

## Multicoptères (quad, hexa,...) : les bases simplifiées

1°) **Petit glossaire** des définitions fréquemment employées pour désigner les principaux termes utilisés dans l'aéromodélisme :

- **Tangage (Pitch)**: permet d'*avancer ou reculer* en inclinant le quad, respectivement vers l'avant ou l'arrière, autour d'un axe imaginaire traversant le quad dans un plan horizontal (sur un avion, quand il cabre ou pique sous l'action de la *profondeur*, il tourne autour de l'axe de tangage)

- **Roulis (Roll)**: permet de *glisser vers la droite ou la gauche* en effectuant une rotation au tour de l'axe de roulis traversant le quad dans son axe de vol (sur un avion, quand les ailes s'inclinent à droite ou à gauche sous l'effet des *ailerons*, il tourne autour de l'axe de roulis).

- **Lacet (Yaw)** : permet d'*orienter horizontalement l'appareil qui pivote sur lui même* suivant son axe de lacet dans un sens ou dans l'autre (sur un avion, quand son nez s'oriente à droite ou à gauche sous l'effet de la *direction*, il pivote sur son axe de lacet).

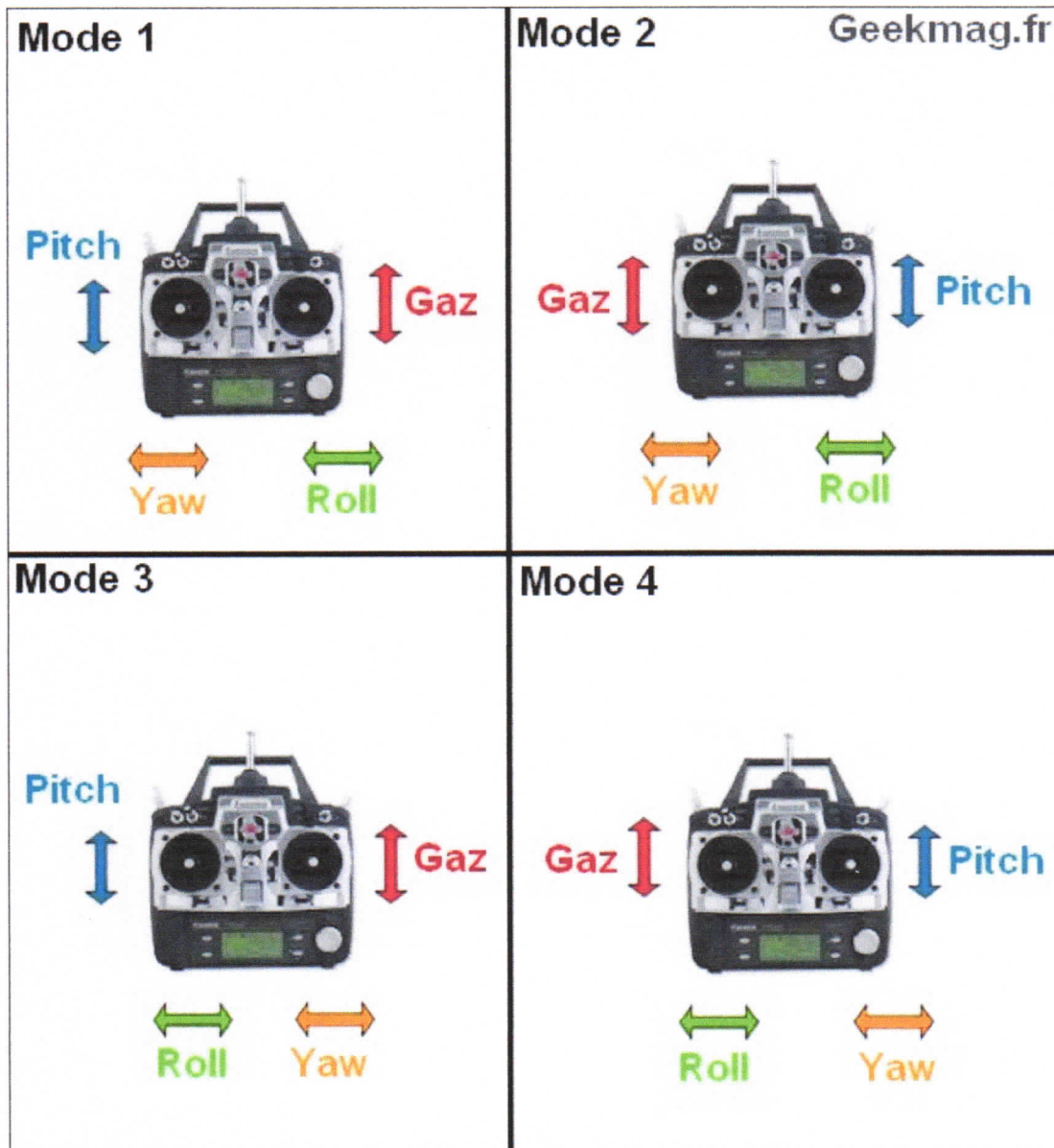
- **Throttle** : c'est la manette des gaz, elle permet de monter ou descendre en faisant travailler tous les moteurs ensemble.

### 2°) Choisir le mode de configuration de votre Radio Commande:

Sur la plus part des TX, il est possible de choisir la répartition des commandes (**Yaw**, **Roll**, **Pitch**) sur les sticks de droite et de gauche. Il existe en tout 4 modes, les plus utilisés sont le 1 et le 2. Pour le pilotage de quadricoptère, le mode 2 est le plus adapté car toute l'assiette est contrôlée par un même manche (ce qui se rapproche le plus d'un vrai hélico )



### 3°) Schéma décrivant les 4 modes de RC pour hélico et multicoptère.



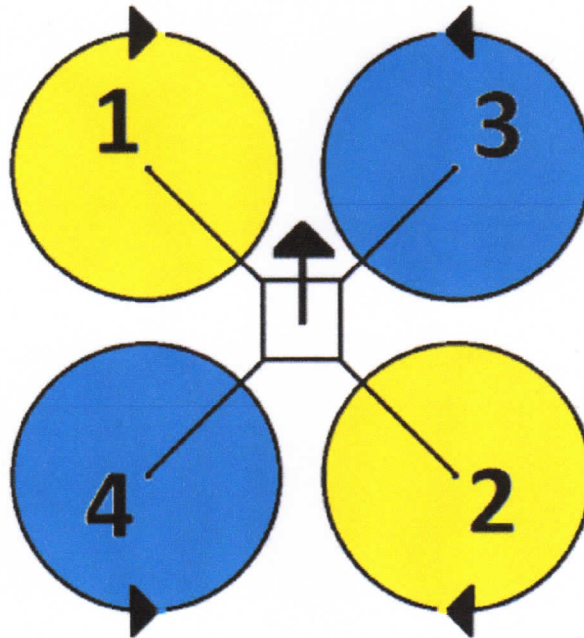
### 4°) Un multi-rotors : comment ça marche?

Sur un aéronef à multi-rotors, en l'absence de gouvernes aérodynamiques comme les ailerons ou dérive/profondeur d'un avion, vous vous demandez sans doute comment l'engin arrive à pivoter sur ses 3 axes de **tangage**, **roulis** et **lacet** ( **pitch**, **roll** et **yaw** ) ?

### Comment se déplace un quadricoptère

Pour voler et manœuvrer, un quadricoptère utilise la poussée générée par 4 hélices. Celles-ci ne tournent pas toutes dans le même sens: une moitié tourne dans le sens horaire et l'autre tourne dans le sens anti-horaire. Cette configuration a pour objectif d'annuler la contre rotation générée par le couple des hélices. Les hélices génèrent une poussée qui est proportionnelle avec leur vitesse de rotation.

Le schémas ci-après illustre une configuration typique d'un quadricoptère vu du dessus.



Pour avancer (action sur le **Pitch**), le quadricoptère doit diminuer la vitesse de rotation des hélices 1 et 3 et augmenter celle des hélices 2 et 4. Ceci aura pour conséquence de donner une inclinaison vers l'avant de l'appareil.

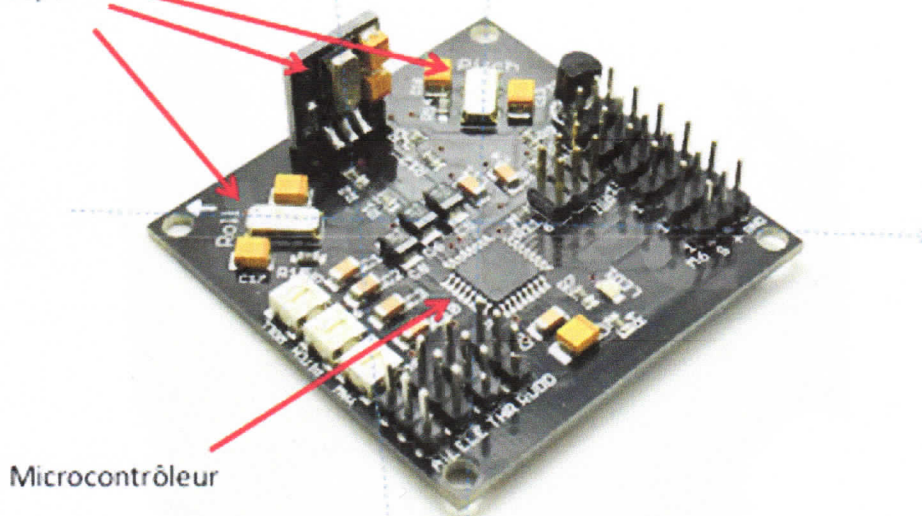
Si on désire déplacer le quadricoptère sur la droite (action sur le **roll**), on augmente la vitesse des hélices 1 et 4 en diminuant la vitesse des hélices 3 et 2.

Pour faire tourner sur l'axe du lacet (action sur le **yaw**), il faut augmenter la vitesse de rotation des hélices qui tournent dans le sens inverse du sens désiré et diminuer celle des hélices qui tournent dans le même sens. Ex : pour pivoter à gauche, on augmente les vitesses des hélices 1 et 2, et on réduit celles des 3 et 4.

### 5°) Le contrôleur de vol :

Sur le plan matériel, un contrôleur de vol est essentiellement un microcontrôleur programmable normal, mais qui dispose de capteurs embarqués. Au strict minimum, un contrôleur de vol comprendra un gyroscope à trois axes, comme décrit sur la figure qui suit. Dans ce cas, il ne sera alors pas en mesure de gérer les autres paramètres d'accélération, d'altitude, etc .....

Gyroscopes

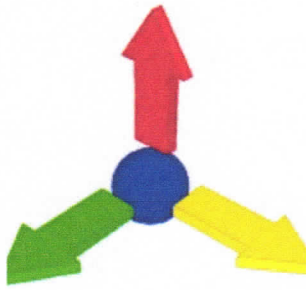


Microcontrôleur

Tous les contrôleurs de vol n'intègrent pas tous les capteurs ci-dessous et peuvent n'inclure qu'une combinaison de ceux-ci.

### Les différents capteurs pouvant être intégrés à un contrôleur :

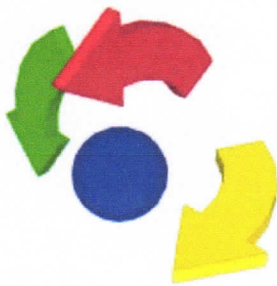
#### Accéléromètre



Axes d'un accéléromètre

Comme leur nom l'indique, les accéléromètres mesurent l'accélération linéaire sur les trois axes (appelons-les X, Y et Z). Les unités s'expriment généralement en « gravité » (G) qui représente  $9,81 \text{ m/s}^2$ , ou  $32 \text{ pieds/s}^2$ . La sortie d'un accéléromètre peut être intégrée deux fois pour envoyer une position, mais en raison de pertes dans l'émission, elle est soumise à une « dérive ». Une caractéristique très importante des accéléromètres à trois axes est qu'ils détectent la gravité et, en tant que tel, peuvent donc savoir dans quelle direction se trouve le « bas ». Cela joue un rôle majeur, puisqu'il permet à un aéronef multi-rotors de rester stable. L'accéléromètre doit être monté sur le contrôleur de vol de façon à ce que les axes linéaires s'alignent avec les axes principaux de l'UAV (Unmanned Aerial Vehicle).

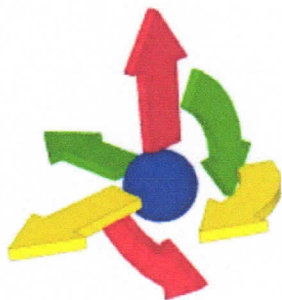
#### Gyroscope



Axes d'un gyroscope

Un gyroscope mesure le taux de variation angulaire sur jusqu'à trois axes angulaires (appelons-les alpha, bêta et gamma). Les unités sont souvent en degrés par seconde. Veuillez noter qu'un gyroscope ne mesure pas directement les angles absolus, mais vous pouvez répéter pour obtenir l'angle qui, tout comme pour un accéléromètre, est sujet à la dérive. La sortie d'un gyroscope actuel est généralement analogique ou I2C, mais dans la plupart des cas, vous n'avez pas à vous en inquiéter car cela est géré par le code du contrôleur de vol. Le gyroscope doit être monté de sorte que ses axes de rotation s'alignent avec les axes de l'UAV.

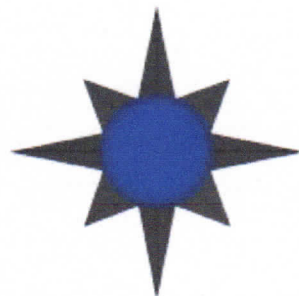
#### Centrale à inertie (IMU)



Axes d'un IMU 6

Une IMU se compose pour l'essentiel d'une petite carte qui *contient à la fois un accéléromètre et un gyroscope* (normalement ce sont des multi-axes). La plupart contiennent un accéléromètre à trois axes et un gyroscope à trois axes, et d'autres peuvent contenir des capteurs supplémentaires tels qu'un magnétomètre à trois axes, pour un total de 9 axes de mesure.

#### Boussole/Magnétomètre



Boussole

Une boussole magnétique électronique est capable de mesurer le champ magnétique de la terre et de l'utiliser pour déterminer la direction à la boussole d'un drone (par rapport au nord magnétique).

Ce capteur est presque toujours présent si le système dispose d'une entrée GPS, et est disponible en version de un à trois axes.

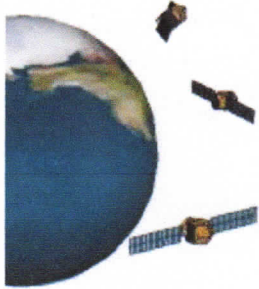


Pression  
atmosphérique

### Pression/Baromètre

Comme la pression atmosphérique change à mesure que vous vous éloignez du niveau de la mer, un capteur de pression peut être utilisé pour vous donner une lecture assez précise de l'altitude de l'UAV. La plupart des contrôleurs de vol reçoivent à la fois des données d'altitude du capteur de pression et du GPS pour calculer de la façon la plus précise l'altitude par rapport au niveau de la mer.

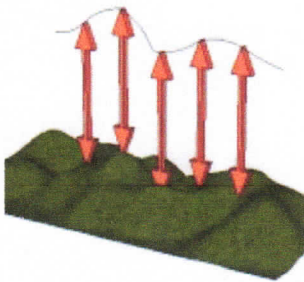
Veillez noter qu'il est préférable que le baromètre soit recouvert d'un morceau de mousse afin de diminuer les effets du vent sur la puce.



Satellites GPS

### GPS

Les Systèmes de positionnement mondial (GPS) utilisent les signaux envoyés par un certain nombre de satellites en orbite autour de la Terre afin de déterminer leur emplacement géographique spécifique. Un contrôleur de vol peut disposer soit d'un GPS intégré, soit d'un modèle relié par un câble. L'antenne GPS ne doit pas être confondue avec la puce GPS elle-même, et peut ressembler à une petite boîte noire ou une antenne normale de type « canard ». Afin d'obtenir un verrouillage GPS précis, la puce GPS doit recevoir des données provenant de plusieurs satellites, et plus ils sont nombreux, mieux c'est.



Distance

### Distance

Les capteurs de distance sont de plus en plus utilisés sur les drones puisque les coordonnées GPS et les capteurs de pression seuls ne peuvent pas vous dire à quelle distance de la terre vous vous trouvez (pensez aux collines, montagnes ou bâtiments) ou si vous allez heurter un objet. Un capteur de distance orienté vers le bas peut être basé sur une technologie ultrasonique, laser ou lidar (les infrarouges présentent des problèmes à la lumière du soleil).

Très peu de contrôleurs de vol incorporent des capteurs de distance dans le cadre d'un kit standard.

Etant configurables et programmables, les contrôleurs de vol permettent des ajustements correspondant à diverses configurations de multicopters : les régulateurs PID sont utilisés pour ajuster le contrôleur de manière à avoir des réponses très rapides et précises.

### \* PID quelques définitions basiques :

Un régulateur (ou correcteur) PID (**P**roportionnel-**I**ntégral-**D**érivé) est un système générique de rétroaction, fonctionnant en boucle d'asservissement.

La différence entre la "valeur mesurée" en sortie du processus, et le "point de consigne" (objectif à atteindre) est l'"Erreur" utilisée pour la régulation par le **PID**.

Le régulateur essaye de réduire cette "Erreur" au minimum en ajustant les "Entrées" du processus.

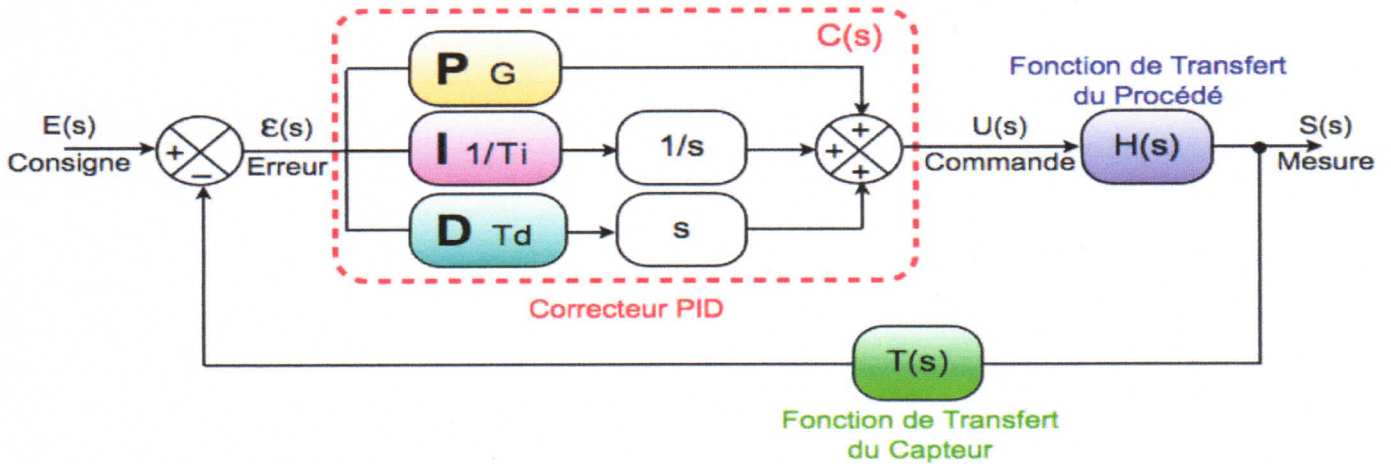
La grandeur de correction par le **PID**, de ces "Entrées", implique trois paramètres distincts, et s'appelle donc parfois "régulation à trois termes".

La combinaison de ces trois valeurs détermine l'action de régulation appliquée aux entrées du processus.

Le correcteur PID agit de trois manières :

- action **P**roportionnelle : l'erreur est multipliée par un gain  $G$  ;
- action **I**ntégrale : l'erreur est intégrée et divisée par un gain  $T_i$  ;
- action **D**érivée : l'erreur est dérivée et multipliée par un gain  $T_d$ .

Il existe plusieurs architectures possibles (série, parallèle ou mixte) pour combiner les trois effets. Le synoptique suivant correspond à une architecture parallèle :

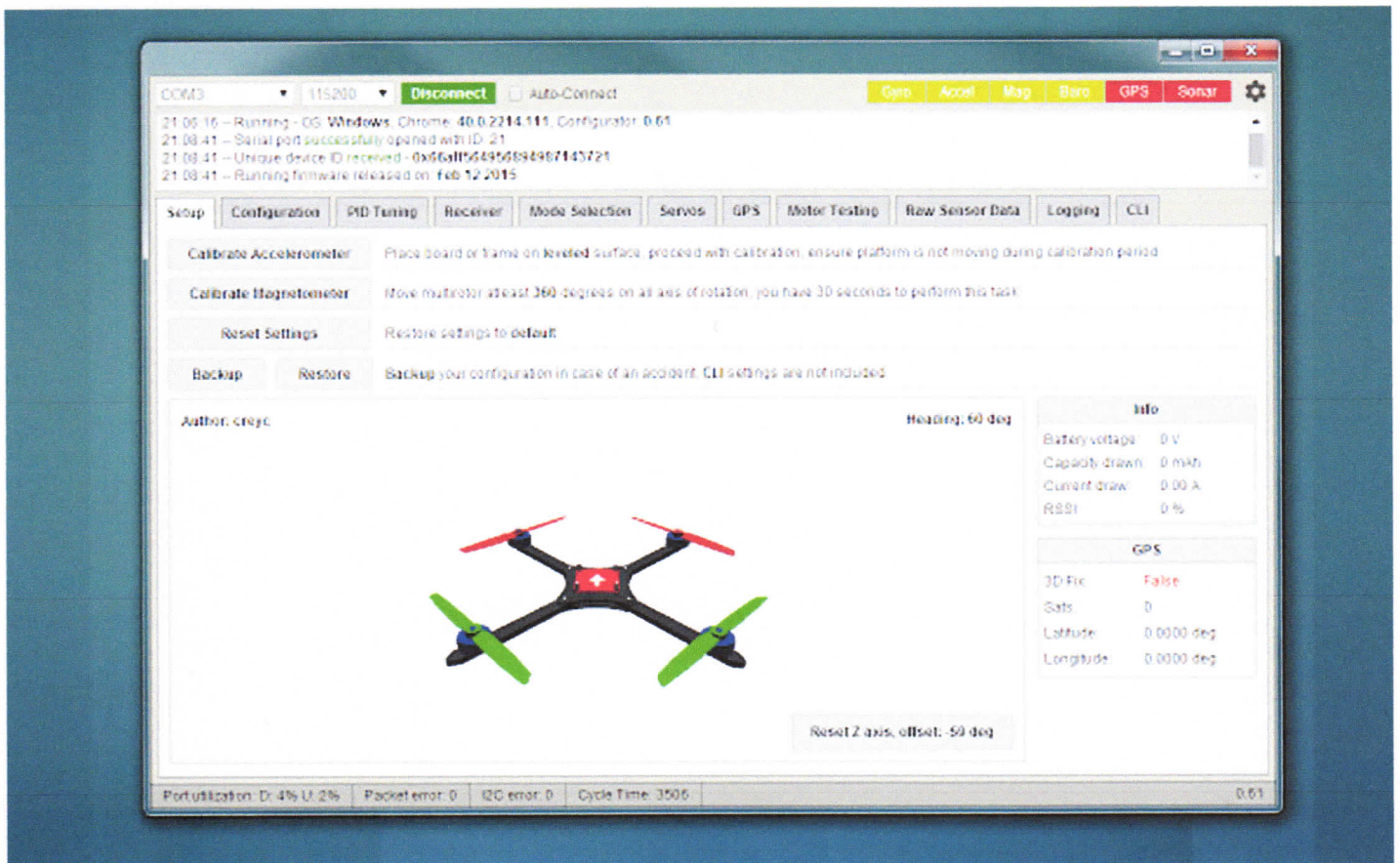


**\* Réglages (PID) :**

Pour paramétrer les contrôleurs de vol, notamment les PID, une GUI (Interface graphique utilisateur) est utilisée pour éditer visuellement le code qui sera téléchargé sur le contrôleur de vol (via un ordinateur). Les GUI les plus récentes des contrôleurs de vol utilisent des interfaces graphiques interactives pour aider à configurer les paramètres nécessaires.

Exemple : pour un contrôleur Type NAZE32, plusieurs GUI sont disponibles dont "CleanFlight" et "BaseFlight".

Sur la copie d'écran qui suit, on peut voir le logiciel de paramétrage "BaseFlight" : il comprend plusieurs onglets, dont celui nommé "PID Tuning" et celui "Configuration" qui permet de définir le type de multicoptère ( Quadri, Hexa, Octo, Vtail, etc.....).



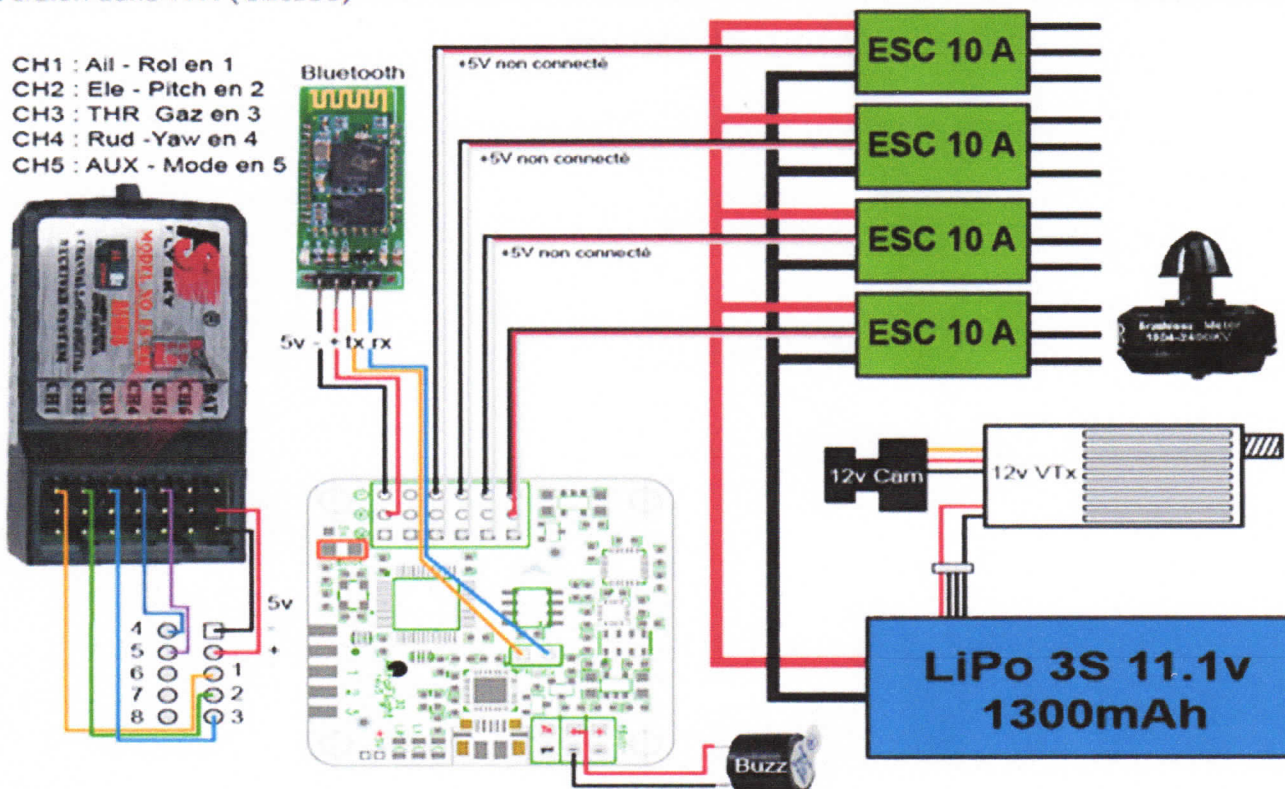
NB : un site intéressant pour paramétrer un NAZE32 :

<http://www.modelisme.com/forum/helico-drone-multi-rotors-ufo/193147-participatif-naze32.html>

## \* Synoptique des connexions d'un NAZE32 sur un quadricoptère :

[RACCORDEMENT DU NAZE32 AU RECEPTEUR] Participant Papi78, baton et multi-voltige.fr

Version sans PPM (Gilles56)



## 6°) A propos des contrôleurs de vitesse (ESC pour Electronic speed controllers) :

Ils sont largement utilisés dans le monde du modélisme ; ils traduisent un signal en alimentation électrique. Sur un multirobot, chaque moteur dispose de son propre ESC, lesquels sont connectés au contrôleur de vol. Après avoir effectué les calculs liés aux commandes du pilote, le contrôleur de vol ordonne à chaque ESC d'augmenter/baisser la vitesse afin que le multirobot réponde comme demandé.

La fréquence de rafraîchissement des ESC varie. Vu l'équilibre nécessaire entre leurs multiples moteurs, les multirobots demandent une fréquence de rafraîchissement plus élevée que n'importe quel autre type d'engin radiocommandé.

Pour résumer, il s'agit de microcontrôleurs programmables qui utilisent un firmware pour définir et réaliser les commandes qui leur parviennent. Dans le monde des multirobots, SimonK est le gourou des firmwares ESC : il crée des révisions optimisées pour ce type d'aérodynes, débarrassées des fonctionnalités inutiles et proposant des fréquences de rafraîchissement allant jusqu'à 400 Hz ou presque. En conséquence, les ESC peuvent être flashés ou bien achetés avec préchargement des optimisations de SimonK.

## 7°) Les modes de vol :

Plusieurs modes de vol peuvent être déterminés, à partir de la sélection des capteurs intégrés au contrôleur, via une voie auxiliaire dédiée sur l'émetteur (voie 5 sur le schéma ci-avant). Les principaux modes sont les suivants :

- **Rate mode**: dans cette configuration seuls les gyroscopes entrent en jeu dans la stabilisation du quad. Concrètement, si le manche de la machine est lâchée, cette dernière continue à évoluer selon l'inclinaison qu'elle avait au moment du lâché du manche. *C'est le mode idéal pour l'accro.*

- **Attitude mode**: ici la stabilisation est gérée à la fois par les gyroscopes et les accéléromètres. En lâchant le manche, le quad se stabilise horizontalement et ne dérive pas (à condition bien que l'appareil et la télécommande soit bien étalonnée). Ici, la commande des gaz permet de monter et descendre.

- **Altitude mode** : utilisation du capteur de pression atmosphérique, en plus des gyros et accéléromètres pour maintenir une altitude constante.