

N° 1

Notions théoriques qui vous aiderons à comprendre pourquoi votre avion vole, ou ne vole pas.....

Les commentaires suivants sont, tant faire se peut, avec des mots les moins techniques possibles, pour être compris et utilisables par tous

Ils n'aborderont que des choses utiles pour faire voler vos joujoux

N° 2

La masse spécifique est à notre échelle la densité (le poids d'un volume d'air donné)

Le zéro absolu (-273 °c) est une limite physique universelle ou par exemple la résistance d'un conducteur électrique serait nulle

La pression dynamique liée à la masse de l'air, est à comparer à l'inertie cinétique. ($1/2 \rho v^2$)

La pression totale est donc la somme de la pression de l'air ambiante + la pression de l'air liée au déplacement de l'avion.

N° 3 et 4

Différents noms donnés à certaines parties de l'avion, comme cela on sait en 1 mot de quoi on parle.

Il y a l'envergure de l'aile et l'envergure de l'avion ($2 \frac{1}{2}$ ailes). Pour la suite on considère l'aile sans le fuselage.

N°5

Plus votre aile est large (envergure) plus l'allongement est grand

Plus votre aile est profonde (corde moyenne) plus sa surface augmente

Donc, une aile large et pas profonde (planeurs) a un grand allongement, et on verra plus tard que cela diminue sa traînée (qui la freine), mais ne facilite pas la vitesse (chasseurs)

N° 6

L'incidence est l'angle d'attaque de l'aile par rapport au vent

Différente du calage de l'aile qui est l'angle de l'aile par rapport à l'axe du fuselage.

N° 7

La flèche est positive quand elle corrige dans le sens inverse les effets induits (vu plus tard)

Idem pour le dièdre

N° 8

La profondeur fait tourner l'avion autour de l'axe de tangage

Les ailerons le font tourner autour de l'axe de roulis

La direction le fait tourner autour de l'axe de lacet

N° 9

La pente est la trajectoire suivie par l'avion avec le vol horizontal comme référence Positive en montée, négative en descente.

L'assiette est la position du nez de l'avion par rapport à l'horizon (positive au dessus, négative en dessous),

On peut avoir une assiette positive, et avoir une pente négative (descendante)

N° 10

On décompose le vent selon la route choisie (ou parfois subie) et on obtient le vent effectif qui vous pousse (ou vous ralentit) et le vent traversier qui vous fait voler de travers et donne la dérive (pour les pros, à droite +, à gauche – pour les calculs du cap compas : $R_v = C_c + d + D_m + x$)

N° 11

Le dérapage, à ne pas confondre avec la dérive est quand l'axe de l'avion n'est pas exactement dans le sens du déplacement

Dans le dérapage l'avion vole de travers, avec la dérive il se déplace de travers

Position à corriger en agissant sur la direction, car il freine énormément l'avion, et peut conduire à des décrochages brutaux et dissymétriques, donc potentiellement dangereux (figures de voltige déclenchées) (à la différence de la glissade) surtout à basse vitesse, car le fuselage masque une partie de l'aile, donc diminue la portance de ce côté là.

N° 12

Une certaine quantité d'air rentre dans le tube, la même quantité doit en ressortir, comme le tuyau se rétrécit, il faut donc que l'air accélère.

C'est le principe des courants d'air dans une maison, ou du vent plus fort dans les rues ou dans une vallée

N° 13

La pression d'un gaz que multiplie sa vitesse est une constante fonction de la température ambiante

MKSA, Mètre Kilo Seconde Ampère, système de mesure international

$P/\rho = Cte$, $\rho = \text{masse/volume}$, donc $P \cdot \text{volume/masse} = Cte$, si la pression augmente, à masse constante le volume diminue, c'est le cas des bulles d'air dans une bouteille d'eau gazeuse, ou de la pompe à vélo

N° 14

La pression totale se conserve, dans le cas de fluides incompressibles, ce qui est une approximation suffisante en dessous de la vitesse du son, (sinon avec des gaz compressibles ou non la formule générale est pour les matheux, $dp/\rho + V \cdot dV = 0$)

On se sert de cette propriété pour les antennes anémométriques (badins) qui mesurent la vitesse d'un avion

N°15 / 16

Dans un écoulement d'air, si on diminue la section, la vitesse doit augmenter (conservation du débit), mais comme la pression totale est Cte ($P_s + 1/2\rho V^2 = Cte$) si la vitesse augmente, il faut que la pression statique (ambiante) diminue, et inversement

A vitesse nulle, la pression autour de l'aile est la pression statique, quand l'avion avance s'ajoute la pression dynamique.

La forme du profil de l'aile rétrécit l'écoulement, donc la vitesse doit augmenter, même si au delà de E, la section ré-augmente, elle reste inférieure à celle devant A, et la vitesse toujours inférieure à celle en amont

Nous avons donc pour conserver la pression totale la pression statique qui diminue, le dessus de l'aile (extrados) est donc aspiré

Pour l'intrados, selon le profil nous pouvons avoir une surpression due à la dominance de la pression dynamique, ou avoir une section qui s'agrandit donc une vitesse qui diminue et la pression qui augmente

N° 17 / 18

Ce schéma montre la répartition des pressions pour un profil usuel

Noter la zone de surpression sur le bord d'attaque due à la vitesse, fonction de l'épaisseur, la forme...du profil

Cette zone peut se déplacer sur l'intrados en fonction de l'incidence

N°19

Profil biconvexe pour les avions de voltige

Plan convexe, la grande majorité des avions classiques

Profils creux pour les planeurs

Profils minces pour les avions rapides

On verra que les profils épais, améliorent la portance, mais trainent beaucoup, et à grande vitesse, apparaissent des phénomènes de compressibilité (mais nous ne sommes pas concernés...)

N° 20 / 21

L'idéal est un écoulement laminaire (bien uniforme), après il devient turbulent dans la zone de transition, et au-delà les filets d'air se décrochent, ce qui est très néfaste pour la portance.

Cette zone de tourbillons est plus d'autant importante que l'incidence est forte, les volets hypersustentateurs cherchent à reculer cette zone.

Ils augmentent aussi la surface de l'aile donc la portance, mais augmentent aussi la traînée ; Cela permet de voler moins vite à l'atterrissage et d'avoir besoin de moins de piste

Les volets de bord d'attaque augmentent la courbure et les fentes par effet venturi (effet de souffle) collent les filets d'air.

N° 22 à 35

La résultante aérodynamique, est la somme des forces de portance de l'aile qui soutient votre avion, mais malheureusement le freine aussi.

Pas de portance sans traînée.

Son intensité est fonction de la vitesse (V^2), du profil de l'aile et de son incidence (C_r), de sa forme (S, λ) et de l'air ambiant (ρ)

Si vous voulez augmenter la portance, pour faire voler un avion plus lourd, ou le faire monter, il faut soit augmenter sa vitesse avec les gaz, soit augmenter son incidence avec la profondeur, mais votre avion ralentira.

Ces deux actions ont leurs limites : la puissance du moteur, ou l'incidence de décrochage. Cela limite le poids de nos avions

Quand vous voulez accélérer en palier, il faut pousser sur le manche, sinon vous montez.

Quand vous volez aux grands angles (forte incidence), vous augmentez la traînée, il faut donc augmenter les gaz, cela vous amène à une autre limite, le vol à très basse vitesse (torque roll)

De toute façon voler aux grands angles n'est pas une solution stable, car la moindre perturbation peut vous amener au décrochage.

Avec la densité (ρ), plus il fait froid, plus l'air est dense, et inversement. L'hiver nos avions devraient voler mieux que lors d'un été très chaud. (malheureusement)

Sur la polaire (n° 34), on voit les différents compromis entre la trainée et la portance
La finesse max (finesse = distance parcourue en fonction de l'altitude), c'est à cette incidence que votre avion volera le plus loin, le meilleur compromis entre vitesse et conso

A l'incidence de Cx mini, il consommera moins, et volera plus longtemps, mais moins vite, d'où une limitation dans vos évolutions.

Ces remarques restent valables pour les hélicoptères, où les pales se comportent comme des ailes.

Si vous ne tournez pas assez vite, vous êtes aux grands angles, et toute perturbation ou demande de pas (incidence) peut vous amener au décrochage des pales. Trop de pas vous fait consommer de l'énergie (batterie) car le Cx est important et votre hélico risque le décrochage des pales sur une demande brutale. Trop de tours, vous avez plus d'inertie (vitesse), donc plus de réserve d'énergie sur les pales, mais vous usez également vos batteries plus vite, à vous de trouver un bon compromis selon votre style de vol.

N° 36 à 41

Diapo 39, vous retrouvez, les incidences remarquables liées à la vitesse donc la puissance nécessaire

Diapo 41, le vol au 1^{er} régime est sécurisant car si vous voulez accélérer trop, vous vous retrouvez en manque de puissance, et vous allez ralentir.

A l'inverse, au 2^{ème} régime, danger, si vous ralentissez trop, la puissance disponible ne vous permet pas de ré-accélerer (décrochage moteur). Vous tombez, la seule solution est de pousser sur le manche pour descendre et ré-accélerer.

La courbe rouge vous montre le cas d'un vol au plafond moteur (puissance max dispo), ou aérodynamique (portance max de l'aile)...situation sans avenir car très instable.

N° 42 à 47

La théorie et les mesures en soufflerie vous montrent que toutes les ailes son stables, mais avec une incidence négative et avec un couple piqueur, à l'exception des biconvexes qui se comportent comme un avion avec un empennage.

N° 48 à 55

Avec un centrage à l'arrière du Foyer votre avion devient instable, une tendance à cabrer le fait cabrer plus encore.....Au foyer, il est sur la pointe d'un couteau

Notez la valeur $k = 0.25$ pour une aile (un peu plus pour un avion, disons 30 à 35 %), c'est pourquoi il ne faut pas centrer vos avions trop arrière (pensez que en se vidant votre réservoir fait varier le centrage, et si vous êtes trop arrière, vous risquez de rentrer dans la zone rouge en vol)

Centré trop avant, il est stable,(trop stable) car la limite mécanique de vos gouvernes, vous empêchent d'évoluer suffisamment.

Pour résumer, centré arrière, votre avion est très maniable, une faible action sur la profondeur le fait réagir beaucoup, mais vous êtes très proche d'une zone d'instabilité, et à l'inverse, centré trop avant votre avion est stable mais peu manœuvrant.

Encore un compromis à trouver.

N° 56

Quand vous inclinez votre avion, la portance ne change pas, mais le poids apparent de votre avion augmente (facteur de charge g , avec 60° d'inclinaison votre avion fait 2 fois son poids)

La force se décompose en une force horizontale F_{cp} qui vous fait tourner (centripète) et une force verticale F_p qui vous porte, mais malheureusement plus faible que F_z (qui en vol horizontal correspondait à votre poids)

La force centrifuge (celle qui vous colle aux murs dans les manèges) augmente le poids réel et donne un poids apparent plus grand

La conjugaison de ces facteurs, fait que, en virage si vous voulez garder la même altitude, il faut, pour augmenter la portance, soit augmenter la vitesse (avec la manette des gaz), soit augmenter l'incidence (en tirant sur le manche) mais à la longue votre vitesse chutera et vous risquez le décrochage

Sinon, accepter de descendre pour augmenter la vitesse

Le décrochage en virage est dangereux, car rarement en « papillon », et vous partez en virage engagé brutal (le mieux pour s'en sortir est de ramener les ailes horizontales (avec la direction de préférence) puis de reprendre de la vitesse (gaz + descente)

Ce phénomène vous arrive aussi quand vous volez à très basse vitesse, (grands angles) le fait de vous mettre en virage augmente votre poids apparent et vous décrochez....

N° 57 à 61

L'effet induit par le lacet vous permet de faire voler vos avion 2 axes (poly club, planeur), une action sur la direction augmente la vitesse de l'aile extérieure, donc sa portance, et diminue celle de l'aile intérieure, votre avion s'incline et tourne

Mais attention, si vous êtes à basse vitesse, une action trop brutale fera décrocher l'aile intérieure (cela s'appelle une figure déclenchée en voltige)

Pour les indoors, le virage à plat peut se pratiquer car ils sont très légers et acceptent un grand coup de dérage, mais attention le décrochage d'une aile les guettent aussi

Le lacet induit par le roulis devrait vous amener à coordonner vos virages, inclinaison + direction simultanément

L'effet dièdre stabilise vos avions. Si vous inclinez, l'aile basse voit sa composante verticale augmenter et tend à la faire remonter

L'effet flèche est le même, mais plus efficace dans le cas de dérapage.

N° 62 à 63

Le nombre de Reynolds est lié à la viscosité de l'air, un disque plat que vous faite tourner entraine l'air par frottement, et cela influence la couche limite. Les requins ont une peau comme du papier de verre pour améliorer leur couche limite (Ont-ils fait des essais en soufflerie ?)

Ce nombre est très utilisé en soufflerie, pour rapprocher les mesures effectuées pendant les essais, à celles du vol grandeur nature. On applique ce « coefficient »

On ne peut pas transposer sur nos modèles réduits, les proportions des avions réels. Pour que les réactions soit identiques il faudrait avoir des nombres de Reynolds similaires .

.....Aussi jouons nous sur la charge alaire (rapport poids/surface) une $\frac{1}{2}$ aile de 5m et 100 kg sur avion, pèserait 10kg pour 50 cm !!!!!, la vitesse relative de votre maquette qui

vole à ..40 km/h, l'avion qui est 20 fois plus grand volerait lui à 800km/h !!!! (Ce n'est pas le cas de tous les avions)

En soufflerie, ils jouent sur la pression (soufflerie à pression variable) car si vous modifiez la vitesse, vous vous heurtez aux problèmes de compression, et si vous baissez trop la T° vous avez des problèmes de givrage

Ci-dessous un texte récupéré sur internet qui vous donne des notions sur le nombre de Reynolds, et de son importance pour nos modèles réduits

« Les **polaires** disponibles concernant les profils ne sont pas **toujours utilisables pour les modèles réduits** car elles ont été tracées à des Re de plusieurs millions qui caractérisent le vol grandeur.

Il faut donc se méfier et bien vérifier que les polaires sur lesquelles vous prélevez des valeurs sont tracées à des nombres de Reynolds correspondant bien aux vitesses de vol de votre planeur.

On ne connaît que peu de mesures effectuées en soufflerie pour les petits nombres de Reynolds ($Re < 10\,000$)

On constate que les caractéristiques de portances s'améliorent avec le nombre de Reynolds. On constaterait de même en traçant les courbes (C_x/C_z) mini (finesse mini) et (C_x^2/C_z^3) mini (vitesse de chute mini) en fonction du nombre de Reynolds que la finesse s'améliore et que la vitesse de chute diminue si l'on augmente le nombre de Reynolds.

On pourrait donc croire qu'il faut voler au plus grand nombre de Reynolds possible en augmentant la corde de l'aile ou la vitesse de vol; mais en fait, alors **que les caractéristiques du profil s'améliorent en augmentant Re, celles de l'aile ne suivent pas les mêmes variations à cause des phénomènes** d'écoulement autour de l'aile pour lesquels l'augmentation du nombre de Reynolds par augmentation de la corde, par exemple, peut être néfaste.

Le nombre de Reynolds critique:

En dessous d'une certaine valeur du nombre de Reynolds, le coefficient de résistance d'un corps augmente soudain considérablement, alors que le coefficient de portance diminue très rapidement. **Pour les profils d'ailes, cela se traduit par une diminution brutale des performances; (C_z/C_x) maxi .**

Le Re_c peut influencer sur le choix d'un profil : on ne mettra pas un profil ayant un Re_c élevé sur un planeur thermique qui doit parfois voler lentement.

On constate que le profil type plaque creuse est supérieur pour de faibles valeurs de Re. (Cas du minimum de Kyosho)

Ceci est dû au fait que le bord vif à l'avant produit une turbulence dans la couche limite ce qui évite le décollement prématuré de celle-ci.

Il est possible d'introduire de semblables perturbations sur nos modèles pour adapter nos profils aux faibles nombres de Reynolds. C'est ce qui a été réalisé depuis longtemps en vol libre grâce à l'emploi de "turbulateurs" dont il existe deux types de base:

- Le premier est le fil dit de "pré turbulence" placé à l'avant du bord d'attaque; il rend l'écoulement libre turbulent, lequel crée à son tour une turbulence dans la couche limite.
- Le deuxième procédé consiste à rendre instable la couche limite elle-même par différents moyens : rugosité de surface (papier abrasif collé à proximité du bord d'attaque sur l'extrados), fil collé avant le point de transition et perturbant la couche limite, donnant assez d'énergie cinétique aux particules d'air pour ne pas être aspirées par la dépression de l'extrados, provoquant ainsi le décollement de la couche limite. »

BONS VOLS

Quelques conseils pour le décollage et l'atterrissage, phases toujours délicates :

Le vent traversier vous fait approcher en crabe (la dérive). Pour l'atterrissage et il faut annuler ce crabe par la gouverne de direction (à plat), et non avec les ailerons, sinon vous risquez de toucher de l'aile à cause de l'inclinaison et du toucher en biais . (Manche dans le vent pour les pros)

Le vent effectif fait varier votre vitesse à l'atterrissage

On décolle et on se pose face au vent car cela raccourci les distances nécessaires, la vitesse sol étant plus faible. Mais attention aux gradients de vent (variation du vent) et aux rafales, sachant que le vent au ras du sol est plus faible, (voir nul), qu'en hauteur

Par inertie, l'avion gardera momentanément sa vitesse par rapport au sol, et si le vent varie, votre vitesse instantanée (celle qui vous fait tenir en l'air) va varier.

Au décollage vent de face, une rafale diminuera votre distance de décollage, mais à l'inverse, si le vent tombe, vous vous retrouvez avec une vitesse trop faible et une distance qui augmente, mais la rafale ou le vent qui augmente, (le cas général le vent augmentant avec l'altitude) vont dans le bon sens

A l'atterrissage vent de face, le vent vous fait approcher à une vitesse sol faible (mais suffisante dans la masse d'air), ce qui est bien pour la distance d'att, mais s'il s'arrête vous vous retrouvez avec une vitesse instantanée trop faible et ...boom...voir pire.

La seule solution est d'avoir une réserve de vitesse en finale pour pouvoir arrondir et tirer sur le manche pour conserver son plan d'approche au cas où.

En cas d'att vent arrière, votre distance d'att se rallonge de façon importante, et même si le vent tombe, votre vitesse sol restant la même, elle devient bien supérieure dans la masse d'air à celle nécessaire pour voler, et l'arrondi sera plus délicat car il y aura beaucoup de vitesse à résorber avant de toucher (un plané plus long). Par ailleurs dans la rafale (vent qui monte), instantanément dans la masse d'air votre avion aura une vitesse trop faible ...décrochage

Car, autre soucis, si vous ne voulez pas avaler la piste, il ne faut pas avoir trop de vitesse à perdre dans l'arrondi. L'idéal est de toucher des roues à la limite du décrochage, sinon gare au rebond.

Si vous touchez trop vite, le choc sur le sol, (votre avion ne pesant presque rien en apparence), va le faire remonter comme une feuille, et vous vous retrouvez à nouveau en l'air, avec une vitesse en chute libre et les 3/4 de la piste déjà avalée avant de retoucher.

En avion réels, on se pose et décolle toujours vent de face (sauf à de très rares exceptions calculées), et à l'att, on majore la vitesse d'approche de $\frac{1}{2}$ vent + rafale en entier (vent moyen 20kts rafales 30kts on majore de $20/2 + (30-20) = 20$ kts).

« Un bon pilote est celui qui sait remettre les gaz »

Bref, encore des compromis à trouver.