

Tout pour l'examen théorique
de pilote privé d'avion et ULM

Manuel de pilotage d'avion et d'ULM

7^e édition

PPL(A) - LAPL(A) - ULM

infos/nouveautés/catologue : www.maxima.fr



8, rue Pasquier, 75008 Paris
Tél. : + 33 1 44 39 74 00 – Fax : + 33 1 45 48 46 88

© **Maxima, Paris, 2018**

ISBN : 978284001879-7

Pages 120, 130, 197, 211, 228, 231, 233, 248, 260, 261, 262 (haut), 268, 323, 335, 346, 353 © SIA Service d'Information Aéronautique Mérignac – France. Reproduit avec l'autorisation E10/2009, ne pas utiliser en vol
Pages 245, 251, 256, 262 (bas), 266, 269, 382 © IGN – Paris 2009 - Autorisation n° 80-9048
Pages 153, 167, 176, 177, 186, 187, 192 © Météo France Paris - France
Pages 28, 93, 121, 122, 125, 126, 128 © Daher-Socata – Publications techniques, Tarbes - France
Pages 137, 152, 244, 245 © Marine Geology & Geophysics NOAA/National Geophysical Data Center. Boulder - USA
Page 144 © Bajstock.com

Tous droits de reproduction, traduction, et d'adaptation réservés pour tous pays.

SOMMAIRE

Avant-propos	VII
Introduction	IX

Section 1 : Technique du vol

<u>Module 1</u> :	Principe du vol	01
	Entraînement à l'examen théorique	08
<u>Module 2</u> :	Les axes de l'appareil et tout ce qui tourne autour	11
	Entraînement à l'examen théorique	18
<u>Module 3</u> :	Stabilité et domaine de vol	21
	Entraînement à l'examen théorique	30

Section 2 : Aérotechnique

<u>Module 1</u> :	Cellule et commande de vol	35
	Entraînement à l'examen théorique	51
<u>Module 2</u> :	Le moteur à 4 temps	53
	Entraînement à l'examen théorique	68
<u>Module 3</u> :	Carburant, hélice et système	71
	Entraînement à l'examen théorique	86
<u>Module 4</u> :	Instruments anémométriques	89
	Entraînement à l'examen théorique	98
<u>Module 5</u> :	Instruments gyroscopiques	101
	Entraînement à l'examen théorique	109
<u>Module 6</u> :	Documents et performance	111
	Entraînement à l'examen théorique	129

Section 3 : Météorologie

<u>Module 1</u> :	L'atmosphère	135
	Entraînement à l'examen théorique	147
<u>Module 2</u> :	Le vent, les nuages et les précipitations	149
	Entraînement à l'examen théorique	159
<u>Module 3</u> :	Frontologie, givrages et orages	161
	Entraînement à l'examen théorique	173
<u>Module 4</u> :	Services de la météo.....	175
	Entraînement à l'examen théorique	190

Section 4 : Réglementation

<u>Module 1</u> :	Licences et règles de l'air	195
	Entraînement à l'examen théorique	207
<u>Module 2</u> :	La circulation aérienne et classes d'espace	209

	Entraînement à l'examen théorique	217
Module 3 :	Les règles d'emport et d'équipement	219
	Entraînement à l'examen théorique	225
Module 4 :	Circulation d'aérodrome	227
	Entraînement à l'examen théorique	237

Section 5 : Navigation

Module 1 :	Géographie terrestre, routes et cartes	243
	Entraînement à l'examen théorique	252
Module 2 :	Cartes et principes de navigation	255
	Entraînement à l'examen théorique	268
Module 3 :	Préparation et pratique de la navigation	271
	Entraînement à l'examen théorique	281
Module 4 :	La radionavigation	283
	Entraînement à l'examen théorique	292

Section 6 : Facteurs Humains

Module 1:	Aéromédecine	299
	Entraînement à l'examen théorique	306
Module 2 :	Mémoire, stress et raisonnement	309
	Entraînement à l'examen théorique	316

Section 7 : Procédures et sécurité

Module 1 :	Généralités	319
	Entraînement à l'examen théorique	328
Module 2 :	Communication	329
	Entraînement à l'examen théorique	340

Section 8 : Modules complémentaires

Module 1 :	GPS.....	343
Module 2 :	Qualification vol de nuit.....	359
Module 3 :	Anglais aéronautique.....	365
Module 4 :	Qualification vol montagne.....	373

Corrections des exercices et entraînements à l'examen

382

Index	387
Table des matières	393

AVANT-PROPOS

Ce manuel, dont le premier objectif est de vous permettre de réussir facilement l'examen théorique de pilote privé d'avion ou d'ULM, va vous accompagner tout au long de votre vie de pilote !

Il reprend l'intégralité du programme théorique officiel pour l'obtention des Brevets de Pilote Privé avion (LAPL, PPL et ULM).

Dès le début de votre formation au sein d'un ATO, d'une école déclarée auprès de la Direction Générale de l'Aviation Civile (DTO) ou avec votre instructeur ULM, vous approfondirez, matière par matière, les connaissances indispensables qui sont détaillées ici.

Bien sûr, c'est votre école et votre instructeur qui dispenseront la formation pour apprendre à piloter lors de briefings et d'entraînements pratiques. Cet ouvrage n'a pas vocation à les remplacer. Par contre, le jour de l'examen, les savoirs théoriques tels qu'ils vous sont présentés ici vous seront indispensables.

Ce manuel complet, où vous trouverez à la fin de chaque module des QCM d'entraînement du même type que ceux qui sont posés à l'examen officiel, et à la fin de certaines sections un récapitulatif sous la forme d'un « examen blanc », est d'abord conçu pour vous permettre de réussir l'examen.

Nous vous conseillons aussi de suivre des cours théoriques (organisés par votre école, par correspondance...) avec le soutien d'un instructeur, et de passer de nombreux tests blancs (en stage, en ligne...) avant de solliciter de votre école qu'elle vous inscrive dans un centre d'examen (cette inscription n'intervenant qu'après plusieurs réussites à ces examens blancs et une fois l'intégralité du programme suivi, et sur les conseils de votre instructeur).

Une fois breveté pilote, ce livre continuera à vous servir. Si, comme nous le pensons, vous aimerez le consulter pour maintenir vos connaissances à jour et répondre aux interrogations que vous pourriez avoir, nous aurons rempli notre deuxième objectif : vous être utile tout au long de votre vie de pilote.

Quoi qu'il en soit, n'oubliez jamais que vous trouverez auprès de votre instructeur au sein de votre école toutes les réponses aux questions que vous vous poserez sur le pilotage et le monde aéronautique ; n'hésitez surtout pas à le consulter.

Nous vous souhaitons de très agréables moments dans l'univers aéronautique riche en plaisirs et en sensations fortes.

La réalisation de votre rêve commence à présent !

Bon apprentissage, bon examen et bons vols.

Destiné aux élèves de toutes les formations au pilotage d'avions et d'ULM (en écoles ou en aéro-clubs), à leurs instructeurs et à tous les pilotes privés, ce manuel est, à son origine, le fruit d'une étroite collaboration entre les pilotes instructeurs professionnels et l'ensemble du personnel d'une importante école privée de formation au pilotage d'avion de loisirs en France.

Œuvre de professionnels passionnés - comme tous les instructeurs - et de pédagogues aguerris - comme beaucoup d'instructeurs ! -, ce livre a bénéficié de l'expérience de tous.

Qu'ils en soient ici remerciés, ainsi que les contrôleurs aériens, mécaniciens, agents d'État, médecins aéronautiques qui nous ont aidés dans cette réalisation, pour leur collaboration fructueuse et leurs conseils avisés.

Un grand merci, enfin, à tous les élèves, plusieurs centaines, qui, grâce à leurs questions, remarques, commentaires, ont permis d'améliorer ce manuel au fil du temps.

Cette 7^{ème} édition, mise à jour par Pierre-Marie Cottier, pilote professionnel et instructeur, incorpore les nouvelles dispositions réglementaires, tant au niveau des connaissances demandées pour l'examen théorique avion, que pour la réglementation européenne (SERA, Part FCL, Part NCO).

Nous avons ajouté des compléments s'adressant au futur pilote d'ULM, car le programme de leur examen théorique est depuis quelques temps calqué sur celui de l'avion.

De nombreuses QCM du PPL ont en effet été «ULMisées», du fait des performances machine égalant, voire dépassant, celles de l'avion léger. Et il était très facile pour l'administration de remplacer le terme «avion» par celui d'«ULM» dans les questionnaires, car toutes les matières - technique du vol, aérotechnique, réglementation, météorologie, navigation, facteurs humains, procédures et sécurité - relèvent des mêmes connaissances à acquérir.

Bien sûr, nous serons heureux de profiter des conseils de tous ceux qui nous choisiront (élèves) ou nous prescriront (écoles et instructeurs) pour améliorer encore ce manuel dans les années à venir.

Les auteurs
pilotage@maxima.fr

INTRODUCTION

Tout traiter afin d'être vraiment utile aux pilotes et suivre exactement le programme de l'examen pour rendre le passage de l'épreuve théorique plus facile, tels ont été les deux premiers impératifs de ce manuel.

Le lecteur trouvera ainsi les matières des examens théoriques avion et ULM intégrées dans les modules de ce manuel du pilotage. Pour une étude aisée, nous avons regroupé les modules en 7 grandes sections (Technique du vol, Aérotechnique, Météorologie, Réglementation, Navigation, Facteurs humains, Procédures et sécurité), différenciés par une couleur spécifique.

Ces matières font l'objet d'une seule épreuve pour l'examen ULM et de deux épreuves pour l'examen avion, spécifique et commune, qui contiennent plusieurs matières.

Examen commun avec 4 matières :

- réglementation
- performance humaine
- météorologie
- communication

Examen spécifique avion avec 5 matières :

- connaissance générale de l'avion
- principes du vol avion
- navigation
- performances et préparation du vol
- procédures opérationnelles

Pour l'examen théorique de la LAPL ou de la PPL, constitué d'environ 120 QCM (Questions à Choix Multiples), notre manuel vous sera particulièrement utile car il est conçu pour une progression dans l'acquisition des connaissances la plus logique possible.

Quant à l'examen théorique ULM, constitué pour sa part de ~~40~~ QCM, l'autorité utilisant de plus en plus de questions issues de la base de données PPL avion, vous bénéficierez ainsi du cursus le plus complet pour le réussir.

Voilà pourquoi nous avons fait évoluer pour cette 7^{ème} édition notre découpage pédagogique, tout en englobant le programme théorique défini par la réglementation.

Avant de débiter l'étude de ce manuel, et pour vous mettre dans le bain dès maintenant, voici un petit avant-goût avec les conversions des unités de mesure en aéronautique.

Les unités de mesure aéronautiques :

Le système international de mesure universel est basé sur le système MKSA, soit Mètre, Kilogramme, Seconde et Ampère.

Néanmoins, le monde aéronautique utilise des unités spécifiques dont voici les conversions :

Unités de longueurs

1 pied (ft) = 0,305 m

1 mille nautique (NM) = 1 852 m = 6 076 ft

1 pouce (inch) = 2,54 cm

1 mille terrestre (SM) = 1 609 m

Unités de vitesses

1 nœud (Kt) = 1 NM par heure = 1,852 km/h
= 100 ft/min

1 m/s = 3,6 km/h = 2 Kt = 200 ft/mn

Unités de températures

0° Celsius = 273,15 Kelvin avec température
du 0 absolu = 0 K = - 273,15° C

1° Fahrenheit = (1° C x 9/5) + 32

Unités de capacités

1 Gallon US = 3,78 litres

Unités de masses

1 livre = 0,454 kg

Section 1

TECHNIQUE DU VOL

Cette section de seulement trois modules vous permettra d'appréhender les différentes composantes de ce qui fait voler l'avion ou l'ULM. La mécanique du vol sera agrémentée de quelques formules indispensables à la compréhension mais ne nécessitant pas de connaissances mathématiques poussées. Cette section sera donc abordable par tous, même si les «matheux» s'y sentiront, bien entendu, plus à l'aise. Ce thème vous dévoilera principalement quelle est la clef du vol : vous !

Module 1 « Principe du vol »

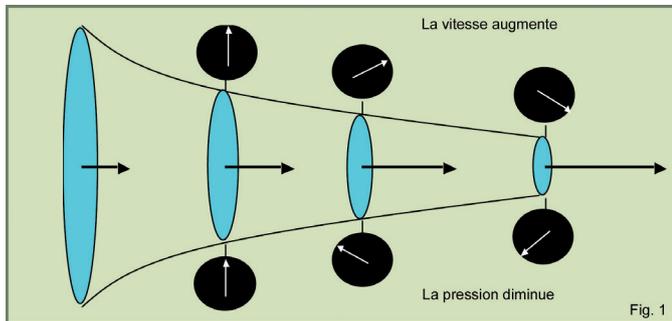
1. Écoulement autour d'un profil.....	02
2. La portance.....	03
3. La traînée.....	04
4. La polaire.....	05
5. Premier et deuxième régime.....	06
6. L'effet du sol.....	06
7. La turbulence de sillage.....	07
Entraînement à l'examen théorique.....	08

Avant de débiter ce module, il est important de bien connaître le vocabulaire spécifique décrivant la grande famille des objets volants :

- le terme « aéronef » s'applique à tout objet volant ;
- le terme « aérostat » s'applique aux appareils qui utilisent le principe de la poussée d'Archimède pour assurer leur sustentation (Ballon, montgolfière, dirigeable...) ;
- le terme « aérodyne » s'applique aux appareils qui utilisent une différence de pression d'air due à son déplacement pour assurer leur sustentation (Avion, hélicoptère, planeurs, ULM pendulaire ou multiaxes).

C'est ce dernier principe avec ses conséquences que nous allons étudier dans nos cours de technique du vol.

1. Écoulement autour d'un profil

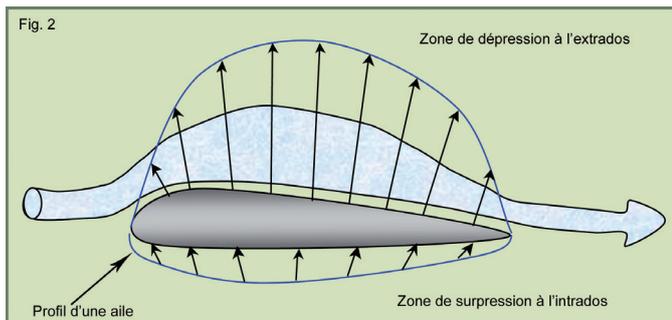


L'écoulement de l'air autour d'un profil est régi par deux lois physiques :

- la conservation du débit : quand la section d'un tube d'air diminue, la vitesse de l'air augmente (fig. 1),
- le théorème de Bernoulli : quand la vitesse d'un fluide augmente, sa pression statique diminue.

La combinaison de ces deux lois permet de dire que :

- la diminution de la section du tube d'air provoque une diminution de la pression statique,
- l'augmentation de la section du tube d'air provoque une augmentation de la pression statique.



Le profil de l'aile est conçu pour provoquer une diminution de la section du tube d'air à son extrados (le dessus) et une augmentation à l'intrados (le dessous), entre son bord d'attaque (point d'impact avant) et son bord de fuite (limite arrière).

Ces modifications de la section du tube vont engendrer :

- une zone de dépression à l'extrados de l'aile,
- une zone de surpression à l'intrados de l'aile.

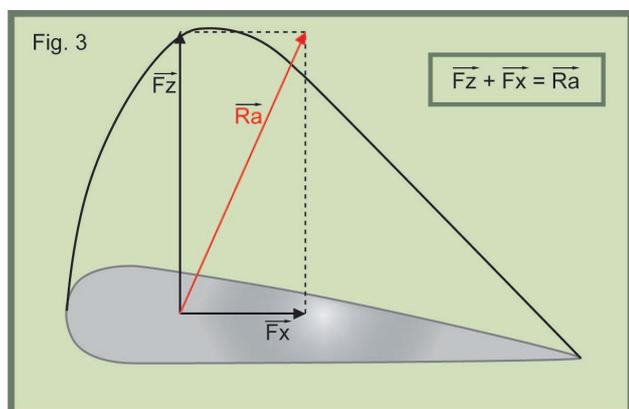
C'est la somme de ces deux zones de pression, représentée par une force, la **Résultante aérodynamique (Ra)**, orientée vers le haut et vers l'arrière, qui va permettre le vol.

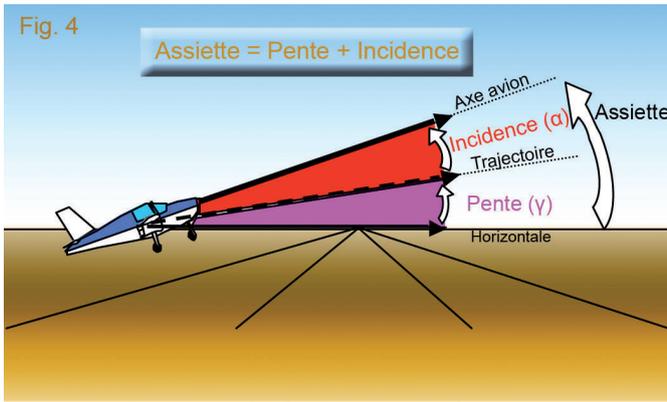
La résultante aérodynamique est composée de deux forces :

- la portance (**Fz**) qui est perpendiculaire à l'écoulement et s'oppose au poids (masse x gravité),
- la traînée (**Fx**) qui est parallèle à l'écoulement et s'oppose à l'avancement de l'appareil.

Le profil de l'aile varie selon son dessin (cambrure) et les références pour qualifier un profil sont :

- la corde de profil : droite rejoignant le bord d'attaque et le bord de fuite ;
- la ligne de cambrure : lien des points milieux sur





l'épaisseur de l'aile du bord d'attaque au bord de fuite ;
 • l'épaisseur maximale : le point le plus épais entre le dessus et le dessous de l'aile ;
 • l'épaisseur relative : rapport entre l'épaisseur maximale et la corde de profil.
 L'écoulement autour d'un profil varie selon sa cambrure et son incidence.

L'incidence est l'angle entre l'axe appareil (ou la corde de l'aile, s'il s'agit de l'aile) et la trajectoire de l'appareil (écoulement de l'air, vecteur vitesse). C'est un angle dont dépendent les caractéristiques physiques du vol. Il ne doit pas être confondu avec l'assiette qui est un angle de pilotage. Cependant, incidence et assiette varient dans le même sens.

Ainsi, lorsque le pilote modifie l'assiette de son appareil, il modifie l'incidence et donc les caractéristiques de la résultante aérodynamique.

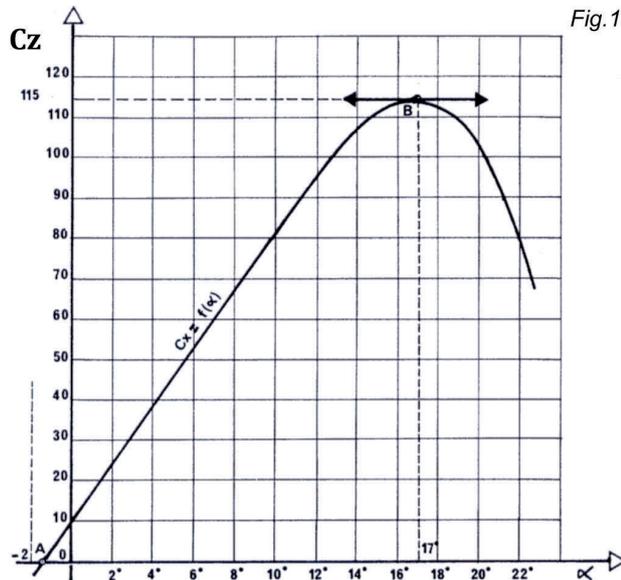
La **couche limite** : c'est la mince pellicule entourant un corps en mouvement. La vitesse de l'écoulement de l'air varie de manière importante lorsque l'on s'éloigne perpendiculairement à la paroi du revêtement de l'avion. Ce phénomène engendre des micro-turbulences qui s'accroissent du bord d'attaque vers le bord de fuite, la couche limite passant ainsi d'un stade laminaire à turbulent. Ce phénomène augmente avec l'augmentation de l'incidence.

2. La portance

C'est la composante de la résultante aérodynamique **perpendiculaire à l'écoulement**. Sa formule est :

$$F_z = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \cdot C_z$$

Cette formule permet de résumer les **facteurs de variation de la portance**, conditionnés par les conditions atmosphériques ou par des actions du pilote.



ρ (se prononce RO) : masse volumique de l'air, elle diminue lorsque la température ou l'altitude augmente.
S : surface alaire. Résultante des surfaces portantes et déportantes de l'appareil. Peut augmenter lors de la sortie de volet à recul (Fowler).
V² : carré de la vitesse. Paramètre contrôlable par le pilote. Si la vitesse de l'appareil diminue de moitié, la portance est divisée par quatre.
Cz : coefficient de portance de l'aile. Il est dû à la forme de l'aile et varie avec l'incidence. Le pilote peut le faire varier en sortant les volets ou en augmentant l'incidence de l'avion (donc de l'aile).

La figure 1 donne les **variations du coefficient de portance avec l'incidence**. Cette courbe est obtenue en soufflerie par la mesure du Cz pour les différentes incidences.

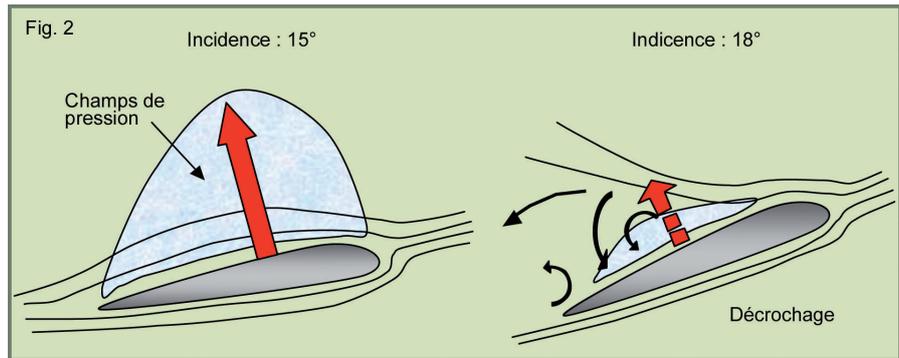
Lorsque le pilote augmente l'incidence de son appareil, la portance va augmenter jusqu'à une valeur maximale pour ensuite diminuer et disparaître brutalement.

Cette disparition de la portance s'appelle le **décrochage** : les filets d'air ne suivent plus le profil de l'aile et l'écoulement à l'extrados commence à se détacher du bord de fuite de l'aile, pour progressivement et rapidement atteindre toute sa surface détruisant ainsi le champ de pression qui permet à l'appareil de voler.

Le décrochage dépend donc non pas de la vitesse, mais de l'incidence (fig. 2).

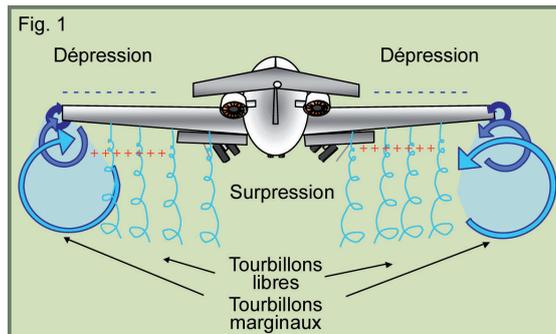
À la suite d'un décrochage, il faut pousser sur le manche et retrouver une incidence inférieure à l'incidence de décrochage, en recherchant, si possible, une trajectoire de descente, ce qui permet de redonner plus rapidement de la vitesse à l'appareil.

Le pilote dispose de **deux paramètres principaux pour contrôler sa portance : la vitesse et l'incidence**. Ainsi, à chaque vitesse correspondra une incidence et, si l'on veut voler plus lentement en maintenant sa trajectoire, il faudra augmenter l'incidence au fur et à mesure de la perte de vitesse pour maintenir une portance constante (donc une trajectoire constante).



3. La traînée

C'est la résistance à l'avancement, elle est parallèle au vent relatif et est la somme de trois traînées distinctes :



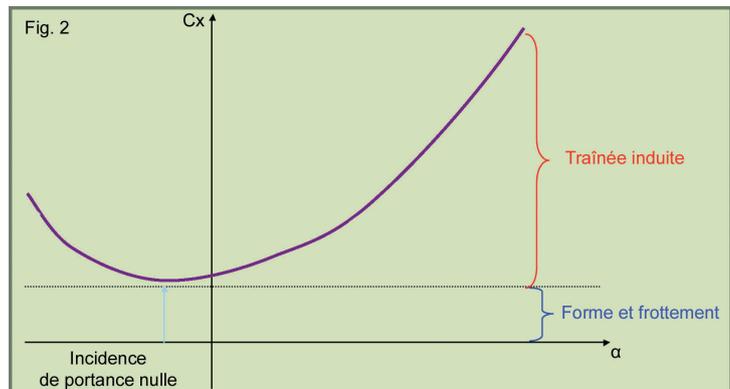
- la traînée **de forme** qui résulte du volume d'air déplacé par l'appareil et de la forme de celui-ci ;
- la traînée **de frottement** qui est issue d'une décélération de l'air importante proche du revêtement de l'aile (couche limite), créant ainsi de micro-turbulences et qui dépend aussi des interférences dues à la qualité de l'état de surface de l'appareil (rivets, jointures de tôles ou des trappes, rugosité ou déformation de l'état de surface, pluie, neige, givrage, glace, antennes...);
- la traînée **induite** qui résulte directement de la **portance**.

La portance est due à une différence de pression entre l'intrados et l'extrados de l'aile (fig. 1).

Cette différence de pression va créer des mouvements d'air au niveau du bord de fuite des hautes pressions de l'intrados vers les basses pressions de l'extrados. Il en résulte des tourbillons au niveau du bord de fuite. Ces tourbillons sont la cause de la traînée induite. Les tourbillons libres se situent le long du bord de fuite à partir de l'emplanture. À l'extrémité, au contraire, rien n'empêche la haute pression de combler la basse pression, c'est le tourbillon marginal. Les tourbillons libres traînent beaucoup moins que le tourbillon marginal (vortex).

Afin de diminuer la traînée induite, trois solutions sont utilisées :

- augmenter l'envergure pour une même surface, tout en diminuant la profondeur de l'aile, afin de diminuer les tourbillons marginaux au profit des tourbillons libres, on dit alors qu'on augmente **l'allongement** (λ). L'allongement de l'aile a pour formule : b^2/s avec b^2 : envergure de l'aile au carré et s : surface alaire. L'allongement peut aussi se calculer par la formule du rapport de l'envergure sur la



- corde moyenne de l'aile (b/MAC). ;
- profiter de l'énergie du vortex pour créer une traction en bout d'aile en rajoutant un profil d'aile sensiblement perpendiculaire à l'aile, (*Winglets*) (Boeing 737-800, Diamond DA42, Falcon 7X) ;
- perturber la circulation du vortex en plaçant deux petits ailerons strictement perpendiculaires à l'aile à l'extrémité et au niveau du bord de fuite de l'aile (*Wingtips*) (Airbus A320).

La formule de la traînée est :

$$F_x = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V^2 \cdot C_x$$

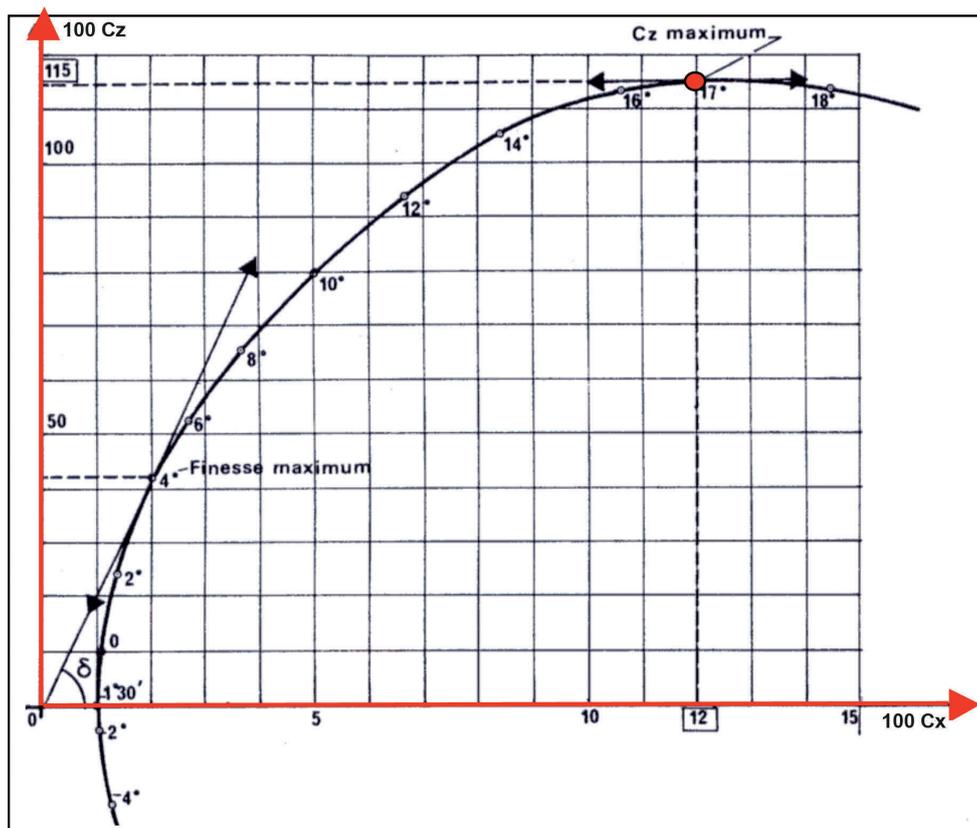
Elle subit les mêmes facteurs de variation que la portance.

Une aile est généralement conçue pour produire de la portance, même à incidence nulle, grâce à un profil dissymétrique. Il existe une incidence où l'aile ne génère aucune portance (incidence légèrement négative). À cette incidence la traînée induite est nulle et elle est donc minimum. La traînée induite augmente peu pour les faibles incidences (*angle of attack*), mais croît fortement avec l'augmentation de celle-ci.

Certains appareils sont équipés d'aérofreins dont le rôle est d'augmenter la traînée de forme, sans faire varier (ou peu) la portance afin de ralentir l'appareil, contrairement aux volets dont le rôle est de diminuer la vitesse de décrochage au prix d'une augmentation de traînée (induite + forme).

Les avions de lignes et certains avions d'affaires sont en outre équipés de spoilers dont le rôle est de détruire la portance, particulièrement utiles à l'atterrissage pour plaquer l'avion au sol afin d'assurer un freinage puissant, mais aussi en vol pour pratiquer des descentes rapides.

4. La polaire



La polaire est le nom de la courbe qui représente les évolutions du **coefficient de portance (Cz)** en fonction **du coefficient de traînée (Cx)**. Elle permet donc de regrouper les caractéristiques de l'aile sur la même courbe et est graduée en incidence. On y retrouve l'incidence de portance maximale, de décrochage, de traînée mini-

maximum ainsi que l'incidence de finesse maximale.

La finesse maximale de l'aile est son meilleur rapport portance / traînée. C'est à cette incidence que l'avion pourra parcourir le **maximum de distance en vol plané**. La finesse maximale des appareils légers est de l'ordre de 10.

$$F = C_z / C_x = F_z / F_x = \text{Distance parcourue} / \text{Hauteur perdue}$$

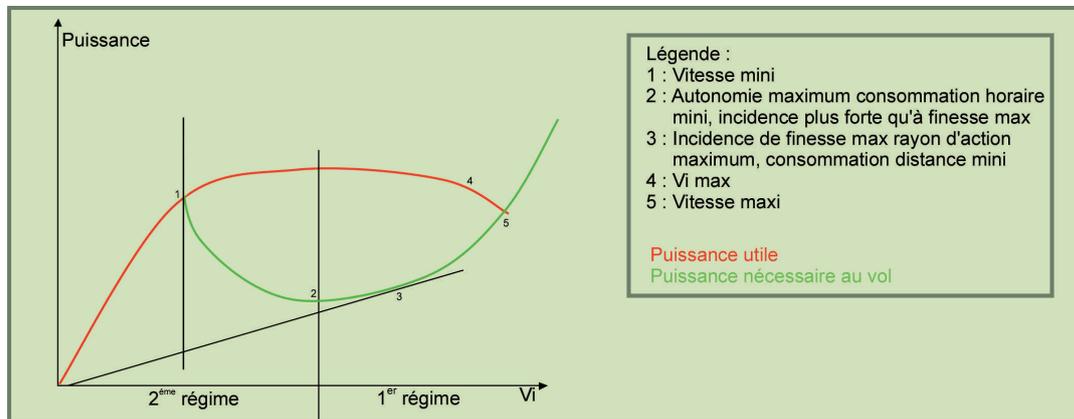
Exemple : $f = 10$

$H = 3\,000 \text{ ft}$

Distance parcourue ? $\rightarrow D = 3\,000 * 10 = 30\,000 \text{ ft}$ soit 10 km

5. Premier et deuxième régime

Voir Aérotechnique, module 6.



Rappels : le premier régime correspond aux vitesses de fortes et faibles incidences (traînée induite faible, tourbillons marginaux relativement faibles, associés à une forte traînée de forme et de frottement).

Le deuxième régime correspond aux faibles vitesses et fortes incidences (traînée induite forte, et par conséquent tourbillon marginal plus puissant, avec une faible traînée de forme et de frottement). Il peut en résulter une aussi forte demande de puissance pour voler à très basse vitesse.

Au deuxième régime, il est difficile de stabiliser la vitesse, alors qu'au premier régime cette dernière est naturellement stable.

6. L'effet de sol

L'effet de sol est une interaction entre les tourbillons marginaux et le sol.

Lorsque l'appareil **se trouve très proche du sol** (atterrissage et décollage), ce dernier empêche la formation des tourbillons **diminuant ainsi la traînée induite de l'appareil**.

À l'**atterrissage**, l'appareil ralentira moins vite et aura tendance à « flotter » au-dessus de la piste, **allongeant ainsi la distance d'atterrissage**.

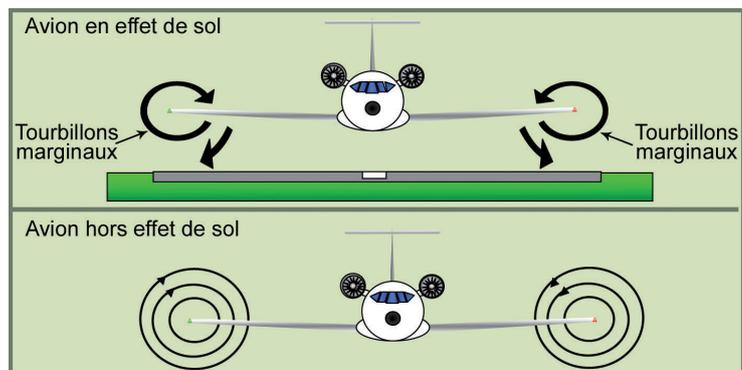
Lors du décollage, la **distance de roulement au décollage se trouve réduite** par l'effet de sol.

Cependant un problème peut survenir lorsque l'appareil **quitte l'effet de sol**.

À ce moment, la traînée augmente et pénalise la pente de montée.

Dans certaines conditions extrêmes (masse et température élevées), cet accroissement de traînée peut induire un passage au **second régime**.

La seule solution offerte au pilote pour sortir du



second régime est de piquer, trajectoire rendue impossible par la proximité du sol. Il est alors condamné à poursuivre au second régime et à se poser après la piste.

Afin d'éviter ces désagréments, il convient de **majorer la vitesse de rotation en conditions marginales et d'adopter une pente de montée faible après décollage.**

Sur piste courte, le pilote pourra effectuer un **palier d'accélération à proximité du sol.**

L'effet de sol c'est aussi, ~~et surtout,~~ la création d'un « coussin d'air » à l'intrados des ailes lorsque l'appareil approche du sol.

Ne subissons pas l'effet de sol. Utilisons-le !

7. La turbulence de sillage

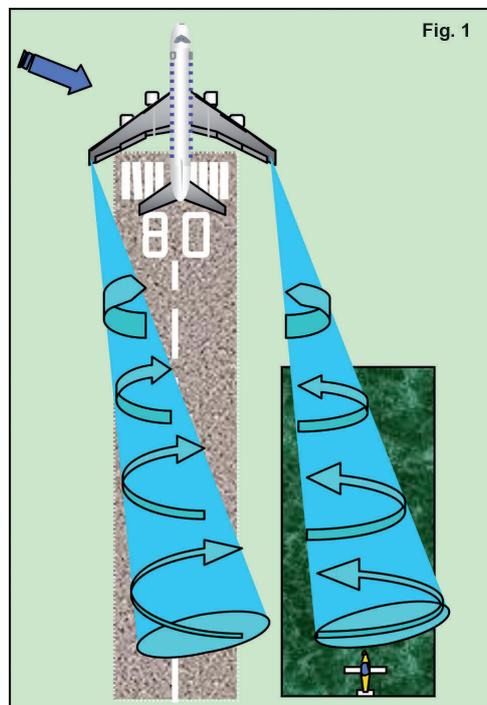


Fig. 1

La turbulence de sillage est provoquée par les tourbillons marginaux des avions et hélicoptères et est **proportionnelle au tonnage de l'appareil** qui la génère. Les avions et hélicoptères ont été classés en trois catégories en fonction de leur Masse Maximale de Structure au Décollage (MMSD) :

- L (Light) : moins de 7 tonnes
- M (Médium) : de 7 à 136 tonnes
- H (Heavy) : plus de 136 tonnes

Ces turbulences de sillage, en particulier pour les catégories M et H, peuvent retourner et **rendre incontrôlable un appareil léger** qui les rencontrerait.

Ces turbulences commencent au moment où l'avion décolle et cessent à son point de toucher (fig. 2). En vol, elles se trouvent sous et derrière l'avion, décalées par le vent (fig. 1)

Elles **peuvent stagner sur la piste**, en particulier lorsque le vent est nul.

Leur dissipation est accélérée par **le vent** qui peut cependant pousser les turbulences **sur une piste voisine.**

Il convient donc **d'éviter à tout prix** de s'y trouver. Lors du décollage ou de l'atterrissage, **on attendra trois minutes avant l'alignement.**

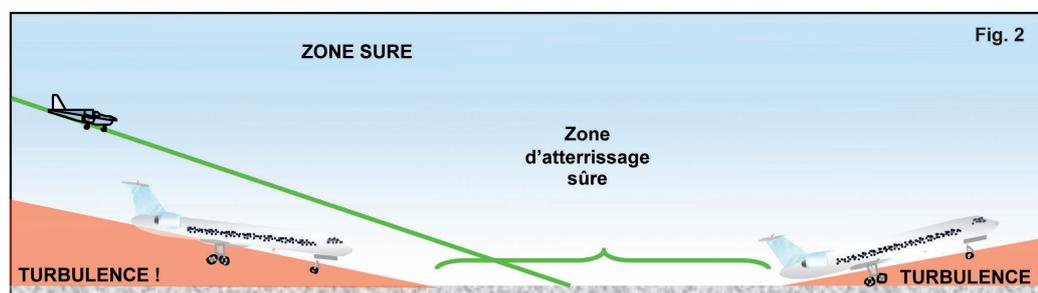


Fig. 2

En vol, on se placera toujours à l'endroit le plus propice : au-dessus et du côté au vent de l'avion qui les génère.

Un appareil léger, à l'atterrissage derrière un avion moyen ou gros porteur, doit ap-

procher sur un plan plus fort afin de rester hors des turbulences de sillage, et viser un point d'aboutissement situé au-delà du touché des roues du gros porteur, car la portance devient quasi nulle après que le train avant soit posé.

Au décollage, il est illusoire de penser monter sur une pente plus forte qu'un avion de transport dont les performances sont bien supérieures. Il faut absolument se tenir à une distance de sécurité pour éviter le souffle des hélices ou des réacteurs, et attendre au moins 3 minutes avant d'entreprendre le décollage derrière un avion moyen ou gros-porteur.

Nota : entre deux appareils légers, il n'y a pas de séparation, il faut surtout prêter attention aux avions de moyen tonnage qu'on serait tenté de prendre pour des avions légers (Beech 200 par exemple).

Entraînement à l'examen théorique

1 - La traînée se traduit par l'expression :

- a) $F_x = \rho/2 S V^2 C_z$
- b) $F_z = \rho/2 S V^2 C_z$
- c) $F_z = \rho/2 S V^2 C_x$
- d) $F_x = \rho/2 S V^2 C_x$

2 - La portance et la traînée sont définies par rapport à :

- a) la direction du vent relatif
- b) l'horizontale
- c) la corde de référence de l'aile
- d) l'axe longitudinal de l'appareil

3 - La portance est la composante de la résultante aérodynamique :

- a) perpendiculaire au vent relatif
- b) perpendiculaire à la corde de l'aile
- c) parallèle au vent relatif
- d) parallèle à la traînée

4 - La portance engendrée par l'aile dépend de :

1/ la masse volumique de l'air

2/ la vitesse du vent relatif

3/ la surface alaire

4/ l'incidence de l'aile

5/ la forme du profil d'aile

- a) 3, 4, 5
- b) 2, 3, 5
- c) 1, 2, 3, 4, 5
- d) 1, 2, 4

5 - La portance et la traînée varient comme :

- a) le carré de la vitesse
- b) l'inverse de la vitesse
- c) la racine carrée de la vitesse
- d) le double de la vitesse

6 - Sur la polaire d'aile dessinée en annexe 1 (page suivante), on appelle point de traînée minimum :

- a) le point A
- b) le point D
- c) le point C
- d) le point B

7 - La traînée est la composante de la résultante aérodynamique :

- a) parallèle à la corde de référence de l'aile
- b) parallèle à la portance
- c) parallèle au vent relatif
- d) perpendiculaire au vent relatif

8 - L'assiette est l'angle formé par :

- a) la trajectoire et l'horizontale
- b) la pente et la trajectoire
- c) l'horizontale et l'axe longitudinal de l'appareil
- d) aucune des réponses ci-dessus n'est exacte

9 - L'angle d'incidence d'un profil est :

- a) égal à la flèche
- b) l'assiette de l'appareil
- c) le calage de l'aile par rapport au fuselage
- d) l'angle compris entre la corde et la direction du vent relatif

10 - L'incidence avion est l'angle compris entre :

- a) la trajectoire et l'axe longitudinal
- b) la direction du vent relatif et la dérive
- c) la corde de profil et l'horizontale
- d) la trajectoire et l'horizontale

11 - À incidence constante, on diminue la vitesse sur un profil :

- a) la portance et la traînée augmentent
- b) la portance et la traînée diminuent
- c) la portance diminue et la traînée augmente
- d) la portance augmente et la traînée diminue

12 - En montée, l'incidence est :

- a) nulle
- b) supérieure à l'assiette
- c) inférieure à l'assiette
- d) égale à l'assiette

13 - À vitesse constante, on diminue progressivement l'angle d'incidence d'un profil :

- a) la portance diminue et la traînée augmente
- b) la portance et la traînée augmentent
- c) la portance et la traînée diminuent
- d) la portance augmente et la traînée diminue

14 - Le vol à incidence de finesse maximale donne :

- a) la portance maximale
- b) le rayon d'action maximal
- c) l'autonomie maximale
- d) la traînée maximale

15 - L'extrados de l'aile est la partie repérée par le numéro (annexe 2 ci-dessous) :

- a) 2
- b) 1
- c) 3
- d) 4

16 - La finesse est maximale lorsque :

- a) le rapport portance sur traînée est minimal
- b) le rapport portance sur traînée est maximal
- c) la traînée est minimale
- d) la portance est maximale

17 - En vol plané, la finesse est égale au rapport :

- a) vitesse / distance parcourue
- b) distance parcourue / hauteur perdue
- c) vitesse / hauteur perdue
- d) hauteur perdue / distance parcourue

18 - La turbulence de sillage est d'autant plus dangereuse qu'on est en atmosphère :

- a) calme, derrière un appareil lourd et lent
- b) agitée, derrière un appareil lourd et lent
- c) calme, derrière un appareil léger mais rapide
- d) agitée, avec fortes rafales de vent

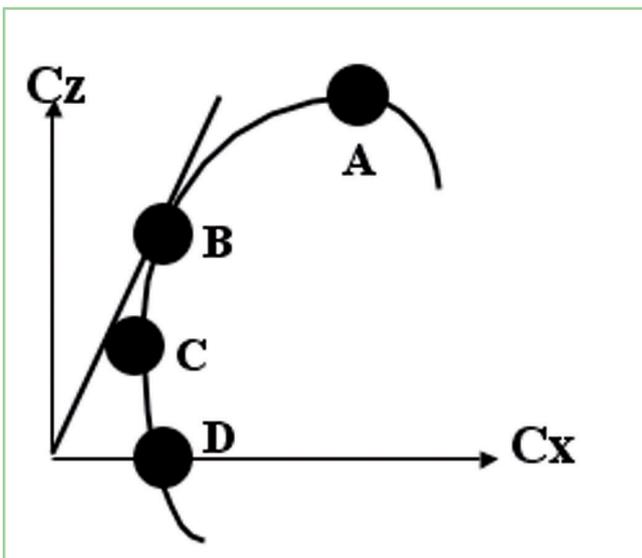
19 - L'effet de sol :

- a) peut permettre de décoller, malgré des performances insuffisantes, mettant ainsi l'avion en danger
- b) n'existe pas
- c) raccourcit la distance d'atterrissage
- d) permet de décoller en sécurité, malgré des performances insuffisantes

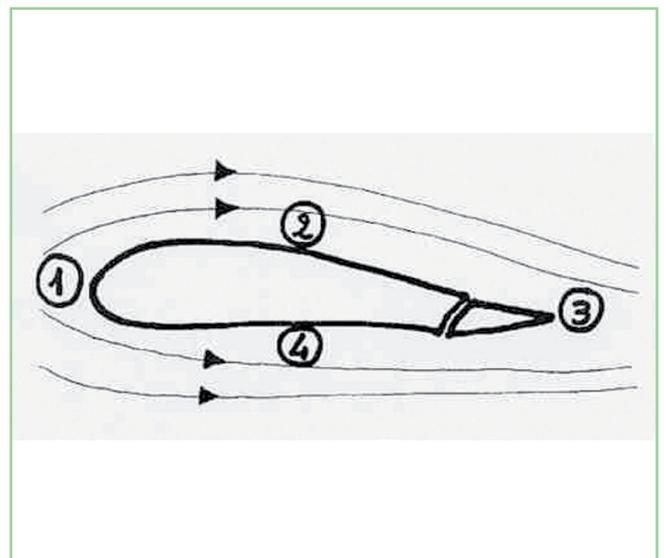
20 - Les conséquences de l'effet de sol sont :

- a) un allongement de la distance d'atterrissage et une diminution de la distance de décollage
- b) une diminution de la distance d'atterrissage et une diminution de la distance de décollage
- c) une diminution de la distance d'atterrissage et un allongement de la distance de décollage
- d) un allongement de la distance d'atterrissage et un allongement de la distance de décollage

Annexe 1 (question 6)



Annexe 2 (question 15)



Section 1

TECHNIQUE DU VOL

Module 2

« Les axes de l'appareil et tout ce qui tourne autour »

1. Les axes de l'appareil et les forces	12
1.1. Les trois axes.....	12
1.2. Les trois angles et le vol en montée.....	13
1.3. Le vol en descente et sans moteur.....	14
1.4. Le vol en virage.....	14
2. Les gouvernes	15
3. Les effets secondaires	16
4. Les effets moteur	17
Entraînement à l'examen théorique	18

Notes personnelles et conseils de votre pilote-instructeur – Technique du vol :

1. Les axes de l'appareil et les forces

1.1. Les trois axes

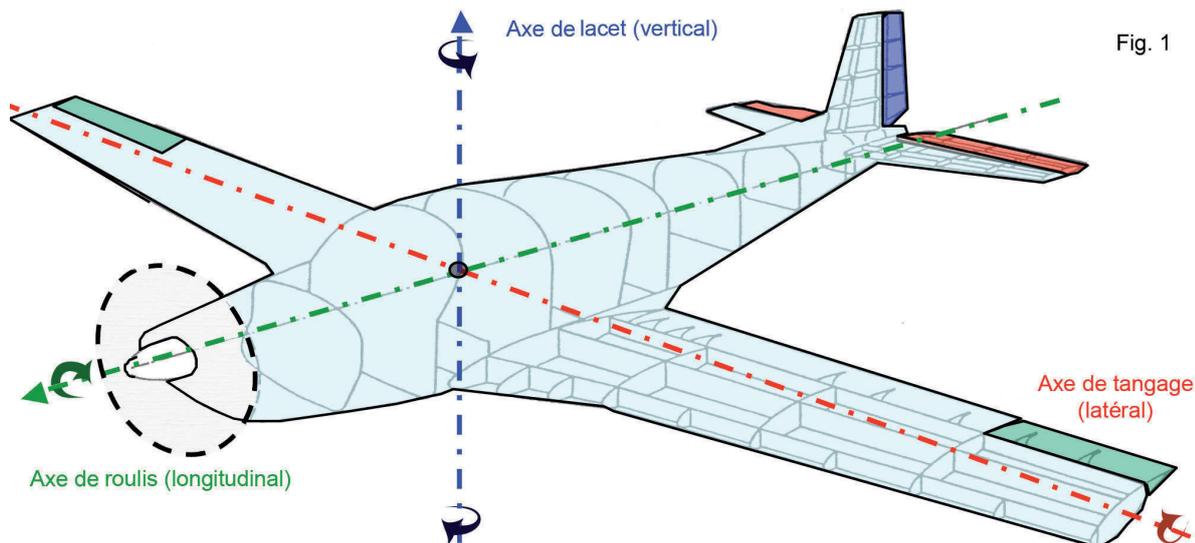


Fig. 1

Les mouvements d'un aéronef se font autour de son **centre de gravité** selon trois axes perpendiculaires.

- **Axe de roulis** : axe longitudinal de l'appareil. Les **ailerons** permettent le mouvement autour de cet axe. C'est l'inclinaison.
- **Axe de lacet** : axe vertical. La gouverne de **direction** permet le mouvement autour de cet axe. C'est le dérapage.
- **Axe de tangage** : perpendiculaire aux deux autres. La gouverne de **profondeur** permet le mouvement autour de cet axe. Ce sont les variations d'assiette.

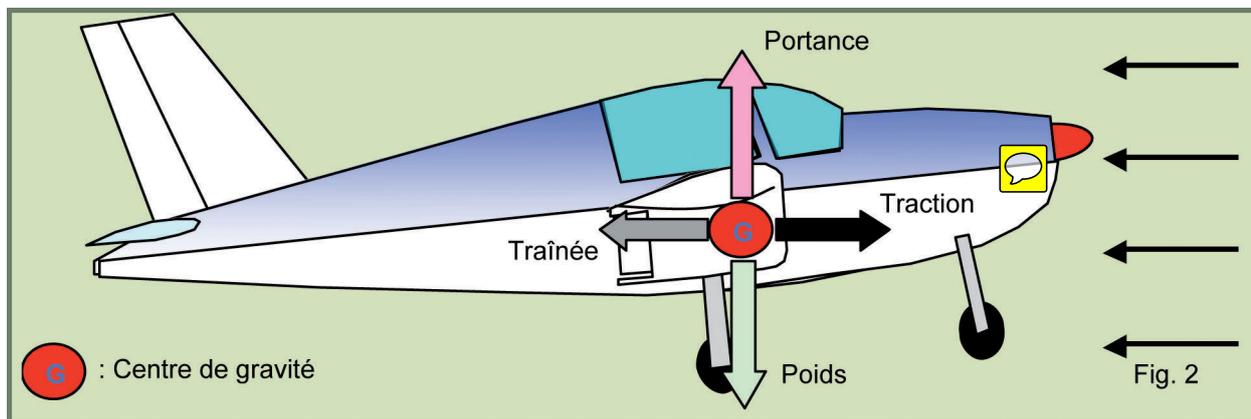


Fig. 2

En vol, l'appareil est soumis à quatre forces :

- le **poids** : s'exerce selon la verticale, de haut en bas ;
- la **portance** : s'exerce perpendiculairement au vent relatif ;
- la **traction** : s'exerce selon l'axe longitudinal de l'appareil vers l'avant ;
- la **traînée** : s'exerce parallèlement au vent relatif vers l'arrière.

L'avion représenté figure 2 est **en palier** (la portance équilibre le poids) **stabilisé** (la vitesse est constante, la traction équilibre la traînée).