

---

## 4 Connaissances générales des aéronefs télépilotés

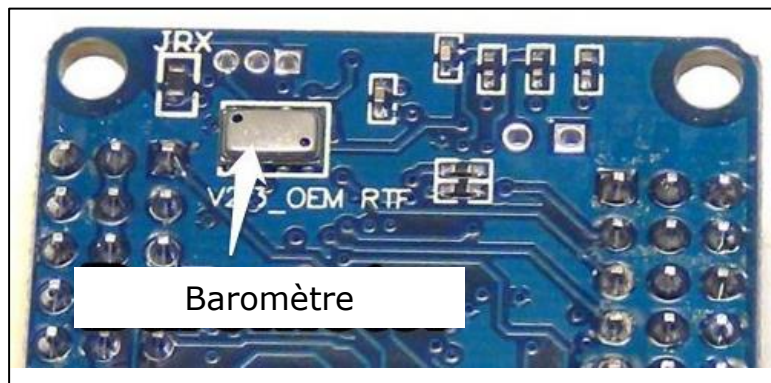
# 5 Capteurs sur aéronefs télépilotés

---

### A – Capteurs spécifiques aux aéronefs télépilotés

#### 1 – Baromètre

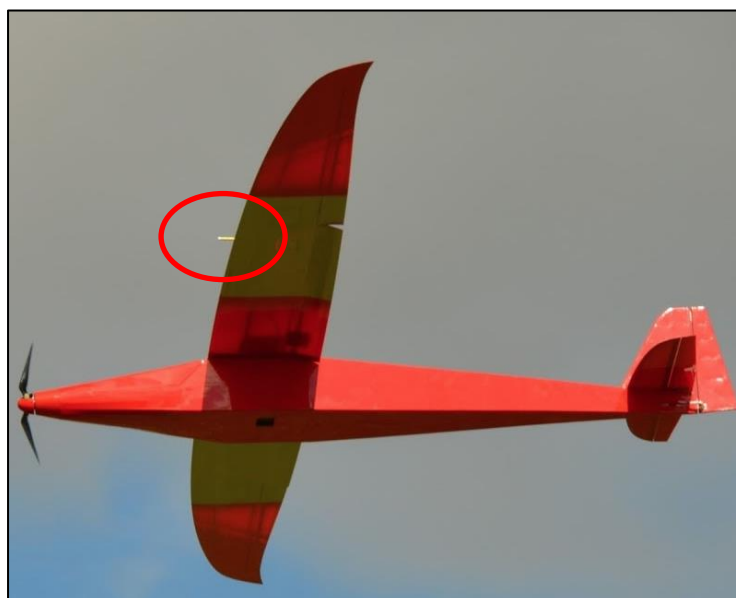
Un baromètre est un capteur de pression utilisé pour mesurer l'altitude des aéronefs. Ce capteur de pression est si sensible qu'il peut détecter le changement de pression d'air lorsque votre drone se déplace de seulement quelques centimètres.



*Capteur de baromètre monté sur la face inférieure d'un contrôleur de vol*

#### 2 – Anémomètre

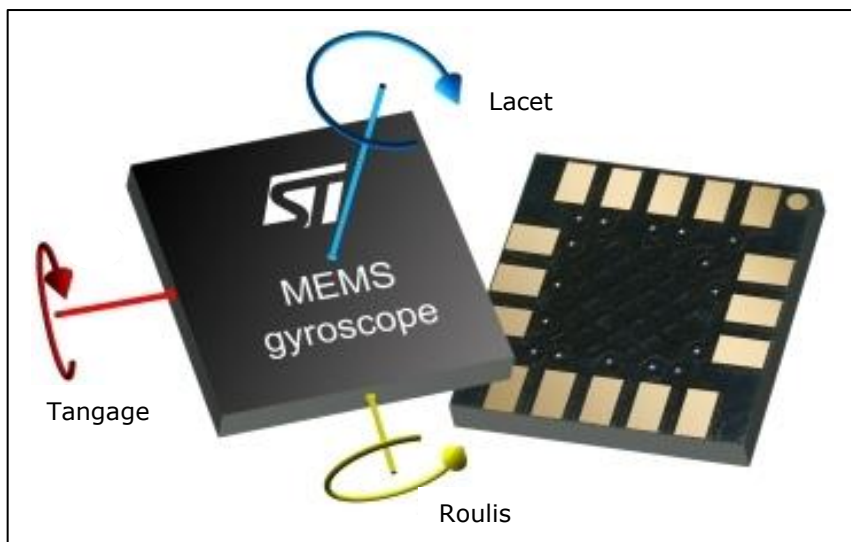
L'anémomètre est uniquement utilisé sur les drones à voilure fixe. Un capteur de vitesse anémométrique représente une autre forme de capteur de pression, mais au lieu de mesurer l'altitude, il mesure la vitesse de l'aéronef par rapport à la masse d'air. Pour cela, il compare la pression dynamique et la pression statique via un tube de Pitot.



*Tube Pitot du drone AVEM D'AEROMAPPER certifié S-4*

La connaissance de la vitesse est importante pour les avions à voilure fixe, car elle permet à l'appareil de rester dans son domaine de vol. Elle sera particulièrement utile lors de la phase d'atterrissage pour assurer à chaque fois une marge de sécurité par rapport au décrochage.

### 3 - Accéléromètre et Gyroscope

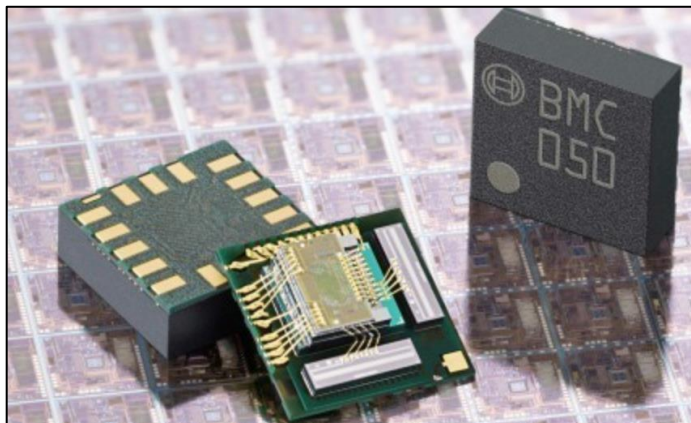


L'accéléromètre et le gyroscope sont les capteurs interactifs du drone. L'accéléromètre mesure les forces d'accélération et le gyroscope mesure les forces de rotation. En combinant ces mesures, le contrôleur de vol est capable de calculer l'assiette du drone (angle de vol) et d'effectuer les corrections nécessaires pour assurer sa stabilité par exemple.

## B - Autres servitudes

### 1 - Compas (magnétomètre)

Le capteur de mesure de cap, ou magnétomètre, mesure la force magnétique, tout comme une boussole. Ce capteur est important pour les drones multicopters car les capteurs de l'accéléromètre et du gyroscope ne sont pas suffisants pour permettre au contrôleur de vol de connaître la direction dans laquelle se trouve le drone.



---

## 4 Connaissances générales / 5 Capteurs sur aéronefs télépilotes

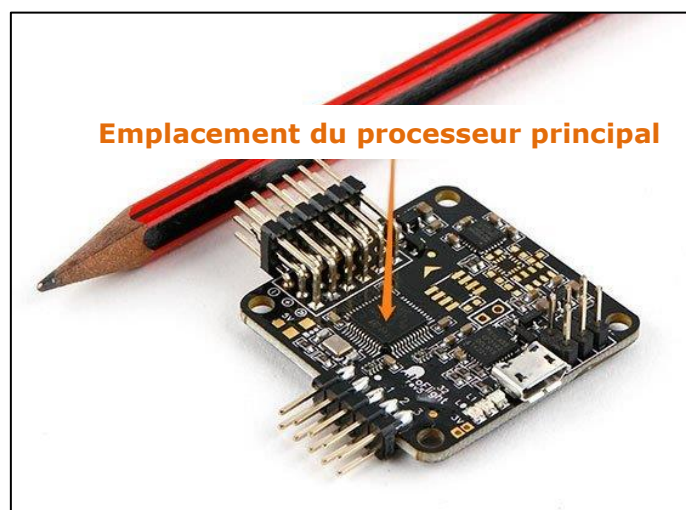
---

Les compas sont très sensibles aux interférences magnétiques : les fils électriques, les moteurs, ou les ESC par exemple, peuvent causer des interférences magnétiques. Un compas supplémentaire est donc monté sur le module GPS car ce dernier est généralement situé loin de tous les autres équipements de l'appareil.

Il sera également nécessaire de calibrer le compas lors d'un déplacement de plus de 200 km ou à intervalle régulier si défini dans le manuel d'utilisation/entretien.

### 2 - Processeur

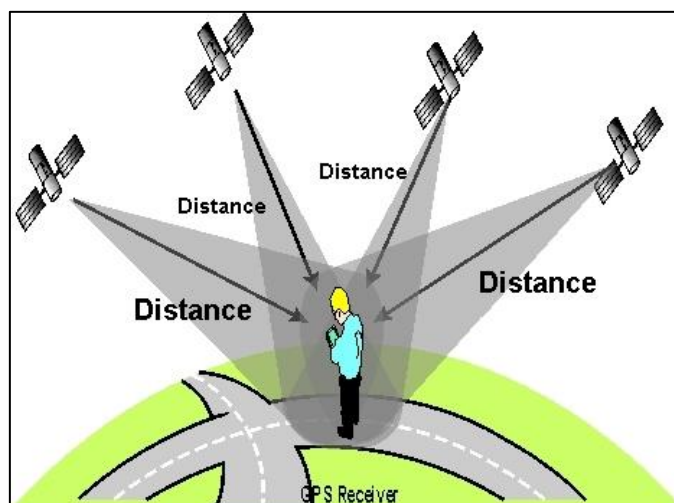
Le processeur est l'unité centrale qui exécute le microprogramme du pilote automatique et qui effectue tous les calculs. La plupart des contrôleurs de vol ont des processeurs 32 bits.



### 3 - Combinaison de capteurs

Le pilote automatique (PA) va intégrer les informations reçues de l'ensemble des capteurs disponibles sur le drone pour assurer le pilotage des trajectoires et la stabilité en vol. Cet ensemble de capteurs constitue les degrés de liberté du système (*Degrees Of Freedom, DOF*). Un pilote automatique à 6 DOF sera par exemple composé d'un accéléromètre 3 axes et d'un gyroscope 3 axes.

### 4 - Global Positioning System (GPS)



Un module GPS mesure l'emplacement du drone par la mesure du temps de propagation du signal entre le satellite et le récepteur fixé sur le drone. La réception de 4 satellites par le récepteur permettra au module GPS de donner une estimation de la position latérale et de l'altitude du drone. Cependant, les modules GPS sont plutôt imprécis et ne donneront qu'une position à environ 5 m.

Le GPS, couplé aux capteurs tels que le baromètre ou l'accéléromètre, permettra au pilote automatique d'avoir une représentation précise de la position du drone dans l'espace.

La principale fonction apportée par le module GPS est, en mission, le positionnement de l'appareil par rapport à des points de passage (*waypoints*) repérés grâce à leurs coordonnées géographiques. Il peut s'agir au minimum du point de décollage et du point d'atterrissage s'ils ne sont pas confondus.

Certains modules GPS récents peuvent recevoir en même temps les satellites de plusieurs constellations GPS (américaine, européenne, russe, chinoise, etc.). Cela permet au module d'être encore plus précis sur la position annoncée du drone dans l'espace. L'information sera également plus fiable en cas d'éventuelle perte de signaux de la part d'un satellite.

Le module GPS doit être installé sur la partie supérieure du drone afin d'être en permanence en vue du ciel. Sur les drones multicopters, il est généralement positionné sur un mât afin d'être le plus distant possible des autres instruments électroniques et moteurs qui peuvent perturber la réception du signal satellite.



*Montage du récepteur GPS sur un mât à l'écart des interférences électriques*

Parce que le module GPS est souvent monté loin de l'interférence d'autres appareils électroniques, il contiendra également le compas, lui aussi sensible aux interférences.

### **5 - Télémétrie et station au sol**

La télémétrie désigne les échanges de données entre le drone et la station au sol (télécommande, ordinateur, smartphone, etc.). Il peut s'agir de données de navigation, de paramètres de vol, mais non des commandes primaires de pilotage du drone. Ainsi, la télémétrie n'est pas essentielle au pilotage du drone mais elle permet d'ajouter des fonctions supplémentaires en lien avec la mission.



## 4 Connaissances générales / 5 Capteurs sur aéronefs télépilotés



Exemples de modules de télémétrie

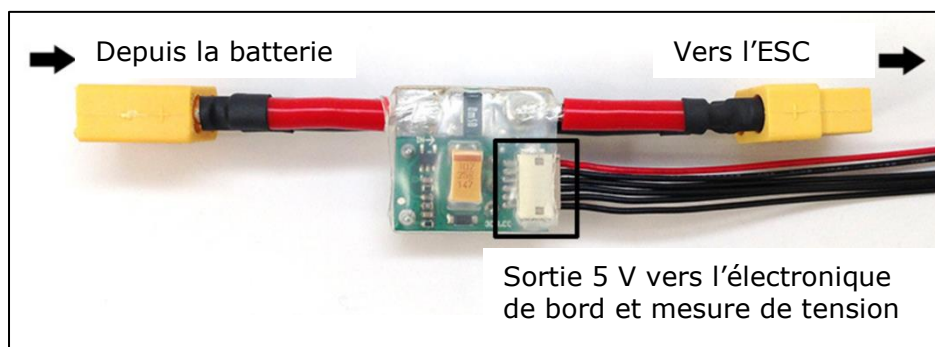
La station au sol est un logiciel qui fonctionne sur PC, tablette, ou smartphone, et qui permet d'échanger avec le drone en vol par télémétrie. Le type de pilote automatique employé sur le drone pourra déterminer le type de station au sol à utiliser.

Les modules de télémétrie sont les dispositifs radio qui transmettent et reçoivent les données entre le drone et la station au sol. Ces modules devront souvent être jumelés avec le pilote automatique afin qu'ils puissent communiquer.



## 6 - Module de puissance

La, ou les batteries du drone alimentent à la fois les moteurs et les servitudes électroniques du drone, dont le pilotage automatique. Ces éléments électroniques fonctionnent avec une tension d'alimentation inférieure à celle des moteurs. Il est donc nécessaire d'installer un module de puissance, ou d'alimentation, qui convertira l'alimentation entre la batterie et l'électronique de bord (tension abaissée à 5 V le plus souvent).



Exemple de module de puissance

---

## 4 Connaissances générales / 5 Capteurs sur aéronefs télépilotes

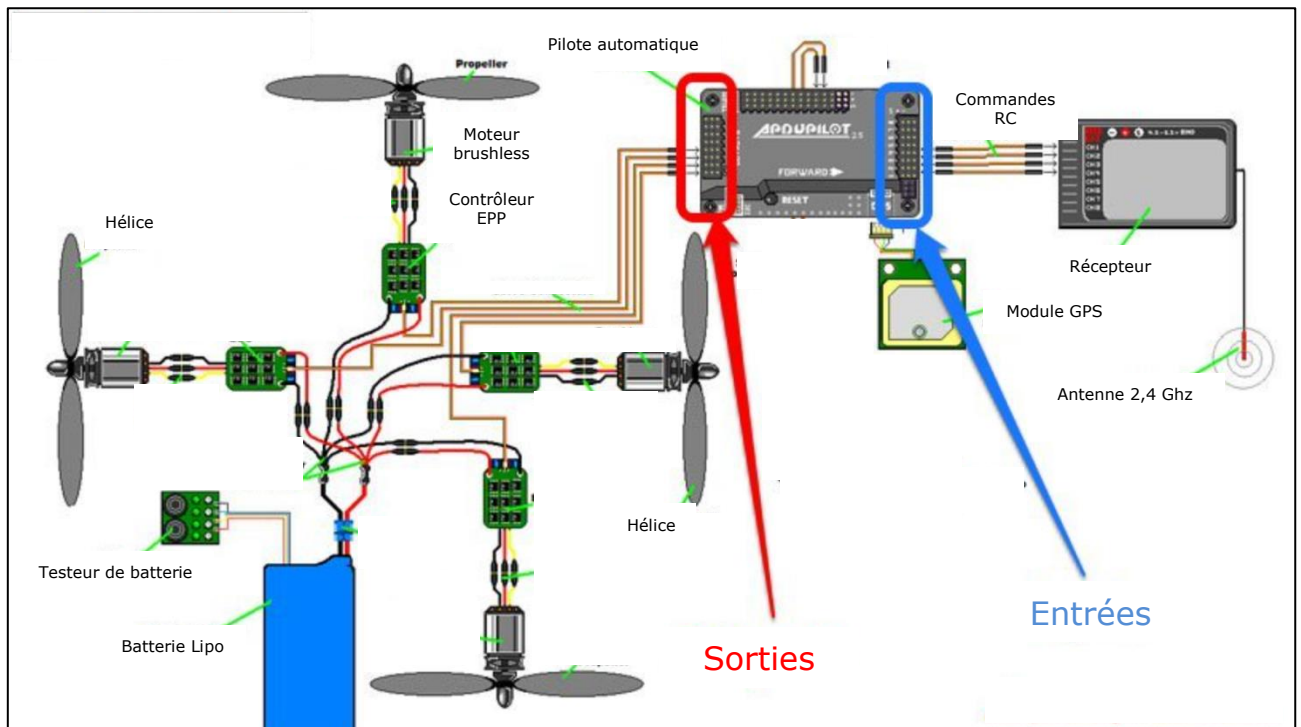
---

Un autre avantage à l'utilisation d'un module d'alimentation est qu'il donne la possibilité de mesurer la tension et la capacité de la batterie embarquée. Le contrôleur (ESC) pourra ainsi avertir le pilote de l'imminence de l'atterrissage avant que la batterie ne soit vide. D'autres systèmes de pilotage automatique ont également des fonctions de sécurité qui prennent automatiquement le relais en cas de niveau faible tension de la batterie et ramènent alors le drone au point de décollage.

### 7 - Entrées / sorties RC

Tous les pilotes automatiques présentent plusieurs connecteurs d'entrées et de sorties. En effet, le télépilote doit toujours avoir la possibilité de reprendre le contrôle du drone en mode de vol manuel (*Manual Mode*) ; ainsi, les entrées des commandes RC sont utilisées pour se connecter au récepteur RC, ce qui permet de piloter manuellement le drone.

Les sorties sont connectées aux servomoteurs pour que soit le télépilote, soit le pilote automatique puisse contrôler le drone.



Exemple de montage électronique type sur drone

### 8 - Encodeur PPM

Certains systèmes de pilote automatique ne disposent que d'une seule entrée pour toutes les commandes RC. Il sera alors nécessaire d'utiliser un encodeur dit PPM (*Pulse Position Modulation*), qui convertira l'ensemble des entrées RC en une seule pour connecter au pilote automatique.

### 9 - Capteurs de distance

Une application classique pour un capteur de distance est, en l'orientant vers le bas, d'avoir une mesure précise de l'altitude de l'aéronef. Cette fonction sera par exemple très utile au pilote automatique pour assurer précisément l'atterrissage.

### a) Capteur à ultrasons

Le capteur à ultrasons est un capteur de distance qui peut être installé sur de nombreux drones. La technologie de détection de distance à ultrasons utilise un convertisseur qui permet soit d'émettre, soit de recevoir les ondes sonores. Le convertisseur émet un certain nombre d'ondes, qui sont alors réfléchies par l'objet à détecter ou par le sol. Dès que l'émission prend fin, le convertisseur est commuté sur la réception. Le temps qui s'écoule jusqu'au retour d'un éventuel écho est proportionnel à la distance entre le capteur et l'objet ou le sol. L'instrument calcule ainsi cette distance.

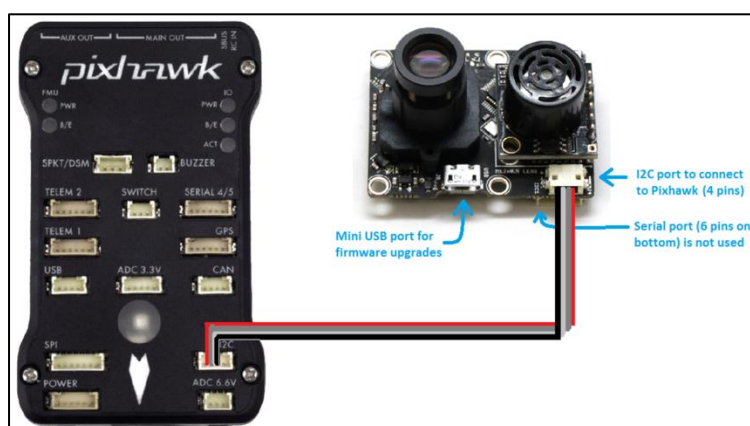
D'autres technologies de détection de distance existent, telles que les capteurs lasers (LIDAR). Ces derniers sont plus précis et ont une portée plus grande, mais ils sont chers et lourds, ce qui peut être limitant pour une utilisation embarquée sur drone.



### b) Flux optique

Lorsque vous volez en intérieur (vol *indoor*), ou sous une couverture arborée épaisse, il n'est pas toujours possible d'obtenir un signal GPS fiable. L'utilisation d'un capteur de flux optique orienté vers le bas permettra d'avoir la même mesure d'altitude que pour le capteur à ultrasons.

Actuellement, la technologie de détection de distance par flux optique est encore au stade expérimental dans la plupart des cas. Cependant, certains drones sont déjà prêts à voler avec ces capteurs, comme les drones DJI (Phantom, Inspire, Mavic ou Spark). Ils peuvent ainsi voler en intérieur.



## 10 - Enregistrement de données (boîte noire)

Certains contrôleurs de vol (Pixhawk par exemple) incluent l'enregistrement de données et stockent un journal de toutes les actions effectuées par le pilote automatique, à la manière d'une boîte noire dans un avion. Cette fonction s'avère particulièrement utile lorsqu'il y a un dysfonctionnement à bord de l'aéronef. Il suffira alors de consulter le journal de bord (*LOGBOOK*) pour identifier la source du dysfonctionnement.