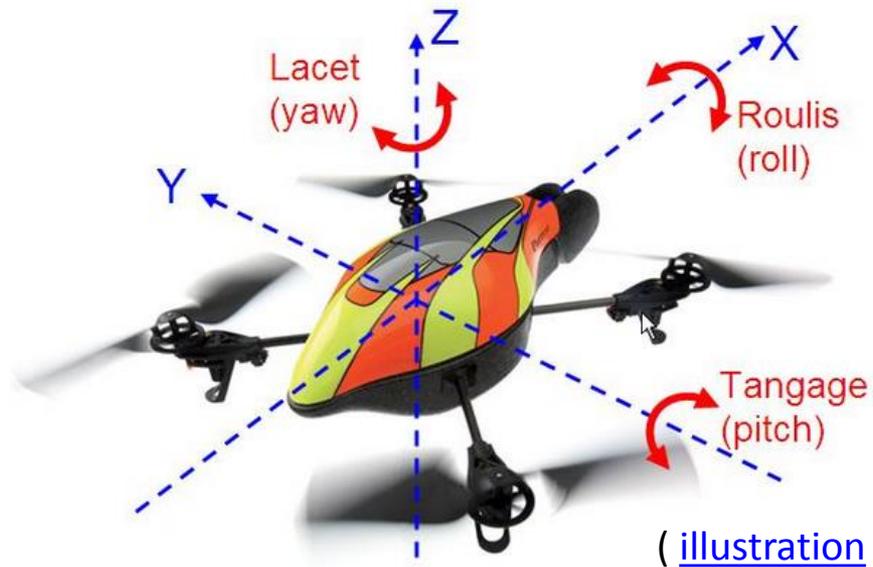
I. Introduction

- Pourquoi faire son drone ?
 - Facilement réparable
 - Evolutif (motorisation, caméra..)
 - Matériel réutilisable (radiocommande, camera..)
 - Accessoires/batteries moins chers
 - Design sur mesure (adapté au transport)

I. Introduction

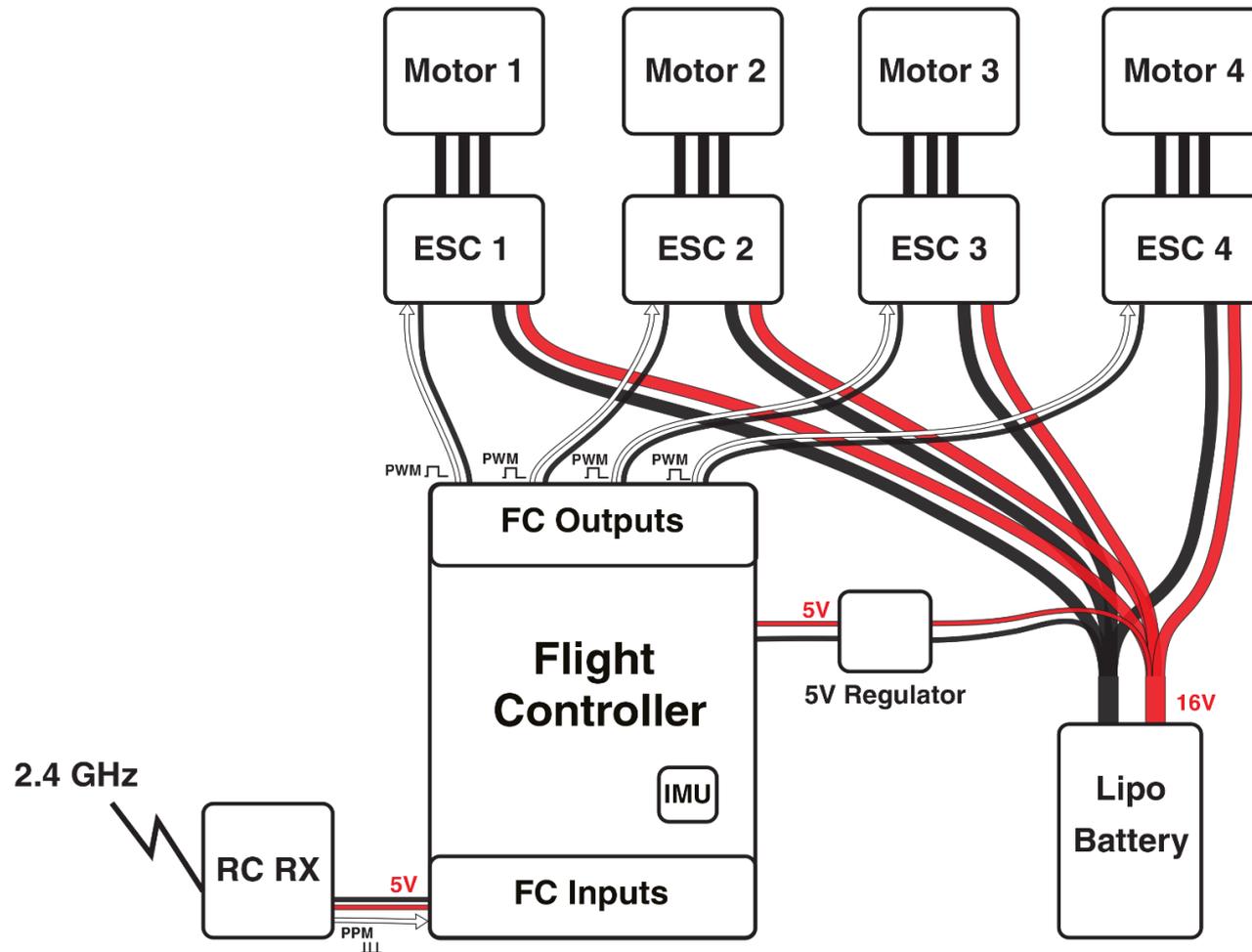
○ Comment ça vole ?

- Les hélices génèrent la poussée
- Centrale inertielle/microcontrôleur : asservissement des angles d'Euler et de la poussée
- Radiocommande → Consigne angles et poussée



II. Composants utilisés

- Câblage du drone (simplifié) :



II. Composants utilisés

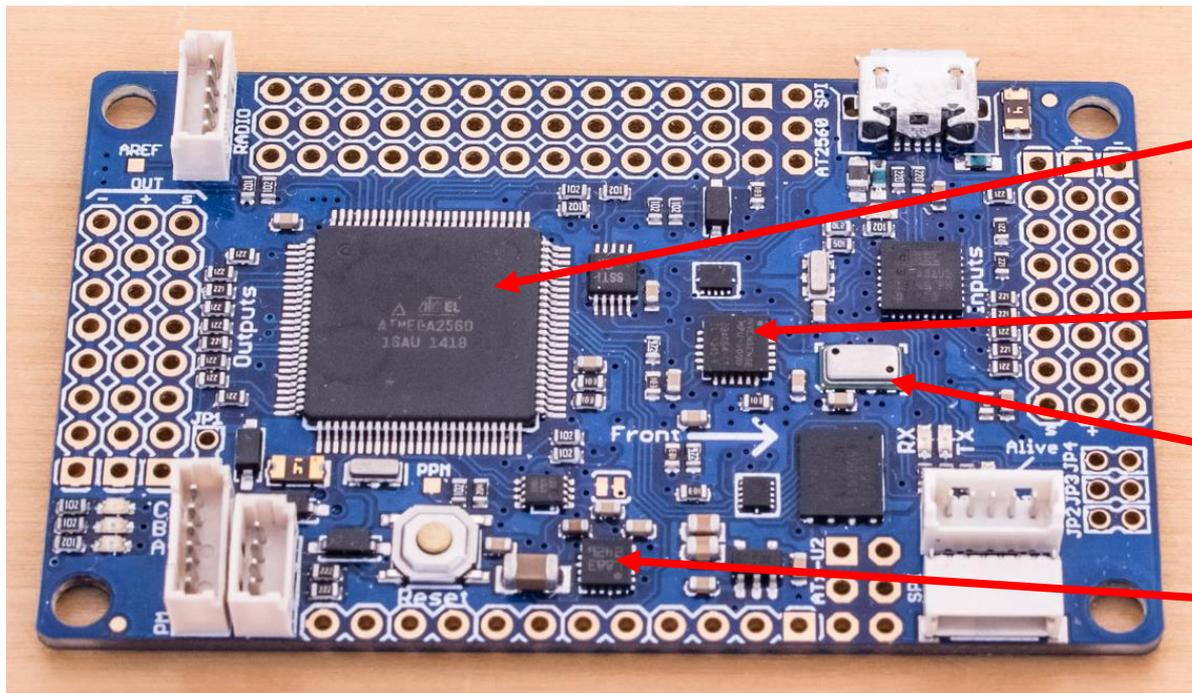
○ Radiocommande Graupner MX-16 HoTT :



- 8 Voies
- 2.4 GHz
- Portée : 2 km
- ~ 250 €

II. Composants utilisés

○ ArduPilot Mega (APM) 2.5 :



Processeur Atmel
Atmega2560
(16 MHz, 8 bit)

Accéléro/gyro

Baromètre

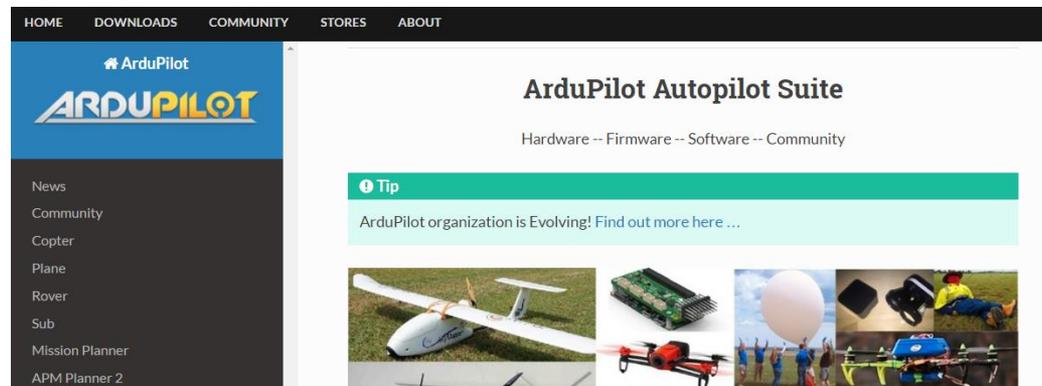
Magnétomètre

- Centrale inertielle intégrée
- Fonctionne avec le soft ArduPilot (open source)
- Prix : ~ 40 €

II. Composants utilisés

○ ArduPilot :

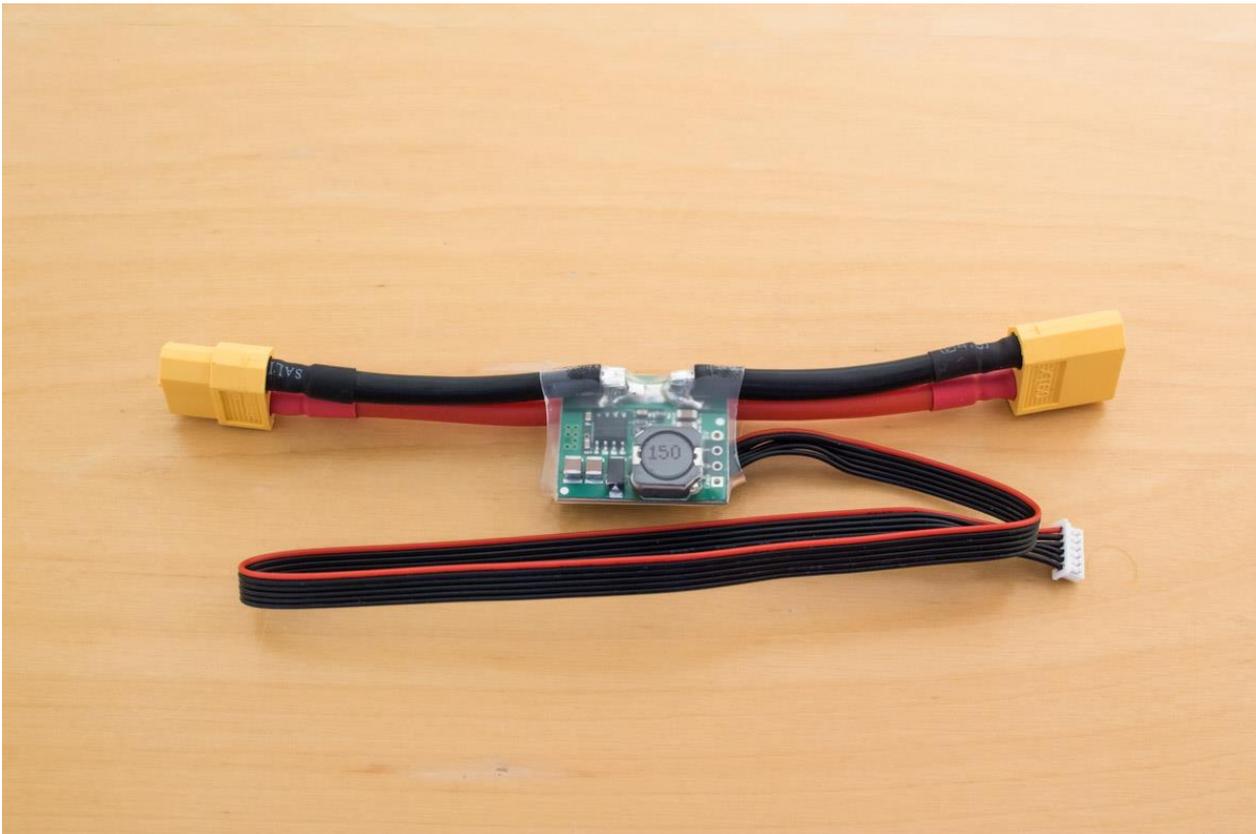
- Software open source
- Bien documenté (<http://ardupilot.org/>)



- Beaucoup de possibilités dont le vol automatique (suivi de waypoints etc...)
- Installation et configuration via Mission Planner

II. Composants utilisés

○ Power Module :



- Régulateur 5V pour alimenter l'APM
- Mesure courant et tension
- Prix : ~ 10 €

II. Composants utilisés

- Chaîne de propulsion :
 - Batterie
 - ESCs
 - Moteurs
 - Hélices

II. Composants utilisés

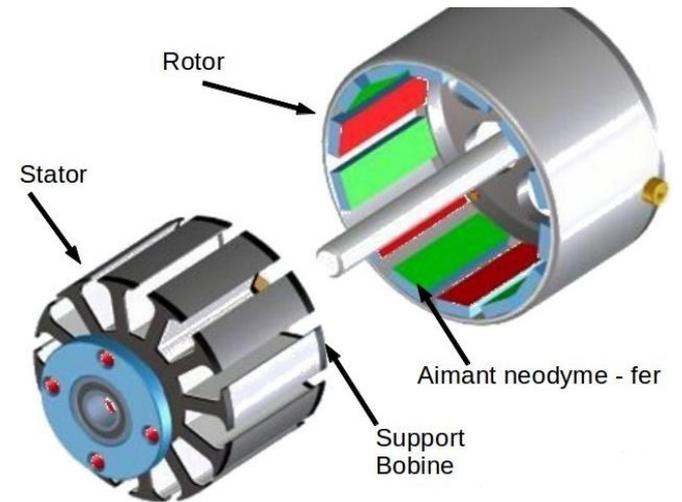
○ Batterie Lipo 4S et « Cell Checker » :



- 4S → 4 cellules : 16.8 V – 13.2 V (1 cellule : 4.2 V – 3.3 V)
- Taux de décharge important (20C soit 100 A)
- À manipuler avec précaution (utilisation d'un chargeur spécifique)
- « Cell Checker » sonne si on passe sous les 3.4 V / cellule
- Poids : 450 g, Prix : ~ 27 €

II. Composants utilisés

○ Moteurs Brushless :



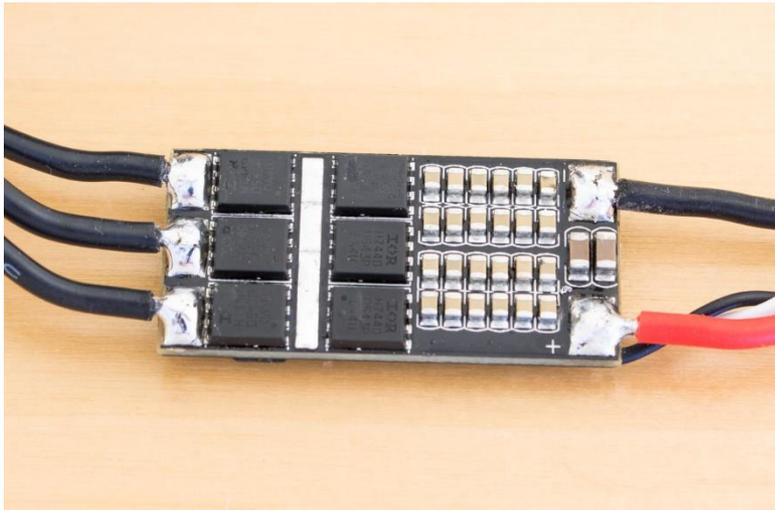
(illustration : <http://irobux.com>)

- T-Motor MT2216-12 800Kv
- Contrôle précis en vitesse
- Poids : 74 g, Prix : ~ 45 €

II. Composants utilisés

○ ESCs :

- Contrôle le moteur à partir du signal PWM de l'APM



- Favourite LittleBee 30A
- Processeur intégré
- Génère le courant triphasé pour entraîner le moteur à la vitesse souhaitée
- Prix : ~ 12 €

II. Composants utilisés

○ Hélices :



- Graupner E-Prop 10x5
- Rigides
- Bien équilibrées de base
- Prix : ~ 7.5 €

II. Composants utilisés

○ Bilan sur la chaine de propulsion :

- Batterie 4S, Moteurs 800 Kv, ESCs 30A, Hélices 10x5
- Site très utile pour le choix : <http://www.ecalc.ch/>



Member Full Version

Quad V1



xcopterCalc - Multicopter Calculator

Follow Follow

Welcome Ga

Membership Expiry: 03/12/16

Logout - Profile

News | Help | Tutorial | Submit Specs | Language: english

all data without guarantee - Accuracy: +/-15%

General	Motor Cooling: good	# of Rotors: 4 flat	Model Weight: 1790 g 63.1 oz	incl. Drive	Frame Size: 400 mm 15.75 inch	FCU Tilt Limit: no limit	Field Elevation: 500 m ASL 1640 ft ASL	Air Temperature: 25 °C 77 °F	Pressure (QNH): 1013 hPa 29.91 inHg
Battery Cell	Type (Cont. / max. C) - charge state: LiPo 5000mAh - 20/30C - full	Configuration: 4 S 1 P	Cell Capacity: 5000 mAh 5000 mAh total	max. discharge: 85%	Resistance: 0.0045 Ohm	Voltage: 3.7 V	C-Rate: 20 C cont. 30 C max	Weight: 119 g 4.2 oz	
Controller	Type: max 30A	Current: 30 A cont. 30 A max	Resistance: 0.008 Ohm	Weight: 40 g 1.4 oz	Accessories	Current drain: 0 A	Weight: 0 g 0 oz		
Motor	Manufacturer - Type (Kv): Tiger Motor MT2216-V2.0-800 (800)	KV (w/o torque): 800 rpm/V	no-load Current: 0.3 A @ 10 V	Limit (up to 15s): 260 W	Resistance: 0.175 Ohm	Case Length: 34 mm 1.34 inch	# mag. Poles: 14	Weight: 75 g 2.6 oz	
Propeller	Type - yoke twist: Graupner E Prop - 0°	Diameter: 10 inch 254 mm	Pitch: 5 inch 127 mm	# Blades: 2	PConst / TConst: 1.10 / 1.0	Gear Ratio: 1 : 1	calculate		



Load: 11,68 C



Hover Flight Time: 14,5 min



electric Power: 212,1 W



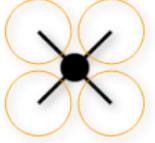
est. Temperature: 42 °C



Thrust-Weight: 2,1



specific Thrust: 6,52 g/W

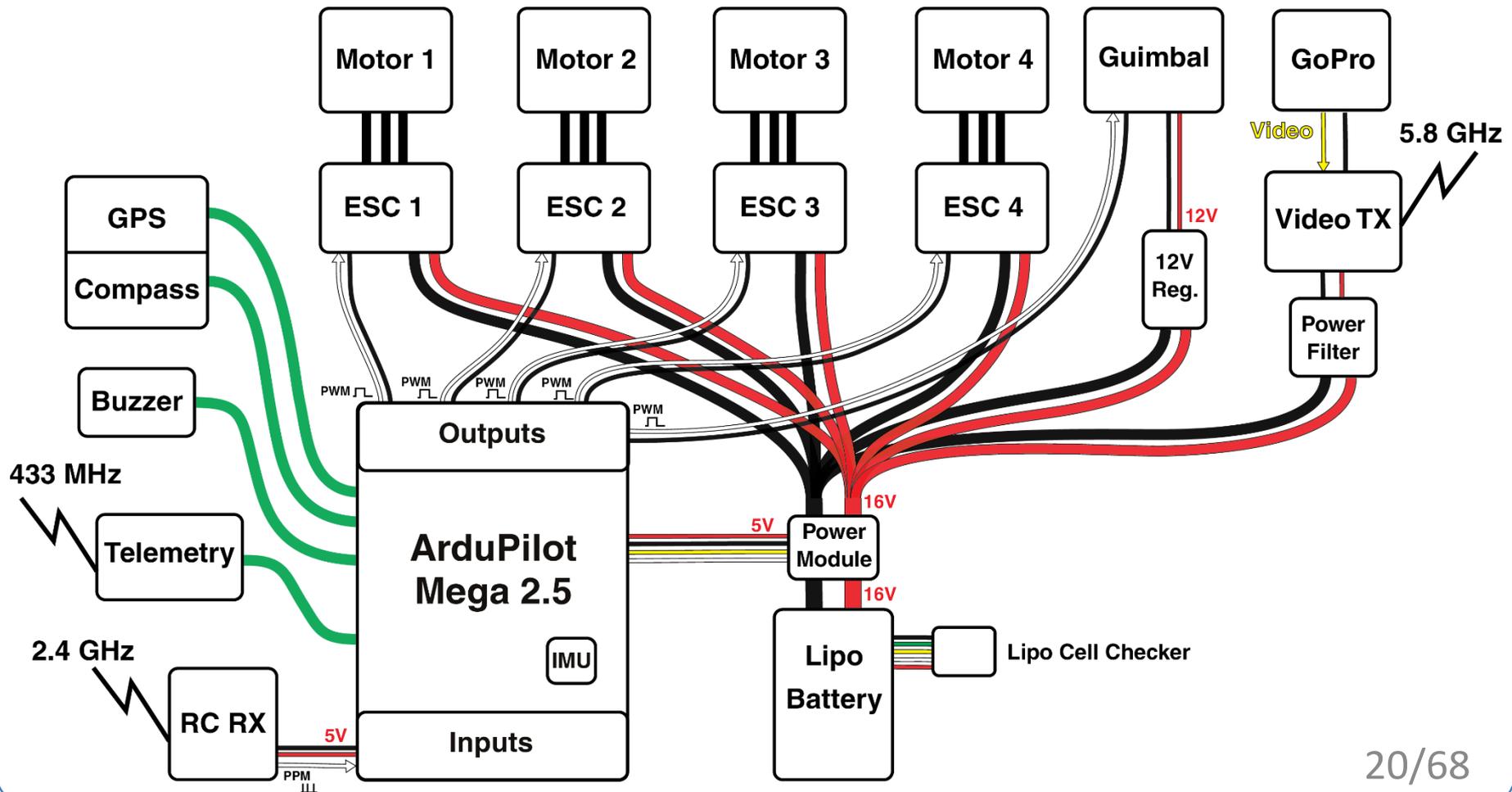


Configuration

Remarks:	Battery	Motor @ Optimum Efficiency	Motor @ Maximum	Motor @ Hover	Total Drive	Multicopter
	Load: 11.68 C	Current: 5.68 A	Current: 14.60 A	Current: 4.41 A	Drive Weight: 1030 g	All-up Weight: 1790 g
	Voltage: 14.64 V	Voltage: 15.23 V	Voltage: 14.52 V	Voltage: 15.34 V	36.3 oz	63.1 oz

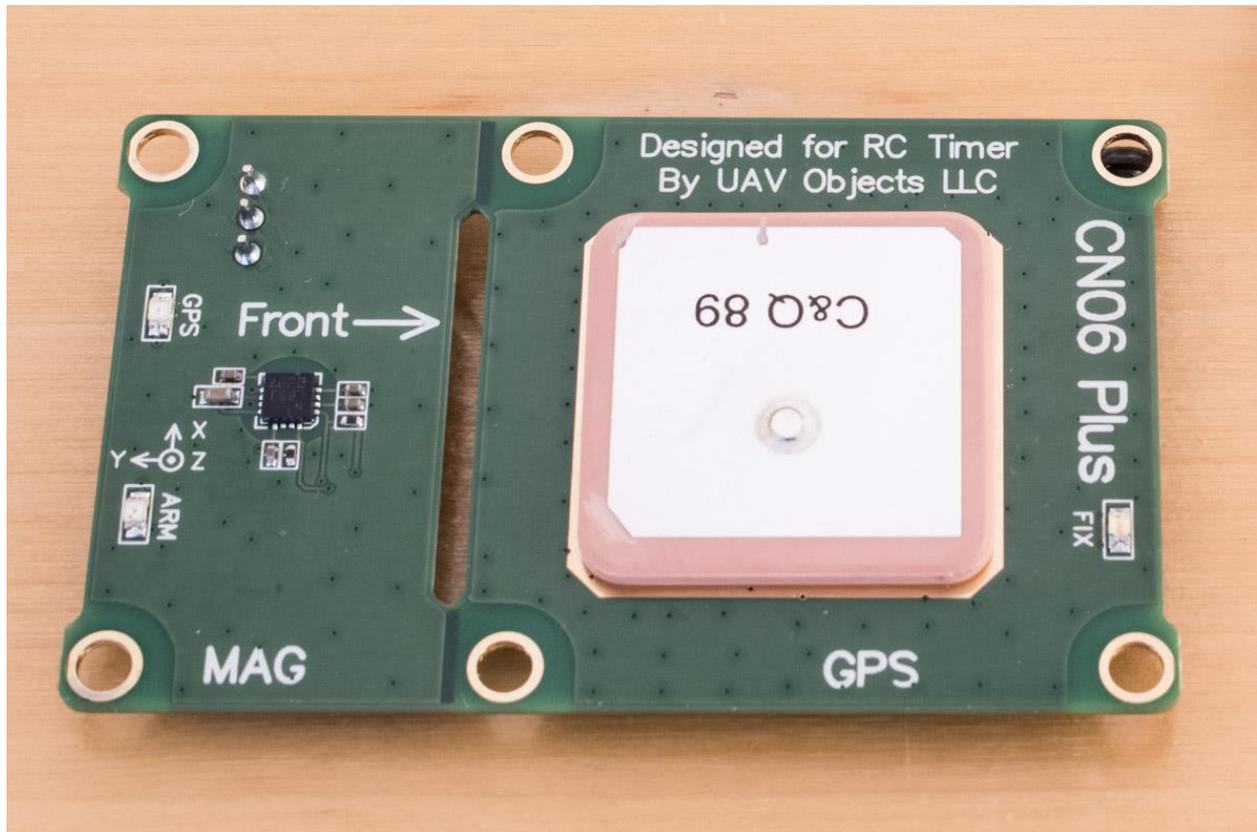
II. Composants utilisés

○ Schéma complet :



II. Composants utilisés

○ GPS et magnéto externe :



- Magnéto externe
→ remplace le magnéto interne de l'APM pour éviter les interférences
- GPS → Modes de vol autonomes
- Prix : ~ 15 €

II. Composants utilisés

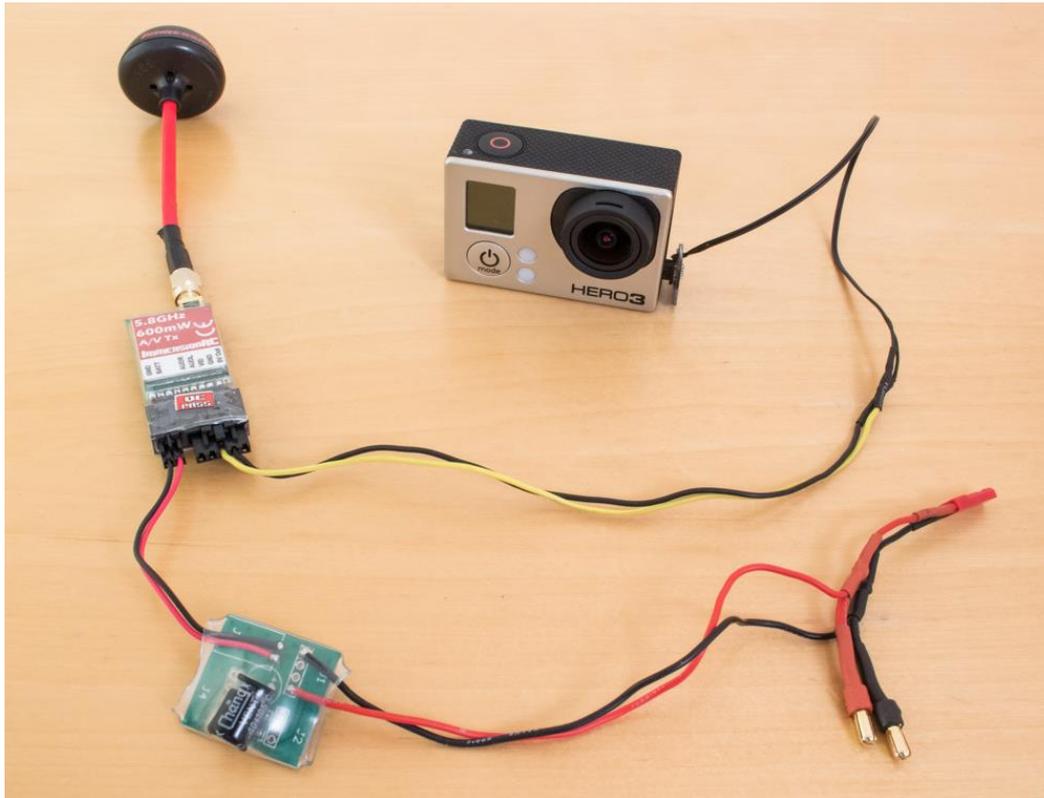
○ Télémétrie :



- Renvoie les données du drone en temps réel sur PC ou Smartphone
- Protocole MAVLink
- 433 MHz
- Portée : ~ 1 km
- Prix : ~ 25 €

II. Composants utilisés

○ Transmission vidéo :



- GoPro 3 Black (2.7K 30fps, ~ 200 € d'occasion)
- ImmersionRC 5.8 Ghz (~ 65 €)
- Portée : ~ 1 km

II. Composants utilisés

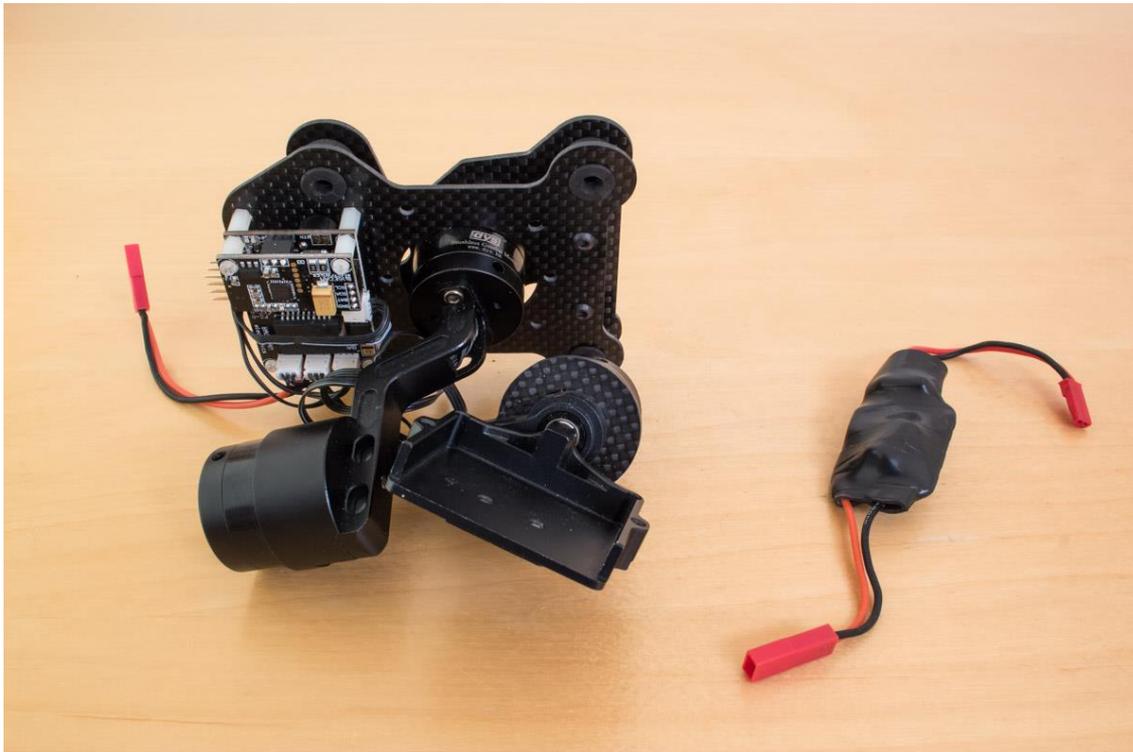
○ Lunettes :



- FatShark Attitude V2
- Résolution : 640 X 480 VGA
- Prix : ~ 350 €

II. Composants utilisés

○ Nacelle stabilisée et régulateur 12 V :



- DYS Smart3 (3 axes)
- Conçue pour la GoPro 3/4
- Stabilisation sur 3 axes
- Contrôle de l'orientation (axes lacet et tangage)
- Poids : 240 g
- Prix : ~ 150 €

III. Design du châssis

- Inspiré du tricoptère :



- Construit à partir du kit de [RCExplorer](#)
- Voir construction sur mon [site](#)

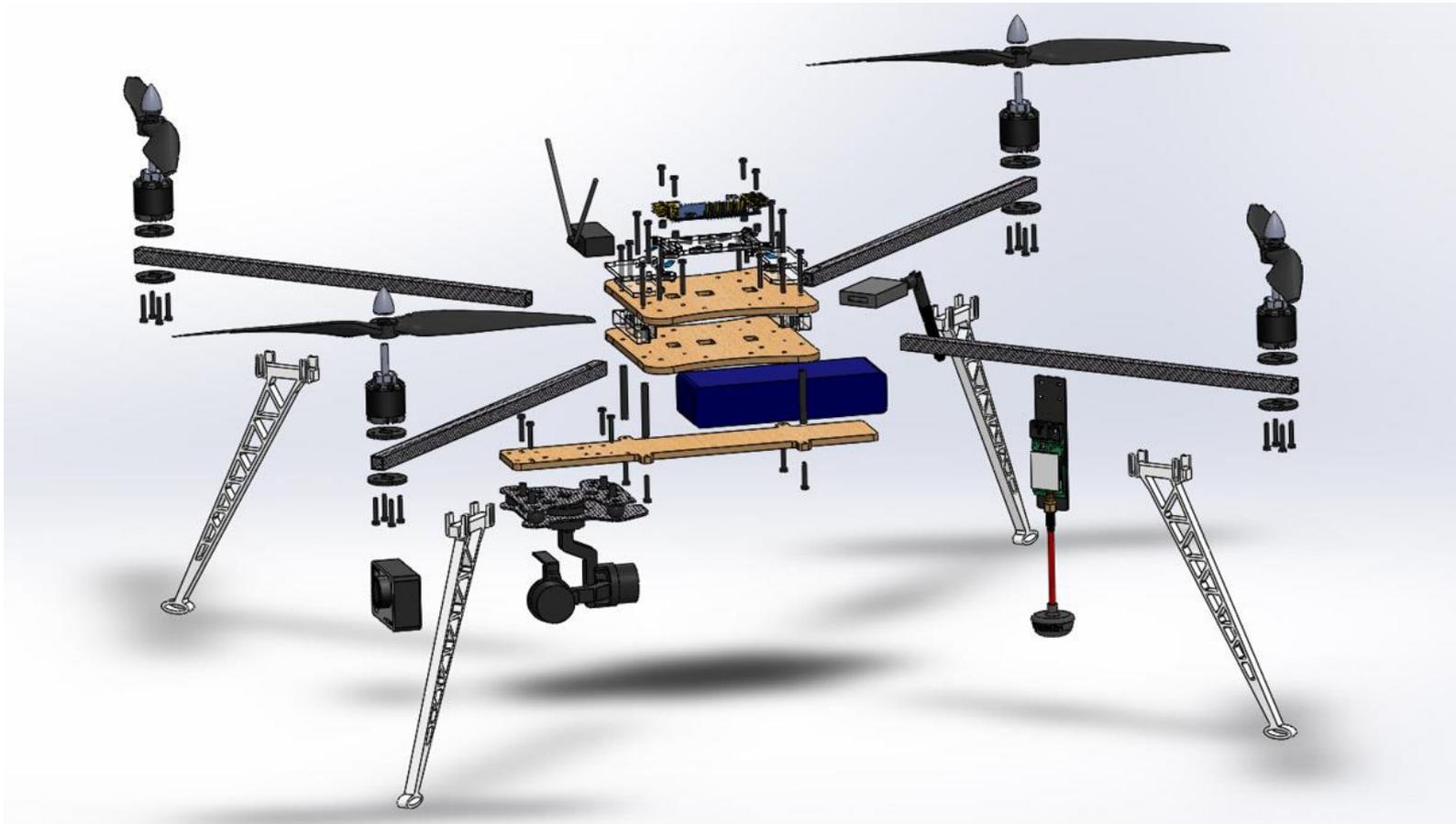
III. Design du châssis

- Réalisé sous SolidWorks :



III. Design du châssis

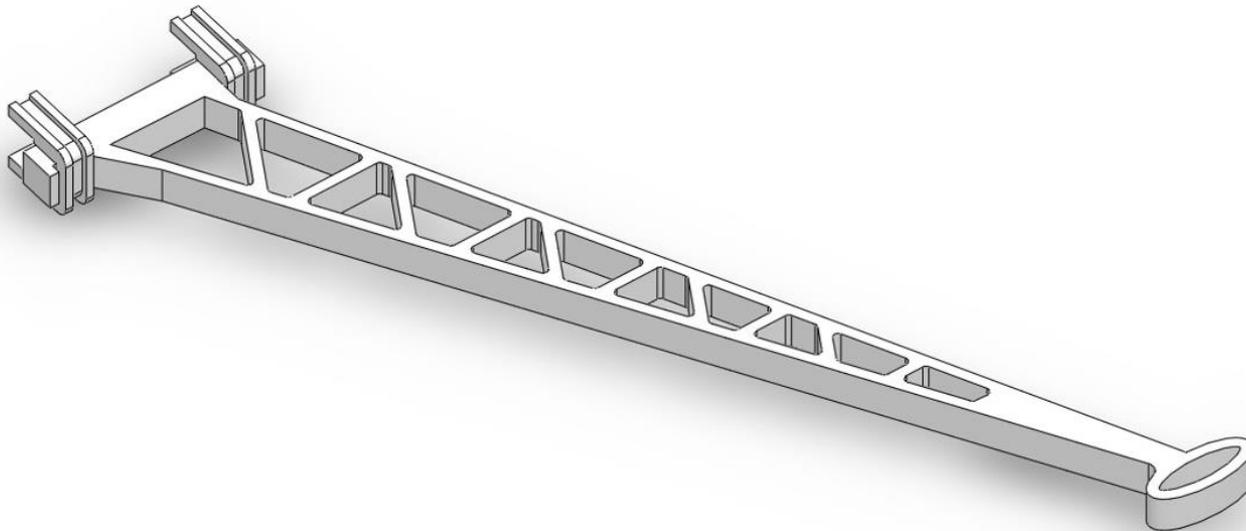
- Vue éclatée :



➤ Conçu pour être réalisé au [SoFab](#) (découpeuse laser et impression 3D)

III. Design du châssis

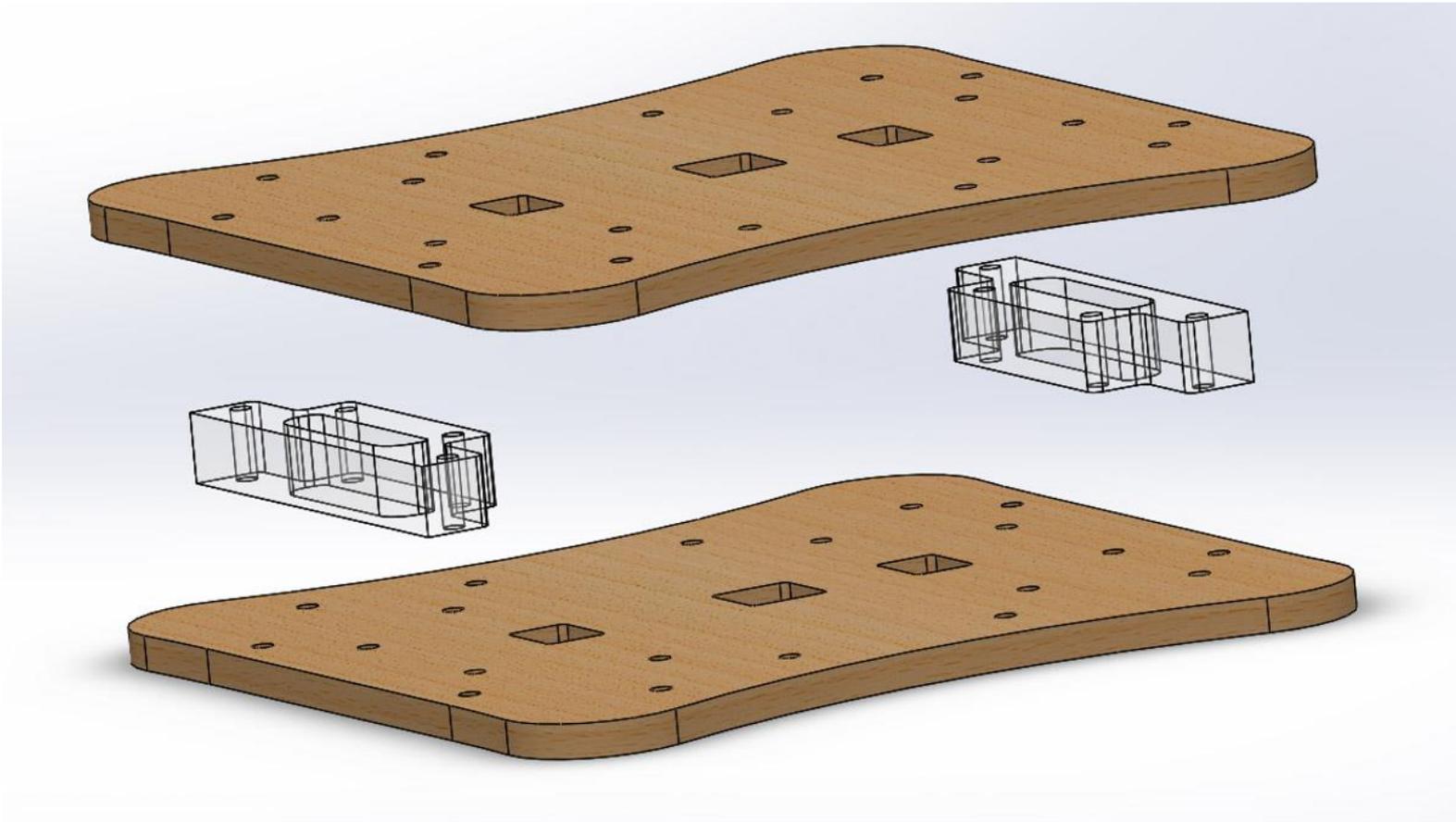
- Train d'atterrissage :



- Inspiré des drones MikroKopter
- Imprimé en 3D avec de l'ABS

III. Design du châssis

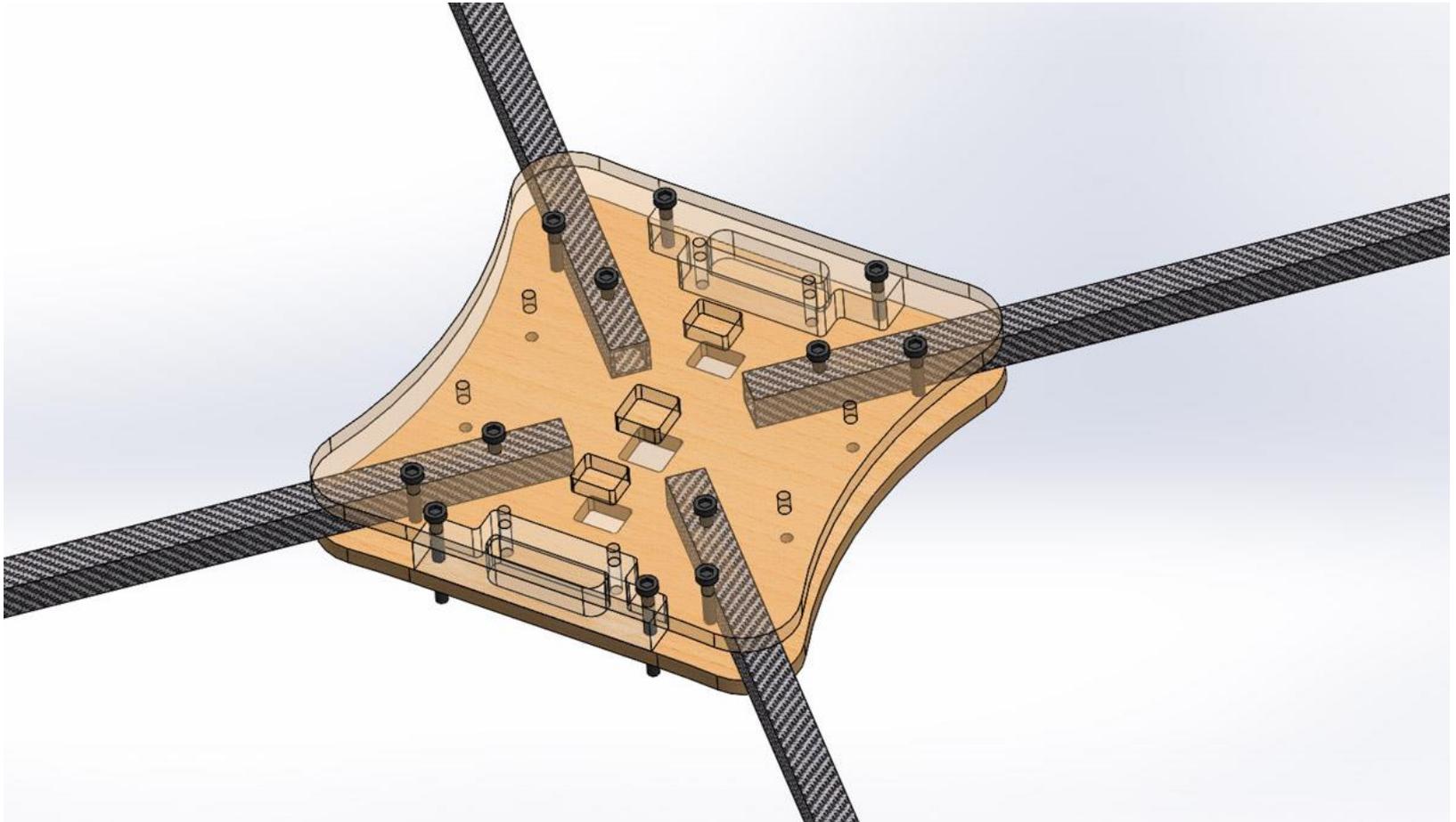
- Les deux plaques principales et cales :



➤ Découpé au laser dans du contreplaqué et du plexiglas (PMMA coulé)

III. Design du châssis

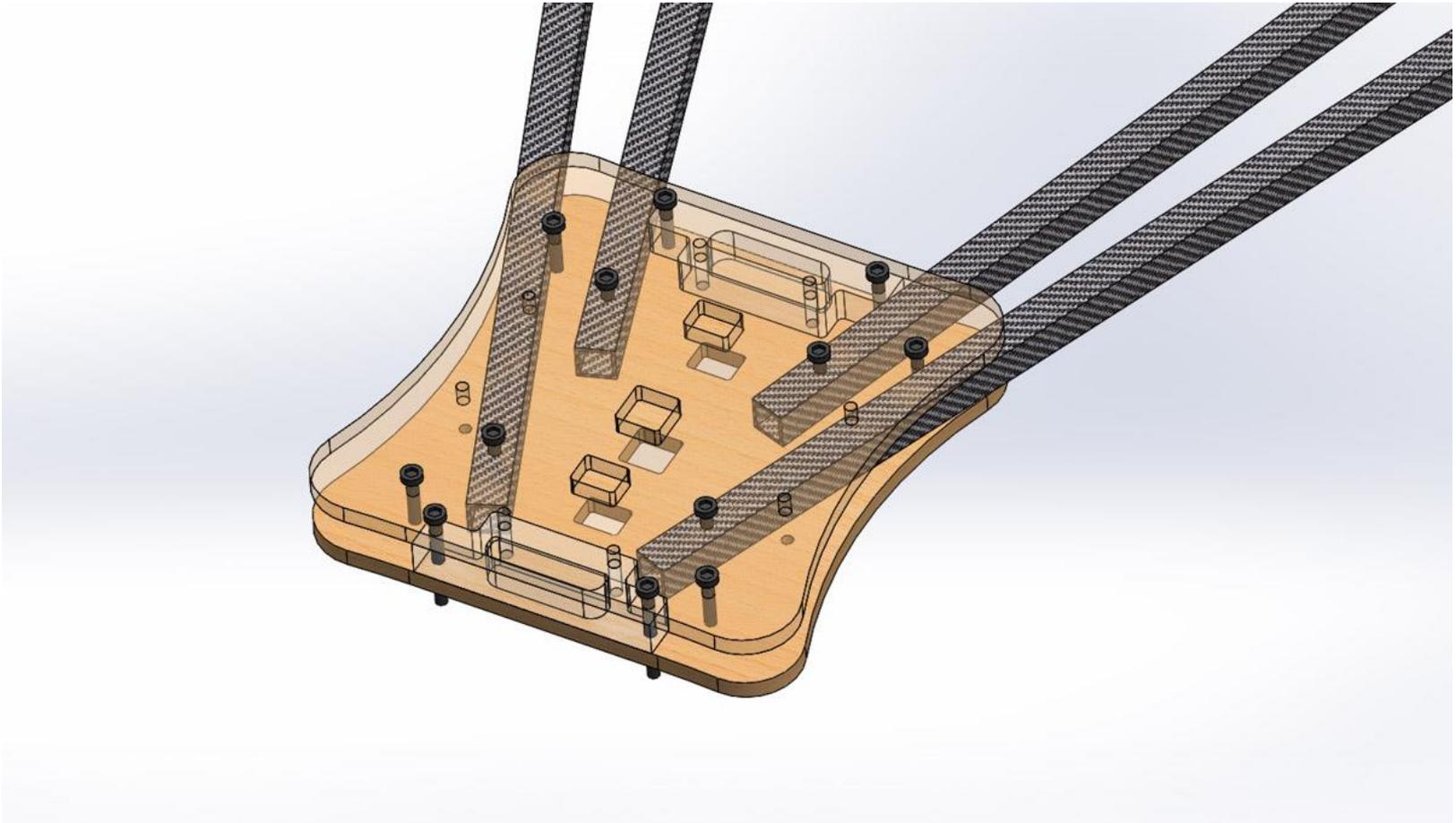
- Installation des bras :



➤ Les bras viennent en buté sur 4 vis

III. Design du châssis

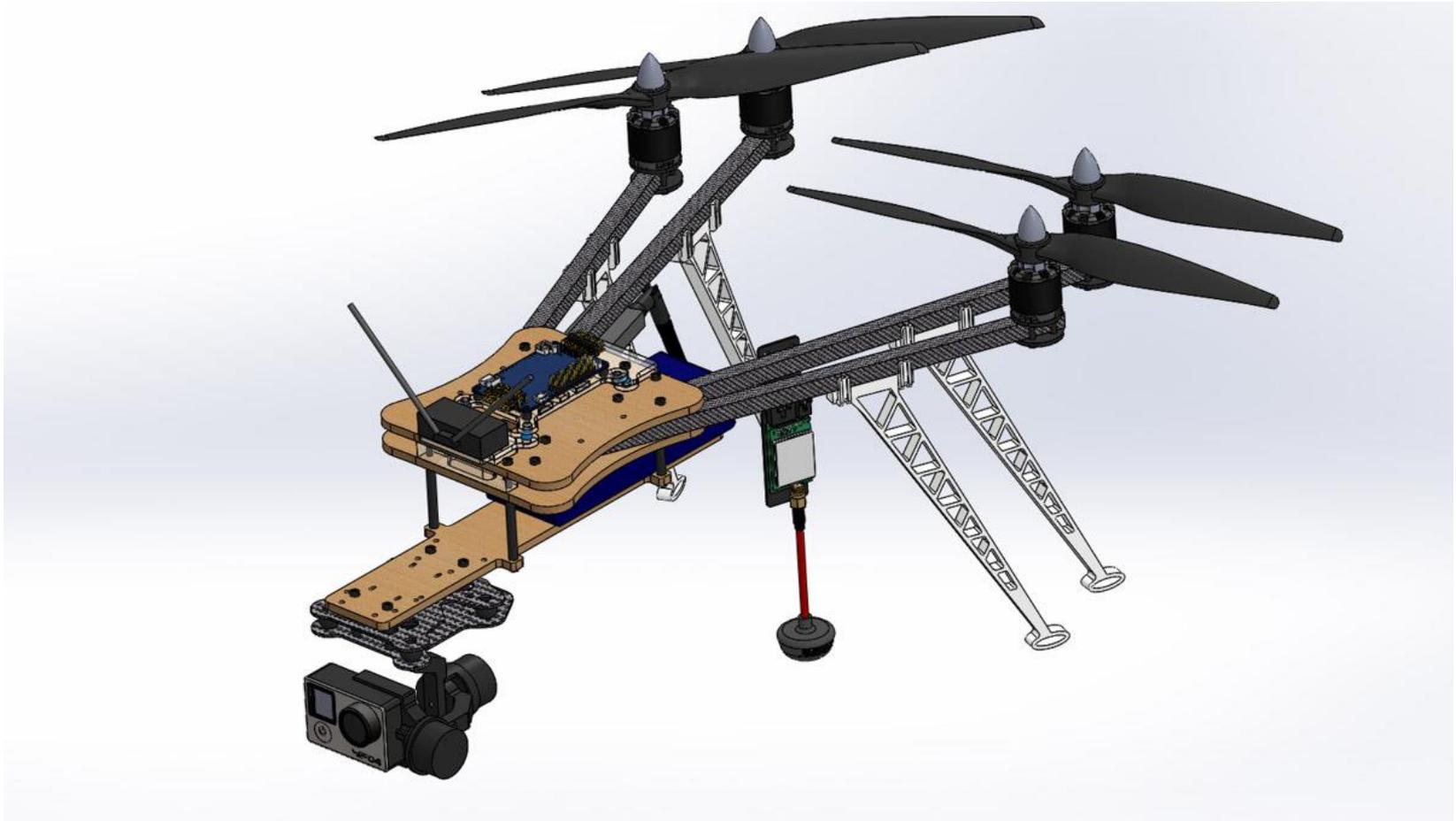
- Les bras peuvent être pliés :



- Permet aussi d'amortir les chocs en cas de crash

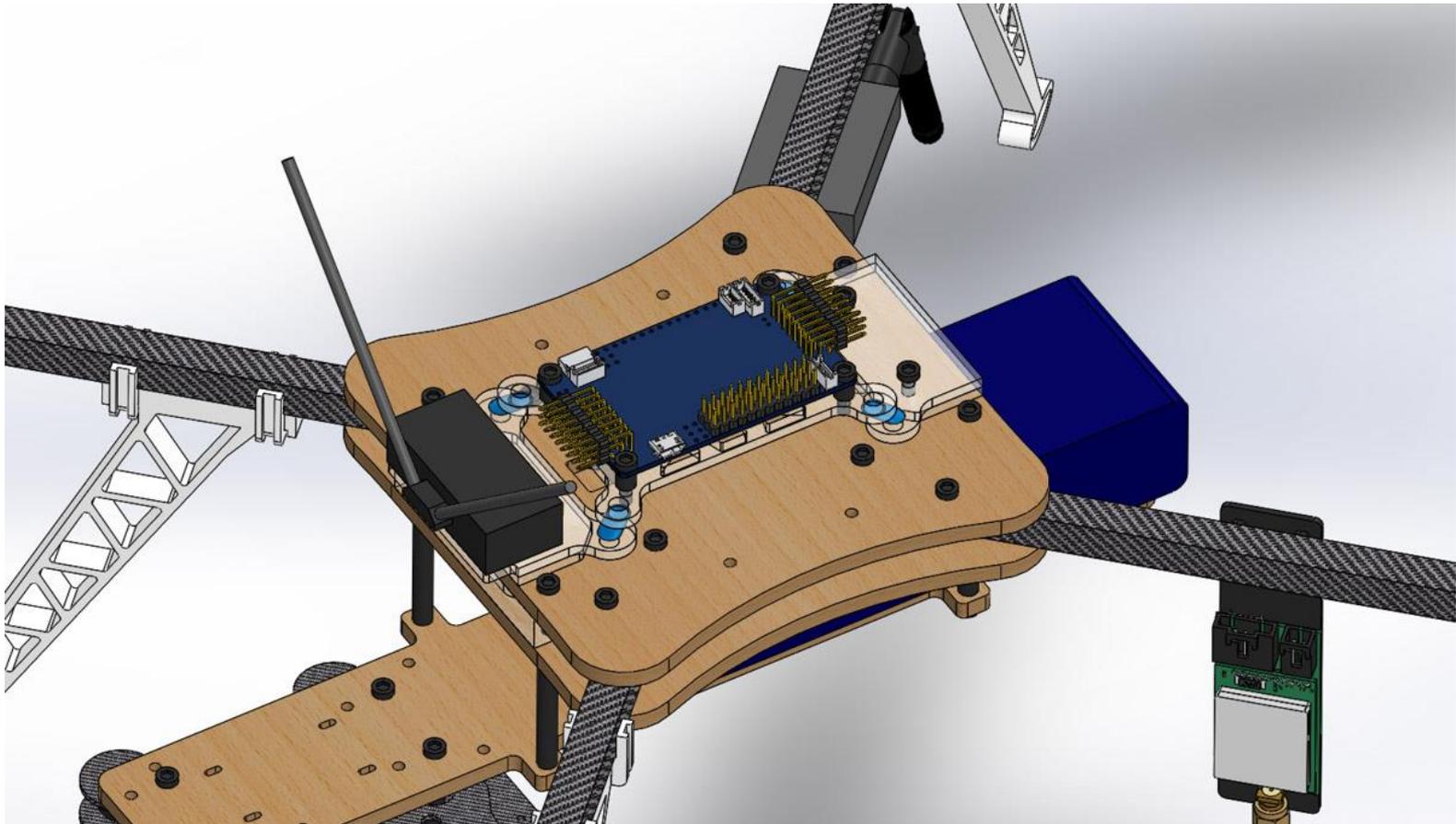
III. Design du châssis

- Les bras peuvent être pliés :



III. Design du châssis

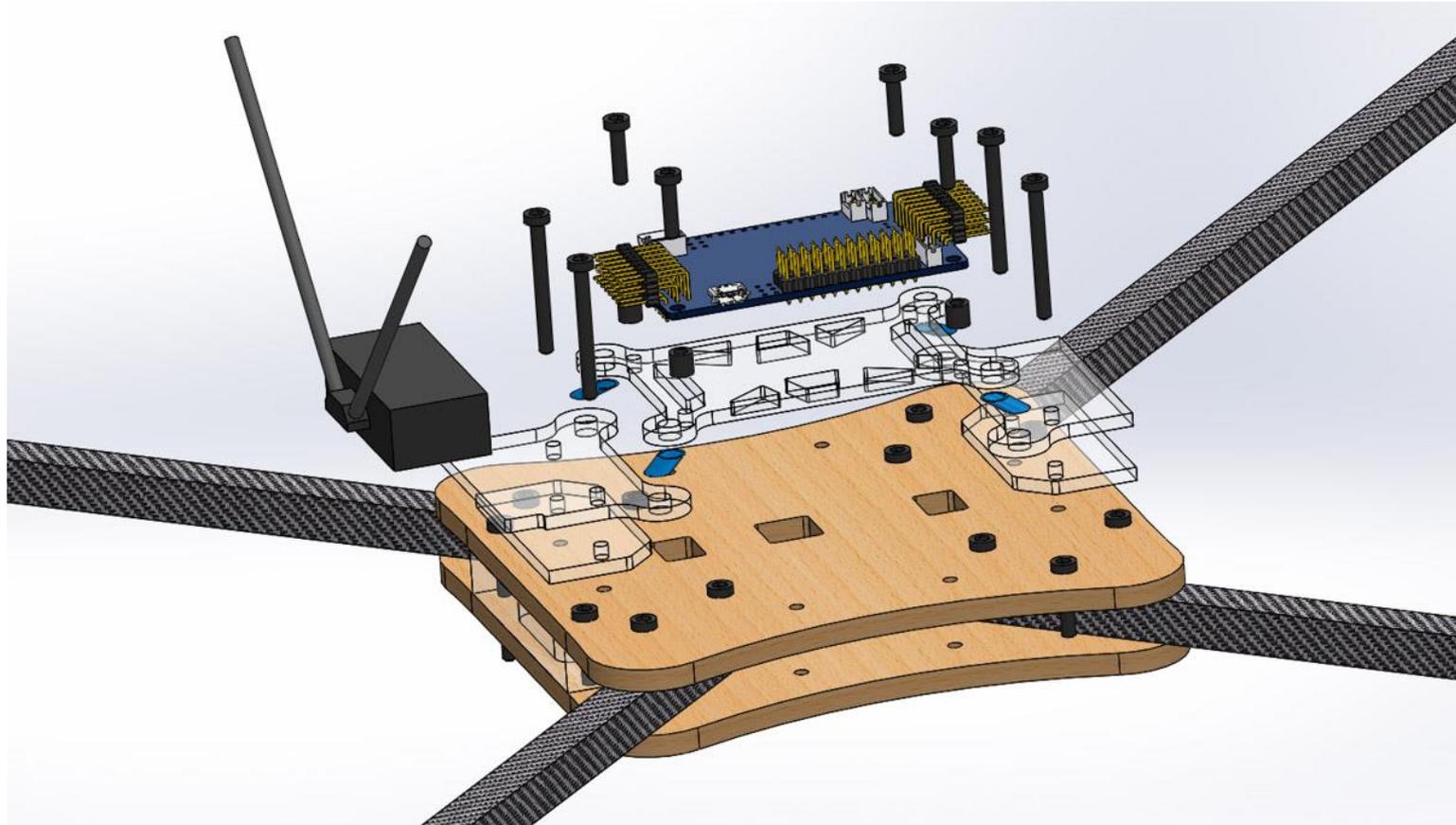
- Plateforme anti-vibration pour l'APM :



➤ Découpé au laser dans du plexiglass (PMMA coulé)

III. Design du châssis

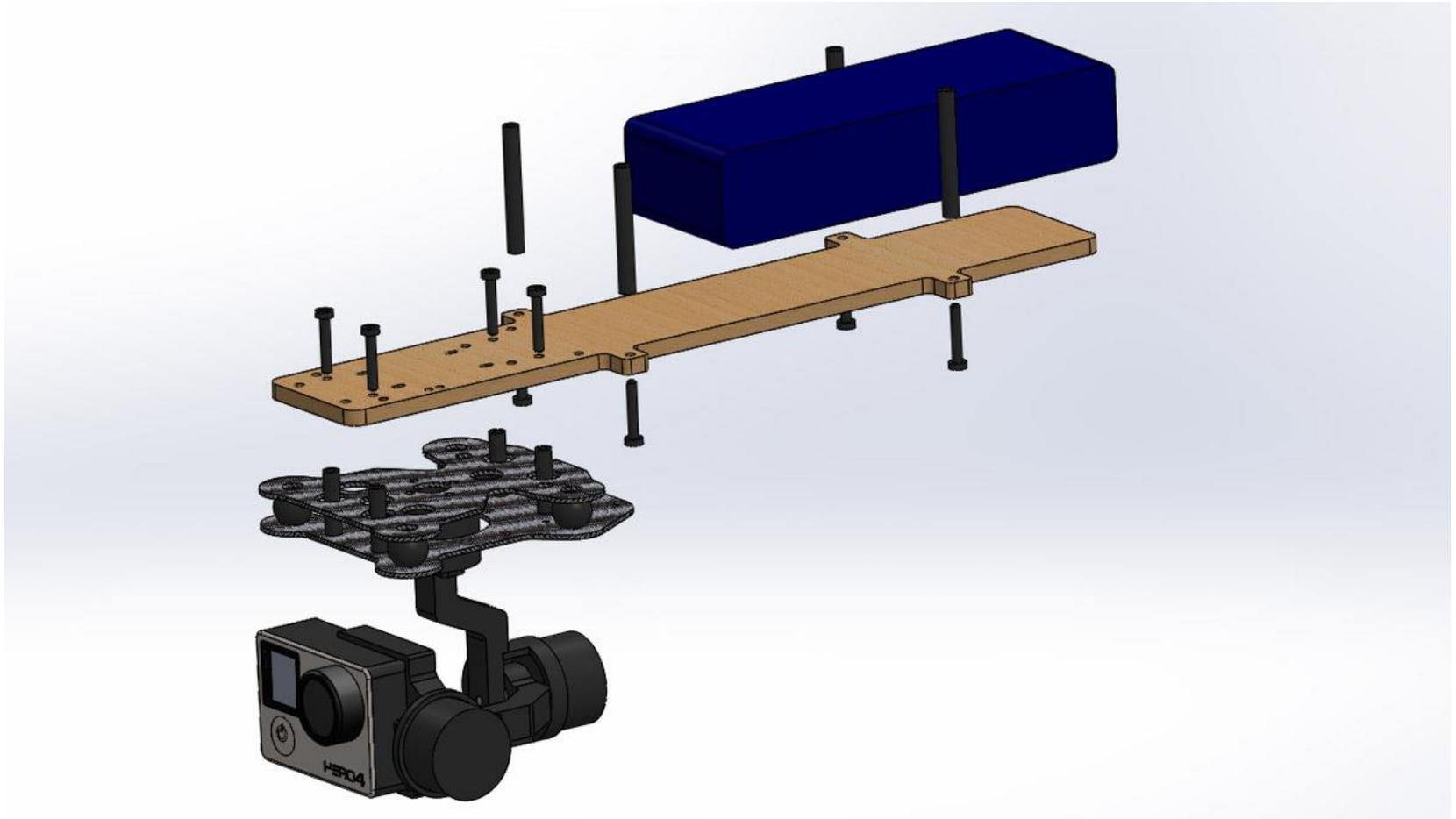
- Plateforme anti-vibration pour l'APM :



➤ Découpé au laser dans du plexiglass (PMMA coulé)

III. Design du châssis

- Plaque pour installer la batterie et la nacelle :



➤ Découpé au laser dans du contreplaqué

IV. Construction

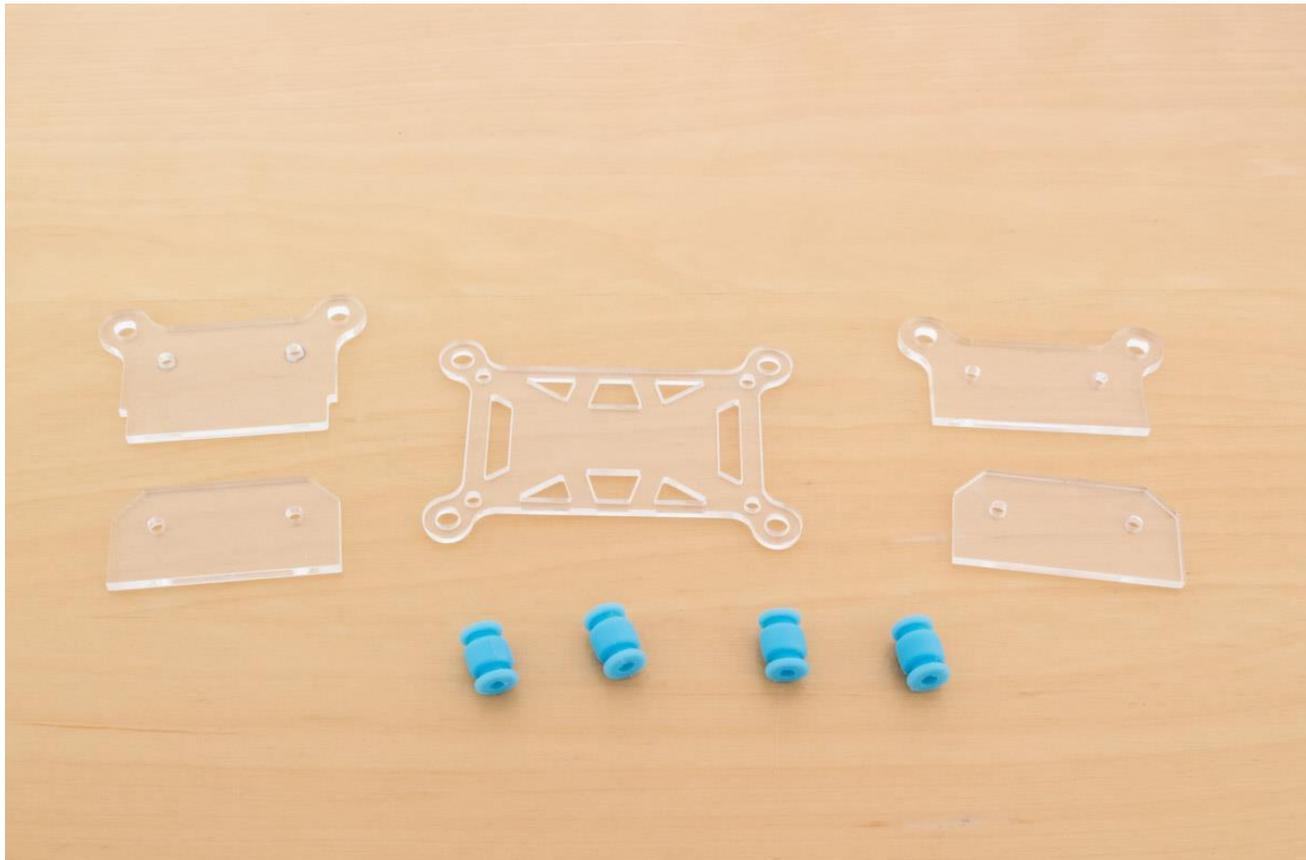
- Usinage à la découpeuse laser du [SoFab](#) :



- Trotec Speedy 100
- Matières usinées :
 - Contreplaqué 5 mm (3 plis)
 - PMMA coulé 3 et 10 mm

IV. Construction

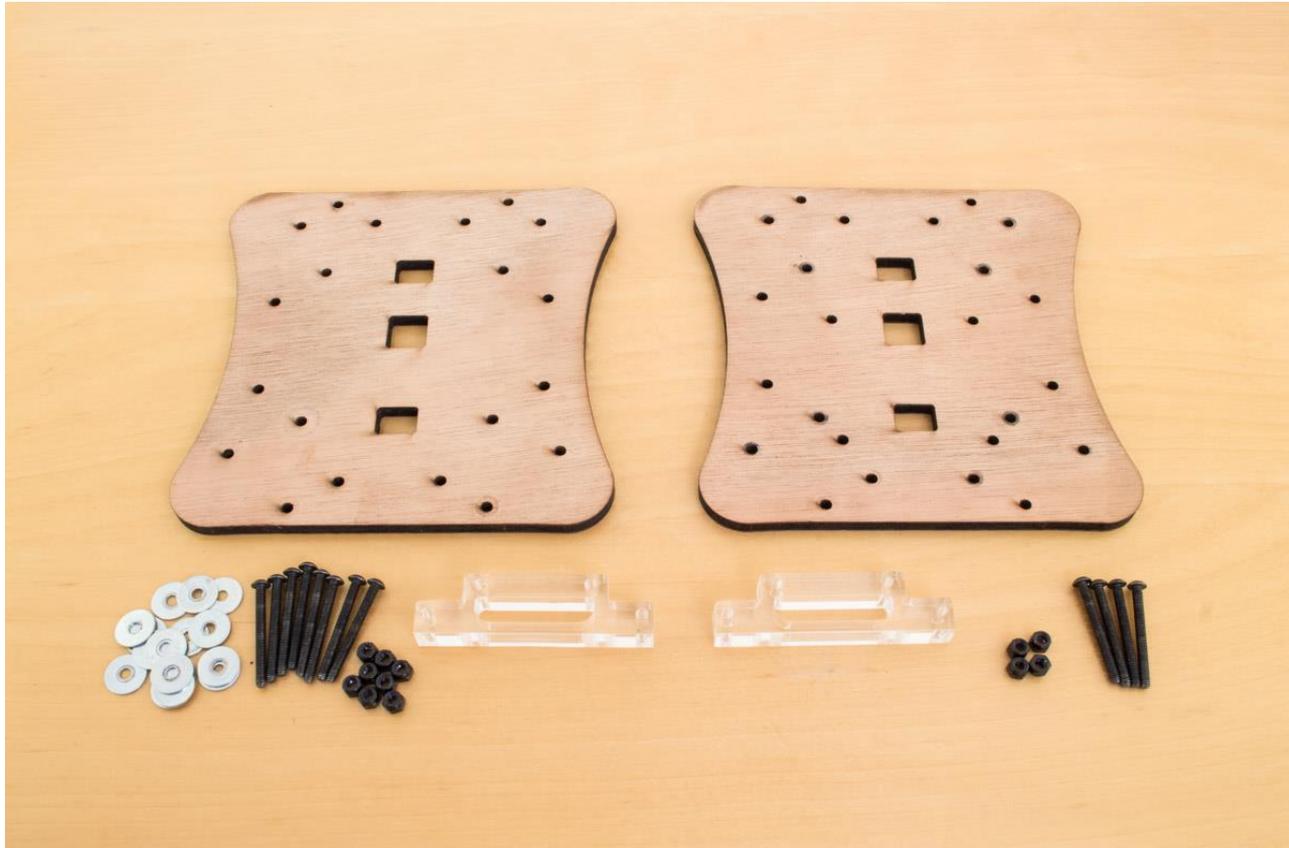
- Support anti-vibration usiné :



➤ PMMA coulé 3 mm

IV. Construction

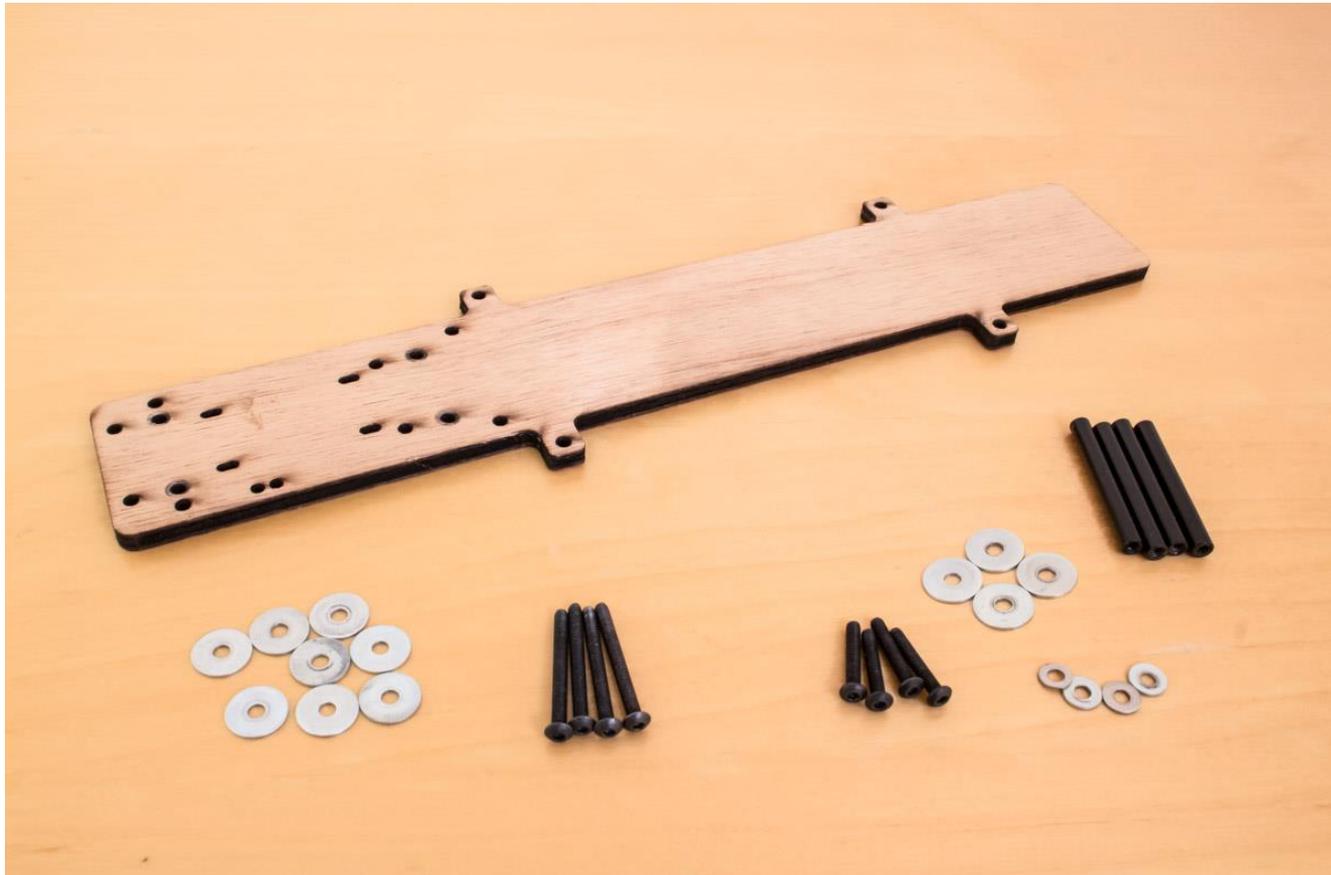
- Les 2 plaques principales et cales usinés :



- Contreplaqué 5 mm (3 plis)
- PMMA coulé 10 mm

IV. Construction

- Support pour installer la batterie/nacelle usiné :



➤ Contreplaqué 5 mm (3 plis)

IV. Construction

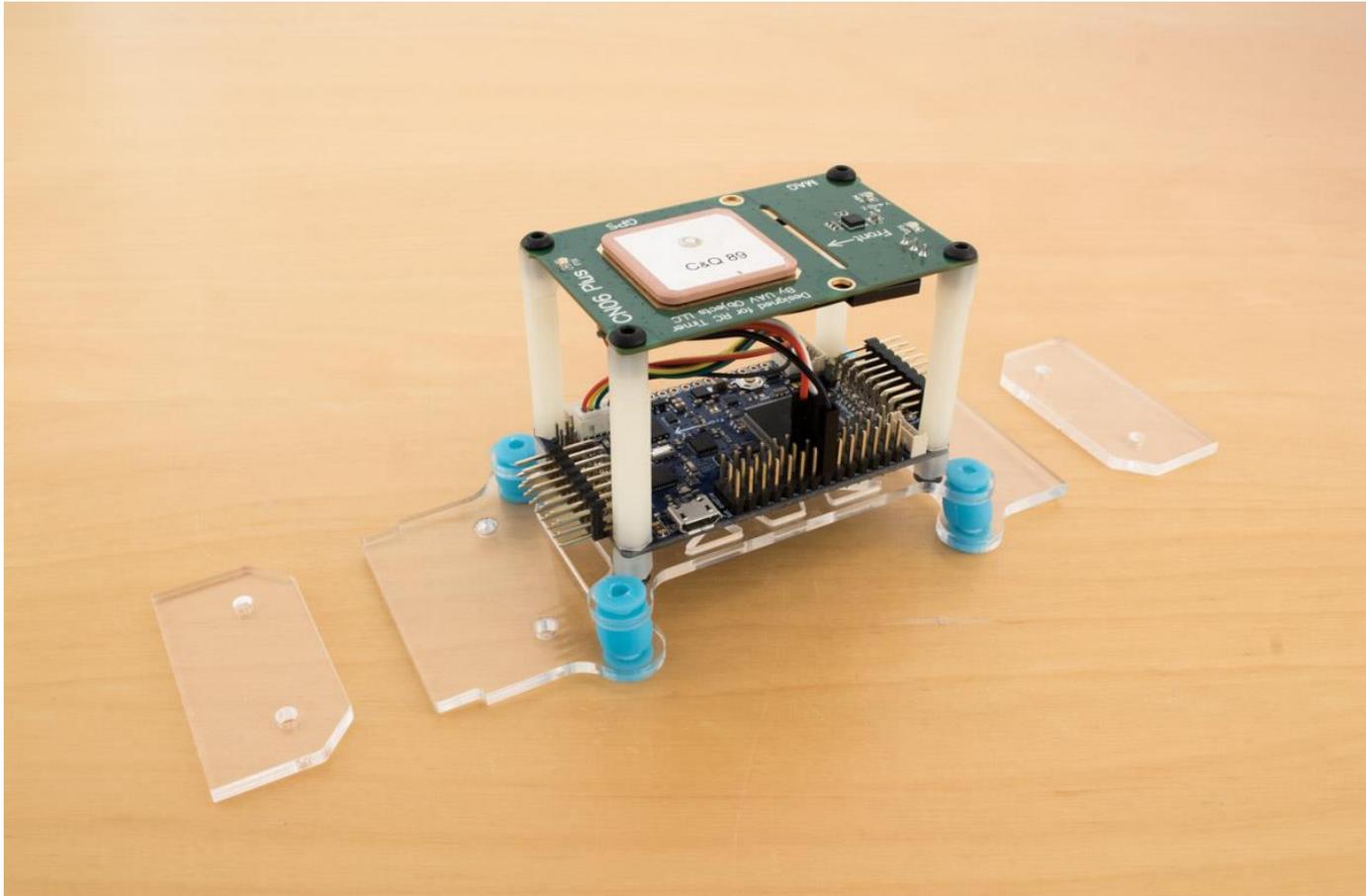
- Train d'atterrissage imprimé :



➤ Imprimé avec de l'ABS

IV. Construction

- Installation de APM/GPS sur le support anti-vibration :



IV. Construction

- Assemblage des bras :



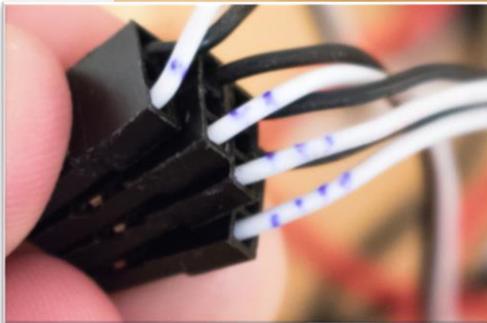
IV. Construction

- Installation du moteur :



IV. Construction

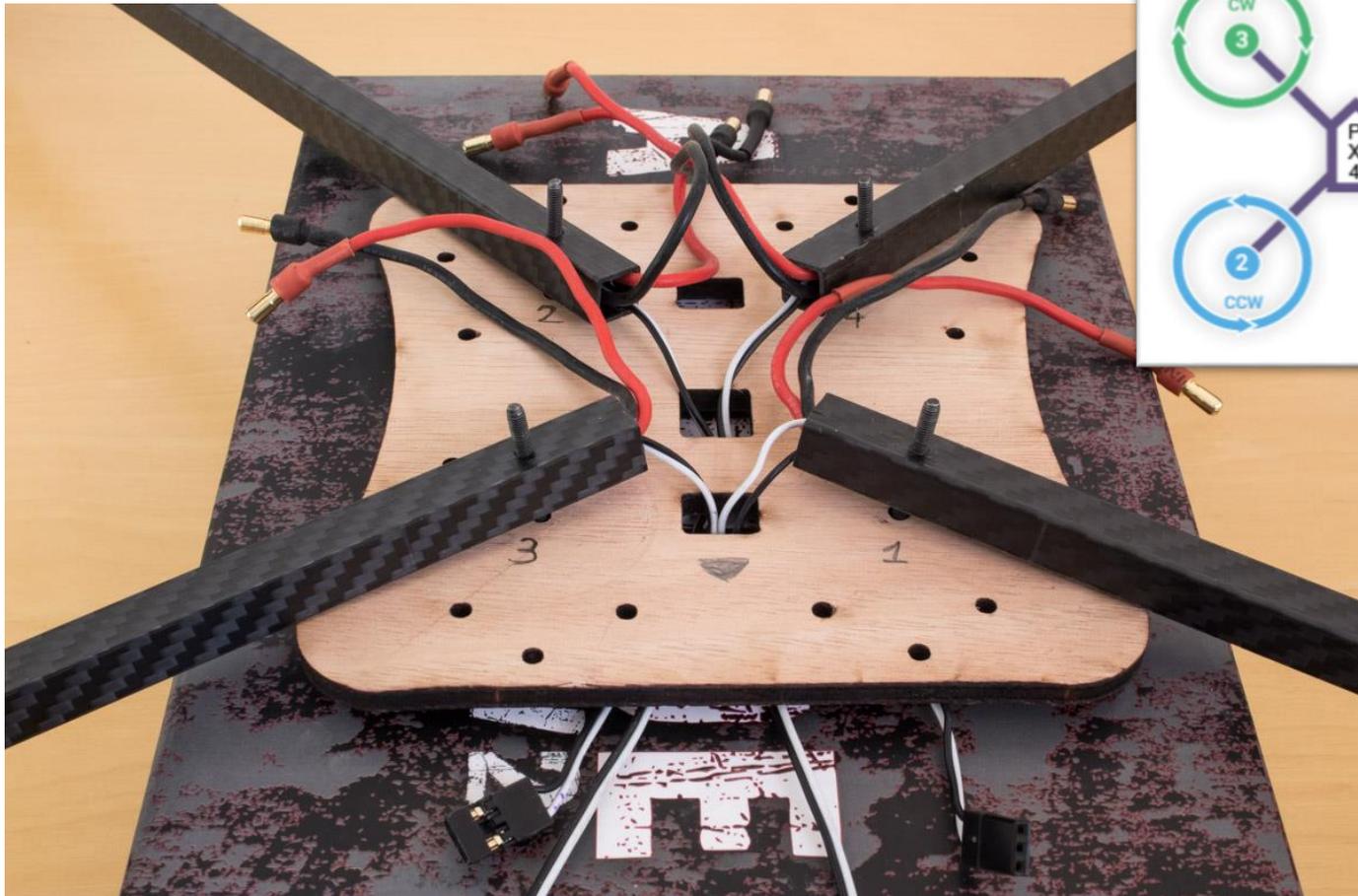
- Les 4 bras assemblés :



➤ Numérotation des câbles

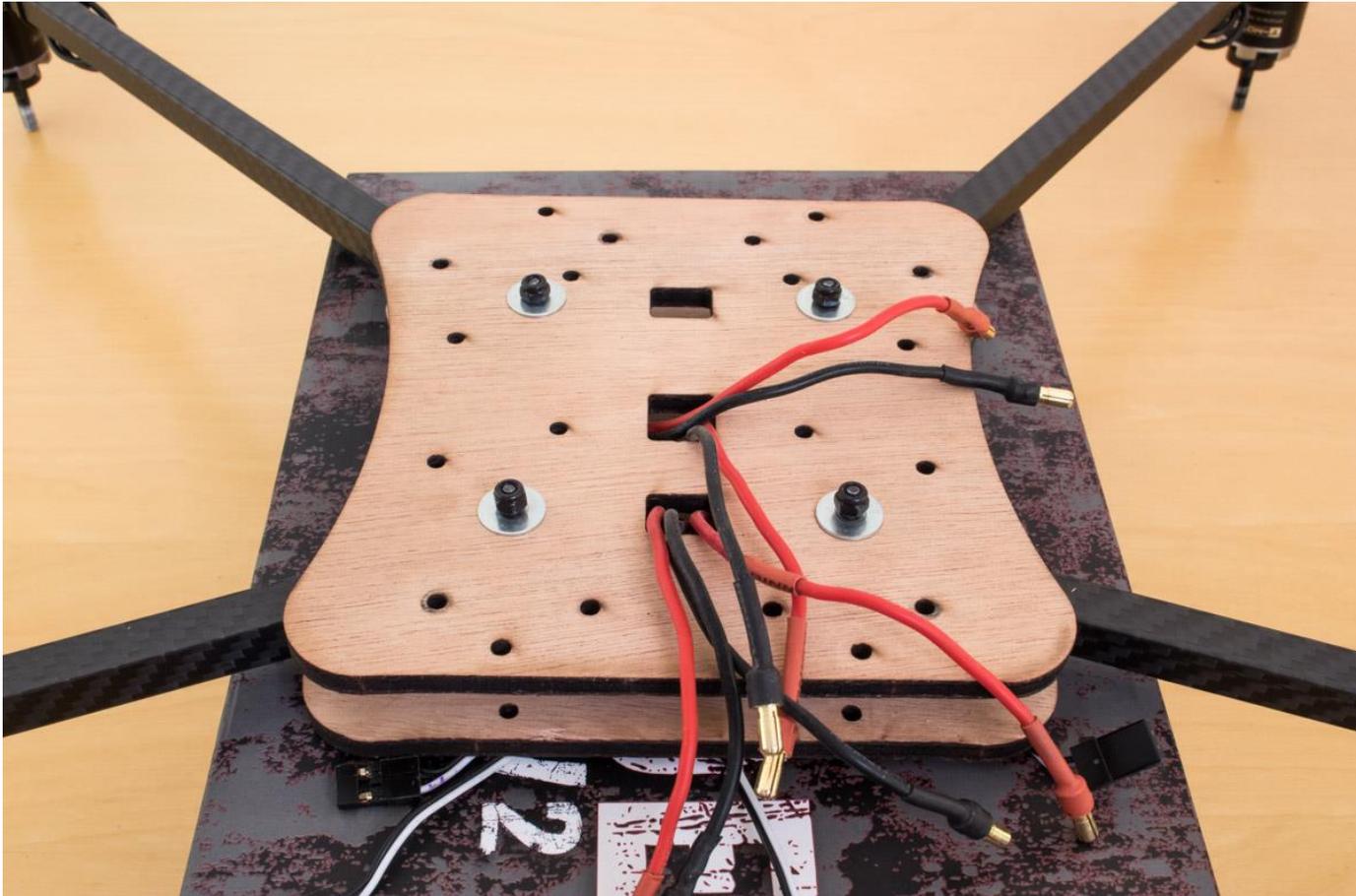
IV. Construction

- Installation des bras entre les plaques :



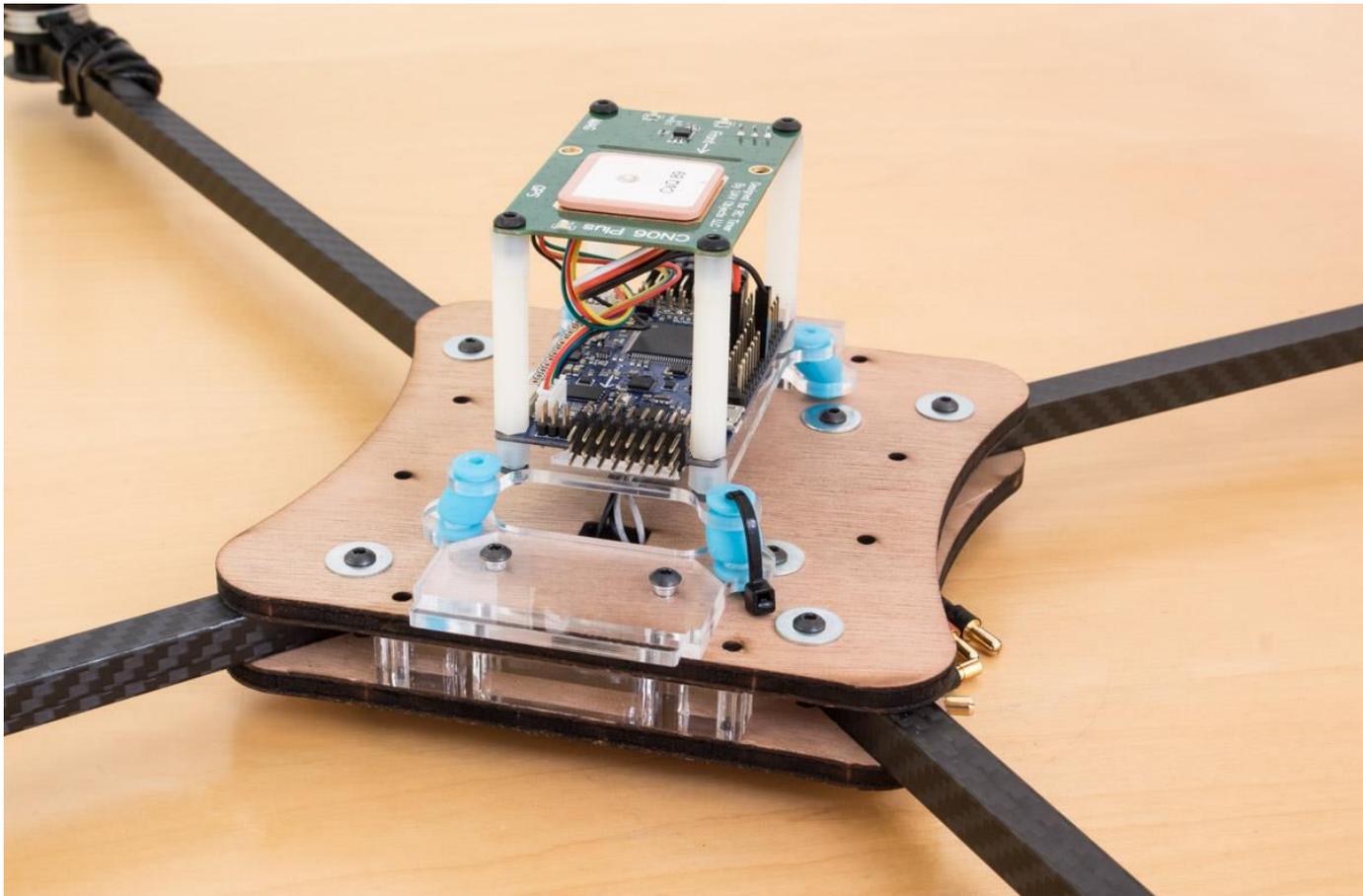
IV. Construction

- Installation des bras entre les plaques :



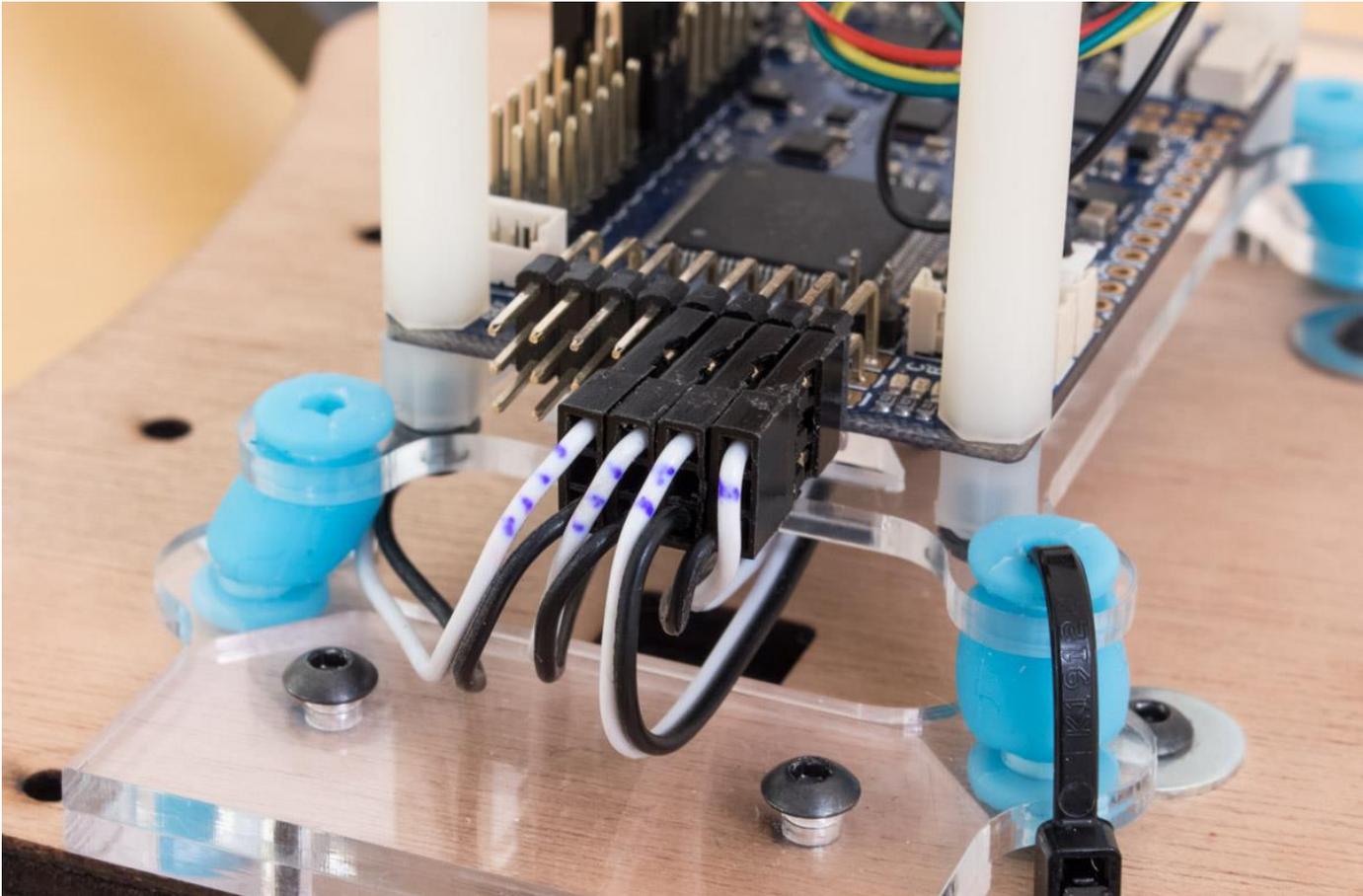
IV. Construction

- Installation de l'APM/GPS :



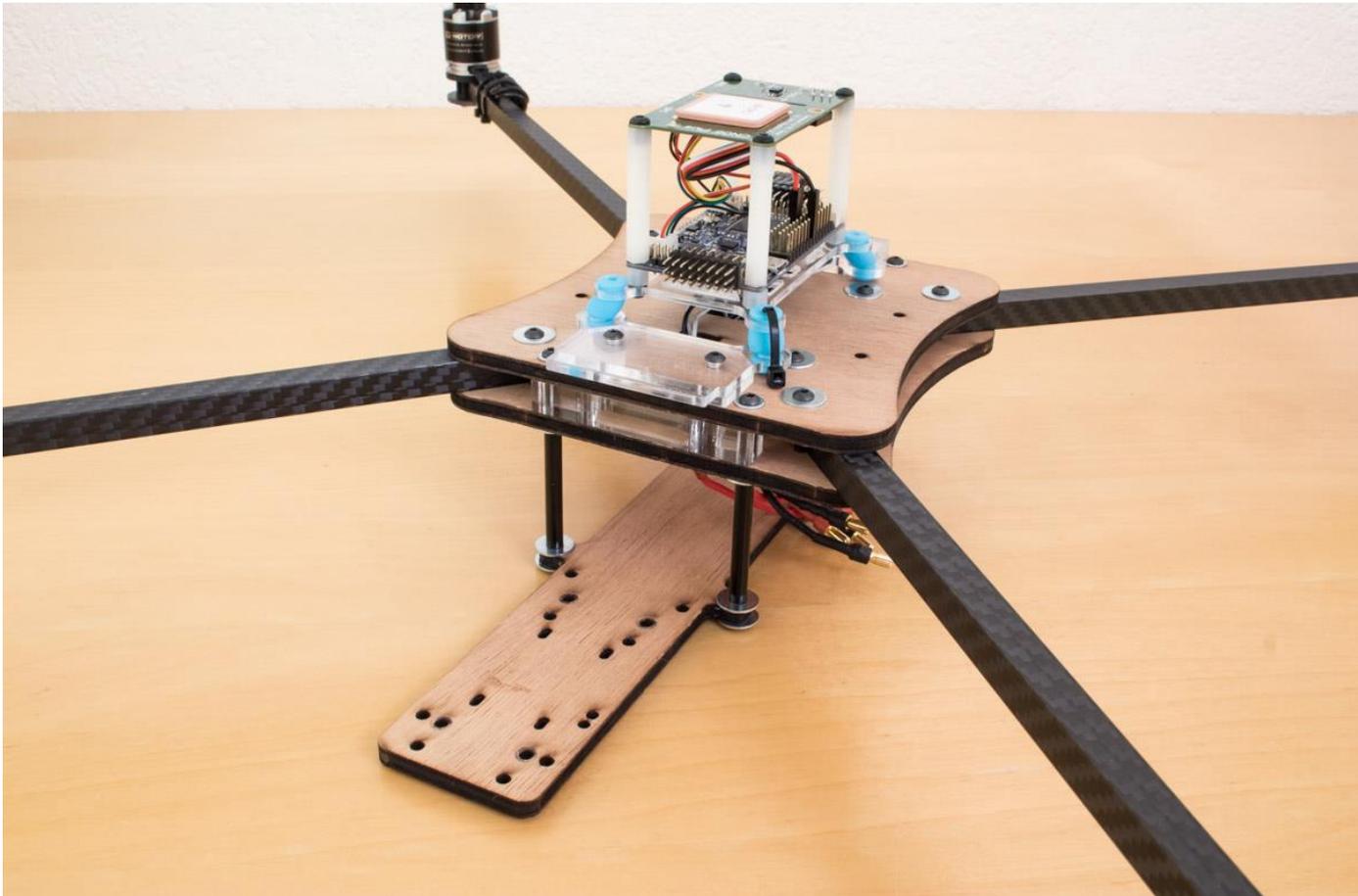
IV. Construction

- Connexion des ESCs :



IV. Construction

- Installation du support batterie/nacelle :



IV. Construction

- Installation des derniers éléments :



➤ Plus de détail sur mon [site](#)

IV. Construction

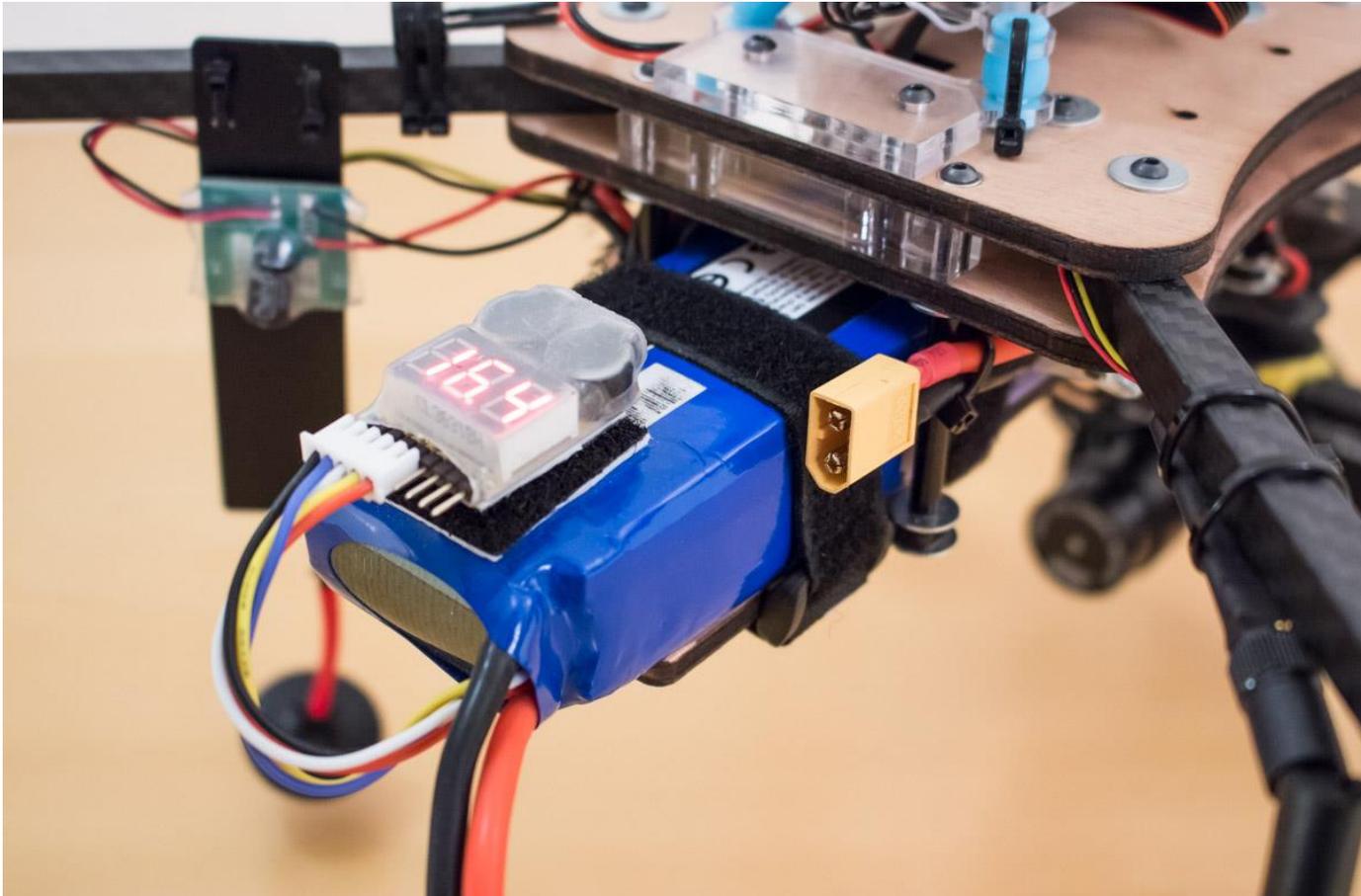
- Zoom sur la nacelle stabilisée :



- [Pièce imprimée en 3D \(jaune\)](#) pour installer la GoPro

IV. Construction

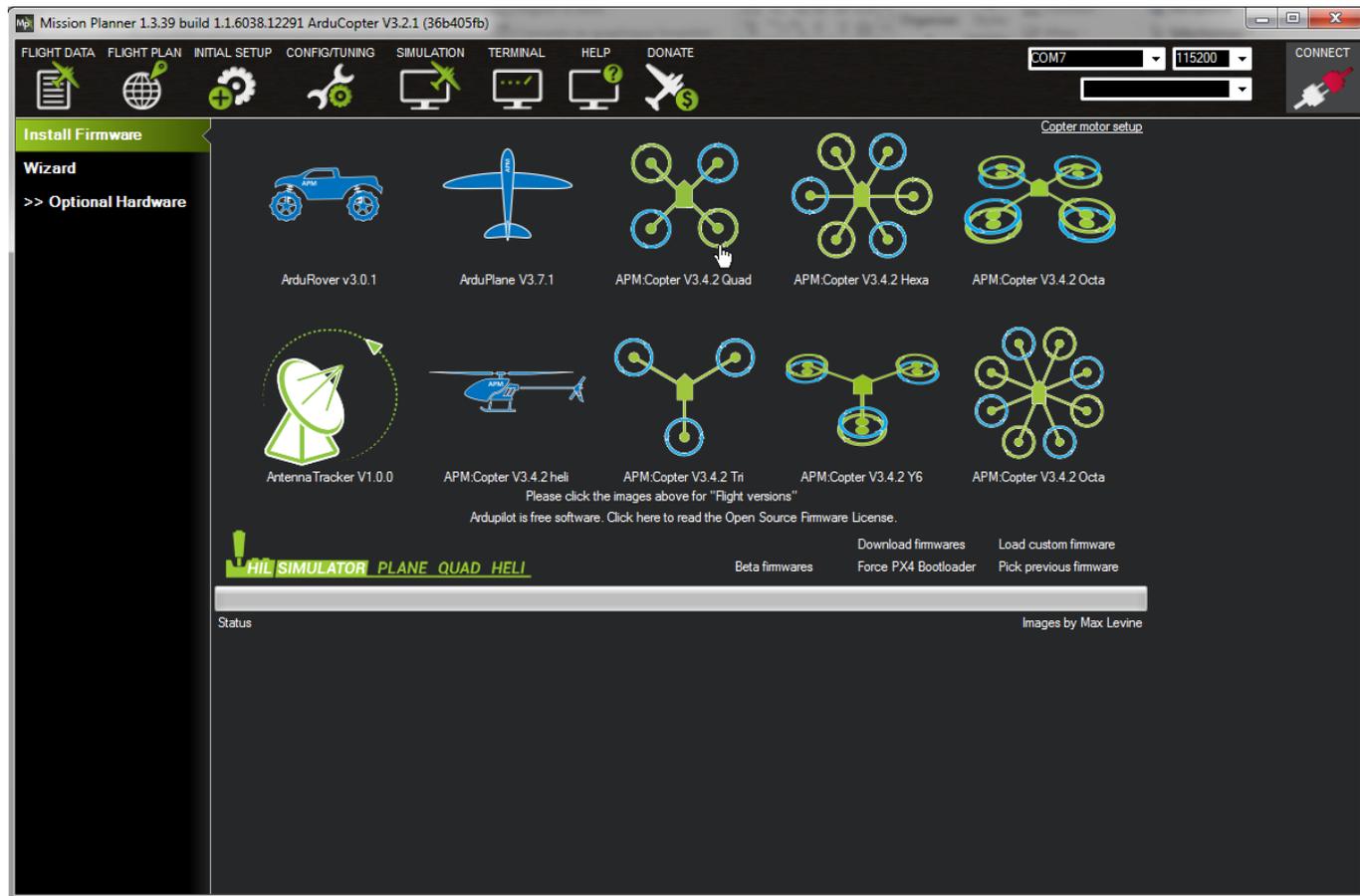
- Zoom sur l'installation de la batterie :



- Positionnée en arrière, elle permet d'équilibrer le centre de gravité

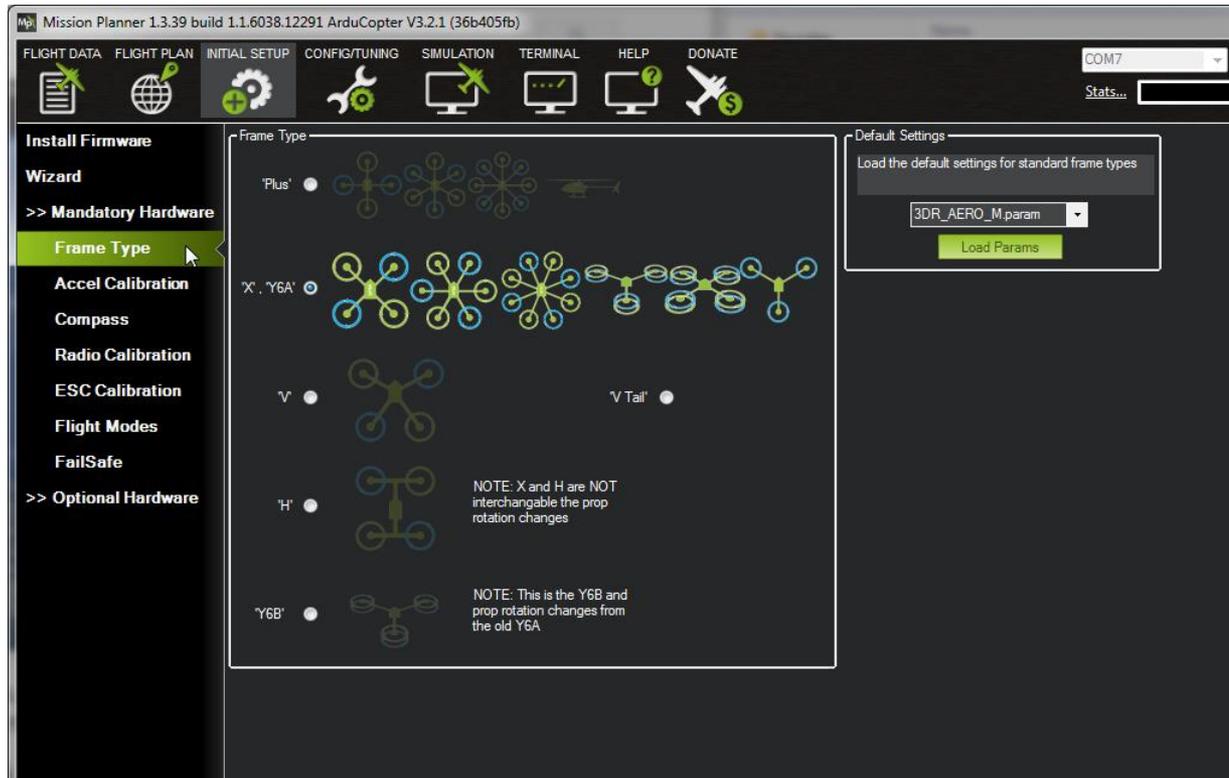
V. Utilisation d'ArduPilot

- Installation du firmware sous Mission Planner :



V. Utilisation d'ArduPilot

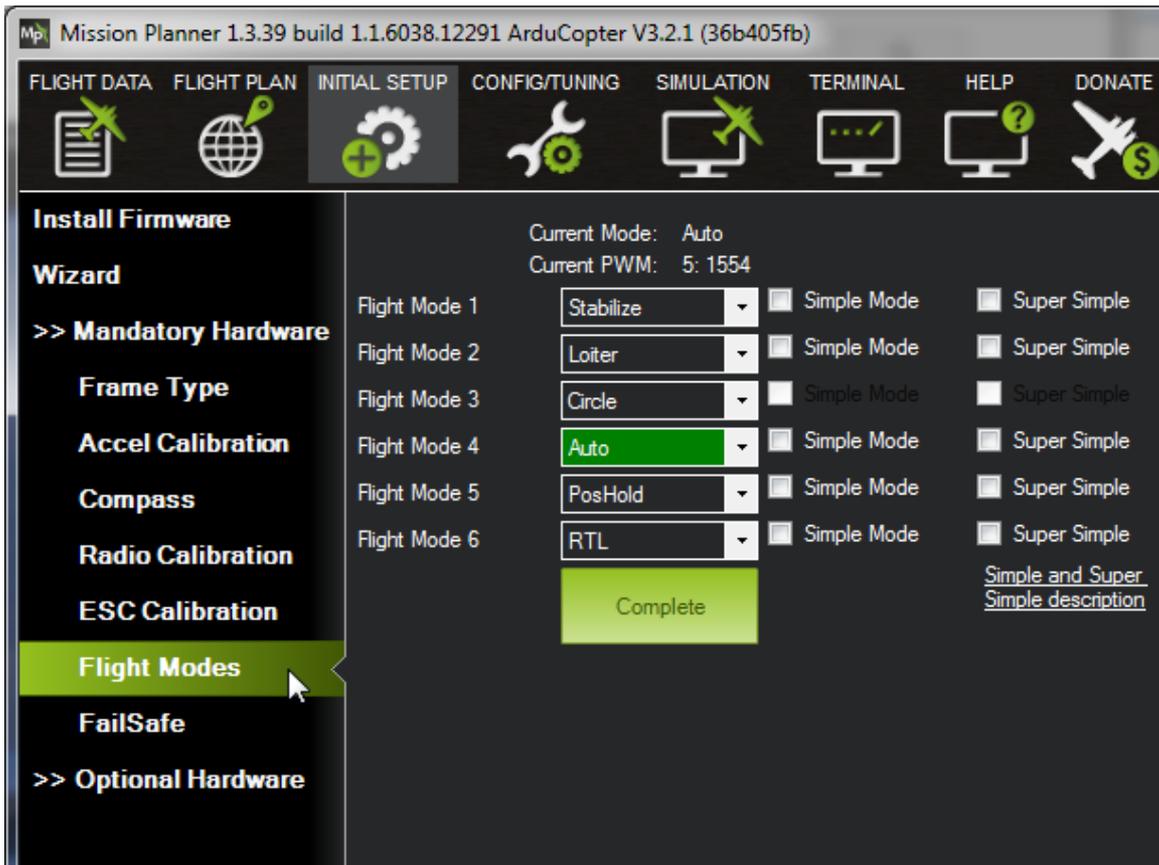
○ Configurations de base :



- Configuration du type de châssis
- Calibration des accéléro/magnéto, de la radiocommande et des ESCs

V. Utilisation d'ArduPilot

○ Les modes de vol :



- Stabilize : mode de base, contrôle des angles d'Euler
- Loiter : contrôle du déplacement (GPS)
- Circle : décrit un cercle d'un rayon prédéfini
- Auto : Suivi de waypoints préprogrammés
- RTL : retour au point de décollage

V. Utilisation d'ArduPilot

○ Réglage des gains du correcteur PID :

Mission Planner 1.3.39 build 1.1.6038.12291 ArduCopter V3.2.1 (36b405fb)

FLIGHT DATA FLIGHT PLAN INITIAL SETUP CONFIG/TUNING SIMULATION TERMINAL HELP DONATE

Flight Modes
GeoFence
Basic Tuning
Extended Tuning
Standard Params
Advanced Params
Full Parameter List
Full Parameter Tree
Planner

Stabilize Roll	Stabilize Pitch	Stabilize Yaw	Loiter PID
P: 6.500	P: 6.500	P: 4.500	P: 1.000

Lock Pitch and Roll Values

Rate Roll	Rate Pitch	Rate Yaw	Rate Loiter
P: 0.100	P: 0.125	P: 0.200	P: 1.000
I: 0.120	I: 0.125	I: 0.020	I: 0.500
D: 0.004	D: 0.004	D: 0.000	D: 0.000
IMAX: 100	IMAX: 100	IMAX: 100	IMAX: 100
FILT: 0.000	FILT: 0.000	FILT: 0.000	

Throttle Accel	Throttle Rate	Altitude Hold	WPNV (cm/s)
P: 0.500	P: 5.000	P: 1.000	Speed: 500.000
I: 1.000			Radius: 200.000
D: 0.000			Speed Up: 250.000
IMAX: 80			Speed Dn: 150.000
			Loiter Speed: 500.000

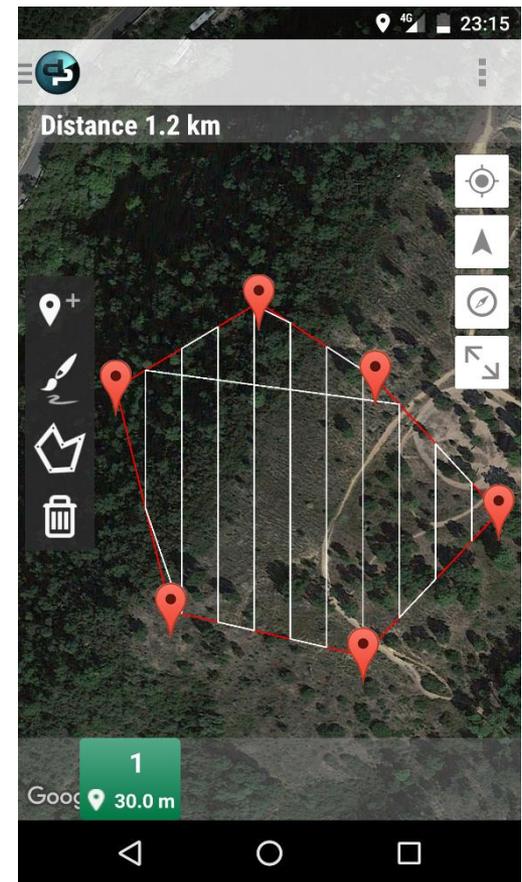
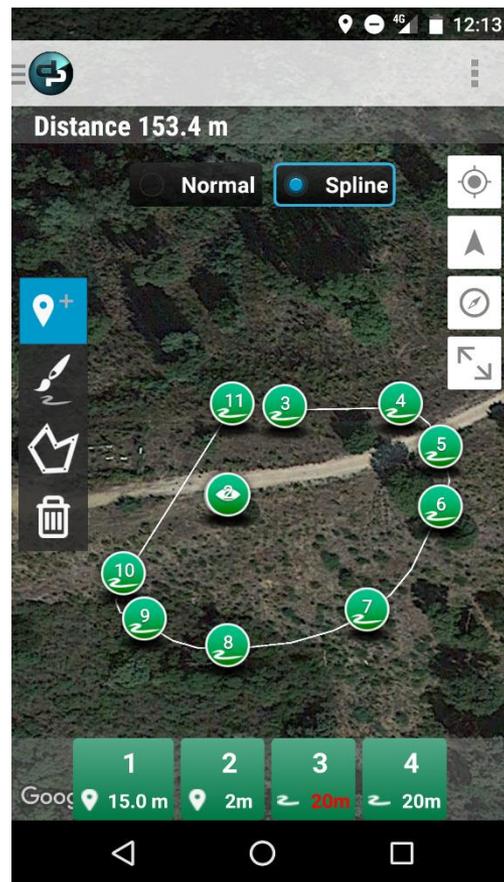
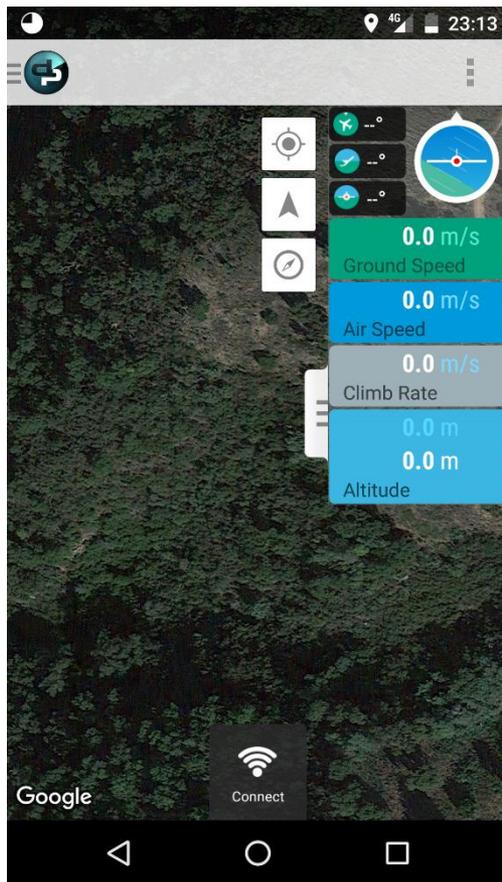
Ch6 Opt: None
Min: 0.000 1.000
Ch7 Opt: AutoTune
Ch8 Opt: Do Nothing

Write Params Refresh Screen

- Réglage du PID propre à chaque drone
- Des gains trop élevés pour P et D entraînent des oscillations
- Des gains trop faibles entraînent un manque de réactivité

V. Utilisation d'ArduPilot

○ Télémétrie avec DroidPlanner 2 :



➤ Retour des infos de vol sur smartphone, programmation de waypoints...

V. Utilisation d'ArduPilot

○ Télémétrie avec Mission Planner :



➤ Retour des infos de vol sur PC, programmation de waypoints...

IV. Essais en vol

- Démonstration :

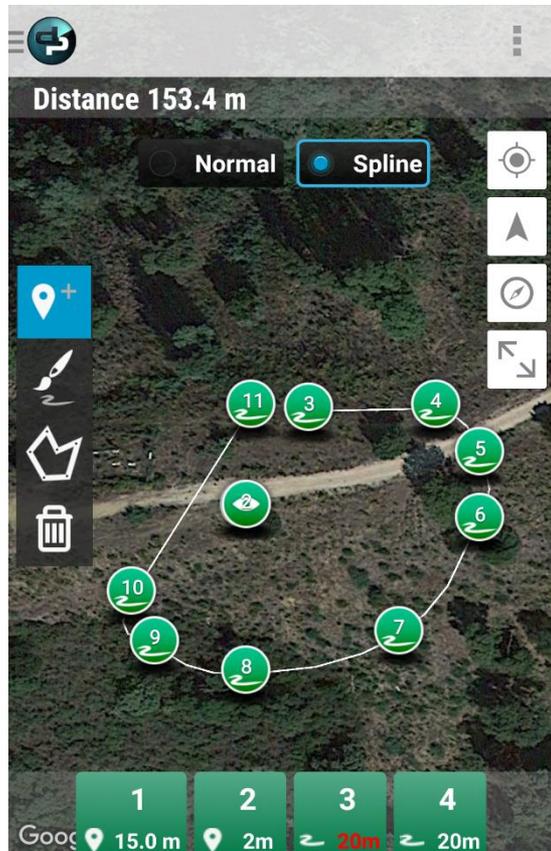


➤ Autonomie en vol : 15 minutes

IV. Essais en vol

○ Vol autonome :

- Définition d'une mission sur DroidPlanner 2 :



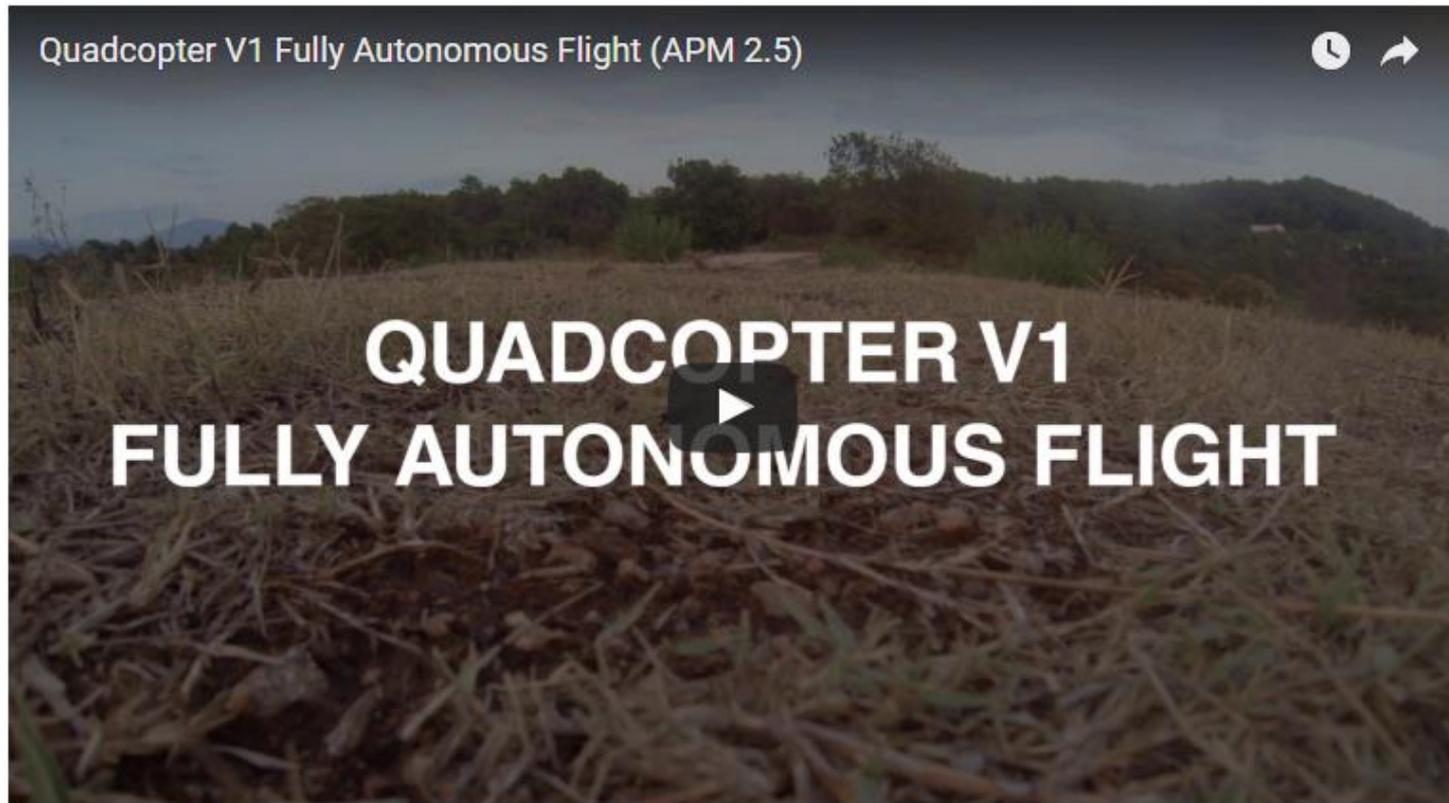
- Décollage (1)
- Point d'intérêt (2)
- Waypoints (3-11)
- Retour au point de départ (12)

- Les waypoints définissent une spline
- Le drone va rester orienté vers le point d'intérêt (2)

IV. Essais en vol

- Vol autonome :

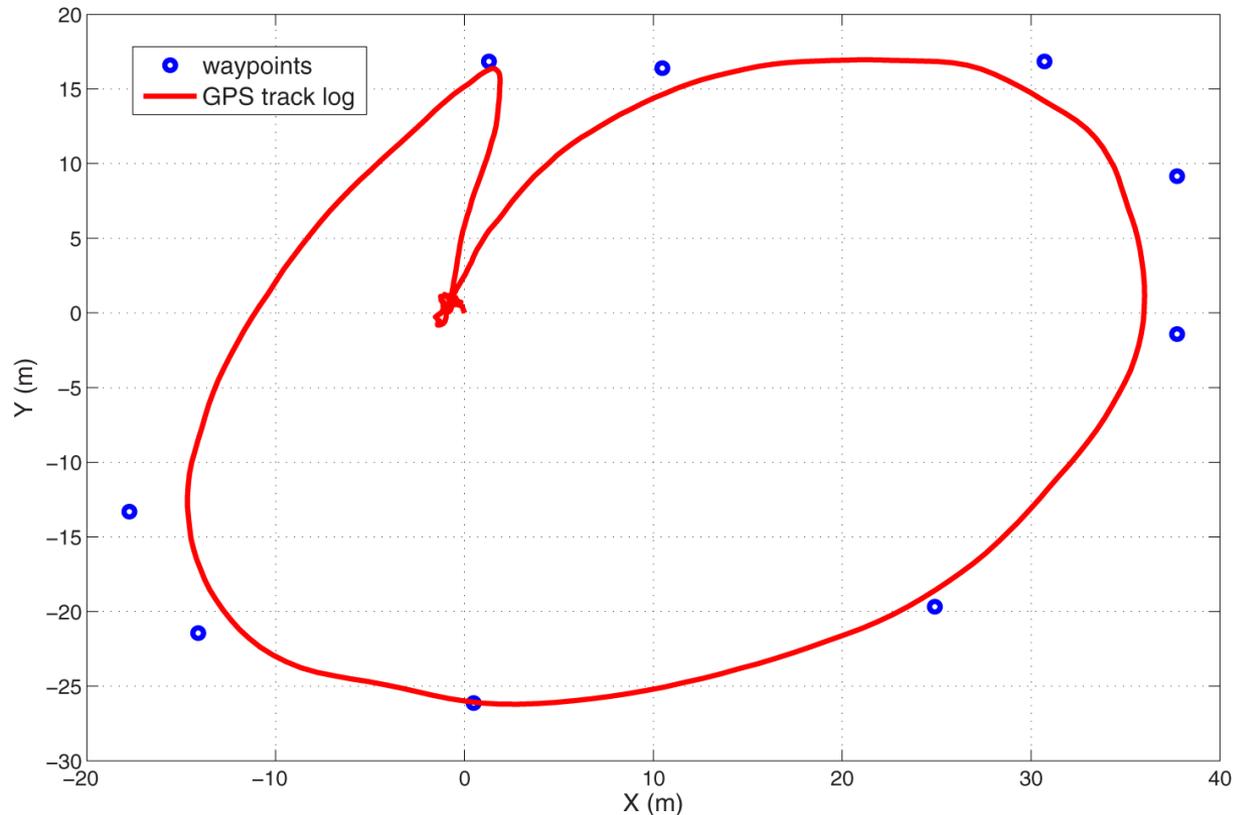
- Vidéo :



IV. Essais en vol

○ Vol autonome :

- Trace GPS enregistrée sur l'APM :



➤ Erreur max de 3 m par rapport aux waypoints

IV. Essais en vol

- Vitesse max 78 km/h :
 - Vidéo :

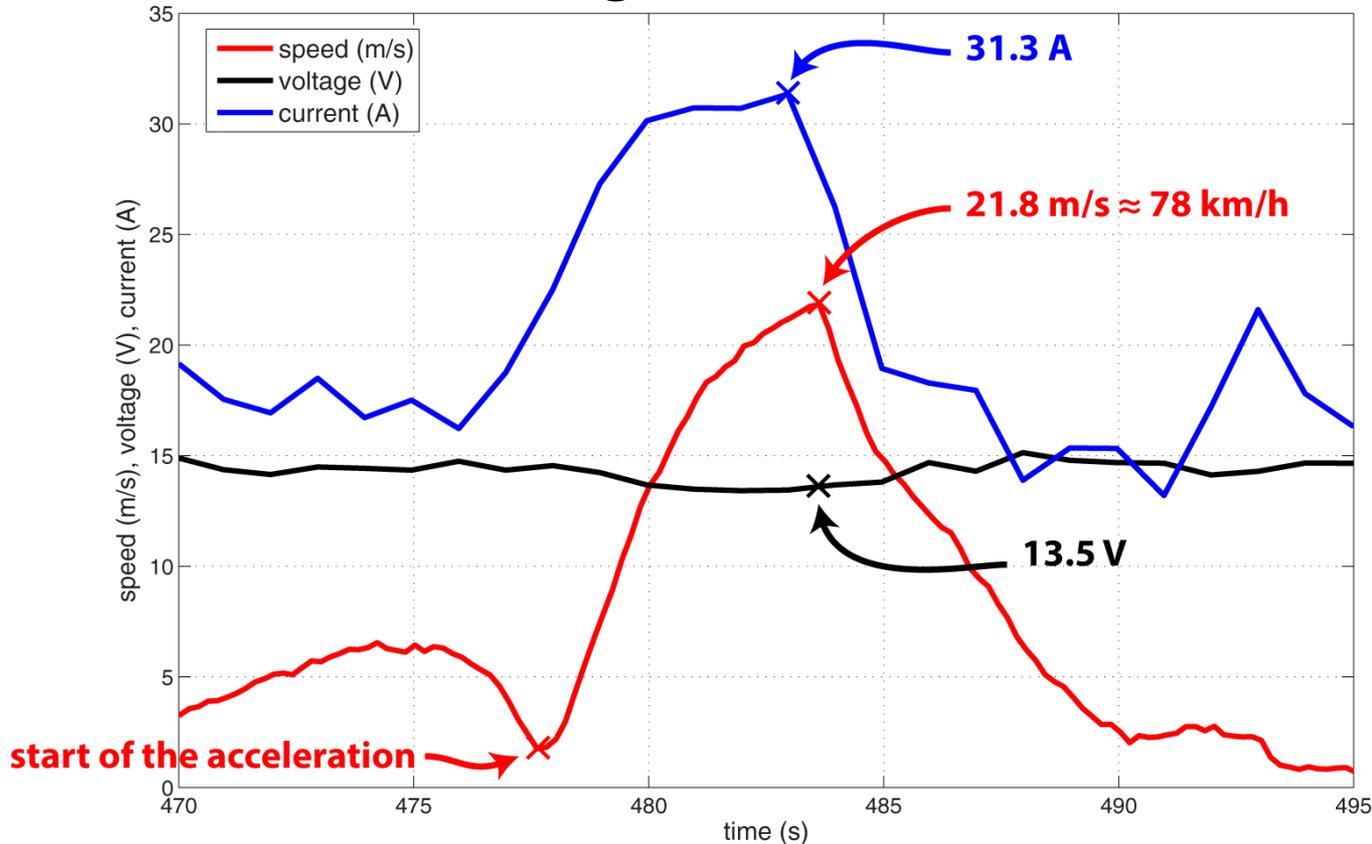


➤ Donne une indication de la capacité à remonter le vent

IV. Essais en vol

○ Vitesse max 78 km/h :

• Données enregistrées sur l'APM :



- Vitesse (GPS)
- Tension aux bornes de la batterie
- Courant consommé

➤ 31.3 A pour 13.5 V, puissance max consommée \approx 423 W

Conclusion

○ Coût de l'ensemble :

• Bilan :

Drone	700 €
Radiocommande / Chargeur	300 €
Lunettes FatShark	350 €
GoPro 3 (occasion)	200 €
Total	1550 €

• Réduction possible du coût à 1250 € :

- Moniteur LCD à la place des lunettes (- 200 €)
- Motorisation plus légère (- 100 €)

Conclusion

○ Poids du drone :

• Bilan :

Batterie	450 g
Nacelle + GoPro 3	320 g
Moteurs + ESCs + Hélices	430 g
Châssis + autres équipements	590 g
Total	1790 g

• Réduction possible de la masse :

- Passage au carbone et simplification du câblage (- 150 g)
- Motorisation plus légère (- 100 g)
- 250 g de moins → gain de 3 minutes d'autonomie

Conclusion

- Caractéristiques principales :
 - Drone open source
 - Nacelle stabilisée et retour vidéo
 - ArduPilot : Modes de vol pour la prise de vue
 - Poids 1790 g
 - 15 minutes d'autonomie
- Perspectives :
 - Faire une seconde version allégée (sous les 1500 g)
 - Atteindre les 20 minutes d'autonomie

Merci pour votre attention !



Contact et infos : www.gaetanlaure.com