



Co-funded by  
the European Union

# MODULE 03

PROGRAMME DE FORMATION

# DYNAMIQUE DE VOL ET MAINTENANCE DES DRONES



Dirección General de Formación  
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA,  
HACIENDA Y EMPLEO



BZB  
Bildungszentren des  
Baugewerbes e.V.





Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.

# Table des matières

<b>1. Objectifs du module</b> .....	<b>6</b>
<b>2. Mécanique du vol</b> .....	<b>7</b>
2.1 Portance aérodynamique .....	7
2.2 Traînée aérodynamique .....	8
2.3 L'hélice assure le mouvement et la portance.....	9
2.4 Diriger un drone multirotor par des forces d'hélices déséquilibrées.....	11
2.5 Axes de déplacement d'un aéronef.....	12
2.6 Équilibre des forces - mouvement des masses d'air .....	13
<b>3. Éléments essentiels d'un drone multirotor</b> .....	<b>14</b>
3.1 Récepteur .....	15
3.2 Contrôleur de vol.....	16
3.3 IMU - Unité de mesure inertielle .....	17
Altimètre barométrique : hauteur par rapport au point de décollage.....	17
Magnétomètre : direction et attitude (compas, boussole).....	17
Gyroscopie : attitude.....	18
Accéléromètre : changement de vitesse dans toutes les directions.....	19
Thermomètre.....	19
3.4 Détecteurs de proximité à ultrasons.....	20
Verticalement sous le drone : faible altitude par rapport au sol .....	20
Horizontalement sur les côtés du drone.....	20
3.5 Détecteurs de proximité par imagerie.....	21
3.6 GNSS système mondial de navigation par satellite ("GPS") .....	22
Positionnement du drone par GNSS : par rapport au point de décollage.....	22
Amélioration de la précision : RTK, positionnement centimétrique.....	22
3.7 Moteurs électriques et leur ESC.....	23
3.8 Hélices .....	24
3.9 Unité d'alimentation (carte de distribution de l'alimentation).....	25
3.10 Batteries .....	26
<b>4. Radiocommande (rc)</b> .....	<b>30</b>
4.1 Transmission .....	30
4.2 Contrôles.....	31

Modes de contrôle .....	31
4.3 Paramètres à l'écran .....	34
<b>5. Entretien.....</b>	<b>36</b>
5.1 Registres d'entretien.....	36
5.2 Contenu du programme d'entretien.....	37
5.3 Premier contrôle après l'assemblage.....	38
Examen de tous les éléments.....	38
Essai fonctionnel au sol.....	38
Essai fonctionnel en vol.....	38
Batterie.....	39
5.4 Révisions périodiques.....	41
5.5 Autres revues.....	43
<b>6. Fiche d'entretien de drone, exemple .....</b>	<b>44</b>

## **DRONES4VET : participants et auteurs du projet Erasmus+**

### **Equipe du CMQE HEREC Occitanie. France:**

Régis Lequeux – professeur et ingénieur en génie civil, Lycée Dhuoda, Nîmes –  
coordinateur des 10 modules

Nicolas Privat - professeur et ingénieur en génie civil, Lycée Dhuoda, Nîmes

Eric Remola – professeur de génie civil, Lycée Dhuoda, Nîmes

Nicolas Vassart - professeur et docteur en génie civil, Lycée Dhuoda, Nîmes

Valerie Poplin - Directrice exécutive du CMQE

### **Equipe du MTU Ireland :**

Sean Carroll, Maître de conférence, ingénieur en génie civil

Michal Otreba Inz, Maître de conférence, ingénieur en génie civil  
coordinateurs des “Levelling & Follow-up sessions for educators”

### **University of Applied Sciences Kufstein Tirol, Autriche**

Emanuel Stocker, Enseignant-chercheur en gestion des infrastructures et de  
l'immobilier. Manuel coordinateur.

Sarah Plank, Contrôleur de la Recherche et Développement

### **Equipe CRN Paracuellos. (DG Formación. Comunidad de Madrid) Espagne :**

José Manuel García del Cid Summers, Directeur

Daniel Sanz, directeur de Dron-Arena

Santos Vera, technicien

Jorge Gómez Sal, chef de l'unité technique

Fernando Gutierrez Justo. Erasmus coordinateur

Promoteurs du projet

### **Equipe BZB Düsseldorf. Allemagne :**

Frank Bertelmann-Angenendt, chef de projet

Markus schilaski, chef de projet

### **Equipe DEX. Espagne – Gestion Erasmus+ :**

Ainhoa Perez

Ignacio Gomez Arguelles

Diego Diaz Mori

Yvan Corbat

# 1. Objectifs du module

Ce module est divisé en deux parties principales :

Chapitres 1, 2 et 3 : connaissances essentielles sur la façon dont le drone utilise les forces aérodynamiques pour voler, avec des informations simples sur la mécanique du vol. Suit une description du rôle et de la fonction des différents composants de vol d'un drone. Enfin, le fonctionnement général de la télécommande.

Chapitres 5 et 6 : comment maintenir le drone en bon état de vol et enregistrer les opérations de maintenance selon un plan professionnel.

Le module se concentre sur le drone multir rotor, destiné aux pilotes de niveau élémentaire.

La physique n'est pas abordée, seules les questions pratiques le sont.



## 2. Mécanique du vol

### 2.1 Portance aérodynamique

Autour d'une aile ou d'une hélice se déplaçant dans l'air, il y a une compression de l'air sous le profil (intrados, la surface inférieure) et une dépression sur le dessus du profil (extrados, la surface supérieure).

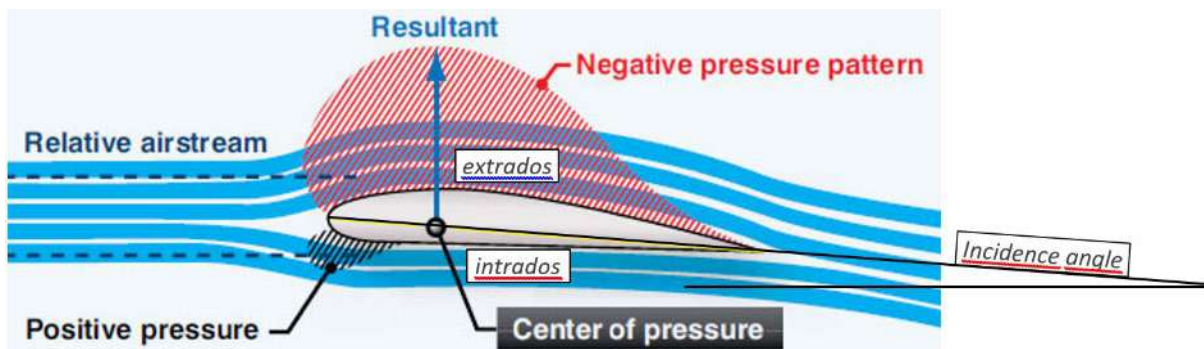


Figure 1 Portance de l'aile - (flight-mechanic.com-modifié)

Grâce à cette portance, le poids de l'avion est compensé.

Notez l'importance de l'"angle d'incidence" : si l'angle est trop faible, la portance sera médiocre, si l'angle est trop élevé, l'aile "décrochera", ce qui signifie que la portance diminuera considérablement et que l'aéronef pourra tomber.

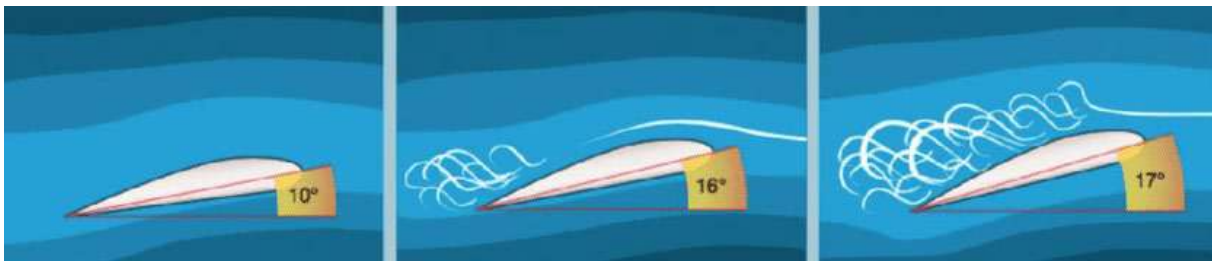


Figure 2 Décrochage (researchgate.net/profile/Mariateresa-Sestit)

Ci-dessus, l'angle d'incidence est trop élevé sur les dessins à 16° et 17° : le flux d'air ne colle plus à l'aile, la dépression n'existe plus (remplacée par une traînée aérodynamique) et la force de portance est annihilée.

## 2.2 Traînée aérodynamique

Si la forme d'un corps se déplaçant dans l'air n'est pas effilée, l'écoulement de l'air peut provoquer un tourbillon qui l'empêche d'avancer : c'est la traînée aérodynamique.

La traînée, le tourbillon, la turbulence, le sillage créé dépendent de la forme.

Ces turbulences créent une force qui retient l'avion dans la direction opposée au mouvement.

... et de plus, la traînée augmente comme le carré de la vitesse !

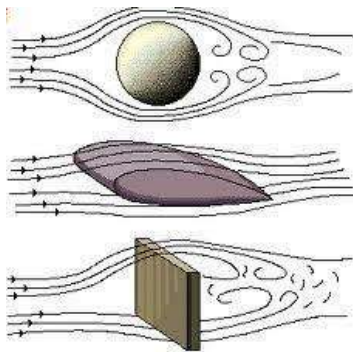


Figure 3 Traînée aérodynamique-(cyclingdynamics.com)

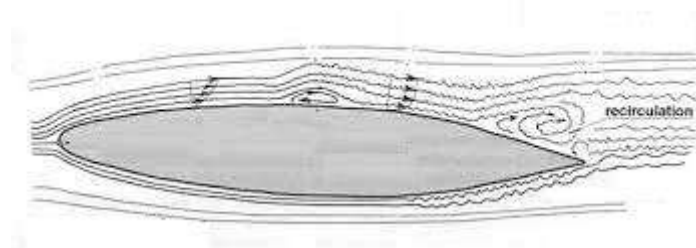


Figure 4 Filets d'air sur un profil

Même un profil aérodynamique peut présenter des turbulences : veillez au bon état des hélices des drones. Leur efficacité en dépend.



## 2.3 L'hélice assure le mouvement et la portance

Sur les drones ailés, comme sur les avions, quatre forces sont à l'œuvre :

- La portance des ailes grâce à la vitesse
- Le poids de l'avion
- La propulsion de l'hélice qui n'assure que le déplacement
- La traînée qui entrave le mouvement

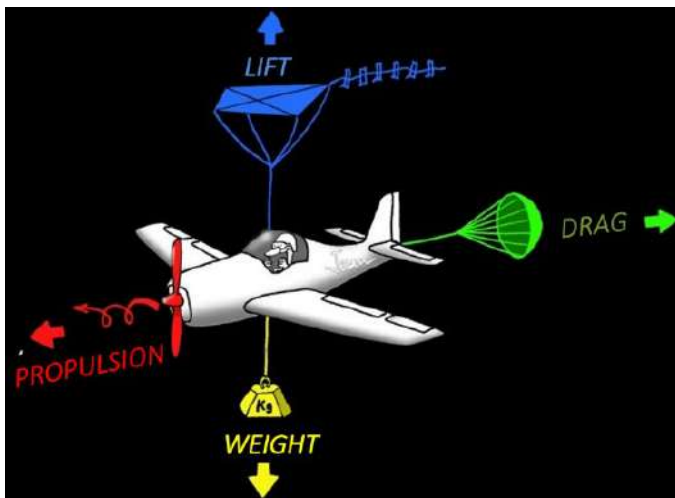


Figure 5 Les 4 forces en jeu dans le vol



Figure 6 Drone à voilure fixe "Disco"-  
(technique-ingenieur.fr)

Sur les drones **multirotors**, c'est l'inclinaison des hélices qui fait bouger l'appareil

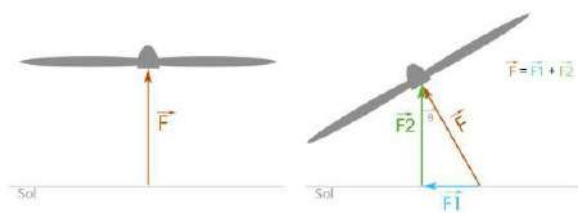


Figure 6 Portance et propulsion de l'hélice-(firediy.fr)

Lorsque l'hélice est inclinée, une partie de sa force aérodynamique assure le déplacement du drone. Comme sur un hélicoptère

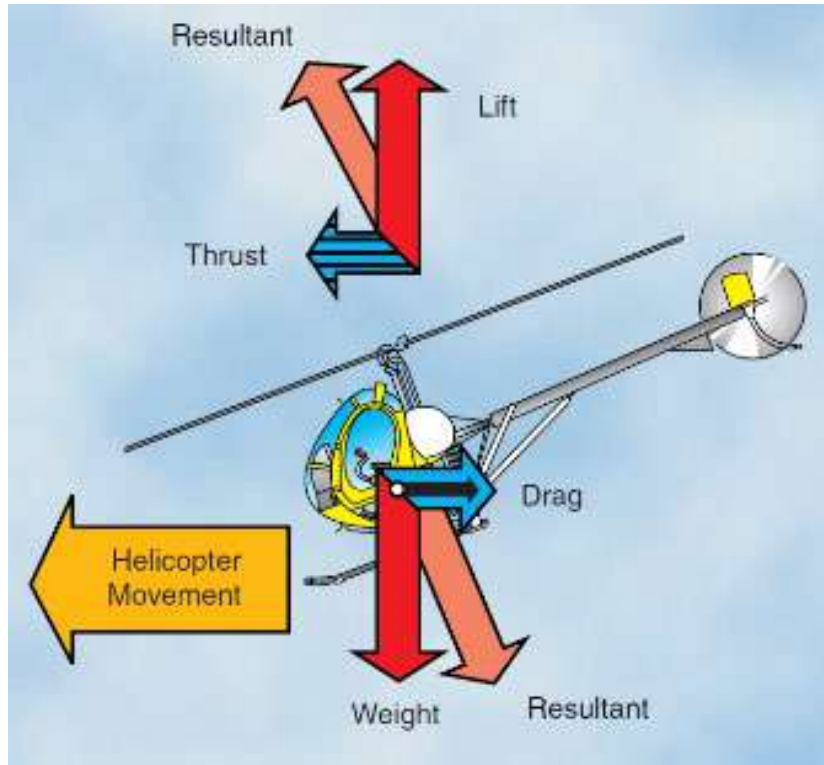


Figure 7 Un hélicoptère s'incline vers l'avant pour avancer-(aircraftsystemstech.com)

## 2.4 Diriger un drone multirotoeur par des forces d'hélices déséquilibrées

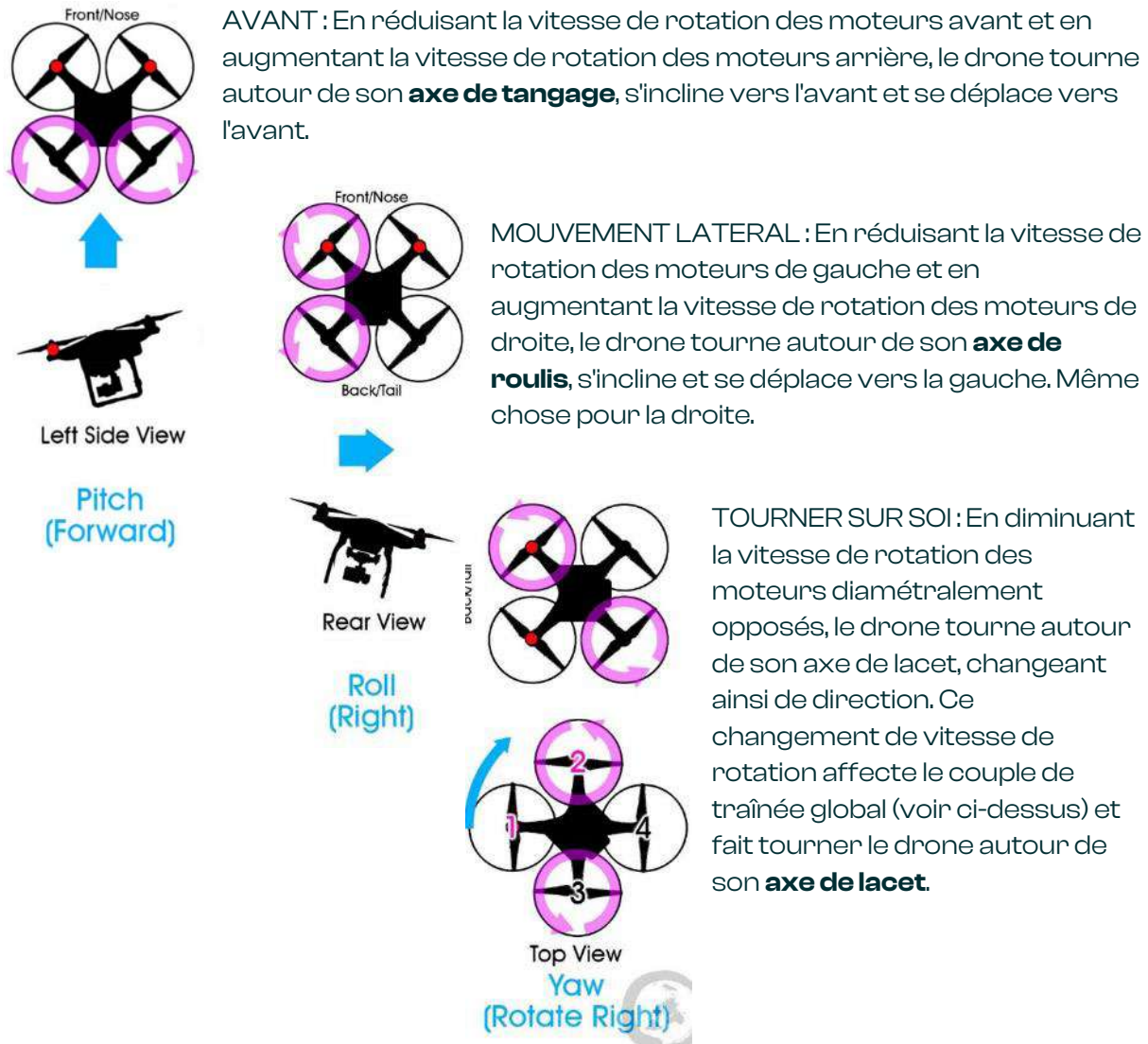


Figure 8 Actions des hélices pour diriger un drone multirotoeur (ipinimg.com)

Les conditions météorologiques ou les caractéristiques de l'air (température, densité) peuvent affecter ces forces et donc les performances du drone. On peut retenir qu'une augmentation de la température ou une diminution de la pression (en altitude par exemple) dégrade la portance.

## 2.5 Axes de déplacement d'un aéronef

- Le roulis : axe longitudinal autour duquel le drone s'incline pour translater à droite ou à gauche. (roll en anglais)
- Tangage : axe transversal autour duquel le drone s'incline en avant ou en arrière. (pitch)
- Le lacet : axe vertical autour duquel le drone tourne pour changer d'orientation (yaw).

L'attitude (avec 2 T) est la position du drone par rapport à l'horizontale, s'il est « bien à plat » ou pas.

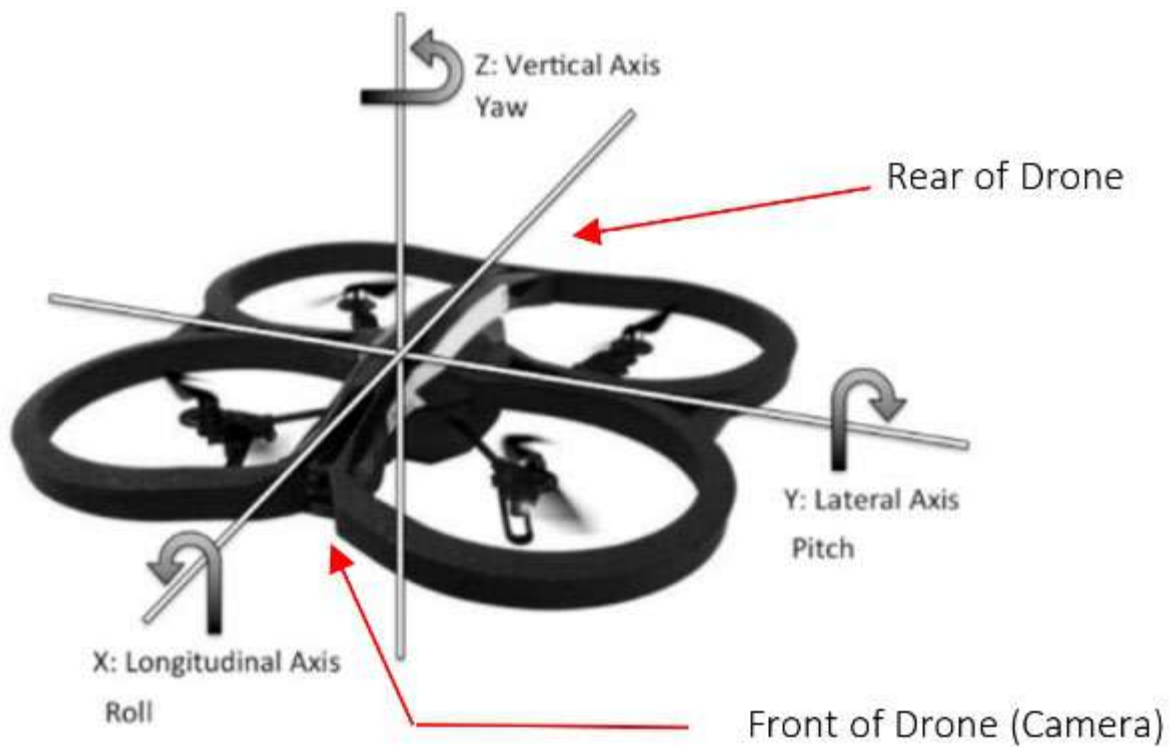


Figure 9 Noms des axes d'un aéronef (parrot.fr)

## 2.6 Équilibre des forces - mouvement des masses d'air

La PORTANCE, force donnée par les ailes ou par les hélices (quadricoptère) ←  
EQUILIBRE → le POIDS

la TRACTION, donnée par les hélices ← EQUILIBRE → la TRAINEE, tourbillon qui freine le drone.

Mais tout aéronef est soutenu par la masse d'air et se déplace avec elle. Pour se déplacer par rapport au sol, le drone doit donc se déplacer à l'intérieur de la masse d'air.

- Un drone en vol stationnaire au-dessus du sol par temps venteux se déplace en fait dans la masse d'air !
- Un drone se déplaçant contre la direction du vent se déplace beaucoup plus rapidement dans la masse d'air que s'il se déplaçait dans la direction du vent.

Par conséquent, le drone doit être équipé d'un grand nombre de capteurs afin d'assurer sa maniabilité.

Une action sur la Radiocommande déséquilibre ces forces pour créer le mouvement.

Ainsi le capteur GNSS (GPS en langage courant) et la caméra à vision vers le bas permettent de maintenir une position stable par rapport au sol en vol stationnaire, le GNSS permet d'ajuster la vitesse et le cap au sol pour essayer de contrer le vent.

Le compas, magnétomètre, le gyroscope donnent le cap pointé par l'avant du drone.

L'accéléromètre et le gyroscope informent de l'attitude, des mouvements.

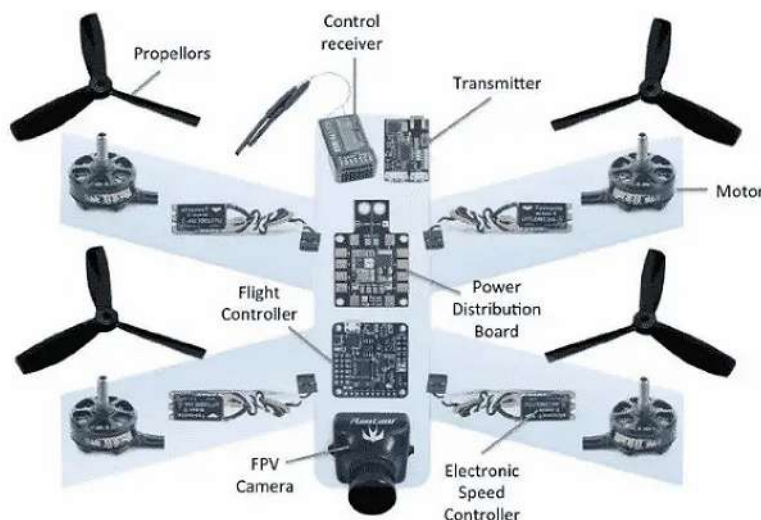
Le baromètre informe des changements d'altitude.

Les capteurs de proximité indiquent l'approche d'un obstacle ou du sol...

## 3. Éléments essentiels d'un drone multiroto

Voici les composants de base : - Récepteur de contrôle - Contrôleur de vol - Capteurs - Émetteur - Batterie - Carte d'alimentation - ESC - Moteurs.

Comment cela fonctionne-t-il ? Le récepteur de commande reçoit les ordres de la radiocommande et les transmet au contrôleur de vol. Ce module utilise les informations de tous les capteurs pour connaître son attitude, sa vitesse, son inclinaison, sa position, la détection des obstacles... et donne des ordres à l'ESC pour accélérer ou ralentir les moteurs, individuellement. L'émetteur envoie les informations de vol à la Radiocommande ainsi que le flux vidéo. L'unité de batterie distribue l'énergie à chaque fonction, la plupart du temps à l'ESC et donc aux moteurs.



Non représentés ici, tous les capteurs qui fournissent des informations au contrôleur de vol.

Figure 10 Composants électroniques du drone (10.wp.com)

Dans l'IMU, Unité de Mesure Inertielle :

- Altimètre
- Magnétomètre
- Gyroscope
- Accéléromètre
- Thermomètre

Indépendants :

- GNSS
- Détecteurs de proximité soniques
- Détecteurs de proximité vidéo



## 3.1 Récepteur

Ce dispositif est relié à la radiocommande grâce à des ondes électromagnétiques à une fréquence spécifique. Les plus utilisées sont les 2,4 GHz et 5.8 GHz, les fréquences WI-FI avec codage 802.11 xxx. 2,4 GHz va jusqu'à 10 km (en fonction des obstacles, de la puissance et de la sensibilité). Le 5GHz porte plus court pour la même puissance, mais il est moins perturbé et plus rapide, ce qui est préférable pour la transmission de vidéos sans décalage. Elles nécessitent une petite antenne et permettent de faire facilement la différence entre les utilisateurs par codage numérique. Un simple smartphone peut assurer la transmission sur de faibles distances. Mais en Europe la puissance est limitée à 25mW en WIFI.

Depuis 2022 (règlement européen 2022/179) il est possible d'utiliser les fréquences de 5.17 à 5.25 GHz avec une puissance d'émission de 200 mW. En cours de déploiement chez les constructeurs.

Pour toutes les fréquences, en raison de la perte atmosphérique, la plus puissante radiocommande transmettra plus loin mais la sensibilité du récepteur est essentielle : Entre un récepteur avec une sensibilité de 95 dB et une puissance d'émission de 200 mW, et un autre de sensibilité de 90 dB avec une puissance de 800 mW, ça revient au même. Pour avoir une bonne portée il suffit de choisir un récepteur avec une grande sensibilité (> 95dB).

Les autres fréquences sont 1,3GHz, 900MHz ou 433MHz sont intéressantes pour les longues distances et le franchissement d'obstacles. Plus la fréquence est basse, plus la portée est longue, mais plus le délai de transmission vidéo est long ou la résolution faible.. Les fréquences historiques de 27MHz ou 72MHz utilisées pour les modèles réduits d'avions ne sont plus utilisées pour les drones en raison des perturbations et de la longueur de l'antenne. Plus la fréquence est basse, plus l'antenne est longue.

Parrot Anafi : Wifi 2.4 et 5.8 GHz et 4 km de portée, MAVIC 3E fréquences idem et 8 km de portée.

Certains drones commencent à utiliser les antennes 4G pour connecter le drone, la fréquence peut varier de 700MHz à 2.6GHz (selon les pays) et bien sûr, la portée est extrêmement grande grâce aux relais.

Le récepteur transmet tous les ordres au contrôleur de vol.

## 3.2 Contrôleur de vol

Le **cerveau** du drone.

Partie électronique commandant aux ESC de changer le régime moteur en fonction des ordres du pilote et des conditions aérodynamiques. Elle est en relation avec les capteurs (gyroscope, compas, altimètre, proximité, GNSS éventuellement) et permet la stabilité du vol et la bonne réponse aux commandes.



Figure 11 Contrôleur de vol - [dronenodes.com](http://dronenodes.com)

L'invention, la miniaturisation et la réduction du prix de ce composant clé ont conduit au développement actuel des drones.

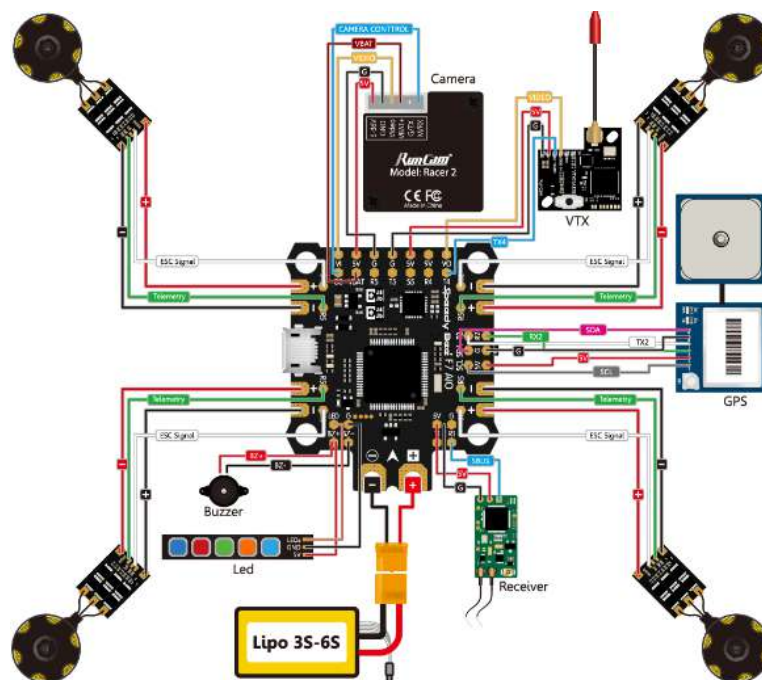


Figure 12 Liaisons vers le contrôleur de vol - [phaserfpv.com.au](http://phaserfpv.com.au)

## 3.3 IMU - Unité de mesure inertielle

La plupart des capteurs qui aident le contrôleur de vol et le pilote sont concentrés dans l'IMU.

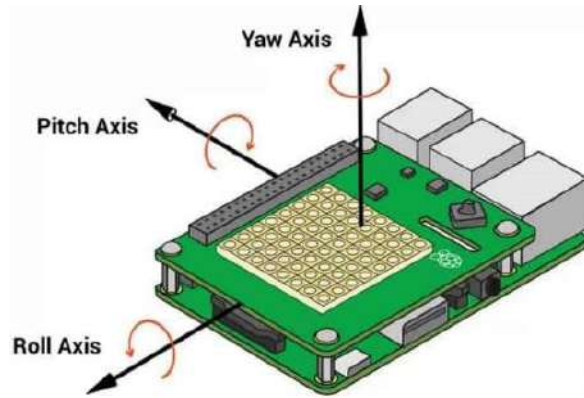


Figure 13 UMI Aduino (ddcontre-mesures)



Figure 14 DJI Mavic 2 pro IMU (drone-parts-center.com)

### Altimètre barométrique : hauteur par rapport au point de décollage

En mesurant la variation de la pression atmosphérique entre le point de décollage et le point de vol, le drone obtient, avec la précision de son instrument, une estimation de son altitude à 25 cm près. On parle d'altitude QFE (Query Field Elevation, utilisée pour les avions afin de calibrer le "zéro mètre" à une altitude spécifique de l'aérodrome) et parfois par excès d'AGL (above ground level, terme aéronautique officiel) mais ce dernier terme est censé se référer au sol directement sous le drone et non au point de décollage.

Il n'est pas en mesure de connaître son altitude par rapport au niveau de la mer (AMSL above medium sea level), sauf s'il est calibré au décollage pour le QNH (Query Nautical Height qui varie au cours de la journée).

### Magnétomètre : direction et attitude (compas, boussole)

Le magnétomètre réagit au champ magnétique terrestre pour connaître l'orientation du drone par rapport au Nord magnétique ainsi que son "attitude" : son inclinaison par rapport à l'horizontale. Ce n'est pas très précis, c'est pourquoi un autre instrument (le gyroscope) permet de clarifier cette information.

Calibrage : le magnétomètre doit être calibré de temps en temps en déplaçant l'appareil sur ses 3 axes, à la demande de la télécommande.

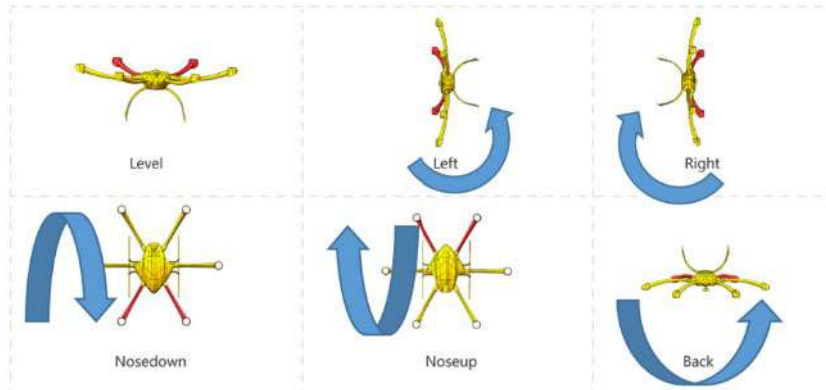


Figure 15 Mouvements d'étalonnage du magnétomètre autour de chaque axe - yangdaonline.com

### Gyroscope : attitude

Anciennement gyroscopes à masse tournante, aujourd'hui circuits miniatures. Le gyroscope permet de connaître la variation d'orientation d'un drone autour de son centre de gravité.

Il y a un gyroscope pour chaque axe : lacet, tangage, roulis ; l'appareil sait donc toujours "combien" il tourne, et dans quel axe.

Calibrage : le gyroscope doit être calibré de temps en temps en déplaçant l'appareil sur ses 3 axes, à la demande de la télécommande.

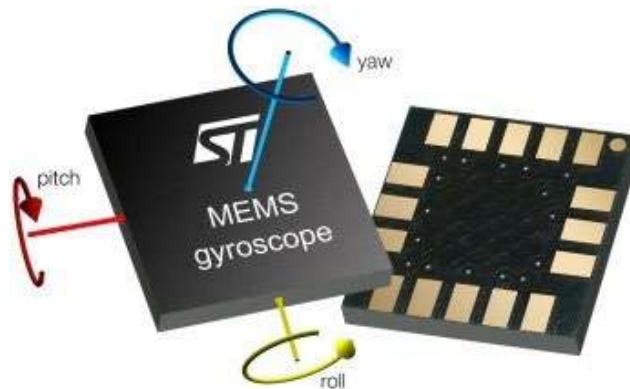


Figure 16 Gyroscope MEMS (STmicroelectronics)

## Accéléromètre : changement de vitesse dans toutes les directions

Mesure l'état d'accélération du drone autour de ses 3 axes et en informe le contrôleur de vol.

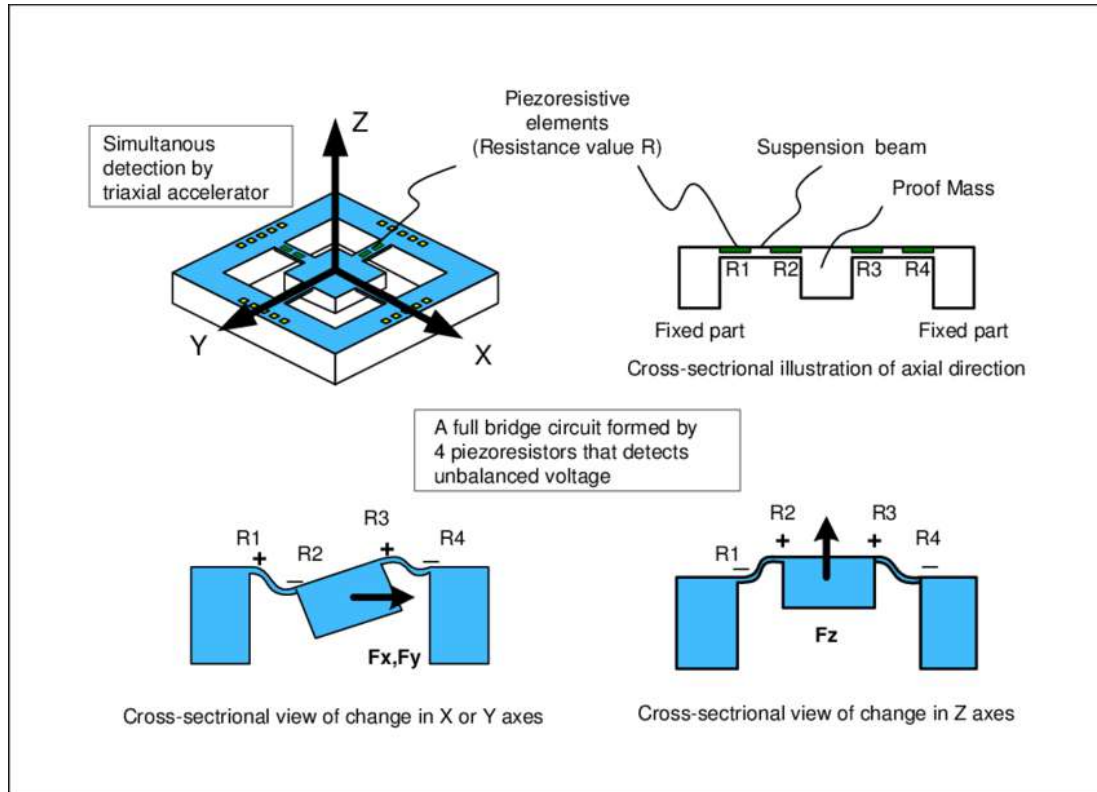


Figure 17 Principe du micro-acceleromètre (researchgate.net, Xuemin-chen publication)

## Thermomètre

Permet d'ajuster la sensibilité des capteurs, la variation de vitesse du moteur (l'air frais est plus dense), la puissance de la batterie et l'altitude.

## 3.4 Détecteurs de proximité à ultrasons

### Verticalement sous le drone : faible altitude par rapport au sol

Sous l'appareil se trouve un émetteur/récepteur d'ultrasons qui indique au drone sa distance par rapport au sol (ou à un obstacle en contrebas). Il n'est utilisé qu'à courte distance, 3 à 4 mètres au maximum.



Figure 18 émetteur et récepteur d'ultrasons - eye4i.ch

### Horizontalement sur les côtés du drone

Mêmes dispositifs, mais pour détecter les côtés du drone et éviter les collisions en translation ou en marche avant/arrière.

Tous les drones ne sont pas équipés de capteurs latéraux, mais tous les modèles "professionnels" le sont.



Figure 19 Détection ultrasonique verticale et horizontale - microcontrolertips.com



## 3.5 Détecteurs de proximité par imagerie

Des caméras sont disposées tout autour du drone pour veiller à l'approche d'objets. Ce dispositif remplace les capteurs à ultrasons, en étant plus discriminant donc plus efficace. Il peut agir dans le visible ou en infrarouge.



Figure 20 capteurs de proximité sur un drone (drone-festival.com)

Ce drone comporte des capteurs de proximité de différents types, disposés tout autour de la nacelle.

## 3.6 GNSS système mondial de navigation par satellite ("GPS")

En recevant les signaux des satellites (distants de 20 000 km), un calculateur obtient la position du drone par rapport à l'ellipsoïde WGS84 en Longitude, Latitude et hauteur ellipsoïdale (voir Module 6 géolocalisation).

Malheureusement, le système lui-même n'est pas plus précis que quelques mètres... à l'échelle d'un drone, il ne pourrait pas être très utile, mais...

### Positionnement du drone par GNSS : par rapport au point de décollage

Ce module permet au drone de connaître sa position spatiale sur la terre : latitude, longitude et hauteur ellipsoïdale.

Tout d'abord, le drone doit rester immobile sur le lieu de décollage pendant quelques minutes pour obtenir une position correcte par le GNSS. La précision est ici métrique (environ 3 mètres), mais lorsque le drone vole, la position **par rapport à ce point de décollage** est décimétrique, c'est-à-dire de 10 à 30 cm, ce qui est mieux. Cela permet au drone de revenir à la même position précise lorsque l'on appuie sur le bouton "retour à la maison" (RTH return to home).

### Amélioration de la précision : RTK, positionnement centimétrique

Pour connaître la position d'un drone au centimètre près, il faut l'équiper d'un système RTK (Real Time Kinematic) qui nécessite la réception des données par téléphone (carte SIM ou WIFI) et un abonnement à un service RTK (base de données de correction de calcul en temps réel). Cette configuration permet un meilleur processus photogrammétrique car les positions des photos sont plus faciles à obtenir. Nous obtenons également des photos directement et précisément géolocalisées pour des applications SIG.



Figure 21 Récepteur GPS - Beitian corp.

## 3.7 Moteurs électriques et leur ESC

Les moteurs sont de type brushless (sans contacts frottant) : leur rotation est provoquée par l'alimentation séquentielle d'électroaimants fixes, qui attireront à leur tour les aimants permanents rotatifs centraux, liés à l'axe d'hélice. Le moteur tourne à une vitesse qui dépend de la puissance des aimants et de la vitesse de la séquence. Le contrôle de l'alimentation des aimants est une fonction critique pour assurer le bon fonctionnement des moteurs. L'ESC assure cette fonction (Electronic Speed Controller), il y en a un par moteur.

- Comme ils sont ouverts pour le refroidissement, protégez les moteurs de l'eau (mais la plupart des drones peuvent résister à une pluie fine), de la poussière et surtout de l'intrusion de sable.

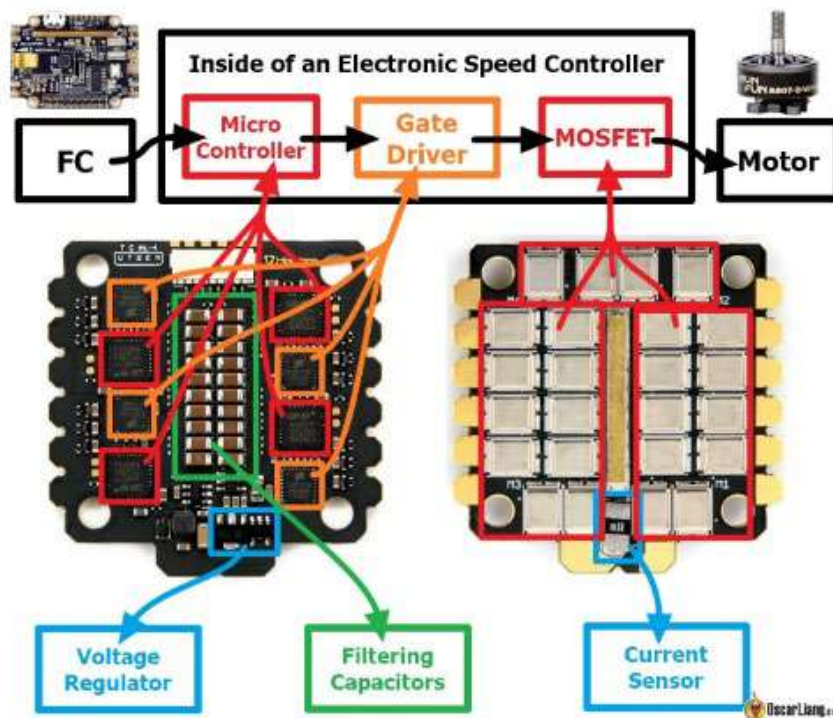


Figure 22 ESC - oscarliang.com

## 3.8 Hélices

Entraînées par le moteur, elles assurent la sustentation et les déplacements du drone. Leurs caractéristiques sont leur diamètre et leur pas, deux chiffres inscrits sur l'hélice avec leur sens de rotation.

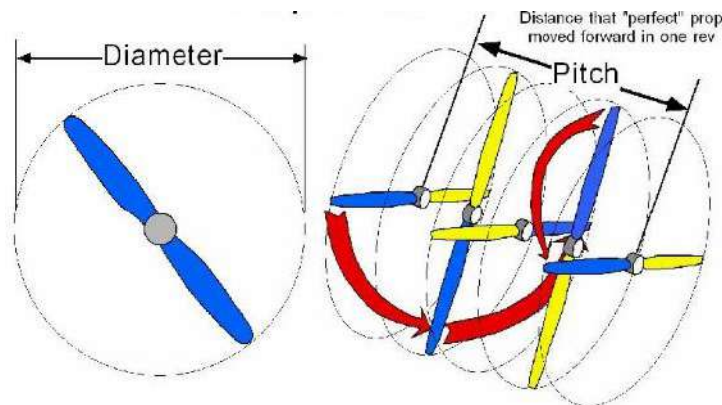


Figure 23 Définition de l'hélice (bowersflybaby.com)

- ➔ Vérifiez leur bon état : tout dommage créera de la traînée et nécessitera plus de puissance pour voler (donc moins de temps de vol) ou de l'instabilité.
- ➔ Vérifiez qu'elles sont bien montées : elles ne sont pas interchangeables ; chaque hélice a son propre moteur ! En effet, les moteurs ne tournant pas tous dans le même sens (voir ci-dessus), il convient de veiller à la bonne adéquation entre l'hélice et la position du moteur.

Les hélices habituelles sont pliables, faciles à ranger et moins dangereuses en cas de contact avec un obstacle (explosion) ou un être humain.

Leur forme spécifique aux extrémités évite la traînée (plus efficace) et le bruit (plus acceptable pour l'entourage).



Figure 24 Hélice -DJI

## 3.9 Unité d'alimentation (carte de distribution de l'alimentation)

L'unité de puissance distribue l'énergie électrique aux différents composants, elle s'assure que la tension et l'ampérage corrects sont distribués, en fonction des besoins et de la capacité de chaque composant. Elle assure le contrôle de la batterie et informe le contrôleur de vol de son état.



Figure 25 Carte de distribution d'énergie pour drone - hobbyking.com

## 3.10 Batteries

Généralement des batteries lithium-polymère ; elles fournissent un courant électrique continu. La tension varie en fonction de la marque.

L'énergie disponible d'une batterie est mesurée en Ah (Ampères-heures) : plus ce chiffre est élevé, plus la batterie peut fournir d'électricité. Une batterie de 10 Ah peut fournir un courant de 10 A pendant 1 heure, ou de 1 A pendant 10 heures avant d'être "vide".

Elle peut également être exprimée en Wh (Watt-heure), c'est-à-dire en puissance délivrée pendant une heure. C'est la même chose que  $P=U.I$ , donc si nous connaissons I (en Ah) et U (en Volt), nous avons le Wh.

Exemple : une batterie de 2700Ah sous 7,6V délivre  $2,7 \times 7,6 = 20,52$  Wh.

La durée de fonctionnement dépend du courant consommé par le drone : s'il consomme 1A avec une batterie de 5Ah alors il peut voler 5 heures.

Mais il ne faut jamais vider complètement les batteries, cela réduit progressivement leur capacité de charge, on arrête le vol utile à 20% restant pour atterrir à 15% minimum.

Les drones actuels peuvent voler entre 20 et 45 minutes. Exemple du Parrot Anafi : la batterie est de 2700mAh (2,7Ah) sous 7,6V, et il vole 15 minutes (en moyenne) avant d'être déchargé à 20%.

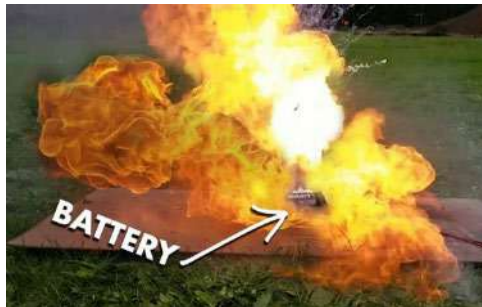
Donc :  $2700 \times 0,8 = 2160$  Ah consommés en 15' =  $15/60 = 0,25$  heure

- le drone consomme  $2,16/0,25 = 8,64$  A, ce qui est énorme.
- Mais comme la tension n'est que de 7,6 V, elle ne produit qu'une puissance de  $7,6 \times 8,64 = 65,7$  W (rappel  $P = U.I$  en courant continu).

Sensibilité des batteries :

- aux mauvais chargements : une batterie a un courant maximum qu'elle peut recevoir, au-delà elle se détériore et peut même s'enflammer. **UTILISER UNIQUEMENT LE CHARGEUR DU FABRICANT**
- chaleur/ ne pas stocker derrière une vitre en plein soleil, risque d'incendie
- chocs : les couches de matériaux peuvent être endommagées et créer une réaction chimique incendiaire
- Charge rapide : à éviter autant que possible, utiliser la charge "lente" ou normale lorsqu'il n'y a pas d'urgence et **NE PAS LAISSER CONNECTE UNE NUIT ENTIÈRE SUR DES CHARGEURS AUTRES QUE CEUX DU FABRICANT - RISQUE D'INCENDIE -**
- En cas de stockage prolongé : stocker à mi-charge, recharger occasionnellement les piles à mi-charge.





Batteries  
surchargées  
Ou  
stockées pendant  
plus de 3 jours  
Entièrement  
chargées  
Ou  
Batteries  
endommagées  
Peuvent provoquer  
un incendie.

*Figure 26 Batterie en feu à cause d'un  
stockage à pleine charge - swellpro-  
uk.co.uk*



*Figure 27 Autocollant  
d'avertissement -  
fromkristies.blogspot.com*

La plupart des batteries sont dotées d'un système de sécurité à décharge automatique : lorsqu'elles sont complètement chargées et qu'elles ne sont pas utilisées pendant plus de 3 jours, un système interne abaisse la charge à ½ charge ; par conséquent, avant de faire fonctionner votre drone, chargez les batteries pour qu'elles retrouvent leur pleine capacité.



*Figure 28 La batterie à 1/2 charge est bonne pour le stockage - generation-nt.com*

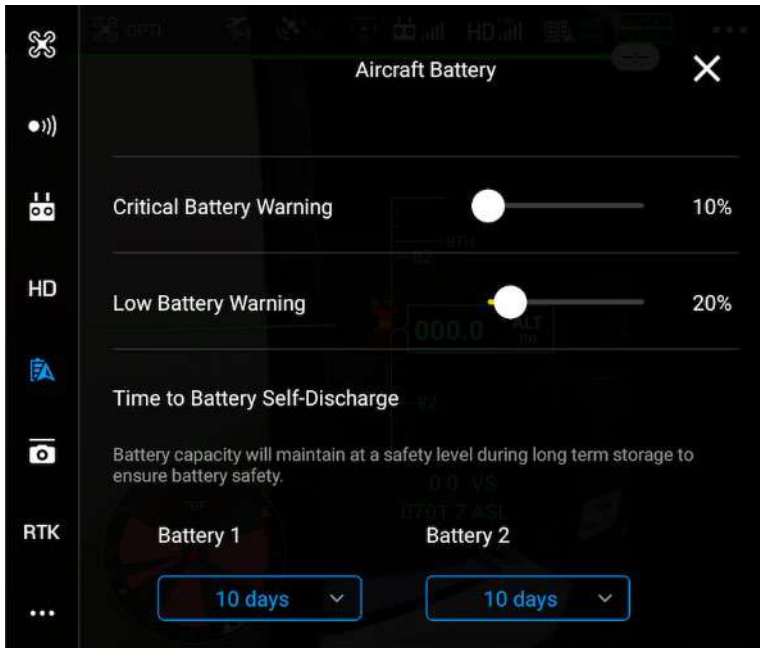


Figure 29 Paramètres d'alerte de la batterie - DJI

Lorsque vous utilisez le drone, essayez de ne pas descendre en dessous de 20 % de capacité, car cela fait vieillir prématurément les batteries, vérifiez-le sur l'écran de la télécommande, mettez un avertissement dans les paramètres.

Il est également possible de régler le nombre de jours avant l'autodécharge automatique.

**Analyse des cellules et réglages :** le **voltage des cellules** qui composent la batterie doit toujours être vérifié (si la radiocommande peut l'afficher, sinon le contrôle est automatique) : il ne doit pas y avoir de différence supérieure à 0.1V entre les cellules, ce qui signifierait une défectuosité. Dans ce cas, changer de batterie et disposer la batterie défectueuse dans un sac ignifugé, elle risque de prendre feu. Il est possible de régler les pourcentages d'alerte de batterie basse.

Conseil : à 25% un avertissement simple, à 10% une alerte d'atterrissage immédiat

Le retour au décollage (RTH) peut aussi être réglé en automatique à 20% de batterie par exemple.



Figure 30 niveaux des cellules de la batterie (Volt)

## CONSTITUTION

Les batteries sont composées de "cellules" qui font chacune 3.7 V.

- Si les cellules sont montées en série (l'une derrière l'autre), alors les voltages s'additionnent. on note le montage série avec la lettre "S" devant le nombre de cellules en série. Le nombre d'ampères délivrable ne change pas.
- Si les cellules ont montées en parallèle alors cela ne change pas le voltage mais le nombre d'ampères délivrables. La connexion en parallèle est repérée par la lettre "P"

Exemple: une batterie 4S délivre  $4 \times 3.7 = 14.8V$ . Une batterie 3S2P délivre  $3 \times 3.7 = 11.1 V$  mais avec 2 rangées qui augmentent l'intensité.

Enfin le courant maximal délivrable « d'un coup » par la batterie est un multiple de sa capacité en Ah précédant la lettre « C » : une batterie de 3500mAh donc 3.5Ah type 25C peut délivrer une intensité de 87.5 A mais pendant très peu de temps.

Exemple : batterie 4200mAh 3S 15C :

Capacité 4200 mAh : cette batterie pourrait délivrer 4.2 Ampères pendant 1h

Voltage : 3 cellules en série  $3 \times 3.7 = 11.1 V$

Intensité maximale délivrable en continu  $15 \times 4.2 = 63 A$

Puissance stockée  $11.1 \times 4.2 = 46.6 Wh$

# 4. Radiocommande (rc)

## 4.1 Transmission

- Permet au pilote de contrôler la trajectoire du drone. La liaison est assurée par des protocoles de communication sur des plages de fréquences dédiées et autorisées.
- En général, les informations de contrôle de la trajectoire sont transmises sur la fréquence de 2,4 GHz. Cette fréquence est commune avec celles utilisées pour le Wi-Fi. C'est pourquoi des interférences entre la radiocommande et le drone peuvent se produire lors de vols dans des zones urbaines et/ou peuplées.
- Lorsque le drone est équipé de caméras, le retour vidéo est transmis sur une autre fréquence, généralement 5,8 GHz. Cette fréquence plus élevée permet des débits de données plus importants (nécessaires à la transmission des images), malgré une portée plus faible par rapport à la fréquence de 2,4 GHz.
- Les autres fréquences sont 1,3GHz, 900MHz ou 433MHz. Les fréquences historiques de 27MHz ou 72MHz utilisées pour les modèles réduits ne sont plus utilisées pour les drones en raison des perturbations et de la longueur de l'antenne. Plus la fréquence est basse, plus l'antenne est longue.
- Pour toutes les fréquences, en raison de la perte atmosphérique, la plus puissante transmettra plus loin, voir les spécifications de votre drone.
- Certains drones à usage strictement professionnel peuvent utiliser le réseau téléphonique (4G) pour la transmission, de sorte que leur portée est extrêmement étendue.
- Pendant le vol, le télépilote doit vérifier que le signal est suffisamment puissant et que le drone se trouve à portée de réception pour garder le contrôle. L'intensité et la qualité du signal sont généralement indiquées sur l'écran de la télécommande.

## 4.2 Contrôles

### Modes de contrôle

Il est possible de configurer le contrôleur de différentes manières :

Le mode 1 est la commande "modèle réduit" actuellement utilisée par les pilotes de drones ailés.

**Le mode 2 est la commande habituelle des multicopters, tous les pilotes l'utilisent (certains petits drones jouets n'ont que ce mode). Le joystick gauche pour la montée/descente et la rotation, le joystick droit pour la marche avant/arrière et la translation gauche/droite.**

Les modes 3 et 4 peuvent être utilisés dans des situations particulières.

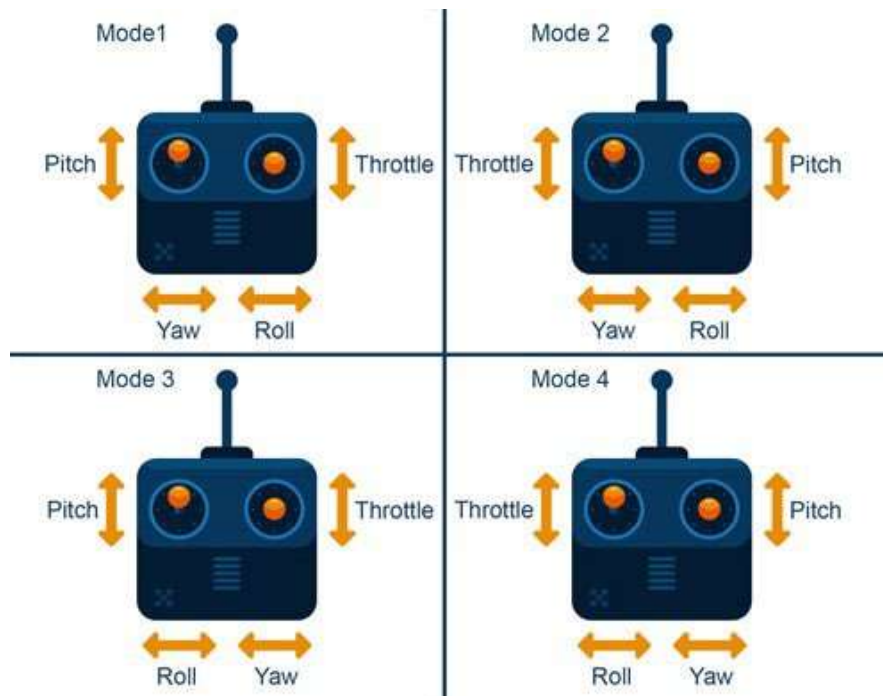


Figure 31 Modes de contrôle (gitplanet.com)

### Les mouvements du MODE 2 en détail

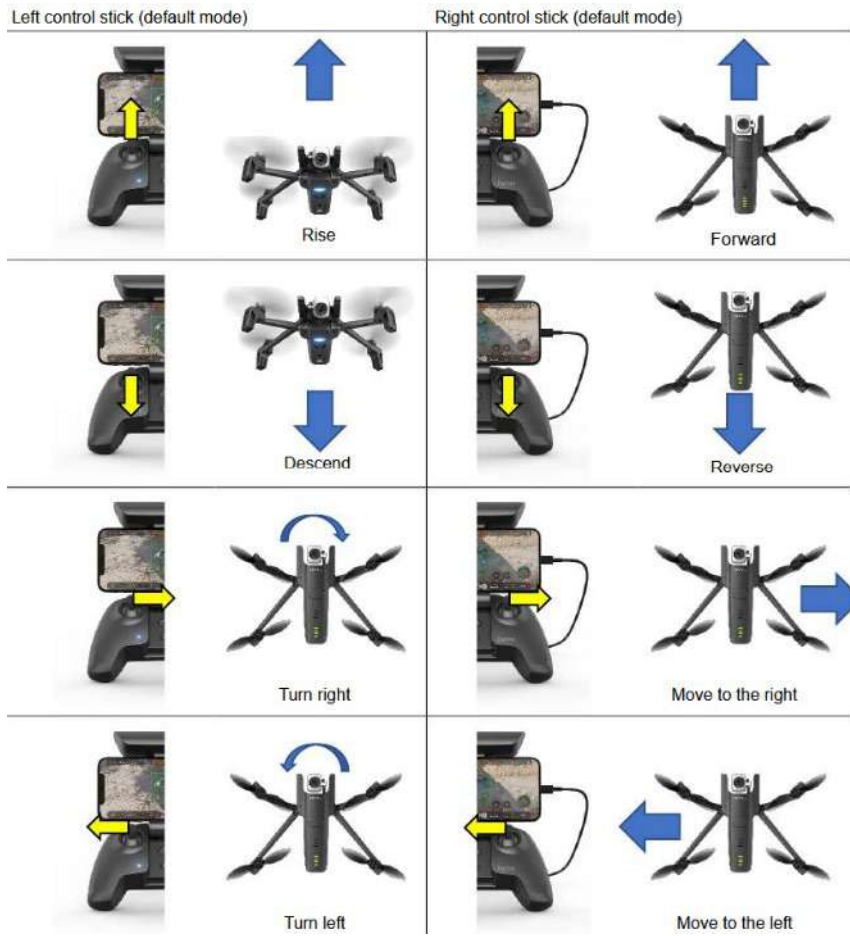


Figure 32 Contrôle du drone en mode 2 (manuel Parrot Anafi)

## Différents types de contrôleurs de drone



Figure 33 Arrière du contrôleur Parrot Anafi (Parrot)



Figure 34 Contrôleur tactique Mobilicom (Mobilicom)



Figure 35 Contrôleur intelligent DJI (DJI)

Selon le fabricant (et le prix), l'écran peut faire partie de la manette ou d'un smartphone ou d'une tablette pour afficher les données et l'image.



Figure 36 Contrôleur GCS pour photographie ou film professionnel (pinterest.fr)

- retour vidéo de la caméra,
- + écran d'information
- + tablette
- = un contrôleur très instructif !



## 4.3 Paramètres à l'écran

Exemple de l'Anafi























Figure 37 Affichage du contrôleur Anafi (Parrot)

Ci-dessus, l'écran d'Anafi est divisé en 4 parties autour de la vue centrale de la caméra (qui peut être remplacée par la carte, vue à l'intérieur du petit cercle sur le côté).


<p><b>Informations sur le vol du drone :</b></p> <p>Vitesse // altitude // distance du point de décollage</p>	<p><b>Piles et informations GPS :</b></p> <p>Niveau de batterie et GPS ok dans la Radiocommande // Niveau de batterie dans le drone et GPS ok</p>
<p style="text-align: right;">Appareil photo inclinaison</p> <p style="text-align: center;">Vue de la caméra (ou de la carte)</p> <p>Valeur Zoom</p> <p style="text-align: center;">(cercle : carte ou vue de la caméra)</p>	
<p><b>Type de mode de vol :</b></p> <p>Mode de réponse général // manuel ou automatique // sélection de "cineshots":</p> <p>(me suivre, tourner autour d'un point, garder un point centré en se déplaçant...)</p>	<p>Fonctionnement de l'appareil photo :</p> <p>Enregistrement photo ou vidéo // vitesse d'obturation, ouverture, réglage de la luminosité, compression des fichiers // nombre possible de photos ou de minutes vidéo dans la mémoire // déclenchement de la photo ou de la vidéo</p>

# Drone Flight Modes

	<b>Acro</b> Aerobatic, Agility, Manual, Rate		<b>Drift</b>		<b>Home Lock</b> Carefree, Headless, Simple		<b>Return to Home</b> Auto Return, Return to Launch, RTL
	<b>Active Track</b>		<b>First Person View</b> FPV		<b>Hover</b> Hold Position, Loiter		<b>Tap Fly</b>
	<b>Altitude Hold</b> A-mode, ATTI		<b>Follow Me</b>		<b>Normal</b> Angle, Horizon, Position, Standard		<b>Terrain Follow</b>
	<b>Auto Land</b> One Touch Down		<b>Geo-fencing</b> Safe Circle		<b>Obstacle Avoidance</b>		<b>Tripod</b> Beginner
	<b>Course Lock</b>		<b>Gesture</b>		<b>Point of Interest</b> Circle, Orbit		<b>Wayfind</b> Guided, Pro- grammed

Primary Modes
  Smart Modes
  Advanced Modes

There are many other specialized modes.



Stephens

Figure 38 Exemples de modes de vol (Stephens - Flickr.com)

# 5. Entretien

## 5.1 Registres d'entretien

Le fabricant d'un drone ou, le cas échéant, le titulaire de son certificat de type doit préparer et élaborer un manuel ou un ensemble de manuels décrivant l'entretien et l'inspection de l'aéronef. Ces manuels doivent inclure des lignes directrices pour effectuer les tâches d'inspection, d'entretien et de réparation nécessaires aux niveaux appropriés et spécifiques de l'aéronef et de ses systèmes associés.

L'exploitant est responsable du maintien et de la conservation de la navigabilité et doit pouvoir démontrer à tout moment que l'UAS et ses systèmes associés conservent les conditions de navigabilité pour lesquelles ils ont été fabriqués. En outre, l'opérateur doit se conformer à toute exigence de maintien de la navigabilité déclarée obligatoire par le fabricant et/ou l'AESA.

À ces fins, l'exploitant doit mettre en place un système d'enregistrement des données concernant :

- Les vols effectués, le temps de vol, le pilote, le drone, le lieu, la catégorie, la mission...
- Les déficiences qui sont survenues avant et pendant les vols, afin qu'elles soient analysées et résolues.
- Les événements significatifs liés à la sécurité.
- Les Inspections et actions de maintenance et de remplacement de pièces effectuées.

Dans tous les cas, l'entretien et les réparations doivent être effectués conformément aux directives du fabricant ou, le cas échéant, du détenteur du certificat de type de l'aéronef.

## 5.2 Contenu du programme d'entretien

Le programme d'entretien de l'UAS précisera les détails de toutes les tâches d'entretien qui doivent être effectuées sur la base du manuel d'entretien fourni par le fabricant, y compris leur fréquence et toutes les tâches spécifiques liées au type et à la spécificité des opérations.

Vous devez définir les types d'examens applicables à l'UAS, ainsi que leur périodicité, soit par opération, heures, calendrier, cycles de vol (décollage/atterrissage), ou une combinaison de ceux-ci. En outre, l'opérateur doit se conformer à toute exigence de maintien de la navigabilité déclarée obligatoire par l'EASA.

Le maintien de la navigabilité s'entend comme l'ensemble des processus qui garantissent que le drone est conforme aux exigences de navigabilité en vigueur à tout moment de sa vie opérationnelle, et qu'il est donc en mesure de fonctionner en toute sécurité. D'autres exigences, telles que la sécurité physique, doivent être prises en considération.

Le programme doit inclure la liste des outils qui seront utilisés, ainsi que la périodicité de l'étalonnage de ceux qui le nécessitent.

## 5.3 Premier contrôle après l'assemblage

Une fois le système de drone assemblé et avant son premier vol, une révision complète sera effectuée, qui comprendra une vérification de la structure en général, de la configuration et de l'opérabilité du système :

### Examen de tous les éléments

Structure, enveloppe, équipement et systèmes, moteurs, ESC, distributeur de puissance, hélices/rotors, transmissions, connecteurs électriques, câblage, visserie générale, lumières, peinture, systèmes d'urgence, fixation de la plaque d'identification, rotors, tiges, plaque oscillante, porte-pales, arbres, stabilisateurs, pignons, couronnes, poche à gaz, nacelles, tuyaux, filtres, réservoirs... (en spécifiant chaque élément pour le type d'aéronef).

### Essai fonctionnel au sol

- Étalonage et vérification des capteurs et de l'équipement nécessaires pour effectuer les opérations prévues (étalonage des commandes et des manches de l'émetteur, liaison du récepteur et canaux corrects, étalonage de l'ESC, numérotation et sens de rotation corrects des moteurs électriques, positionnement correct des hélices, équilibrage correct des hélices).
- Installation de la version appropriée du logiciel et vérification de son fonctionnement.
- Fonctionnement de l'équipement de communication - liaison de données, fonctionnement de l'équipement de transmission vidéo. Puissance et qualité du signal.
- Vérifier son fonctionnement (y compris les commandes de vol à une distance d'au moins 30 m de l'aéronef).
- Exécuter les essais fonctionnels définis par le fabricant, le cas échéant.
- Vérification du bon fonctionnement des équipements de navigation (pilote automatique et stabilisateur) et des capteurs embarqués (GPS, IMU, baromètre, gyroscope, magnétomètre...). Configuration et étalonage.
- Vérifier le réglage et le fonctionnement corrects de la charge utile.

### Essai fonctionnel en vol

- Vérifier son opérabilité. (Vérifier le bon fonctionnement de l'aéronef dans ses différents modes de vol et tester toutes les fonctionnalités avancées, les systèmes de fin de vol en toute sécurité, les systèmes d'urgence, le transpondeur, la détection et l'évitement).
- Fonctionnement des équipements de communication, de navigation et de transmission vidéo (le cas échéant).

## Batterie

Pour un entretien correct et sûr, suivez les instructions ci-dessous :

- N'utilisez que des chargeurs spécifiques pour les batteries au lithium polymère (LIPO) pour une charge sûre et efficace. La plupart des batteries LiPo doivent être chargées à un maximum de 4,2 volts par élément. En cas de mauvaise utilisation ou de charge insuffisante de la batterie LIPO, il peut en résulter un incendie, des blessures ou des dommages à des personnes ou à des objets.
- Vous devez surveiller la batterie à tout moment pendant le processus de charge.
- Ne chargez pas les batteries à proximité de matériaux inflammables ou conducteurs d'électricité. Pour plus de précautions, utilisez des sacs ignifugés spéciaux pour introduire les LiPo à charger.
- Ne chargez jamais une batterie gonflée, agrandie, endommagée ou détériorée.
- Ne surchargez jamais la batterie. Lorsque le processus de charge est terminé, déconnectez la batterie du chargeur.
- Débrancher le chargeur de batterie lorsqu'il n'est pas utilisé.
- Conservez les piles dans un conteneur métallique ou en céramique ou dans des sacs ignifugés spécialement préparés à cet effet. Conservez toujours les piles à température ambiante ; les températures extrêmes ne sont pas recommandées. Conservez les piles dans des endroits où la température est comprise entre 4 et 27 degrés pour les maintenir en parfait état. Lors du transport des piles, la température doit toujours être maintenue entre -5° et 66°C.
- Conservez toujours les piles à l'écart du feu ou d'autres sources de chaleur. Ne pas exposer les piles à la lumière directe du soleil pendant de longues périodes.
- Stockez toujours les batteries avec une charge partielle (30 %) si elles ne sont pas utilisées pendant un certain temps. Ne les stockez pas complètement déchargées. Les batteries perdent environ 5 % par mois lorsqu'elles sont stockées dans de bonnes conditions.
- Ne pas conserver les piles endommagées dans des sacs en plastique.
- Après avoir utilisé les piles, attendez environ 25 minutes pour qu'elles refroidissent afin de les recharger en toute sécurité.
- Assurez-vous que les connexions ont été effectuées correctement. Un placement inversant la polarité peut entraîner des risques de dommages, d'incendie et même d'explosion.
- Ne jamais court-circuiter la batterie, ni la couper ou la casser.
  - Vérifiez la batterie après un choc. Si vous devez la mettre au rebut, n'oubliez pas de respecter les dispositions légales en vigueur en matière d'élimination des déchets.
  - Ne jamais insérer ou retirer la batterie lorsque le véhicule est en marche.
- Débranchez immédiatement la batterie si vous détectez une odeur étrange, un bruit ou de la fumée.

- En cas d'incendie, n'essayez pas d'éteindre les flammes avec de l'eau. Utilisez un extincteur.
- Laissez toujours la batterie déconnectée de l'appareil lorsqu'elle n'est pas utilisée.
- Ne jamais décharger complètement la batterie, la tension de chaque élément ne doit jamais descendre en dessous de 3 volts, si elle descend en dessous de cette limite, elle endommagera irrémédiablement la batterie. Il est recommandé de ne pas décharger la batterie en dessous de 12-18% de sa capacité totale ou d'une tension de 3,4 volts pour chacun des éléments qui composent la batterie.
- Dans tous les cas, il convient de suivre les recommandations du fabricant.



## 5.4 Révisions périodiques.

Défini par le fabricant et/ou dans le manuel de l'opérateur :

- **Documentation :** Données de l'opérateur, du technicien de maintenance, manuels de maintenance du fabricant. Date de la dernière révision, type, modèle et immatriculation de l'aéronef.
- **Structure de l'aéronef :** Vérifier la présence de bosses, de fissures ou de désalignements dans le châssis, le fuselage, les surfaces stabilisatrices, le train d'atterrissage, les bras, le carénage, les antennes, les surfaces mobiles (avions), le centre de gravité. Fixation des vis avec de la colle anti-vibrations. Remplacement des servos si nécessaire. Plaque d'identification (conservation et fixation correctes).
- **Rotors :** Examen de la propreté, des bosses, des fissures ou des désalignements dans le système de transmission de puissance, des surfaces mobiles et de la stabilisation de l'axe, des supports de pales, de l'arbre de transmission, du stabilisateur, des vis, du pignon, de la couronne, etc...
- **Moteurs (électriques) :** Propreté générale, moyeux des pales, fixation aux bras, absence d'odeurs étranges. Remplacement des roulements le cas échéant, nettoyage des roulements, lubrification des pièces mobiles, remplacement des circlips et silent-blocs usés, remplacement des variateurs en surchauffe.
- **Hélices ou pales :** Ajustement à l'axe et du sens de rotation, état physique (propre, sans érosion ni usure), correctement équilibré.
- **Les batteries :**
  - Batteries d'avion : contrôle visuel, pas de coups, de gonflements ou de perforations. Vérifier l'équilibre des cellules à l'aide d'un testeur (pas plus de 0.1V de différence entre cellules). Mesurer le niveau de charge avant et après le vol. État des câbles et des connecteurs (absence de carbone). Fixation de la batterie.
  - Batteries de l'émetteur : contrôle visuel, pas de bosses, de gonflements ou de perforations. Vérifier l'équilibre des cellules à l'aide d'un testeur. Mesurer le niveau de charge avant et après le vol. État des câbles et des connecteurs (absence de carbone).
  - Batteries de l'écran FPV : contrôle visuel, sans coups, ni gonflement, ni perforation. Vérifier l'équilibre des cellules à l'aide d'un testeur. Mesurer le niveau de charge avant et après le vol. État des câbles et des connecteurs (absence de carbone).
  - Batteries : contrôle visuel, sans coups, gonflements ou perforations. Vérifier l'équilibre des cellules à l'aide d'un testeur. Mesurer le niveau de charge avant et après le vol. État des câbles et des connecteurs (absence de carbone). Fixation des batteries.

- **Câblage général :** Câbles d'État, sans rupture ni usure, connecteurs en bon état.
- **Lampes LED et/ou peinture :** Feux de position/navigation et feux de code non fusionnés. Conservation correcte de la peinture.
- **Charge utile :** Fixation et mouvements corrects du cardan (dans le cas d'une charge utile gyrostabilisée) et fixation correcte dans le cas d'un autre type de charge utile.
- **Positionnement et étalonnage du GPS et de la boussole :** GPS réglé et mémorisé, boussole calibrée. Si RTK : bonne connexion et obtention de la précision centimétrique de positionnement.
- **RC - Station au sol :** Position correcte des interrupteurs (Attitude, GPS, Fails Safe, etc.), manches en position 0, mouvements libres des manches, antennes correctement fixées, sangles de retenue et harnais en bon état, sélection de l'aéronef à l'écran, activation de la minuterie, niveau de la batterie.
- **Écran FPV :** Informations correctes et transmission IOSD, image FPV, force du signal, nombre de satellites, visières anti-reflets correctement réglées.
- **Mise à jour du logiciel :** vérifier la version mise en œuvre et son bon fonctionnement.
- **Vérification de la puissance et de la qualité du signal.**
- **Essai fonctionnel :** allumage de l'aéronef, vérification des voyants et des sons de diagnostic, démarrage du moteur, vérification correcte du virage et de la vitesse de tous les éléments, absence de vibrations, décollage stationnaire à 2 mètres du sol, tangage avant et arrière en douceur, inclinaison à droite et à gauche, virage en lacet à droite et à gauche. Dans les avions, vérifiez au sol le mouvement correct des gouvernes mobiles (ailerons, gouverne de profondeur et de direction, volets, assurez-vous que les commandes ne sont pas inversées).
- **Répétition de l'essai fonctionnel au sol**
- **Répétition de l'essai en vol**

## 5.5 Autres revues

En dehors de l'entretien de base programmé, il peut y avoir des examens extraordinaires, par exemple en cas de détection d'anomalies pendant le fonctionnement de l'aéronef, d'application de modifications à l'aéronef, de nécessité d'appliquer des travaux de réparation ou de remplacement de pièces.

Le programme d'entretien identifiera toutes les tâches d'entretien supplémentaires qui doivent être effectuées en fonction du type et de la configuration de l'aéronef, ainsi que du type et de la spécificité de l'opération.

Par exemple :

- Révision des composants à durée de vie limitée et des composants fondamentaux pour la sécurité des vols.
- Après la période fixée par leurs fabricants, le cas échéant : moteur, hélices, système de contrôle (communications/navigation).
- Bulletins émis par le fabricant.
- Application des modifications apportées par le fabricant.
- Réparations.
- Révisions incluses dans les manuels d'entretien des composants spécifiques de l'UAS.
- Consignes de navigabilité pour les drones disposant d'un certificat de type, délivré ou accepté par l'AESA.
- Approbations opérationnelles spéciales.

## 6. Fiche d'entretien de drone, exemple

ENREGISTREMENT DES ACTIONS DE MAINTENANCE DU DRONE [Type, fabricant, modèle et numéro de série] DE L'OPÉRATEUR XXXXXXXX							
DATE DE RÉALISATION	LIEU DE RÉALISATION	CLASSE (INSPECTION, RÉVISION, RÉPARATION)	NOMBRE TOTAL D'HEURES DE VOL	LES TÂCHES ACCOMPLIES (S'il s'agit d'une réparation, indiquer le diagnostic et l'action corrective)	OBSERVATIONS	DÉTAILS de la personne effectuant la maintenance (nom, organisation, etc.)	SIGNATURE de la personne effectuant la maintenance

ENREGISTREMENT DES ACTIONS DE MAINTENANCE DE L'UAS [Type, fabricant, modèle et numéro de série] DE L'OPÉRATEUR XXXXXXXX					
DATE DE RÉALISATION	LIEU DE RÉALISATION	LE DÉTAIL DES MODIFICATIONS ET LA RÉFÉRENCE DU FABRICANT  (Modifications qui modifient les performances de l'aéronef)	OBSERVATIONS	DÉTAILS de la personne qui effectue la maintenance (nom, organisation, etc.)	SIGNATURE de la personne responsable de la modification

Tableau 1 carnet d'entretien

# Liste des figures

Figure 1 Portance de l'aile - (flight-mechanic.com-modifié) .....	7
Figure 2 Décrochage (researchgate.net/profile/Mariateresa-Sestit).....	7
Figure 3 Traînée aérodynamique-(cyclingdynamics.com).....	8
Figure 4 Filets d'air sur un profil.....	8
Figure 5 Les 4 forces en jeu dans le vol .....	9
Figure 6 Portance et propulsion de l'hélice-(firediy.fr) .....	9
Figure 7 Un hélicoptère s'incline vers l'avant pour avancer-(aircraftsystemstech.com) .....	10
Figure 8 Actions des hélices pour diriger un drone multirotor (i.pining.com) .....	11
Figure 9 Noms des axes d'un aéronef (parrot.fr) .....	12
Figure 10 Composants électroniques du drone (IO.wp.com) .....	14
Figure 11 Contrôleur de vol - dronenodes.com.....	16
Figure 12 Liaisons vers le contrôleur de vol - phaserfpv.com.au .....	16
Figure 13 UMI Aduino (ddcontre-mesures).....	17
Figure 14 DJI Mavic 2 pro IMU (drone-parts-center.com).....	17
Figure 15 Mouvements d'étalonnage du magnétomètre autour de chaque axe - yangdaonline.com.....	18
Figure 16 Gyroscope MEMS (STmicroelectronics) .....	18
Figure 17 Principe du micro-accéléromètre (researchgate.net, Xuemin-chen publication) .....	19
Figure 18 émetteur et récepteur d'ultrasons - eye4i.ch.....	20
Figure 19 Détection ultrasonique verticale et horizontale - microcontrolertips.com.....	20
Figure 20 capteurs de proximité sur un drone (drone-festival.com) .....	21
Figure 21 Récepteur GPS - Beitian corp. ....	22
Figure 22 ESC - oscarliang.com .....	23
Figure 23 Définition de l'hélice (bowersflybaby.com) .....	24
Figure 24 Hélice -DJI.....	24
Figure 25 Carte de distribution d'énergie pour drone - hobbyking.com.....	25
Figure 26 Batterie en feu à cause d'un stockage à pleine charge - swellpro-uk.co.uk.....	27
Figure 27 Autocollant d'avertissement - fromkristies.blogspot.com .....	27
Figure 28 La batterie à 1/2 charge est bonne pour le stockage - generation-nt.com.....	27
Figure 29 Paramètres d'alerte de la batterie - DJI.....	28

Figure 30 niveaux des cellules de la batterie (Volt).....	28
Figure 31 Modes de contrôle (gitplanet.com).....	31
Figure 32 Contrôle du drone en mode 2 (manuel Parrot Anafi) .....	32
Figure 33 Arrière du contrôleur Parrot Anafi (Parrot) .....	33
Figure 34 Contrôleur tactique Mobilicom (Mobilicom) .....	33
Figure 35 Contrôleur intelligent DJI (DJI) .....	33
Figure 36 Contrôleur GCS pour photographie ou film professionnel (pinterest.fr) .....	33
Figure 37 Affichage du contrôleur Anafi (Parrot) .....	34
Figure 38 Exemples de modes de vol (Stephens - Flickr.com).....	35

## Liste des tableaux

Tableau 1 carnet d'entretien.....	44
-----------------------------------	----