

Centrage et calage...

Les éléments capitaux pour qu'un modèle soit sain. [Première Partie]

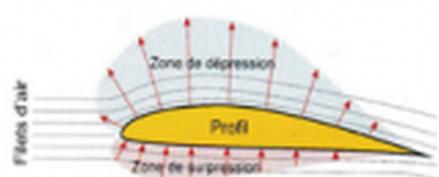
Après votre formation au pilotage sur l'avion école du club qui fonctionne parfaitement parce que votre moniteur le connaît par cœur, vous avez fait l'acquisition de votre premier kit. Il y a de fortes chances que ce soit un RTF et qu'une notice très complète vous ait été livrée avec. Le voilà maintenant terminé et, à la fin de la notice, il est question de centrage...

Mon avion vole queue basse, il doit être mal centré... Combien de fois ai-je entendu ce genre de phrase "à côté de la plaque" sur les terrains de vol ? Combien de fois aussi m'a-t-on demandé de faire voler un avion ou un planeur pour donner "mon avis" quand le pilote s'était fait quelques frayeurs, et qu'avant même de prendre les manches, je pouvais déceler juste en soulevant l'avion, qu'un centrage par trop arrière ne pouvait que donner un résultat catastrophique. Au cours des pages qui suivent, je vous propose de refaire un petit tour de deux points capitaux pour qu'un avion vole sainement, qui sont le centrage, mais aussi le calage. Calage de l'aile, mais aussi calage du stab d'ailerons (et par conséquent un troisième larron appelé Vé longitudinal qui est indissociable des deux autres...). Nous allons voir tout ça le plus possible par la pratique et en vous donnant le moins possible de grosses formules de maths.

Petit retour sur les bases de ce qui fait voler un avion

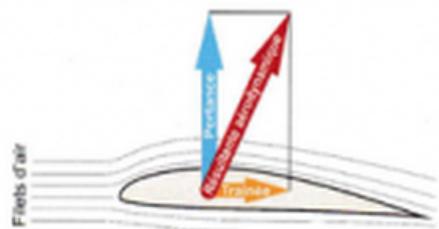
Votre avion ou votre planeur fait une certaine masse. Pour qu'il tienne en l'air, il faut qu'une force le tire vers le haut, avec la même intensité que la masse. Cette force, c'est la "PORTANCE" et ce sont les ailes qui sont chargées de la créer. C'est l'écoulement de l'air autour de l'aile qui crée cette portance, d'une part en exerçant une dépression sur l'extrados de l'aile (et c'est le plus gros de la portance), d'autre part en exerçant une surpression à l'intrados. Mais si la portance est l'effet utile que l'on recherche, la force résultant réellement de la dépression et de la surpression (que l'on appelle la RESULTANTE AÉRODYNAMIQUE) n'est pas dirigée "pile" vers le haut... Elle est aussi inclinée vers l'arrière. On la décompose (pour que

ce soit plus pratique) en deux forces, notre portance, et la "TRAÎNÉE", que tout un chacun connaît sous le terme "grand public" de "Résistance de l'air".



L'écoulement des filets d'air autour de l'aile provoque une dépression à l'extrados et une surpression à l'intrados.

Plusieurs facteurs entrent en ligne de compte pour quantifier l'intensité de la portance (et de la traînée) exercée : le carré de la vitesse (la vitesse multipliée par la vitesse), la viscosité de l'air (ça, on ne peut guère y toucher...), la surface de l'aile, et la forme du profil.



Dépression et surpression se combinent en une force : la résultante aérodynamique, que l'on décompose en portance et traînée.

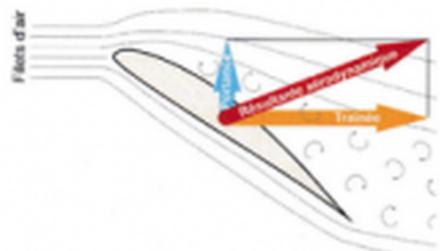
Mais la forme du profil, c'est une chose, l'angle avec lequel ledit profil se présente dans l'écoulement de l'air, c'en est une autre, et c'est un paramètre capital. On l'appelle "INCIDENCE". Pour bien préciser les termes, la CORDE DE RÉFÉRENCE du profil est une droite qui passe par le bord d'attaque (le point le plus avant du profil) et le bord de fuite (point le plus arrière). L'incidence

est l'angle formé entre la corde de référence du profil et l'écoulement de l'air.



L'incidence est liée à la direction des filets d'air.

Suivant cet angle, la portance va évoluer, elle peut être nulle, elle peut être positive (dirigée vers le haut) ou négative (dirigée vers le bas)... En général, plus on augmente l'incidence et plus la portance augmente et la traînée aussi, jusqu'à un angle critique où les filets d'air ne parviennent plus à s'écouler en restant collés à l'extrados. Quand ils se décolent, la dépression d'extrados s'effondre, la portance aussi, le point où la résultante aérodynamique s'exerce recule brutalement et c'est le DECROCHAGE dont vous avez tous entendu parler...

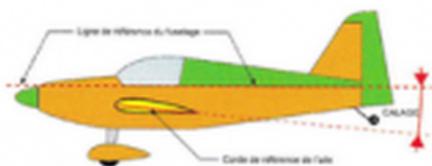


Quand l'incidence est trop forte, les filets d'air ne peuvent plus suivre l'extrados, c'est le «décrochage».

Êtes-vous calé ?

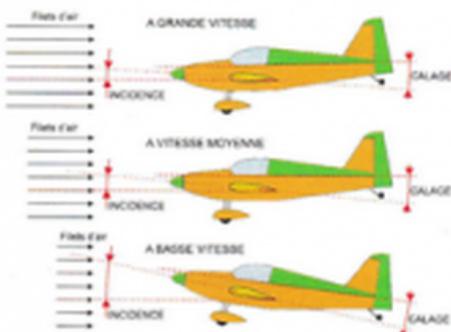
En général, on cherche à ce qu'un avion vole à sa vitesse de croisière avec l'aile fournissant assez de portance pour équilibrer la masse, mais avec une traînée la plus faible possible. On a alors un bon rendement de l'aile et ça correspond à un angle d'inci-

dence assez faible, qui selon les profils et la vitesse recherchée sera de 0,0° à 3,0-4,0° tout au plus (en modèle réduit, car c'est souvent plus fort sur un avion grandeur nature). Maintenant, on va dessiner un modèle "lambda" pour bien comprendre une notion trop souvent floue dans les esprits, le "CALAGE".



Le calage lie la corde de référence d'aile à la ligne de référence du fuselage.

Sur le fuselage, on a dessiné un axe horizontal fictif qui sert de ligne de référence. Notre profil d'aile a sa corde de référence. Le calage de l'aile est l'angle entre la ligne de référence du fuselage et la corde de référence du profil. En règle générale, sur un avion ou un planeur, le calage est une valeur fixe (il existe de rares cas de calage variable en vol, mais on sort de notre sujet). Il est très important d'utiliser les bons termes pour bien comprendre ce que l'on peut régler sur un modèle tant lors de la construction, qu'ensuite, lors des vols de mise au point. Trop souvent, les aéromodélistes confondent calage et incidence et il s'ensuit des grosses confusions. Le calage est un paramètre géométrique dans la construction du modèle, l'incidence est un angle entre l'écoulement de l'air et la corde de référence de l'aile qui donc varie tout au long du vol.



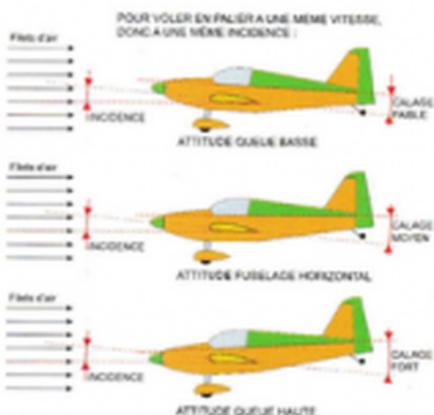
Selon la vitesse de vol, pour tenir un vol en palier, l'incidence doit varier. Le calage, lui, ne change pas.

Nous allons tout de suite comprendre que l'attitude d'un modèle en vol est directement liée au calage de l'aile. Si l'aile vole avec une incidence et une vitesse permettant d'équilibrer la portance, le vol en palier sera tenu. Si le fuselage se présente alors nez bas/queue haute, c'est que le calage est fort. Si le fuselage se présente nez haut/queue basse, c'est que le calage est trop faible. Dans les

deux cas, le fuselage ne se présente pas de manière optimale et crée plus de traînée que nécessaire. Dans l'idéal, le fuselage se présente avec sa ligne de référence parallèle avec les filets d'air et il offre une traînée minimale.



Les «Multis» de voltige type F3A modernes ont un calage faible et un fuselage dessiné pour qu'il semble parfaitement horizontal sur le ventre comme sur le dos.



Selon le calage de l'aile lors de la construction, le modèle volera avec une attitude différente pour voler à la même vitesse, car la portance nécessaire à équilibrer la masse du modèle est liée à l'incidence.



Exemple type d'un avion qui vole avec une allure queue haute : le fuselage est conçu pour donner une visibilité maximum au pilote et bien dégager le stab du sillage de l'aile... et des produits pulvérisés. L'incidence est portant tout à fait «normale».

Vous le voyez, l'attitude d'un modèle en vol est simplement liée au calage de l'aile, et il ne faut rien en déduire d'autre, contrairement à ce que l'on entend trop souvent. Je mets toutefois un bémol, car nous verrons un peu plus loin qu'en théorie, changer la position du centre de gravité peut avoir une très légère influence sur l'attitude... Mais ça reste faible et il faut bien avoir en tête que l'attitude du modèle est avant tout liée au calage de l'aile sur le fuselage.

Êtes-vous équilibré ?

Maintenant, le fait que la portance ait une intensité qui équilibre la masse ne suffit pas à ce qu'un avion vole bien... Imaginez que vous ayez une boîte de sucre d'un kilo (oui, je sais, ça ne vole pas terrible). Posez un doigt dessous pour la tenir en l'air. Si votre doigt n'est pas pile sous le centre de gravité de la boîte, elle bascule... (lui, il nous raconte des évidences, il se fiche de nous...). Non, c'est juste pour amener au fait que sur votre modèle, c'est vrai aussi, il faut que la force appelée portance soit non seulement de même intensité que la masse mais il faut aussi qu'elle s'exerce au bon endroit pour que l'avion reste en équilibre, bien à plat. Si la portance s'exerce trop en avant par rapport au centre de gravité de l'avion, celui-ci va se cabrer. Si elle l'exerce trop en arrière, il va piquer. Bon, si la portance s'exerce toujours exactement au même endroit de l'aile, ça serait facile... Mais il faut savoir que quand l'incidence varie, le point où s'applique la résultante aérodynamique se déplace vers l'avant ou vers l'arrière, plus ou moins selon la forme du profil. De plus, il arrive que le centre de gravité change au cours du vol (un réservoir qui se vide est le cas le plus courant). C'est pour ça qu'il faut trouver un truc pour stabiliser notre avion, on l'a d'ailleurs appelé STABILISATEUR (ou STAB). C'est la petite surface que l'on trouve sur les aéromodèles les plus courants à l'arrière (oui, ça, vous le saviez, désolé...). Sans vous faire toute une théorie barbante, pour qu'un modèle de proportions classiques puisse être stable, il faut avoir la configuration suivante :

- Le centre de gravité est en avant du point d'application de la résultante aérodynamique.
- Le stab exerce une petite "déportance", c'est-à-dire une portance qui s'exerce en sens inverse de la portance, donc vers le bas.



La stabilité sur un avion ou planeur de proportions «standards» est obtenue avec le centre de gravité en avant du centre de poussée de l'aile et avec le stab fournissant une portance vers le bas (déportance).

Dans cette configuration, quand pour une raison X ou Y (changement d'incidence provoqué par un mouvement de la masse d'air genre entrée dans une ascendance) l'avion tend à s'écarter de sa position d'équilibre,

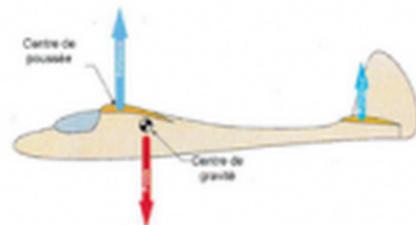
le changement d'incidence du stabilisateur va provoquer une modification de sa déportance qui va contrer le mouvement et ramener l'avion vers sa position d'équilibre.

- Si le centre de gravité est très en avant par rapport au point d'application, l'avion est très stable et autocorrige les variations d'incidence très rapidement, mais aussi parfois avec excès, ce qui fait que voler à une vitesse autre que celle pour laquelle il est réglé, est désagréable.

- Si le centre de gravité est très proche du point d'application, le stab n'a qu'une très faible déportance à exercer. Il est facile de voler à des vitesses variées, mais en contrepartie, l'avion est plus chatouilleux, plus difficile à piloter.

- Si le centre de gravité passe en arrière du point d'application de la résultante aérodynamique, le stab doit non plus déporter, mais porter... avec une formule classique au niveau proportions, on a alors un comportement "instable", c'est-à-dire que si le modèle est écarté de sa position d'équilibre, et sans action du pilote, il va continuer à s'écartier de cette position : s'il se met à piquer, le piqué ira en s'aggravant, s'il cabre, il continue à cabrer jusqu'au décrochage, ou il fera une boucle.

Pour ce dernier cas du centre de gravité en arrière du point d'application de la résultante aérodynamique, il convient de parler d'un cas particulier : on peut rencontrer des aéromodèles dotés volontairement d'un stab porteur, c'est-à-dire doté d'un profil dissymétrique, qui en fait une aile à part entière. On peut retrouver une stabilité normale, à une condition : la surface du stab (par rapport à celle de l'aile) doit être très importante. C'est le cas sur des aéromodèles de vol libre, et on trouve ce cas sur quelques planeurs RC anciens, qui dérivent du vol libre. On a alors une surface de stab représentant 20 à 25 % de la surface de l'aile, alors que sur un planeur actuel à stab déporteur, le stab ne représente que 10 à 15 % de l'aile. Cette formule du stab porteur donne en général des aéromodèles au vol lent, inaptes aux accélérations, et volant à une vitesse très constante.

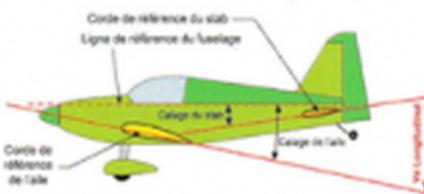


Cas particulier, les planeurs dits à «stab porteur» : celui-ci possède une très grande surface et un profil porteur, c'est une «aile»... Le centre de gravité est alors en arrière du centre de poussée de l'aile.



L'Amigo IV de Graupner est typique de la configuration à aile à profil creux et stab porteur. Il est centré à 55 % de la corde de l'aile.

Donc, dans le cas le plus fréquent, on recherche un vol stable, mais pas à l'excès non plus... Le stab devra être très légèrement déporteur, et donc aura besoin de voler avec une incidence légèrement négative. Comme l'aile, le profil du stab a une corde de référence. Cette corde est "calée" sur le fuselage. On va pouvoir définir un nouvel angle, qui est compris entre la corde de référence de l'aile et la corde de référence du stab. On l'appelle le **Vé LONGITUDINAL**.

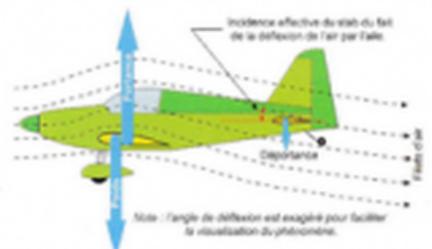


Note : les angles du schéma sont très exagérés pour faciliter la visualisation des angles. Le calage de l'aile va en général de 0 à +5°, le calage du stab de -2° à -2° max. Le Vé longitudinal est le plus souvent compris entre 0 et 4°.

Plus on aura un centrage avant, plus il faudra un vé longitudinal important pour que la déportance du stab équilibre l'avion. Et inversement...

C'est là que l'on va comprendre que le centrage peut légèrement influencer quand même sur l'attitude queue haute ou queue basse du modèle : si on est centré très avant, le stab doit déporter beaucoup. La force vers le bas exercée par le stab s'ajoute à la masse du modèle, l'aile doit fournir plus de portance, il faut augmenter l'incidence et si on ne modifie pas le modèle, on doit voler plus cabré. Mais ça se joue sur moins d'un degré en général et c'est pour ça que le centrage n'est pas le réglage déterminant sur l'attitude de vol d'un modèle.

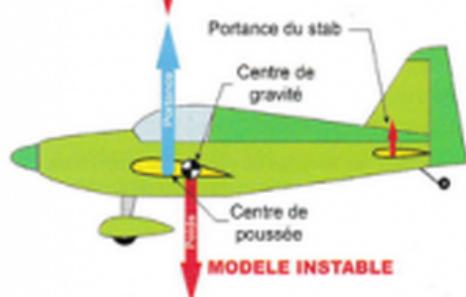
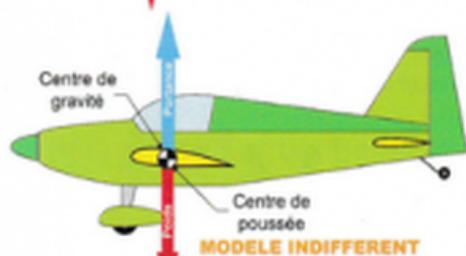
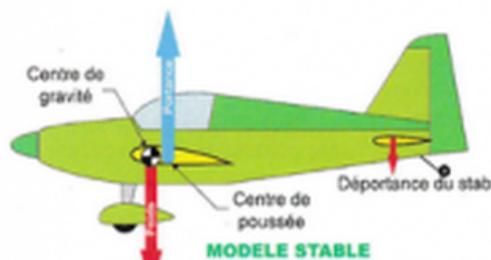
Autre point, je vous dis que le stab doit avoir une incidence négative, or, il est très classique d'avoir un stab "calé à 0°"... Comment ? Ça marche quand même ? Là encore, il ne faut pas confondre calage et incidence. L'air qui circule autour de l'aile (qui a un calage positif) est défléchi vers le bas en arrière de l'aile. Ce qui fait que les filets d'air qui arrivent sur le stab ne sont pas orientés comme ils l'étaient avant d'arriver sur l'aile. Ils descendent légèrement, et ainsi, même avec un stab qui a un calage nul (par rapport à la ligne de référence du fuselage), l'incidence du stab peut être négative et il est alors déporteur... CQFD !



Voilà pourquoi très souvent, un stab calé à 0° marche très bien et fournit la déportance nécessaire à la stabilité. C'est souvent accentué avec les ailes hautes où il est possible d'avoir un stab avec un calage positif. C'est le cas du Piper Cub qui marche mieux avec un stab calé légèrement positif, l'aile encore plus positive (donc avec un Vé longitudinal «dans le bon sens»), et peu de piqueur moteur.

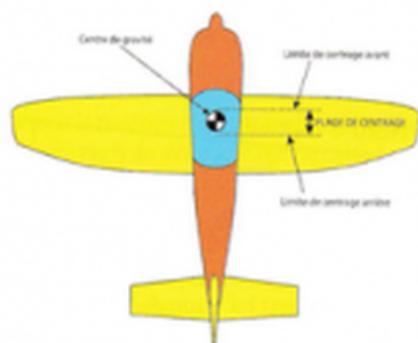
Allons à la plage...

Selon les préférences de pilotage, le centrage du modèle peut varier... Mais pas trop ! Il y a une valeur maxi arrière, qui correspond au moment où la stabilité est dite indifférente (le modèle reste dans l'attitude où on l'a placé, ou qu'une influence extérieure l'a placé), et une valeur maxi avant, où on n'aura plus assez d'efficacité avec la gouverne de profondeur pour faire ralentir l'avion à des valeurs compatibles avec un atterrissage contrôlé... et ce, même en aug-



La stabilité du modèle est liée à la position du centre de gravité par rapport au centre de poussée de l'aile, mais aussi à des facteurs dépendant de la surface du stab et sa position.

mentant le débattement de la gouverne de profondeur. La zone entre la limite avant et la limite arrière où l'avion peut voler de manière saine est appelée **PLAGE DE CENTRAGE**.



Le Cap 10 est un bon exemple de modèle qui ne doit pas être centré «au tiers»... Son stab n'est pas très grand, il vole sainement centré entre 25 et 27 % de la corde moyenne.

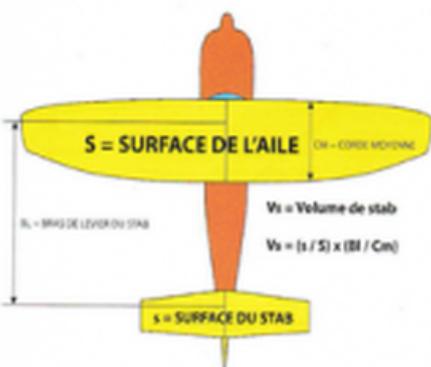
Cette plage peut être tantôt très réduite, tantôt extrêmement large. Voyons ce qui influe sur la largeur de la plage de centrage :

- la corde de l'aile : plus elle est importante, plus la plage de centrage sera large (car la longueur de la plage est un pourcentage de la corde).

- le rapport entre la surface du stab et la surface de l'aile : plus le stab a une surface importante par rapport à celle de l'aile, plus la plage est large.

- le bras de levier du stab : C'est la distance entre le point d'application de la portance de l'aile et le point d'application de la déportance du stab... Mais pour simplifier, car ces points ont la mauvaise idée de se déplacer suivant les variations d'incidence, on se contente en général de mesurer la distance entre un point à 25 % de la corde de l'aile et un autre à 25 % de la corde du stab... Plus le bras de levier est important, plus la plage de centrage est large.

C'est bien beau tout ça, mais on en fait quoi ? Depuis longtemps, on a trouvé une valeur que l'on a baptisée "VOLUME DE STAB", (c'est un nom... mais pas un vrai volume, car le résultat du calcul est un nombre sans unité). Là, je vais vous donner quand même une mini-formule mathématique, elle est vraiment capitale : **Volume de stab = (Surface du stab / Surface de l'aile) x (Bras de levier / Corde moyenne de l'aile)**.



Les unités à utiliser doivent être cohérentes et le plus facile est d'utiliser celle-ci :

- surfaces en décimètres carrés (dm²),
- bras de levier en décimètres (dm),
- corde en décimètres (dm).

En général, sur la plupart de nos aéromodèles, la valeur est comprise entre 0,3 et 0,8. Plus la valeur est élevée, plus la plage de centrage sera large.

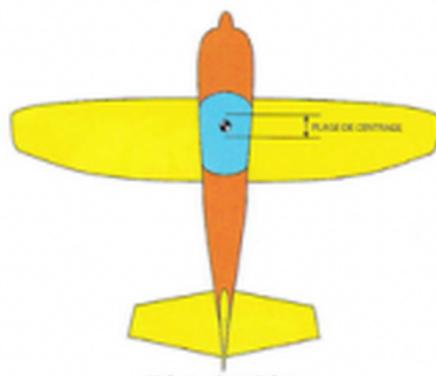
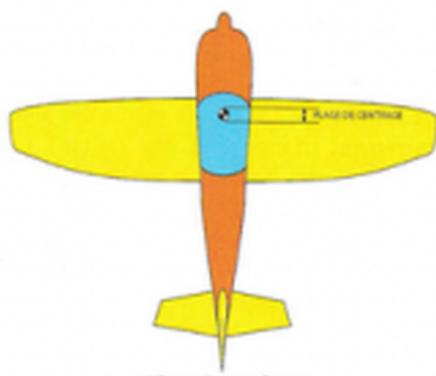
Ça ne veut pas dire qu'il faut toujours un volume de stab de 0,8 pour qu'un modèle vole bien. Suivant le profil d'aile employé, on a besoin de plus ou moins de volume de stab. Ainsi, un profil très creux, genre vol libre, ne vole bien qu'avec un très gros volume de stab. Un profil fin à faible cambrure sur un modèle volant toujours vite se contente parfaitement d'un volume de stab réduit. Il faut bien penser que plus le stab a besoin d'être grand, plus il génère de la traînée et pénalise les performances. Tout est affaire de compromis.

Ce qui est important, c'est de savoir qu'un modèle avec un volume de stab faible voit l'ensemble de la plage de centrage située assez avant, tandis qu'un modèle au volume de stab fort voit l'ensemble de la plage de centrage souvent plus large, mais aussi plus en arrière.

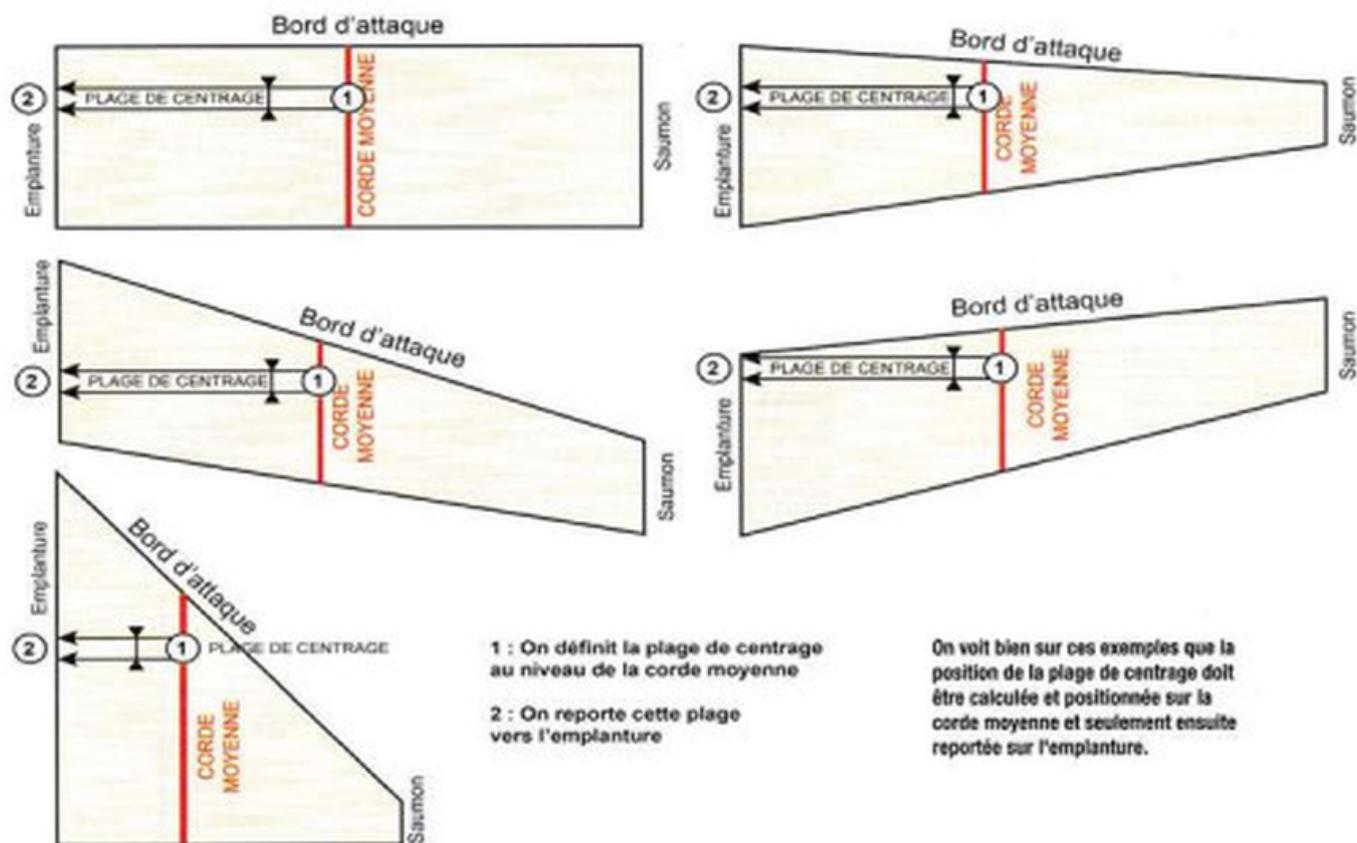
C'est ce qui fait que sur les maquettes où l'on respecte les proportions d'un avion "grandeur", le volume de stab est souvent faible et on doit centrer assez avant. Exemple, un Cap 10 ou un warbird volent souvent très bien avec un centrage situé entre 23 et 28 % de la corde. Alors qu'une majorité de purs aéromodèles réduits qui ont un volume de stab généreux volent avec une plage de centrage entre 30 et 35 % de la corde.

Les avions de 3D qui ont un stab très généreux et un profil parfaitement symétrique peuvent parfois être centrés plus arrière

encore, c'est un élément recherché lors de la conception afin de favoriser maniabilité extrême et performance en torque-roll. Et à l'extrême, les planeurs "à l'ancienne", au stab porteur faisant 25 % de l'aile et un volume de 0,8 volent très bien avec une plage de centrage située entre 50 et 60 % de la corde de l'aile, donc avec le centre de gravité en arrière de la résultante aérodynamique.



Le volume de stab influe sur la largeur et la position de la plage de centrage.



Ne tirez pas sur la corde...

Depuis le début, je parle de corde d'aile... Mais il va falloir préciser un peu plus. Si l'aile a une forme en plan rectangulaire, c'est facile, la corde est la même en tous points. Mais l'aile peut avoir de la flèche, ou la profondeur de l'aile peut varier au fil de l'envergure. On trouve même des ailes carrément triangulaires (les "Deltas"). La corde qui sert à régler le centrage est la corde qui est une moyenne de toutes ces cordes variées et diverses le long de l'envergure. On l'appelle la "CORDE MOYENNE" et elle est LA référence à savoir situer. Quand on a défini le centrage, ou la plage de centrage sur cette corde moyenne, on la reporte en général au niveau de l'emplanture, au plus près du fuselage, car c'est souvent plus facile de porter le modèle à ce niveau lors de l'équilibrage en atelier. Voici quelques exemples de position de la corde moyenne et de plage de centrage.

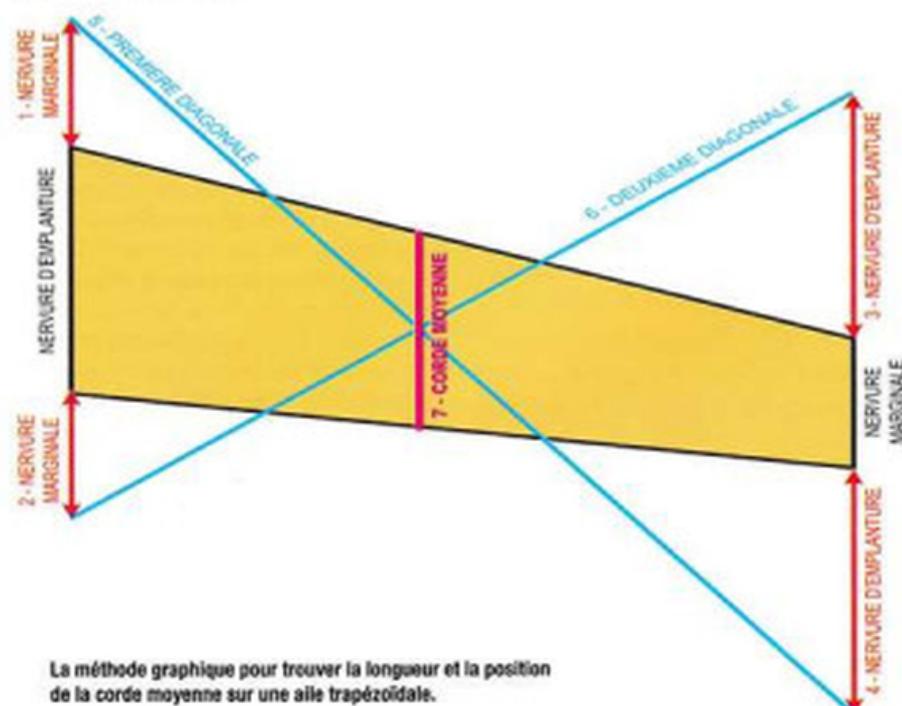
Calculer la position de la corde moyenne

Pour une aile rectangulaire sans flèche, c'est facile, la corde moyenne est au milieu de la demi-envergure, et à cet endroit comme reporté à l'emplanture, le centrage est à la même distance du bord d'attaque. Avec une aile trapézoïdale, voici une méthode graphique qui permet de déterminer la position de la corde moyenne : Tracez la demi-aile vue du dessus (à une

échelle qui rentre dans votre feuille...).

- 1 - A partir du bord d'attaque de l'emplanture, tracez un trait vertical vers le haut de longueur égale à la corde de la nervure marginale.
- 2 - A partir du bord de fuite de l'emplanture, tracez un trait vertical vers le bas de longueur égale à la corde de la nervure marginale.
- 3 - A partir du bord d'attaque de la nervure marginale, tracez un trait vertical vers le haut de longueur égale à la corde de la nervure d'emplanture.
- 4 - A partir du bord de fuite de la nervure marginale, tracez un trait vertical vers le bas de longueur égale à la corde de la nervure d'emplanture.

- 5 - Tracez une ligne allant du haut du trait "au-dessus" du bord d'attaque à l'emplanture, vers l'extrémité du bas du trait "sous" la nervure marginale.
- 6 - De la même façon, tracez une ligne allant du haut du trait "au-dessus" du bord d'attaque



La méthode graphique pour trouver la longueur et la position de la corde moyenne sur une aile trapézoïdale.

de la nervure marginale vers l'extrémité du bas du trait "au-dessus" de la nervure d'implanture.

7 - Par l'intersection des traits faits en 5 et 6, tracez une ligne verticale entre le bord d'attaque et le bord de fuite. Vous avez obtenu la position et la longueur de votre "CORDE MOYENNE".

Une fois cette corde moyenne tracée, placez dessus la position du centrage (ou de la plage de centrage) en pourcentage de cette corde. Comme nous l'avons vu, ce pourcentage dépend du profil, et du volume de stab.

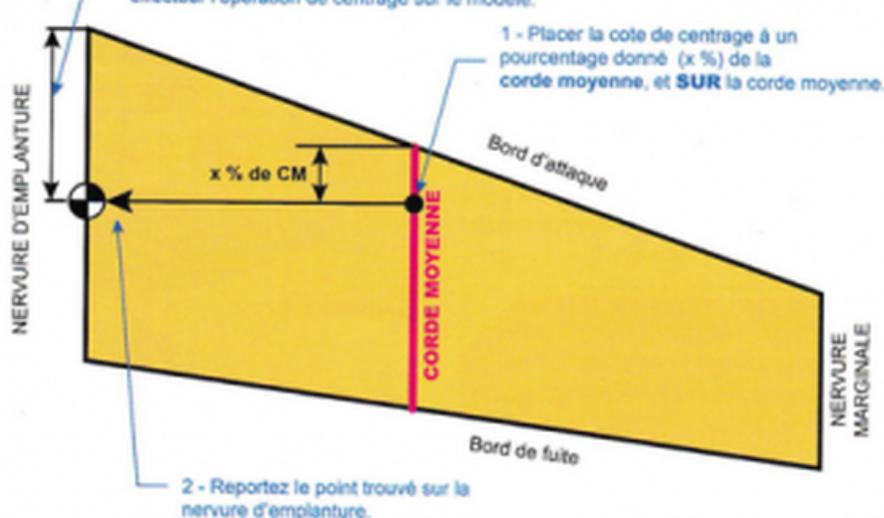
Vous pouvez maintenant reporter ce centrage (ou cette plage de centrage) au niveau de la nervure d'implanture en traçant une horizontale du point de centrage jusqu'à la nervure d'implanture.

Cette méthode marche pour toutes les ailes en trapèze simple, ce qui inclut aussi les deltas (notez qu'un delta sans stabilisateur, ou une aile volante, doit être centré très avant, entre 15 et 25 % de la corde moyenne selon la formule et le profil. Une aile volante droite se centre souvent entre 15 et 18 %, un delta pur avec une très forte flèche entre 20 et 25 %).

Quand l'aile se complique, avec de multiples trapèzes, ça devient un peu plus ardu à calculer et je n'ai pas très envie de vous faire un cours de maths... Vous non plus ? Ça tombe bien ! Alors, on fait comment ? Vous avez (presque tous...) un ordi à la maison... et il existe un merveilleux petit programme qui va vous faire ça parfaitement ! Il est gratuit (chic !), vous avez aussi le droit de faire un don à son auteur, Jean-Claude Etienne (c'est sympa pour lui, il vous aide bien) et ce doit être votre premier outil informatique ! Il s'appelle "Corde Moyenne" et se trouve ici : <http://tracfol.com/cm/>

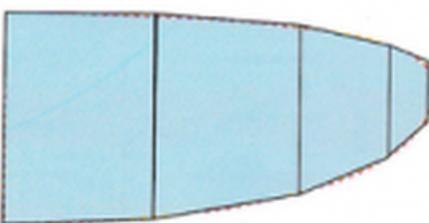
Il suffit d'entrer la géométrie de l'aile, de dire à quel pourcentage vous voulez centrer et magie, il vous donne le centrage à la corde moyenne et même la projection sur l'implanture... Avouez qu'il serait dommage de s'en priver ! Il vous calcule même la surface de l'aile et la charge alaire.

3 - Mesurez la position du centre de gravité sur la nervure d'implanture pour pouvoir facilement effectuer l'opération de centrage sur le modèle.



Une fois la corde moyenne déterminée, on calcule le centrage à son niveau avant de le reporter sur l'implanture.

Si vous avez une aile avec des portions de bord d'attaque ou de bord de fuite elliptique, vous pouvez faire une bonne approximation en traçant une aile en trapèzes multiples "à peu près" équivalente et en rentrant les données dans "Corde Moyenne". Ça marche très bien !



En rouge pointillé, votre aile elliptique, en noir, la décomposition en plusieurs trapèzes, faciles à entrer ensuite dans le logiciel «Corde Moyenne». L'approximation est suffisante pour un premier vol en sécurité.

Si vous faites un biplan...

Allons bon, ça se complique... Si les deux ailes sont identiques et posées pile l'une au-dessus de l'autre, le centrage sera comme s'il

n'y avait qu'une des ailes... Mais c'est rarement le cas, les ailes peuvent avoir des envergures différentes, pas les mêmes cordes, et même pas du tout la même géométrie... l'une droite, l'autre en flèche ! Et en prime, il est fréquent qu'elles soient décalées.

Dans tous ces cas, voici comment procéder : Calculez le centrage du modèle comme s'il n'avait que l'aile supérieure. Reportez ce centrage sur l'implanture. C'est le point CG-H. Calculez le centrage du modèle comme s'il n'avait que l'aile inférieure. Reportez ce centrage sur l'implanture. C'est le point CG-B. Le centrage réel CG sera quelque part entre CG-H et CG-B... Graphiquement (pour ceux qui n'aiment pas les calculs), reportez CG-H et CG-B sur la ligne moyenne du fuselage vu de profil.

1 - Au niveau du point correspondant à CG-H, tracez une ligne verticale vers le bas dont la longueur est proportionnelle à la surface de l'aile inférieure (par exemple, 3 cm si la surface est de 30 dm²...).



«Corde Moyenne» est l'utilitaire à installer sur son PC ! Il facilite les calculs de centrage des ailes complexes.



Sur les biplans, les ailes peuvent être de surface et de géométrie différente. Sur ce Super Tiger, l'aile haute a de la flèche, et plus de surface que celle du bas, qui est de plus décalée vers l'arrière.

- 2 - Au niveau du point correspondant à CG-B, tracez une ligne verticale vers le haut dont la longueur est proportionnelle à la surface de l'aile supérieure (par exemple, 4 cm si la surface est de 40 dm²).
- 3 - Reliez les extrémités des deux lignes.
- 4 - Là où ce dernier trait coupe la ligne de référence du fuselage, vous avez votre centrage.
- 5 - Il suffit de le "remonter" sous votre aile supérieure pour savoir où soulever le modèle pour faire votre équilibrage.

Un détail d'importance concernant les biplans : les deux ailes sont souvent calées de manière différente, et il y existe deux cas : l'aile supérieure calée plus ou moins fort que l'aile inférieure... Ces formules ont leurs avantages et inconvénients, mais nous sortons trop du cadre général de l'étude du centrage et ça pourra faire l'objet d'un développement ultérieur

Pour les ailes volantes ?

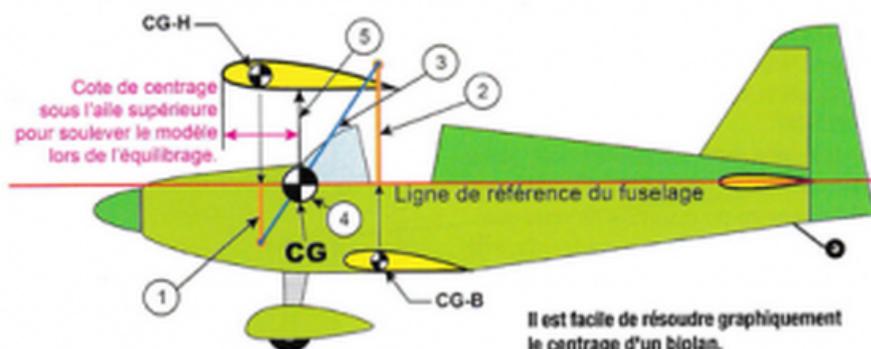
Les ailes volantes n'ont pas de stab, pas de V_e longitudinal... Et pourtant, elles sont stables. La stabilité d'un aéronef "sans queue" doit être trouvée autrement. Sur les ailes droites, ou en légère flèche, on peut utiliser un profil particulier, qui est à double courbure, et est dit "autostable". Contrairement aux profils classiques, la variation de la position du centre de poussée (le point d'application de la résultante aérodynamique) se fait de telle manière qu'il recule quand l'incidence augmente et avance quand l'incidence diminue, ce qui stabilise naturellement le profil dans l'écoulement d'air. Avec les profils, le centrage doit être très avant, en général entre 15 et 20 % de la corde moyenne.

Les ailes en flèche peuvent aussi utiliser ce type de profil, mais plus souvent, c'est une évolution de profil tout au long de l'envergure et un vrillage négatif progressif qui assurent la stabilité. Pour simplifier, on peut dire que le centre de l'aile porte, et que les extrémités servent de stabilisateur. Il existe tant de formules différentes pour les ailes volantes qu'il faudrait un article complet dédié... Si la demande est forte, nous envisagerons de trouver un spécialiste pour parler du centrage des ailes volantes.

Et pour les canards ?

Là encore, on sort des formules classiques. Un "canard" a un stab en avant de l'aile principale, qui est porteur lui aussi. Le centre de gravité est donc quelque part entre l'aile et ce stab... Plus près de l'aile

Longueur de la **ligne 1** proportionnelle à la surface de l'aile inférieure.
Longueur de la **ligne 2** proportionnelle à la surface de l'aile supérieure.
Position du CG de l'avion : intersection de la **ligne 3** et de la **ligne de référence du fuselage**.



Il est facile de résoudre graphiquement le centrage d'un biplan.

| STYLE D'AÉROMODÈLE | STYLE DE PROFIL | VOLUME DE STAB | PLAGE DE CENTRAGE POUR LE PREMIER VOL |
|---|---|--|--|
| Avion de début, trainier aile basse | Plan convexe, biconvexe dissymétrique | 0,5 à 0,6 0,6 à 0,7 | 25 à 30 % 30 à 35 % |
| Warbird simplifié (avec stab agrandi par rapport au grandeur) | Biconvexe dissymétrique ou symétrique | 0,55 à 0,7 | 30 à 35 % |
| Warbird maquetté, avion de tourisme maquetté (Stab à l'échelle) | Plan convexe, biconvexe dissymétrique | 0,35 à 0,5 | 25 à 28 % |
| Ailes destinées à du vol à très haute vitesse (Flac) | Profil très minces, le plus souvent dissymétriques | Plutôt réduit pour limiter la traînée... | 23 à 27 % |
| Deltas | Planche, biconvexe symétrique | - | 20 à 25 % |
| Biplan old-timer | Profil creux, ou plan convexe | Souvent un peu faible... | 25 à 27 % |
| Biplan moderne | Biconvexe symétrique | Souvent un peu plus fort... | 27 à 32 % |
| Planeur de début | Plan convexe, ou profils avec un léger creux à l'extrados vers le bord de fuite | 0,45 à 0,55 | 30 à 33 % |
| Planeurs anciens à stab porteur | Plan convexe ou profil très creux | 0,7 à 0,8 | 50 à 60 % |
| Planeur de performance moderne | Profil très variables... | 0,35 à 0,45 0,45 à 0,55 | 30 à 35 % 33 à 37 % |
| Planeur aile volante droite ou faible flèche (style Corback, Geier) | Autostable | Pas de stab | 15 à 17 % |
| Planeur aile volante en flèche marquée | Évolution de profil, avec vrillage | Pas de stab | 16 à 20 % (mais trop de formules pour bien généraliser...) |
| Planeur maquetté bois et toile (ancien) | Profil épais, porteur | 0,35 à 0,5 | 27 à 32 % |
| Planeur maquetté moderne (perfo) | Profil moderne mince | 0,35 à 0,45 | 30 à 37 % |

bien sûr. En fait, c'est un peu comme nos planeurs anciens à stab porteur, à part que les proportions aile/stab sont inversées. C'est là aussi un sujet qui sort du cadre de cet article et qui pourra être traité si la demande se fait sentir. La rédaction d'Aéromodèles programmera peut-être un tel sujet si vous êtes nombreux à la souhaiter.

Quelques valeurs pour fixer les idées

Voici quelques ordres de grandeur qui peuvent vous aider à avoir une première approximation d'un centrage où vous ne casserez pas le modèle au premier vol... Les premiers vols

servant à affiner la valeur, mais il faut bien partir de quelque chose !

Ces valeurs sont un peu des "recettes de cuisine" empiriques, mais qui peuvent vraiment vous aider si vous n'avez pas d'outils plus sophistiqués à disposition. Pour ceux qui veulent aller plus loin, il existe un excellent programme : PredimRC, que l'on doit à Franck Aguerre. Vous le trouvez ici :

<http://a190754.free.fr/PREDIMRC.php>

C'est un logiciel payant, mais il vous permet de calculer non seulement votre centrage, mais il va calculer les performances de votre modèle et bien plus. Une sacrée boîte à outils !

■ Jean-Louis Coussot

À suivre...