

Tout ce que vous avez toujours voulu savoir sur
« pourquoi mon avion vole ? », ou encore
« mais pourquoi ce p***** d'avion ne fait pas ce que je lui
demande ? »

Mécanique du vol et aérodynamique, 09 septembre 2017

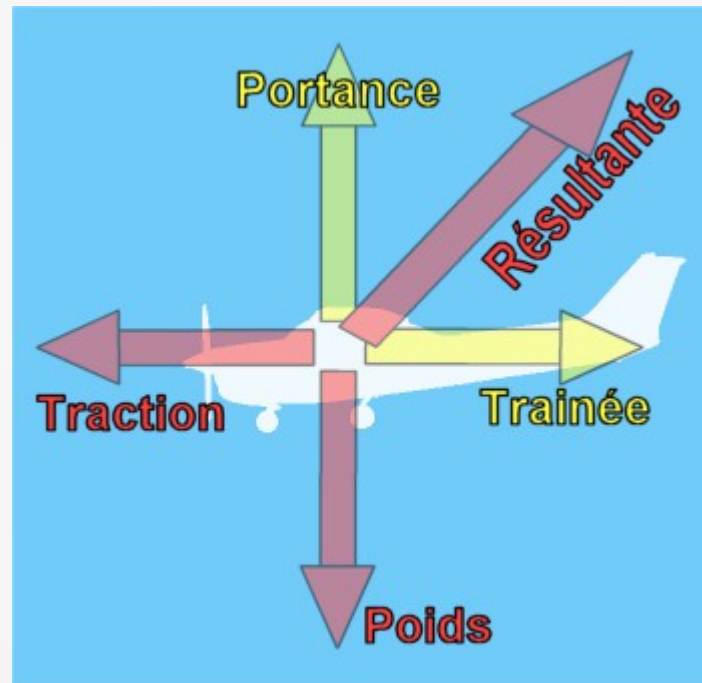
Sommaire

- 1) Préambule : équilibre d'un avion dont la trajectoire est stabilisée
- 2) les bases :
profil d'aile, incidence, portance, traînée, vitesses, puissance nécessaire au vol, effets des volets, effets de la turbulence
- 3) applications concrètes :
 - mise en palier, changement de configuration, approche finale, arrondi
 - approche et atterrissage par vent de travers, approche par vent fort, sur piste courtes
 - décollage sur piste courte, par vent de travers, par vent fort et/ou turbulent
 - panne moteur
- 4) conclusion

1) PREAMBULE

Mécanique du vol et aérodynamique : Préambule (1/4)

Un avion en vol stabilisé, c'est un équilibre entre plusieurs forces :



Mécanique du vol et aérodynamique : Préambule (2/4)

- Équation de sustentation :
 - palier : la portance F_z équilibre le poids P -
 - montée : la portance F_z équilibre une partie du poids P -
 - descente : la portance F_z équilibre une partie du poids P

On constate au passage que la traction du moteur n'intervient pas dans cette équation et donc que le moteur n'a pas pour effet primaire la montée ou descente d'un avion
- Équation de propulsion :
 - palier : la traction T équilibre la traînée F_x
 - montée : la traction T équilibre la traînée F_x plus une partie du poids P -
 - descente : la traction T équilibre la traînée F_x moins une partie du poids P

Mécanique du vol et aérodynamique : Préambule (3/4)

- Rappel : $F_z = 1/2 \rho S V^2 C_z$ et $F_x = 1/2 \rho S V^2 C_x$

où ρ = densité de l'air, S = surface alaire, V = vitesse air, C_z = coefficient de portance et C_x = coefficient de trainée

- Paramètres sur lesquels le pilote peut jouer :

V , C_z et C_x , T .

- Pour garder une portance constante, il faudra donc garder le couple $V^2 C_z$ constant, et donc diminuer V si l'on augmente C_z et vice-versa

Mécanique du vol et aérodynamique : Préambule (4/4)

Tout l'art du pilotage consiste pour le pilote, à l'aide de la manette de gaz et du manche, à maintenir cet équilibre de forces dans le cas d'une trajectoire stabilisée et à passer d'un équilibre à un autre dans le cadre d'un changement de vitesse et/ou d'un changement de trajectoire

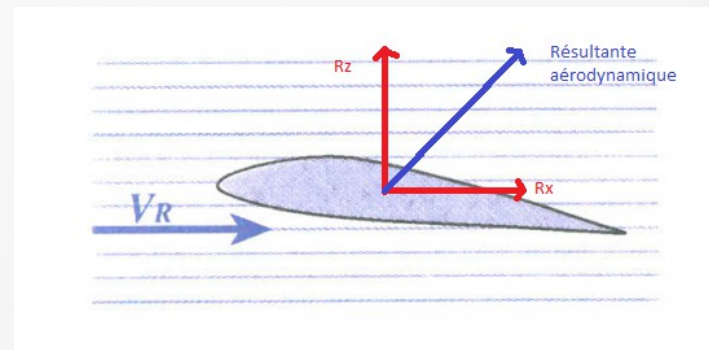
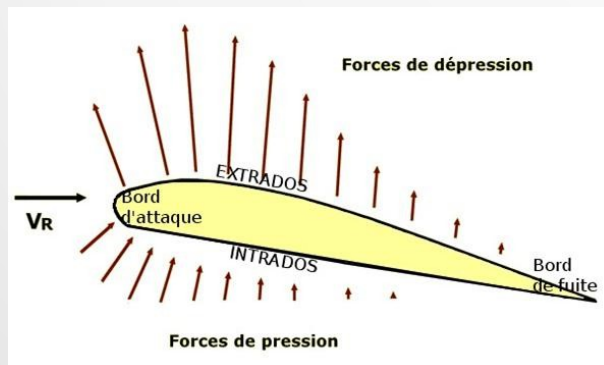
2) LES BASES

Mécanique du vol et aérodynamique : les bases (1/9)

Les ailes de nos avions ont un profil dissymétrique, extrados plus bombé que l'intrados.

Différence de distance à parcourir pour l'air passant dessus l'aile et l'air passant dessous l'aile, qui crée une différence de pression, et la résultante aérodynamique R ($R = \text{Portance } F_z + \text{Trainée } F_x$)

Plus cette différence de distance sera importante, plus R sera importante, plus F_z et F_x seront importantes



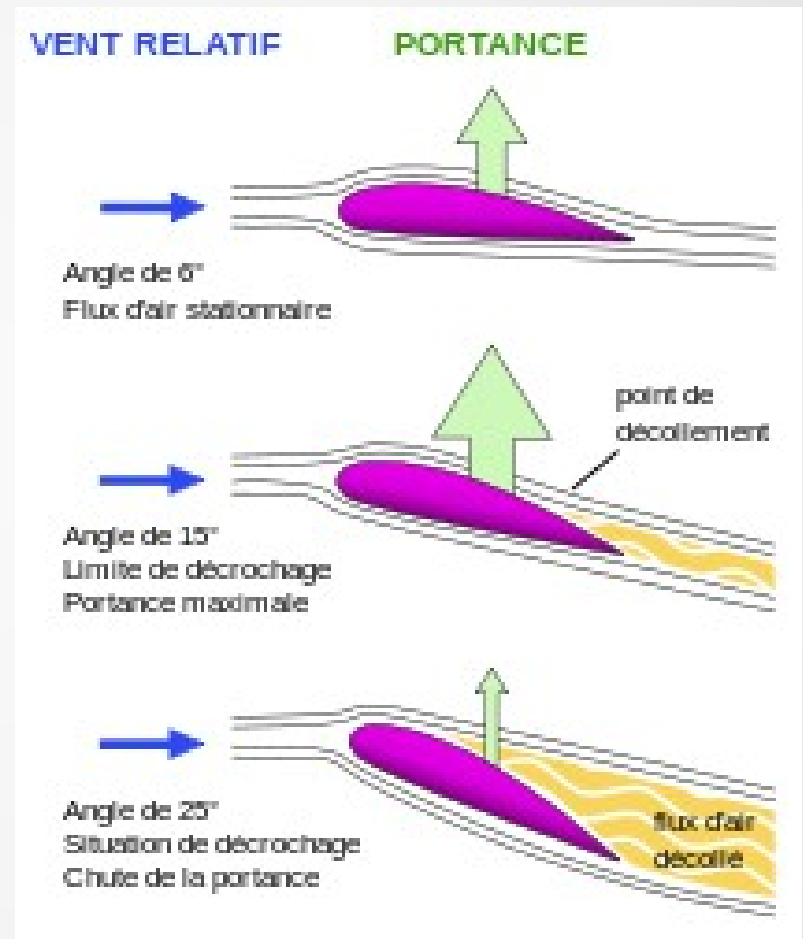
Mécanique du vol et aérodynamique : les bases (2/9)

L'incidence α est l'angle entre la corde de profil de l'aile et le vent relatif (opposé à la vitesse de l'avion) :

Si α augmente, on augmente la différence de distance entre l'air passant à l'extrados et l'air passant à l'intrados, et on augmente la portance F_z

Si α augmente, on augmente aussi la surface d'aile perpendiculaire au vent relatif et donc la traînée F_x augmente.

Si α augmente trop, le vent relatif va « ricocher » sur le bord d'attaque de l'aile et l'air décolle du profil d'aile : c'est le décrochage

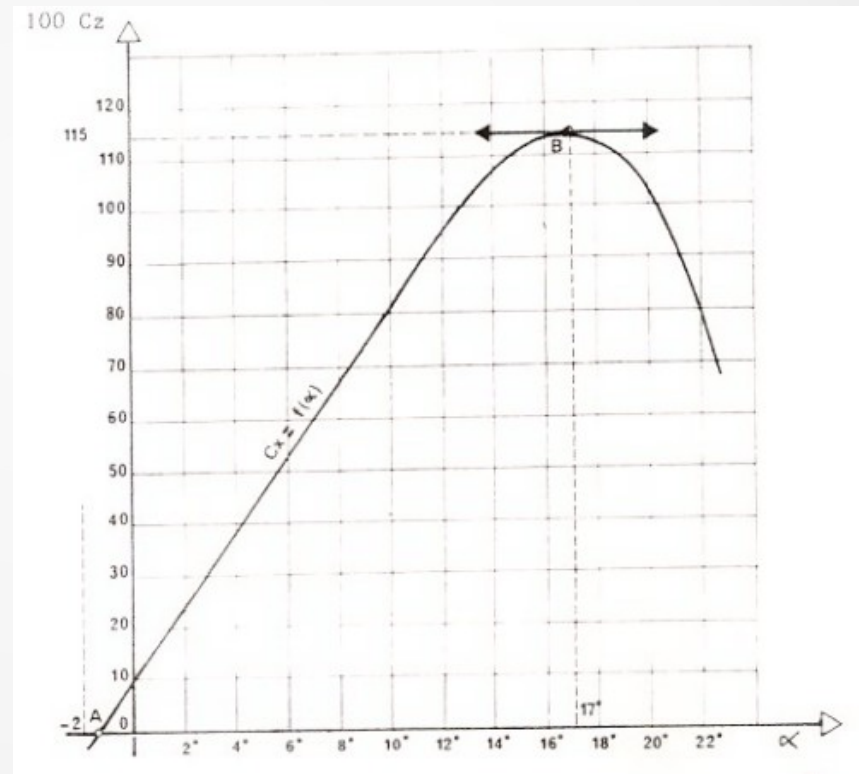
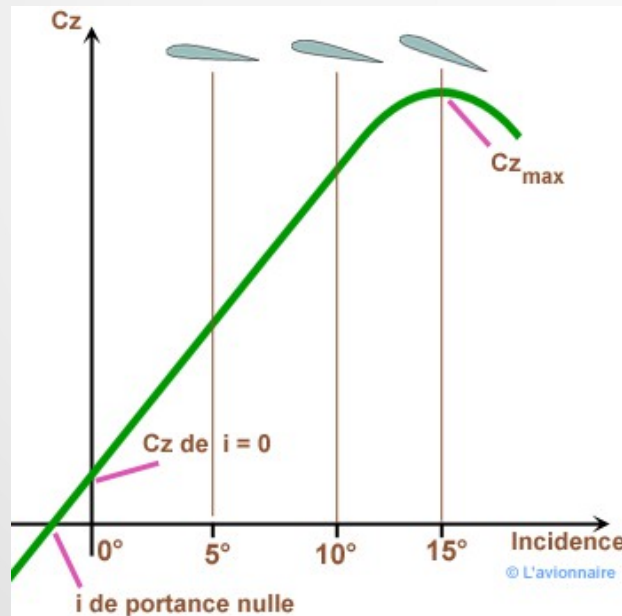


Mécanique du vol et aérodynamique : les bases (3/9)

La **portance** résulte de la différence de pression entre extrados et intrados

Point A : point de C_z nul
(portance nulle)

Point B : point de C_z maxi
(décrochage)

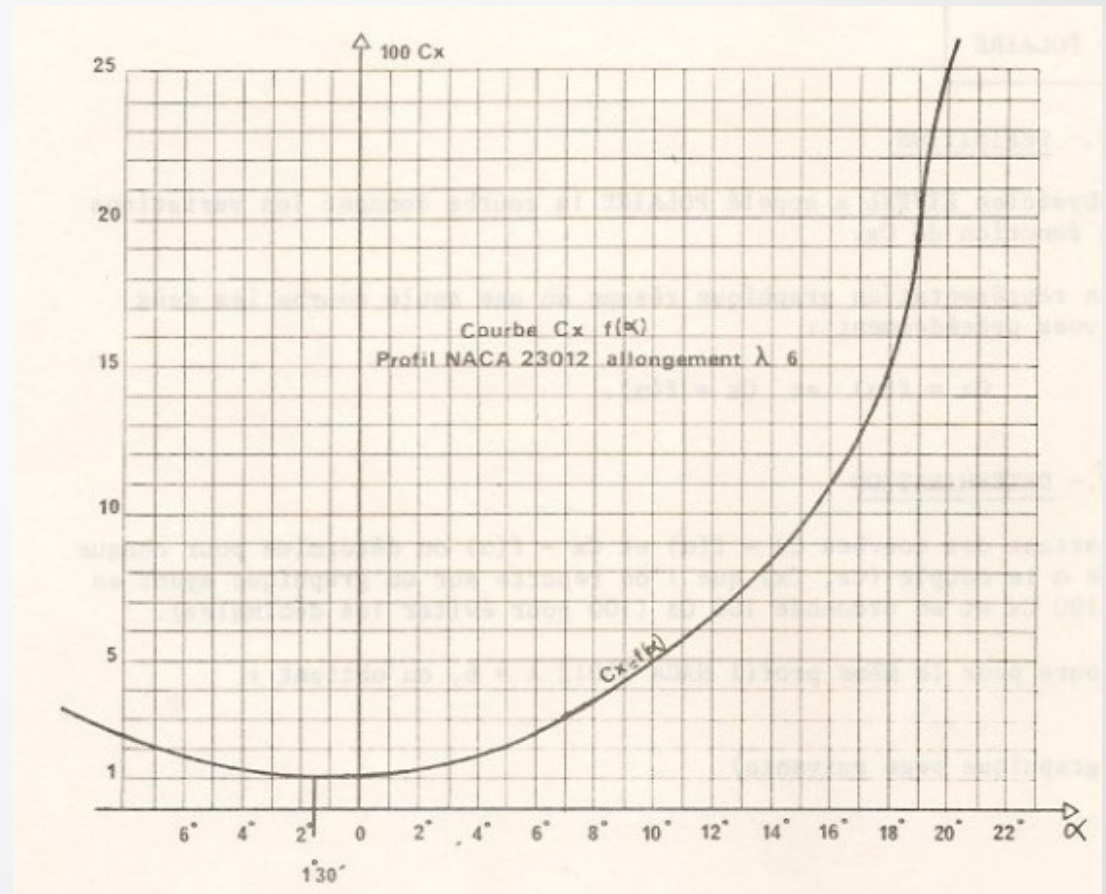


Remarque : plus on vole lentement, plus on vole cabré.

Mécanique du vol et aérodynamique : les bases (4/9)

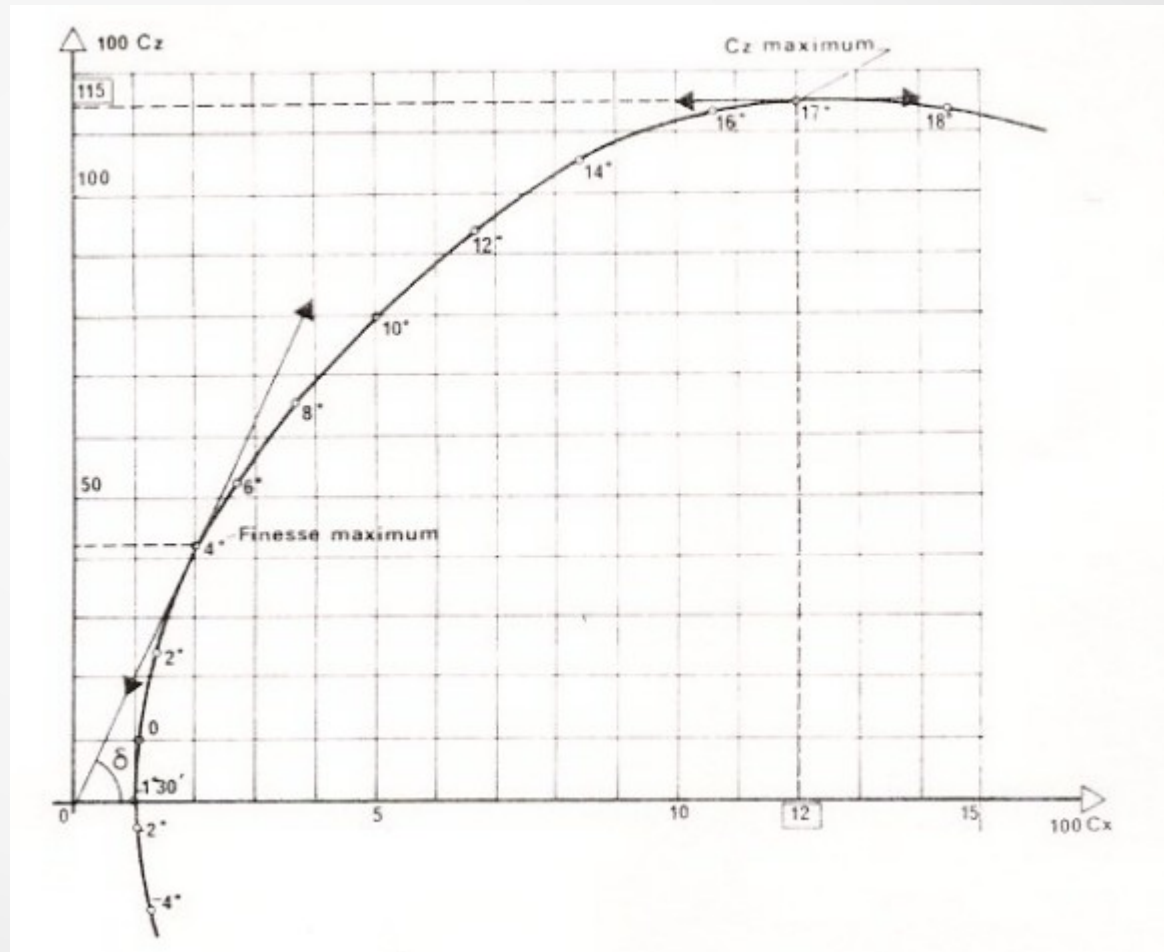
La **traînée** résulte de trois facteurs :

- la résistance à l'avancement dans l'air du profil (due à la surface d'aile perpendiculaire au vent relatif)
- les frottements de l'air sur la surface du profil
- la traînée induite due à la portance. Cette traînée induite est liée à la turbulence de sillage (et donc à la portance)



Mécanique du vol et aérodynamique : les bases (5/9)

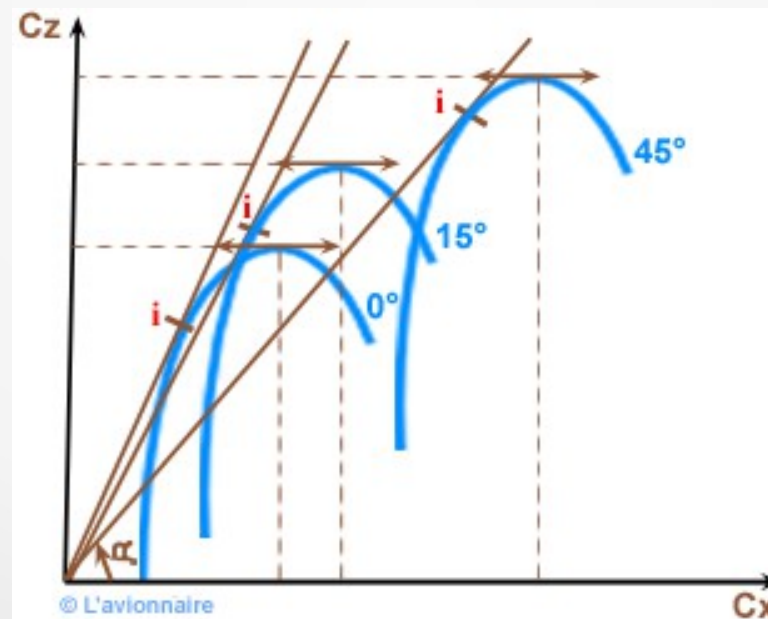
Chaque profil d'aile va donc être caractérisé par ses coefficients de portance et de trainée, C_z et C_x , que l'on retrouve sur une courbe appelée polaire de l'aile.



Effet des volets :

la sortie des volets provoque une augmentation de la courbure du profil d'aile, mais aussi une augmentation de la surface d'aile perpendiculaire au vent relatif.

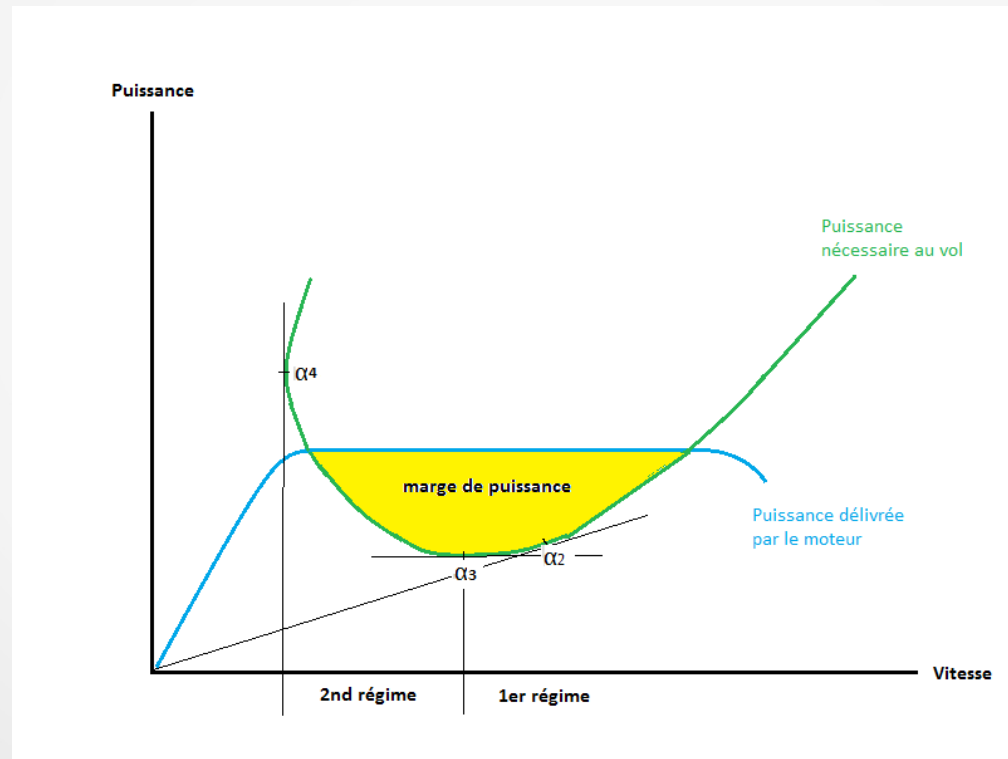
Au final la sortie des volets provoque augmentation de C_z et de C_x



Mécanique du vol et aérodynamique : les bases (7/9)

Puissance nécessaire au vol en palier / puissance délivrée par le moteur

La marge de puissance permet de prendre de la vitesse ou de l'altitude.



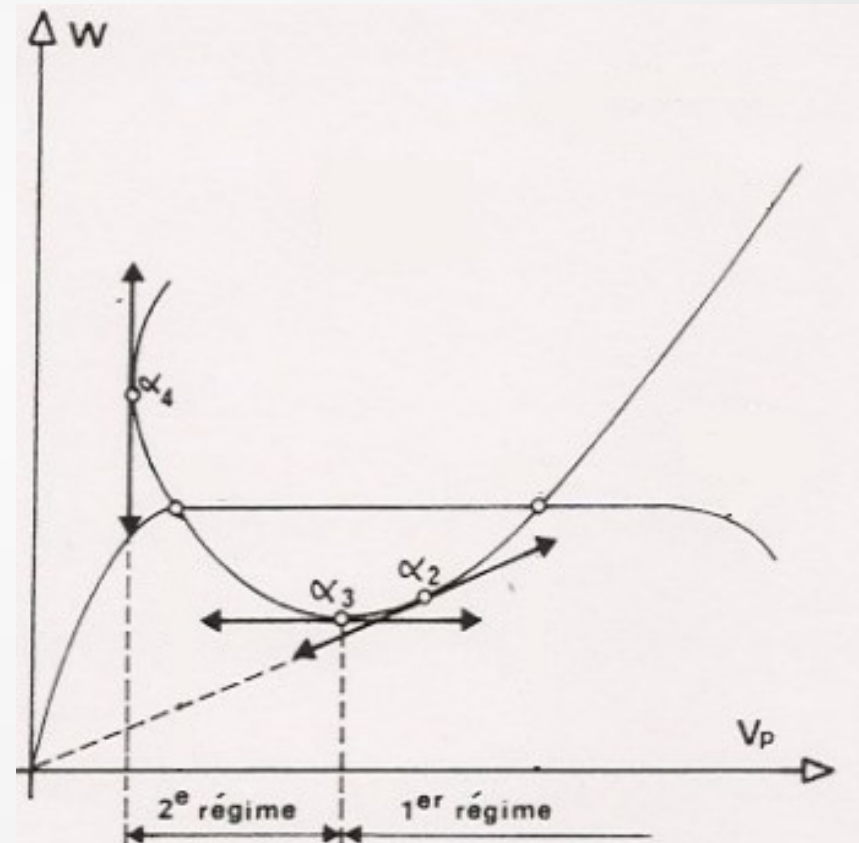
En altitude ou par temps chaud, la puissance moteur diminue et donc la marge de puissance diminue, ainsi que la plage de vitesses de vol.

Mécanique du vol et aérodynamique : les bases (8/9)

Synthèse sur la polaire

Incidences remarquables :

- α_4 : décrochage
- α_3 : autonomie maxi,
Vz max(montée),
Vz min (descente)
- α_2 : finesse maxi,
rayon d'action maxi



Mécanique du vol et aérodynamique : les bases (9/9)

Vol en air turbulent :

Les turbulences créent des variations instantanées de vitesse de vent relatif (dues aux rafales horizontales) et d'angle d'incidence (dues aux rafales verticales), qui créent alors des variations de portance.

Rappel n°1 : par construction, un avion est stable, c'est à dire que lorsqu'il quitte son équilibre à cause d'une rafale, il le reprend de lui-même dès que la rafale est passée

Rappel n°2 : la turbulence est quelque chose de rapide et instantané. Aussi, de par son temps d'analyse et de réaction, un pilote qui souhaite calmer les effets de la turbulence, ne fait bien souvent qu'amplifier le phénomène. En conséquence, hormis cas exceptionnel (par exemple, votre avion prend 45° d'inclinaison sur une turbulence, et là il va falloir l'aider à revenir à sa position initiale), la meilleure chose à faire est de bloquer le manche et de bouger le moins possible.

3) APPLICATIONS CONCRÈTES

Mécanique du vol et aérodynamique : applications concrètes (1/16)

Préambule :

1) une action sur le manche à piquer ou à cabrer a pour
- effet primaire (immédiat) une variation de la trajectoire (car la variation d'incidence et donc de C_z et donc de portance est immédiate)
- effet secondaire (différé) une variation de la vitesse

2) une action sur la manette de gaz a pour
- effet primaire (quasi-immédiat) une variation de la vitesse
- effet secondaire (différé) une variation de la trajectoire

Conclusion : dans la quasi totalité des cas, on aura une action sur le manche pour obtenir la trajectoire recherchée, suivie d'une action sur les gaz pour obtenir la vitesse recherchée

Rappel : une action sur les gaz a aussi un effet secondaire sur l'assiette, particulièrement sensible avec les volets.

Mécanique du vol et aérodynamique : applications concrètes (2/16)

La mise en palier après une montée :

But : passer d'une trajectoire de montée à vitesse constante à une trajectoire de palier à altitude constante

Erreur fréquente : à l'arrivée à l'altitude choisie, mise en palier et réduction immédiate des gaz vers la puissance de croisière, sans attendre que la vitesse augmente.

Conséquences : la vitesse augmente petit à petit, augmentant la portance qui devient supérieure au poids et du coup l'altitude augmente

Correction : laisser accélérer l'avion progressivement jusqu'à la vitesse recherchée en accompagnant l'accélération par modification de l'assiette à piquer, puis afficher la puissance de croisière et enfin compenser l'avion.

Changement de configuration en vent arrière :

But : passer de la vitesse de croisière à la vitesse de la configuration approche (1 cran de volets) dans la vent arrière en tenant l'altitude

Erreur fréquente : à l'arrivée en vent arrière, réduction de la puissance sans modification d'assiette à cabrer

Conséquences : la vitesse diminue petit à petit, la portance fait de même et devient inférieure au poids et du coup l'altitude diminue

Correction : accompagner la décélération par modification de l'assiette à cabrer afin de maintenir l'altitude, puis la vitesse voulue obtenue, sortir le premier cran de volets et enfin compenser l'avion.

Mécanique du vol et aérodynamique : applications concrètes (4/16)

L'approche finale :

But : avoir une trajectoire stabilisée (plan et vitesse) qui amène l'avion sur un point d'aboutissement où se fera l'arrondi

Erreur fréquente :

- plan trop faible ou trop fort, suivi de corrections incorrectes (pas exécutées dans l'ordre, et d'intensité pas adaptées)
- à la sortie des volets, couples non maîtrisés, avec pour conséquence variation du plan

Bonnes pratiques :

- pour récupérer un plan correct : d'abord action sur le manche pour aller chercher la bonne trajectoire, puis après avoir vérifié la vitesse, action sur les gaz si nécessaire
- sur un plan stabilisé, pour corriger la vitesse, action sur les gaz (ne pas oublier les effets secondaires des variations de puissance sur l'assiette : maintenir l'assiette pendant les variations de puissance)
et **UTILISER LE COMPENSATEUR**
- maintenir l'assiette à la sortie des volets

Mécanique du vol et aérodynamique : applications concrètes (5/16)

L'arrondi :

But : passer d'une trajectoire d'approche à une trajectoire permettant un contact en douceur avec la piste, c'est à dire avec une vitesse verticale maîtrisée. Rappel : l'atterrissage N'EST PAS un décrochage au ras du sol !

Erreurs fréquentes :

- pas de variation d'assiette ou variation trop brusque. Conséquence : l'avion touche « trois points » ou il remonte lors de l'arrondi
- vitesse d'approche trop importante. Conséquence : arrondi beaucoup plus long à exécuter et variation d'assiette beaucoup plus délicate à gérer pour éviter que l'avion ne remonte
- lorsque l'avion remonte, action d'assiette à piquer. Conséquence : diminution immédiate de la portance et atterrissage sur le train avant, voire rebonds et heurts hélice avec le sol

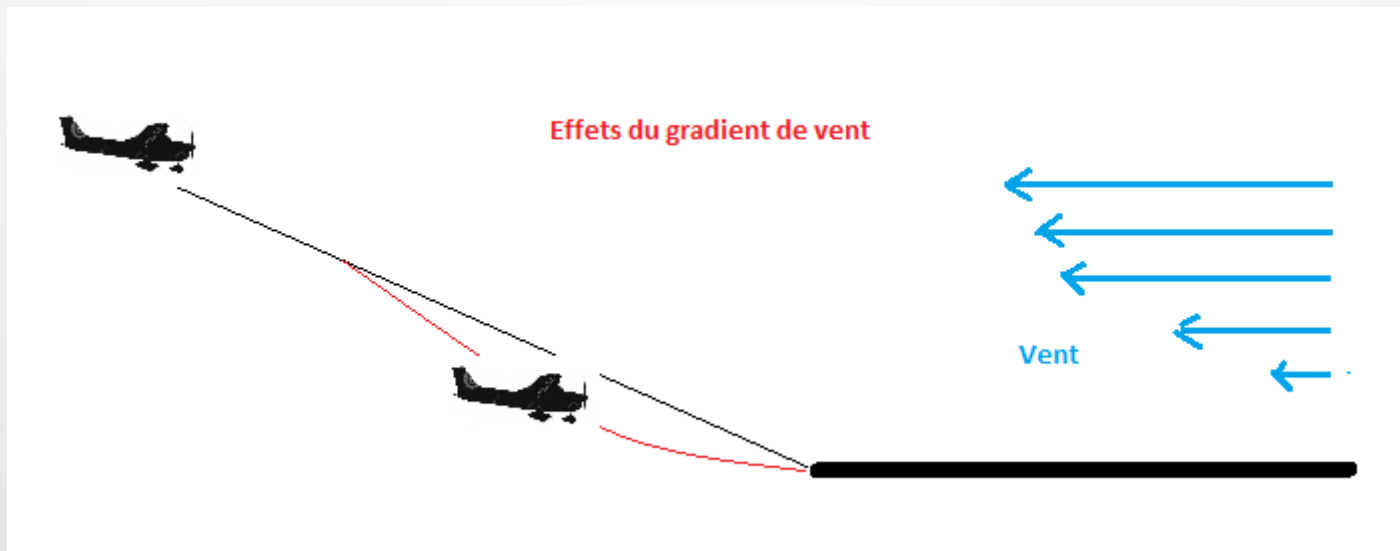
Bonne pratique : pendant tout l'arrondi, faire une variation progressive et continue à cabrer de l'assiette pour accompagner la décélération et ne jamais remettre l'assiette à piquer. Au pire, si l'on remonte de trop, remise de gaz et nouveau tour de piste.

Mécanique du vol et aérodynamique : applications concrètes (6/16)

Approche et atterrissage avec du vent fort (1/2) :

Problème :

- phénomène du gradient de vent, qui fait que lorsque l'avion se rapproche du sol, sa trajectoire se creuse, l'avion s'enfonce. Plus le vent est fort, plus ce phénomène est important.
- au moment où l'avion subit le gradient de vent, action sur les gaz souvent insuffisante de la part du pilote

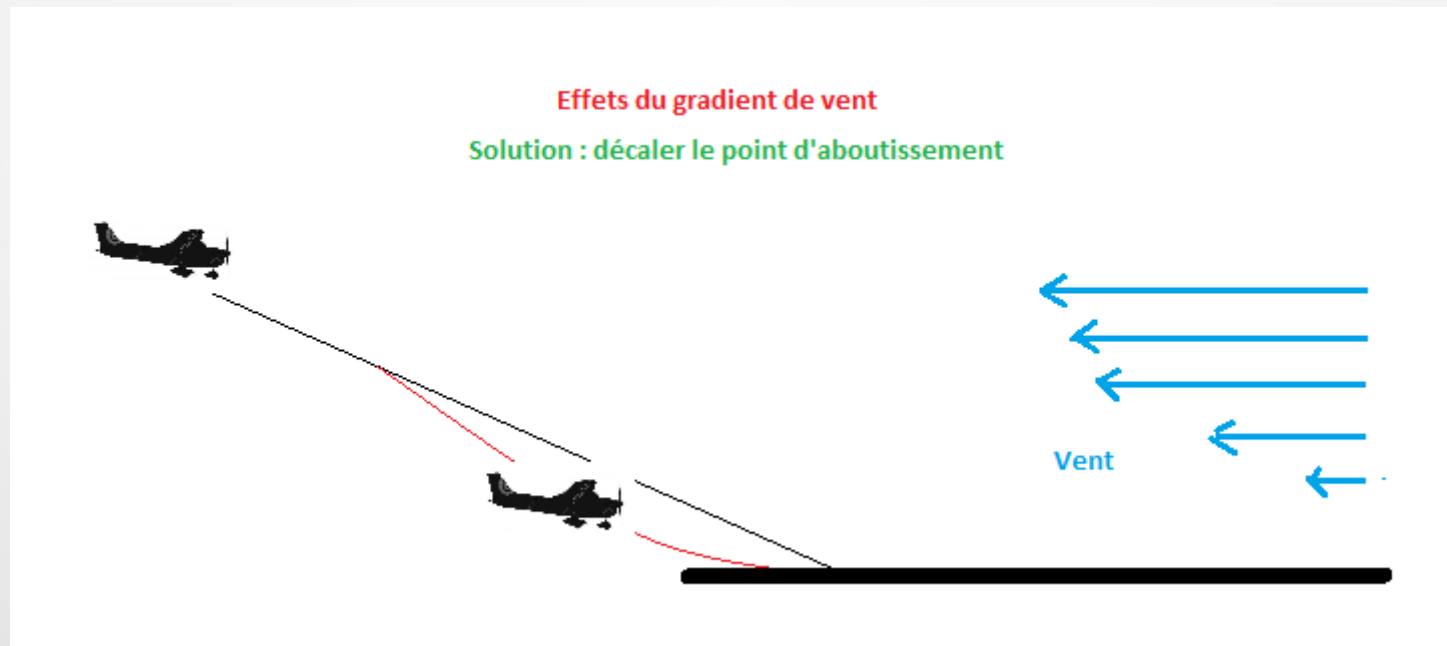


Mécanique du vol et aérodynamique : applications concrètes (7/16)

Approche et atterrissage avec du vent fort (2/2) :

Solutions :

- augmenter la vitesse d'approche : +5kt si vent de face entre 10 et 20kt, +10kt si vent de face au-delà de 20 kt.
- décaler le point d'aboutissement (ne pas choisir le début de piste)



Approche et atterrissage avec du vent de travers (1/2) :

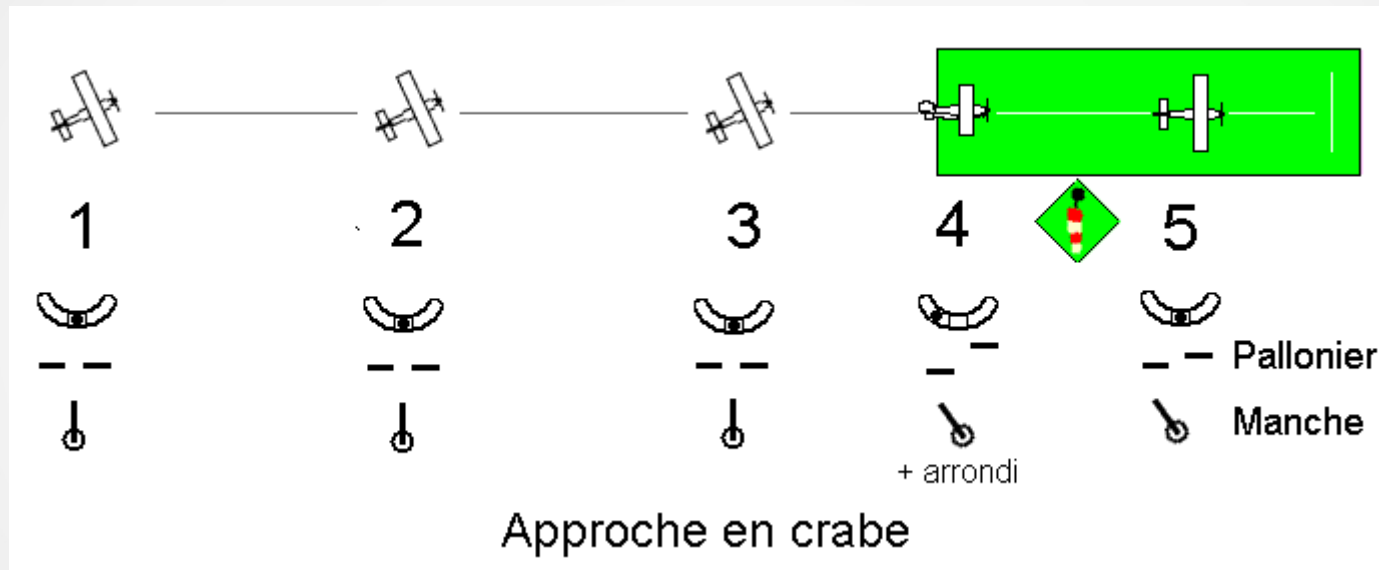
Problèmes : garder l'axe de piste en l'air et au sol, poser l'avion parallèle à l'axe de piste

Solutions :

- garder l'axe de piste en l'air (facile!) : prendre une dérive
- poser l'avion, c'est le décrochage (un peu moins facile!) : pied à l'opposé du vent (pour mettre l'axe de l'avion parallèle à l'axe de piste) et manche du côté du vent (pour que l'avion reste sur l'axe). **MAINTENIR CES ACTIONS PENDANT TOUT L'ARRONDI**
- garder l'axe de piste au sol (le moins facile!) : pendant la phase de roulage, il existe une plage de vitesse où celle-ci est assez importante pour que l'avion subisse un effet girouette importante et trop faible pour que les gouvernes soient efficaces. Freiner de façon à réduire le plus possible cette plage de vitesses.

Mécanique du vol et aérodynamique : applications concrètes (9/16)

Approche et atterrissage avec du vent de travers (2/2) :



Remarque : tant que l'on peut garder en l'air la roulette de nez, c'est que l'on a assez de vitesse pour que les gouvernes soient efficaces.

Approche et atterrissage sur piste courte :

Ancienne méthode : approche à $1,2 V_s$

- avantages : moins d'énergie, freinage plus court
- inconvénients : assiette plus importante avec nécessité de plus de puissance, avion plus sensible aux turbulences et au gradient de vent

Méthode préconisée maintenant : approche à $1,3 V_s$

- avantages : moins de puissance nécessaire, moins de sensibilité au gradient de vent
- inconvénients : plus d'énergie, freinage plus long
- solution : anticiper la réduction de gaz à l'arrondi (mais pas trop), en attendant la proximité du sol pour effectuer la variation d'assiette

Remarque : piste courte = se fixer une limite pour le toucher des roues, sinon REMISE DE GAZ

Approche et atterrissage :

A propos de la vitesse d'approche :

- on utilisera la vitesse recommandée par le manuel de vol, et à défaut la vitesse de décrochage pour la configuration utilisée majorée de 30 % ($1,3V_s$) en utilisant les repères de l'anémomètre (fin de l'arc blanc en lisse, fin de l'arc vert avec les volets atterrissage)
- remarque : ces valeurs sont données pour la masse maximale à l'atterrissage. Ainsi sur nos avions courants (PA28, C178, Océanair) lorsque l'on est seul dans ces quadriplaces, on est environ à 20 % en dessous de la masse maxi, ce qui fait que la V_s diminue déjà de 10 %. Attention donc à ne pas augmenter inutilement encore la vitesse d'approche !

Mécanique du vol et aérodynamique : applications concrètes (12/16)

Décollage :

Erreurs fréquentes :

- passage « violent » de ralenti à plein gaz, avec effet du souffle moteur sur la gouverne de direction et tenue d'axe difficile
- brusque et importante variation d'assiette à la rotation

Solutions :

- mettre les gaz progressivement pour contrer plus facilement les effets moteurs
- variation progressive de l'assiette et limitée (par exemple « voir » le capot sur l'horizon) afin de permettre une prise de vitesse et une montée efficaces

Décollage sur piste courte :

Plusieurs écoles :

- à l'alignement, mettre plein gaz sur freins
- faire un rolling take-off
- juste avant la vitesse de rotation sortir les pleins volets d'un coup en cabrant l'appareil afin de le décoller du sol (à ne pas faire s'il y a des obstacles dans la zone de décollage), avec le risque des problèmes d'effet de sol : **NOUS NE RECOMMANDONS PAS CETTE TECHNIQUE**

Recommandations :

Pour la sécurité, considérer que le décollage est une option et que l'accélération-arrêt est le but à assurer : pour cela se fixer un repère pour prendre la décision d'arrêter le décollage (par exemple, une vitesse à atteindre à mi-piste)

Décollage par vent de travers :

Problème : pendant toute la phase de roulage, l'avion par « effet girouette » va vouloir se mettre le nez dans le vent

Solution :

- à l'alignement, mettre le manche complètement dans le vent. La différence de traînée entre l'aileron baissé et l'aileron levé, aidera à contrer l'effet girouette
- au fur et à mesure que la vitesse augmente, ramener le manche au neutre
- dans tous les cas faire la rotation avec le manche au neutre, afin d'éviter que l'avion ne parte en virage au ras du sol

Remarque : lorsque l'avion « chasse à gauche et à droite » sur la piste, c'est qu'il est prêt à voler, faire la rotation

Mécanique du vol et aérodynamique : applications concrètes (15/16)

Décollage par vent fort et/ou turbulent :

Problème : le vent fort et turbulent provoque des variations instantanées de portance qui peuvent être dangereuses lors de la rotation

Solution :

- prendre une vitesse de rotation plus importante (5kt ou 10 km/h)
- à la rotation faire une variation d'assiette plus faible et lente, afin de bien laisser accélérer l'avion

Mécanique du vol et aérodynamique : applications concrètes (16/16)

Panne moteur :

- prendre la vitesse de finesse maximale, compenser et s'orienter vers une zone favorable
- choix d'une zone de posé (face au vent de préférence) et positionnement vent arrière ou base ou finale (en s'appuyant sur les repères vus lors des exercices d'encadrement), puis recherche de panne
- en finale :



LA SORTIE DES VOLETS EN FINALE N'EST PAS SYSTÉMATIQUE

viser le point d'aboutissement et observer la vitesse :

- si elle diminue, on atteindra pas le champ, choisir si possible un autre champ plus proche
- si elle est stable, on sortira les pleins volets juste avant l'arrondi
- si elle augmente on pourra, avec prudence, sortir les pleins volets

Conclusion :

Pour se faciliter le pilotage éviter les mouvements brusques et préférer des mouvements doux qui permettent de bien analyser ce qui se passe et d'avoir ainsi des corrections adaptées, ce qui évitera de multiplier les corrections/mouvements.

En d'autres termes, soyez patients et

FAINEANTS

(si vous vous demandiez encore pourquoi vos instructeurs aiment voler!!!)