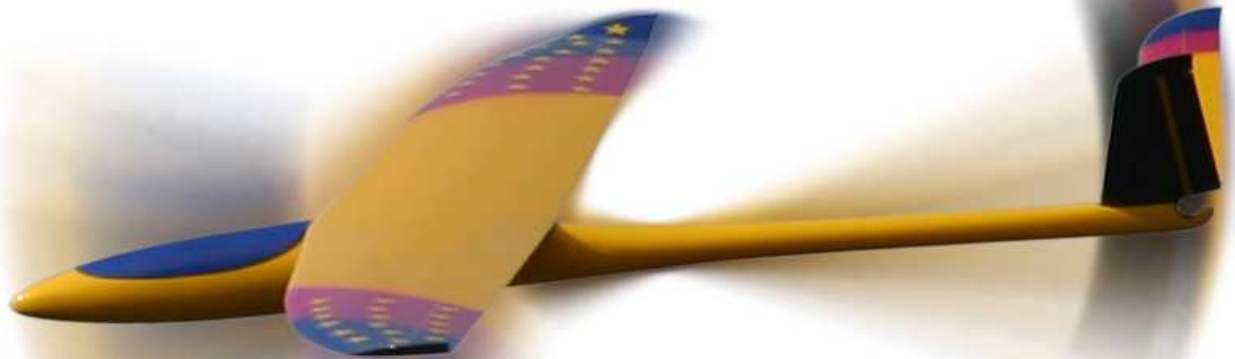


# LE RÉGLAGE DE L'AXE DE TANGAGE



## DE NOS AÉROMODÈLES

*Présentation : Franck Aguerre*

### L'utilité

Ce réglage se décompose en celui du centrage et celui des calages de voilures.

Il conditionne à l'ordre :

- un : les qualités de vol, pouvant aller d'un comportement pataud à une vivacité excessive qui peut même rendre le modèle impilotable.
- deux : les traînées du stab et du fuselage, qui influe sur les performances du modèle : taux de chute, finesse, ainsi que besoin en puissance du moteur (donc autonomie).

### Les notions de base

L'opération de centrage consiste à déplacer les masses de l'appareil (ou, si besoin, ajouter une masse) pour positionner le centre de gravité de l'avion (CG) à une certaine distance (appelée marge statique) devant le foyer aérodynamique de l'avion.

Le foyer est un point fixe autour duquel une variation d'incidence n'engendre pas de variation de moment de l'avion, c'est-à-dire n'engendre pas d'effort tendant à changer la trajectoire de l'avion (généralement, quand l'avion est stable, il tend à se remettre naturellement à plat).

La position du foyer ne dépend que de la géométrie plane (en vue de dessus) de l'avion et absolument pas du profil (fort heureusement... sinon comment cela pourrait-il fonctionner en vol dos, puisque le profil est inversé et même « autostable » ?). C'est donc la répartition des surfaces

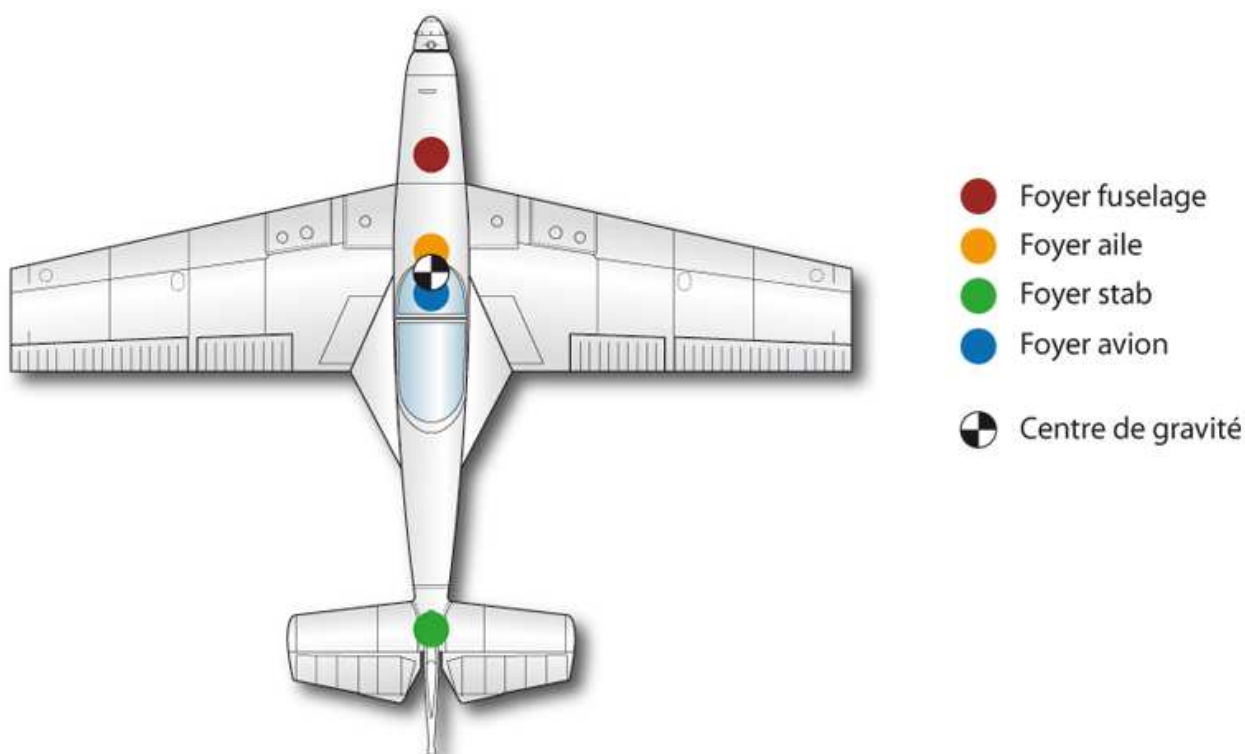
(fuselage y compris) de cette géométrie plane qui joue, ce qui explique pourquoi un canard se centre « très avant », une aile volante autour de 20% de la corde moyenne ou un oldtimer à gros stab se centre « très arrière ». C'est exactement le principe d'une girouette, le foyer correspondant au point où, si l'on y positionne l'axe d'articulation de la girouette, cette dernière n'est ni stable ni instable dans le vent. Cela vaut évidemment aussi pour l'axe de lacet.

La marge statique ne dépend que du besoin en stabilité, dans une plage assez étroite (généralement de 0% = parfaitement neutre à +7% = très stable) indépendante de la formule de l'appareil. Les logiciels ou les méthodes de calcul qui conseillent des marges plus élevées sont donc à écarter, la marge statique servant dans ce cas de variable d'ajustement pour masquer des calculs insuffisamment précis.

### Pour détailler un peu plus

Le foyer de l'avion est déterminé par les surfaces de chaque élément de l'avion (aile, stab, fuselage) et les positions relatives de leur foyer respectif (25% de leur corde moyenne). Leur efficacité de portance -pour une variation d'angle donnée (rappel essentiel : la portance est proportionnelle à l'incidence)- importe aussi, cette efficacité dépendant de l'allongement (plus il est faible et moins l'aile est efficace) ainsi que, pour le stab, de sa position par rapport à l'aile : plus il est proche de cette dernière et plus il subit l'effet de la couche d'air qu'elle dévie vers le bas (sillage) et moins il est efficace.

Le calcul de la position du foyer de l'avion n'est donc pas si simple... mais, heureusement, il y a [PredimRc](#) 😊.



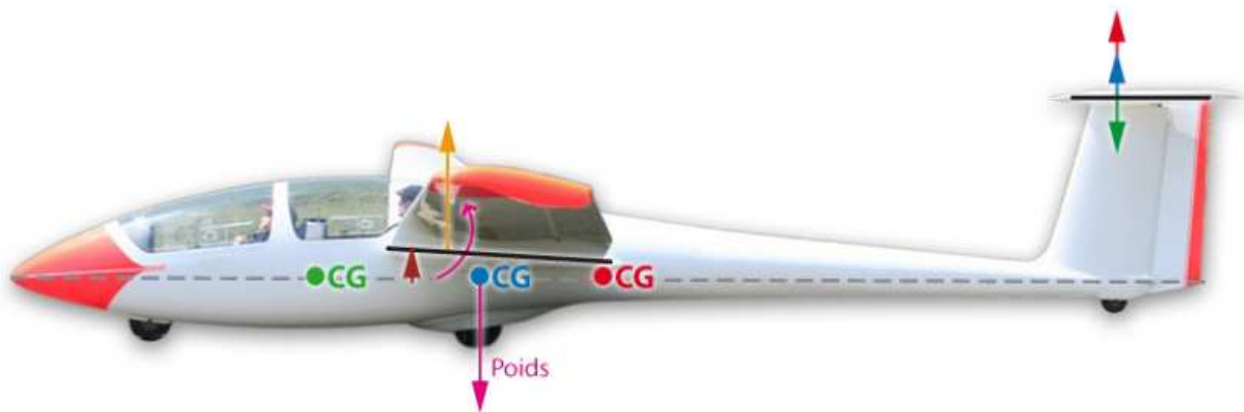
La position du foyer, donc du CG, se calcule généralement par rapport à la corde moyenne de l'aile, car c'est le principal élément porteur de l'avion. Par commodité, on l'exprime relativement au bord d'attaque à l'emplanture (= plan d'interface avec les flancs du fuselage) de l'aile. D'où probablement la confusion qui s'est installée : une géométrie d'avion classique donnant

généralement un CG autour de 30 à 35% de la corde moyenne, ce qui donne autour de 30 à 35% de la corde d'emplanture pour une aile rectangulaire, il en a résulté à force de simplifications le dogme d'un centrage universel au tiers de la corde (laquelle ?), mais qui n'est donc que la conséquence d'une géométrie d'avion courante et, en conséquence, n'est ni une généralité ni une règle de calcul.

La stabilité en tangage (= capacité à conserver naturellement une trajectoire sur cet axe, ou y revenir après une perturbation) est proportionnelle à la marge statique :

- Plus le CG est placé devant le foyer ( $m_s > 0$ ), et plus l'appareil est stable.
- Si le CG est positionné sur le foyer ( $m_s = 0$ ), l'appareil est neutre, il n'a pas de trajectoire préférentielle.
- Si le CG est positionné derrière le foyer ( $m_s < 0$ ), l'appareil est instable et potentiellement involable.

### Vol équilibré



Pour voler droit, la portance de stab (via le calage / trim de stab) équilibre les moments autour du CG (moment de profil et portances \* bras de levier entre foyers et CG). Pour un appareil donné, à chaque position de CG (●●●) correspond donc une portance (↓↑↑) -donc un calage particulier- de stab permettant d'assurer l'équilibre longitudinal.

### Après perturbation (= changement d'incidence)



**CG très avant** : Les variations de portance (↑) participent toutes à la remise en ligne.



**CG neutre** : Les variations de portance ( $\uparrow$ ) s'annulent, il n'y a pas de tendance à se remettre en ligne ou à diverger.



**CG très arrière** : Les variations de portance ( $\uparrow$ ) accentuent la perturbation, la trajectoire est divergente.

### Quelques éléments complémentaires

Les calages se déterminent par rapport à la ligne « neutre » du fuselage, c'est-à-dire son axe moyen (comme pour un profil).

Le calage de l'aile permet de positionner la ligne de vol du fuselage et conditionne l'incidence de l'aile pour laquelle la traînée du fuselage est minimale.

Le calage du stab permet d'équilibrer les forces (les moments, pour être précis) autour du CG sur l'axe de tangage. Si le CG est avant, il conditionne donc la trajectoire et, en l'absence de moteur, la vitesse naturelle de vol manche de profondeur lâché. Tandis que, si le CG est neutre, il n'y a pas de vitesse naturelle de vol.

Dans le cas d'une aile volante, dépourvue de stab, c'est la modification du profil (précisément de son  $C_m$  = coefficient de moment) par les gouvernes de bord de fuite qui permet d'équilibrer les moments autour du CG.

Trimmer la profondeur revient à modifier le calage de stab (ou la cambrure du profil pour une aile volante), sans aucun autre effet induit sur les qualités de vol si le réglage est raisonnable (jusqu'à +/- 5° environ).

## **L'enchaînement des réglages à l'atelier, dans l'ordre chronologique**

On place (support de centrage, méthode de la pesée, méthode du fil à plomb) le CG à l'endroit calculé pour un niveau de stabilité voulu (en fait toujours le même, 3% de marge statique, sauf application spécifique), indépendamment de toute autre considération.

On cale l'aile pour l'allure visuelle du fuselage et/ou optimiser les perfos de l'appareil (pour le régime de vol où le fuselage est aligné avec la trajectoire).

On cale le stab pour voler droit (= équilibrer longitudinalement).

Au besoin (une construction n'est jamais parfaite...), on trimme la profondeur pour affiner le calage de stab.

## **Les interactions entre réglages**

Modifier le calage d'aile ne change pas l'incidence de l'aile en vol (puisque, pour un besoin de portance donné, il faut toujours la même incidence...).

Modifier le calage d'aile change l'incidence du fuselage, avec trois effets : allure visuelle, décalage de la courbe de traînée du fuselage, décalage de la courbe de portance du fuselage (=> nécessite de corriger le calage / trim de stab).

Modifier le calage du stab change uniquement le trim de profondeur (à iso-trajectoire), ce sont juste deux facettes de la même chose.

Modifier le centrage nécessite une correction du trim de profondeur (non pas parce qu'il y a plus ou moins de poids à l'avant, mais parce que l'équilibre des forces de portance de l'aile et du stab n'est plus le même, les bras de levier entre le CG et les foyers aile et stab -où s'appliquent leurs portances respectives- changeant avec le déplacement du CG).

Le besoin en débattement de la commande de profondeur augmente avec la marge statique ou, inversement, cette commande devient plus sensible en reculant le CG.

Un mauvais calage de stab (ou mauvais trim de profondeur) ne se corrige pas (pour voler droit) par une modification du CG (!) mais par un réglage dudit calage (ou trim de profondeur).

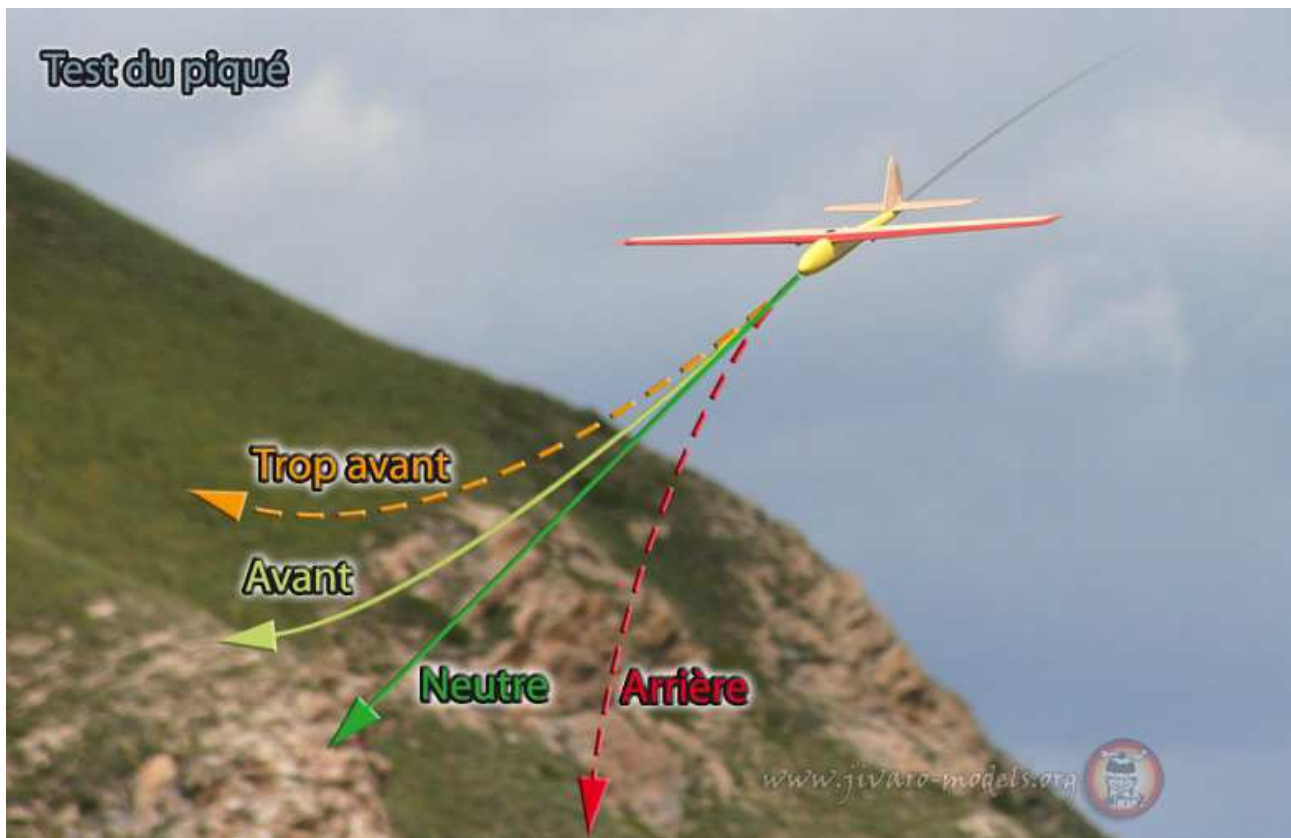
## **La méthodologie de réglage en vol, dans l'ordre chronologique**

On met l'appareil dans une situation confortable (à environ 20-30 m de hauteur, face au vent).

Si l'appareil est motorisé, on coupe le moteur ou du moins on réduit les gaz au minimum.

On trimme la profondeur pour avoir une trajectoire rectiligne naturelle (sans toucher les manches) et à une vitesse modérée (ce qui facilitera l'interprétation du test du piqué).

On vérifie le CG avec le test du piqué (on inscrit sèchement la trajectoire sur une pente d'environ 30 à 45° puis on lâche le manche de profondeur et on observe ce qu'il se passe), toujours moteur coupé ou réduit : l'appareil doit se remettre à plat en douceur. Si la remise à plat est trop brutale, le CG est trop avant, si le piqué est accentué il est trop arrière.



Si le CG doit être modifié, on reprend la boucle de réglage au départ (moteur réduit => réglage trim de profondeur => test du piqué).

On adapte enfin le débattement de la profondeur, de préférence de manière mécanique (et non par la radio) pour exploiter toute la course (et donc la résolution et le couple) du servo.

On finit par régler les angles moteur (piqueur, anti-couple) pour minimiser autant que faire se peut tout effet parasite en tangage et lacet.

Contactez l'auteur : [franck.aguerre@jivaro-models.org](mailto:franck.aguerre@jivaro-models.org)