

STAGES THÉORIQUES PPL

LES CELLULES





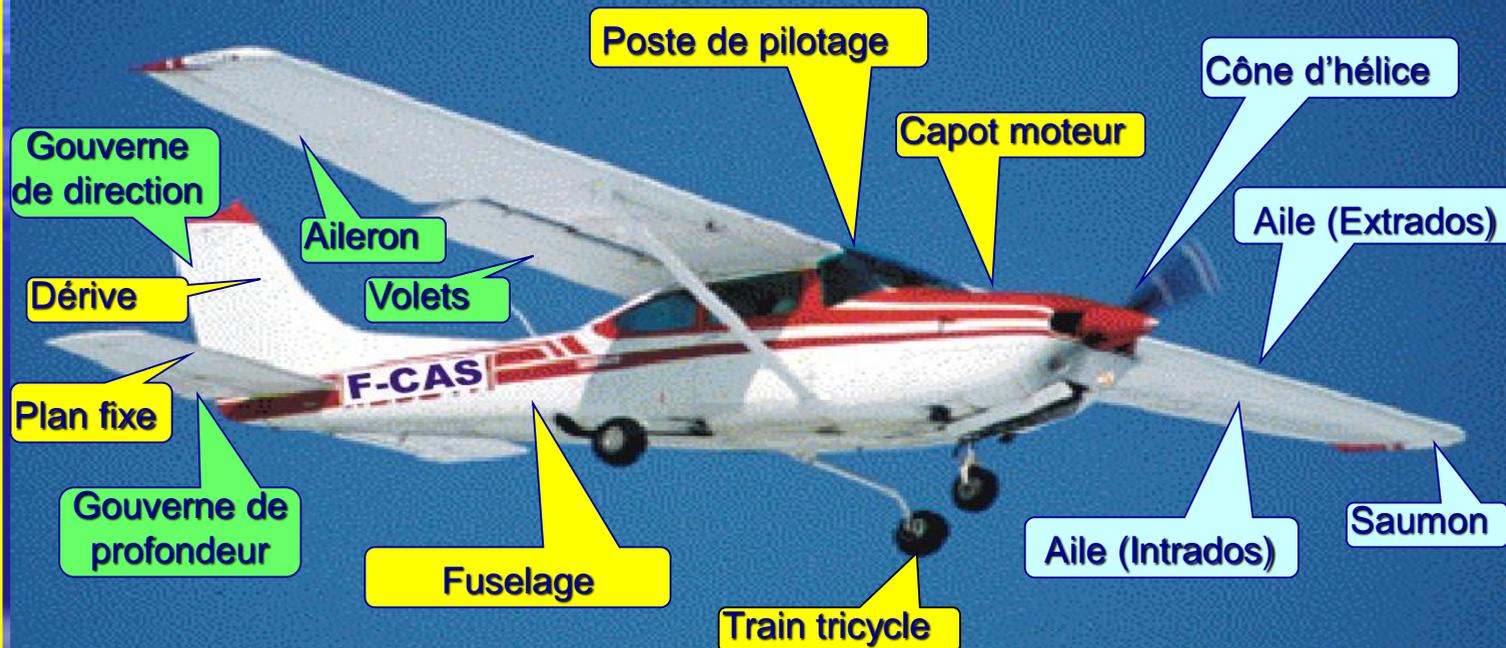
- Description générale
- Le fuselage et les empennages
- Les caractéristiques de l'aile
- Les types de voilure
- Les profils utilisés
- Les axes d'évolution et les commandes de vol
- Les gouvernes d'évolution
- Les dispositifs hypersustentateurs
- Les éléments de freinage aérodynamique
- Les trains d'atterrissage fixe et escamotable
- Les tableaux de bord
- Les limites structurales
- Les masses maxi et le centrage
- Panorama de quelques avions





CESSNA 177

PRINCIPAUX ÉLÉMENTS



CONSTITUTION

- la voilure (ailes) et les dispositifs d'hypersustentation (volets, becs,)
- le fuselage (partie centrale de l'avion, habitacle, compartiment moteur),
- l'empennage (plan fixe et dérive),
- les gouvernes (profondeur, direction et ailerons),
- le train d'atterrissage, fixe ou rentrant, classique ou tricycle.

LE FUSELAGE

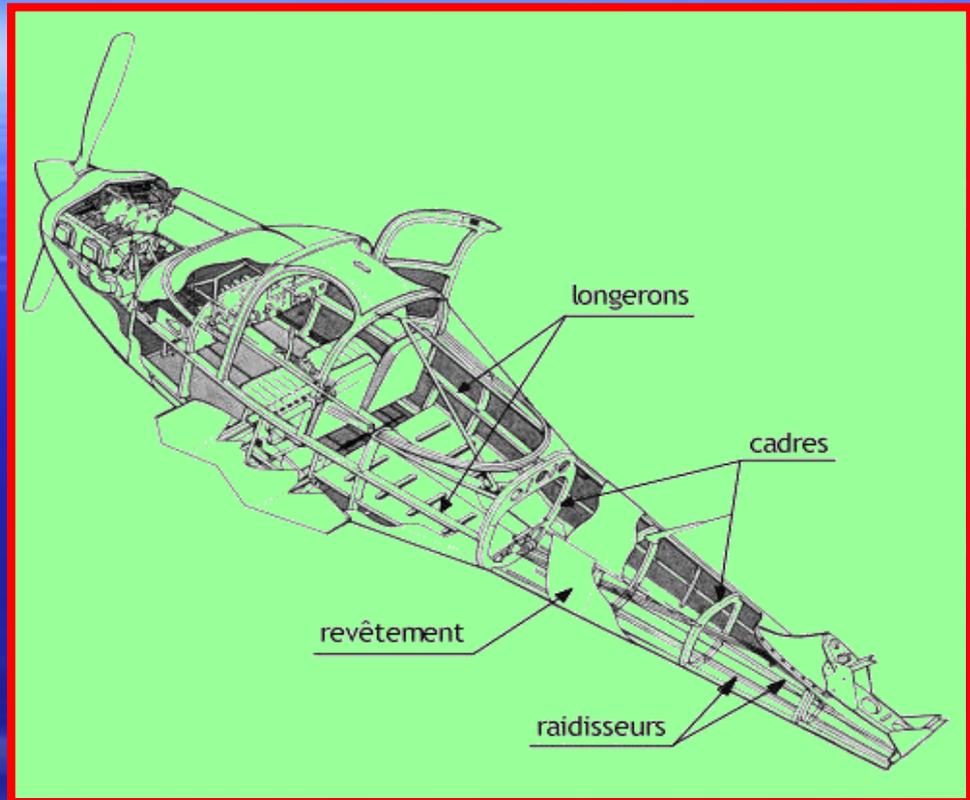
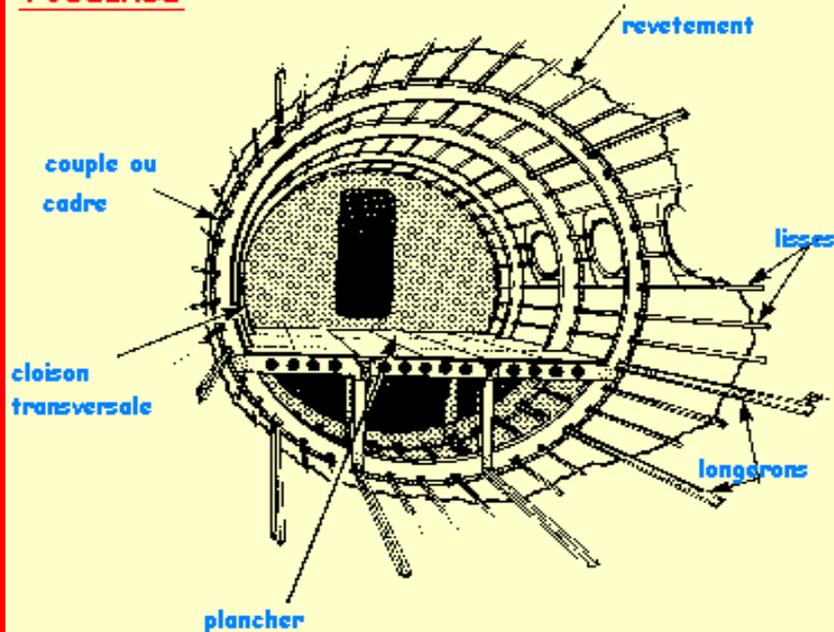
Module d'assemblage avec :

- le moteur ;
- les ailes ;
- l'empennage.

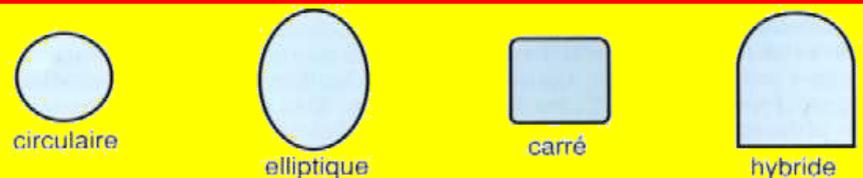
Trois secteurs d'accueil :

- le poste de pilotage (cockpit) ;
- la cabine de bord (espace passagers) ;
- la soute à bagages.

FUSELAGE



Matériaux de construction : bois, métal, toile, plastique ou matériaux composites

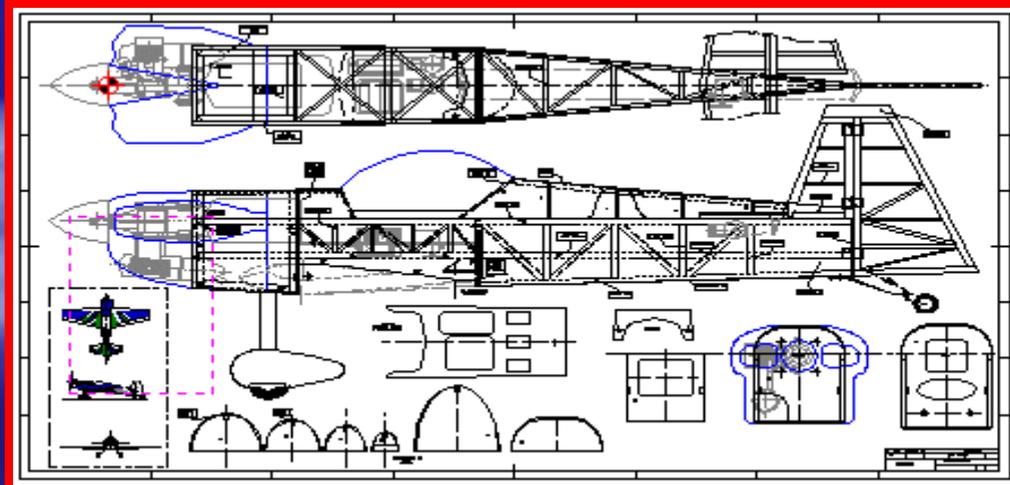
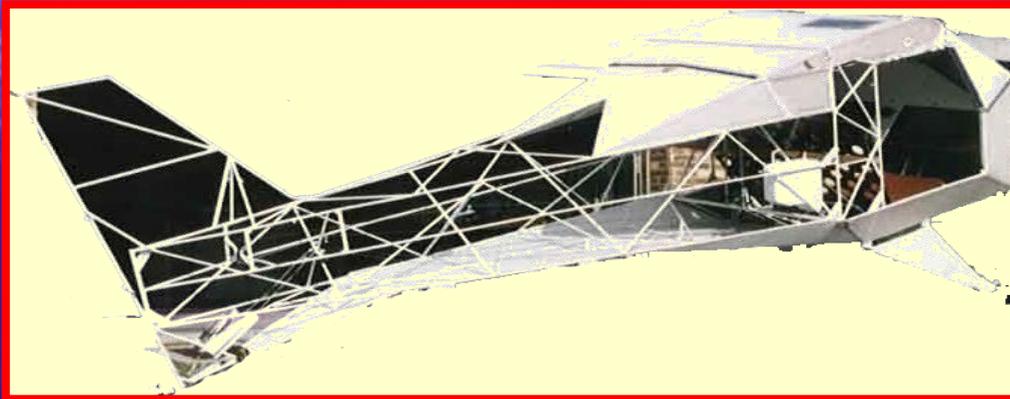


Sa forme dépend de la mission de l'aéronef et se calque sur les cadres ou couples choisis.

LE FUSELAGE

Structures de construction : treillis de tubes, toile de lin ou dacron, caisson monocoque de bois, plastique ou matériaux composites.

Revêtements utilisés : toile de lin ou dacron, feuilles de bois, contreplaqués, feuilles d'alliages légers ou d'aluminium, plastique ou matériaux composites.



Assemblage par collage, enture, soudage, vissage et rivetage suivant matériaux.

LES EMPENNAGES

Situés principalement à l'arrière du fuselage, ils participent à la stabilité de route de l'avion et sont composés de deux groupes d'éléments :

L'empennage vertical constitué :

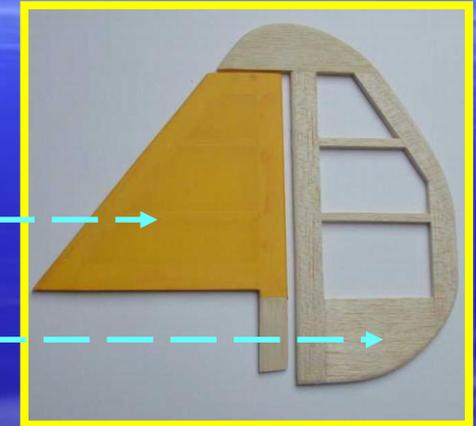
➤ d'une partie fixe :

LA DÉRIVE ;



➤ d'une partie mobile :

LA GOUVERNE DE DIRECTION.



L'empennage horizontal peut être constitué :

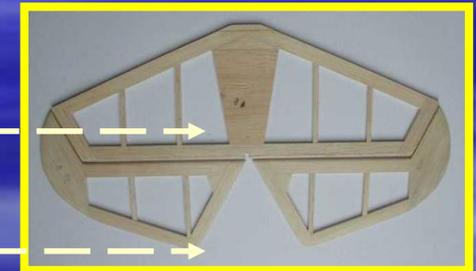
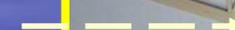
➤ d'une partie généralement fixe :

LE PLAN FIXE ;



➤ d'une partie mobile :

LA GOUVERNE DE PROFONDEUR.



OU sur certains avions, d'un seul ensemble mobile autour de l'axe horizontal appelé « empennage monobloc » qui joue le rôle de gouverne de profondeur équilibrée dynamiquement.



LES EMPENNAGES

Différents types d'empennage existent, mais trois types sont plus courants :

L'EMPENNAGE CRUCIFORME

Le plus utilisé, grande stabilité car soufflé par l'hélice dans toute attitude.

Masqué en partie par l'aile donc perte d'efficacité et soumise aux turbulences de la voilure.



L'EMPENNAGE EN V dit PAPILLON

Système pratiquement abandonné, compte tenu de la difficulté de mise au point.

Chaque penne assure un double rôle de gouverne de profondeur et de direction.



L'EMPENNAGE EN T

Grande efficacité en route car soumise à la totalité du vent relatif et hors turbulences.

Inconvénient, lors des changements de trajectoire (montée ou descente) accentuation ou diminution brusque de ses effets due au souffle des hélices ou réacteurs.



LES EMPENNAGES

AUTRES EMPENNAGES



Double dérive



Double dérive
sur Bi-Poutre



Triple dérive



Empennage
canard



Double dérive
sur Bi-Poutre et
plan fixe surélevé



Pas d'empennage
horizontal spécifique

CONSTITUTION ET TYPES D'AILES

POSITION



Aile basse Cantilever



Aile médiane



Aile haute haubanée



Canard

NOMBRE



Monoplan



Biplan



Triplan



Plan repliable

CONSTITUTION



Bois et Toile



Tôle ondulée



Tôle d'aluminium



Stratifié



Géométrie variable



CONSTITUTION ET TYPES D'AILES



Une aile peut être de forme **rectangulaire** »,
comme par exemple
sur le Cessna Caravan ci-dessus ;



ou « **elliptique** », comme sur le
Spitfire ou le Cap 10 ci-contre.



CONSTITUTION ET TYPES D'AILES

Elle peut également être trapézoïdale en « **flèche** » comme sur le B 727 ci-contre.



... ou trapézoïdale à « **flèche inverse** » comme pour le X 29.

CONSTITUTION ET TYPES D'AILES



Les avions de chasse ont pour la plupart d'entre eux des ailes ayant la forme de la lettre grecque Δ et on parle alors **d'aile delta**.

Bien qu'inspiré à la base par une voilure delta, le Concorde possède quant à lui des ailes de forme « **gothique** ».



CONSTITUTION ET TYPES D'AILES

- Certains avions ont pour leur part des ailes dites à « géométrie variable », permettant ainsi d'optimiser la forme de l'aile à toutes les configurations de vol.

Le F 14 Tomcat en subsonique



Le même avion en supersonique

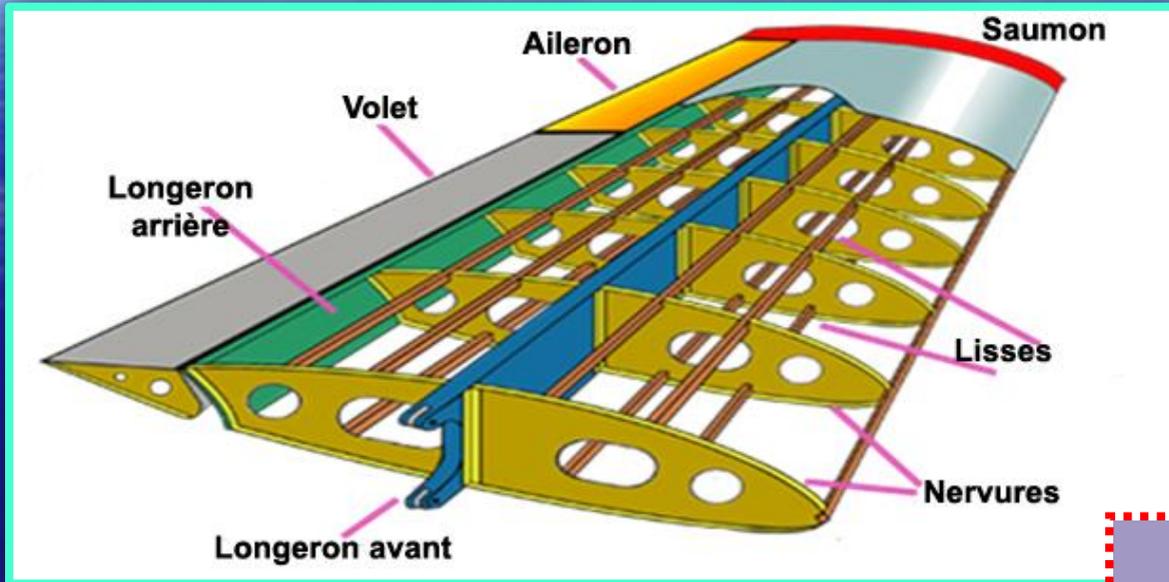
CONSTITUTION ET TYPES D'AILES

- La dernière forme d'aile que l'on peut trouver est celle que l'on qualifie tout simplement d' « aile volante », comme par exemple le bombardier américain B 2.

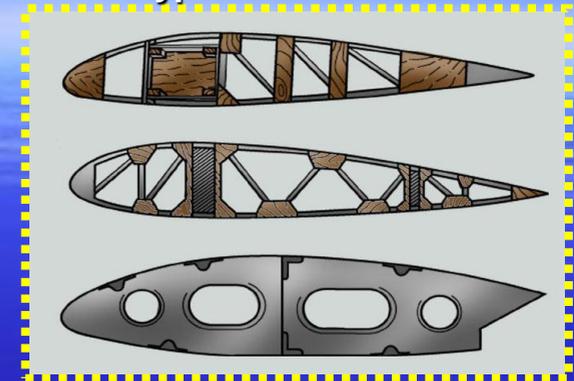


CONSTITUTION ET TYPES D'AILES

Ecorché d'une aile



Types de nervure



Elles donnent à l'aile son profil

Les éléments principaux de l'aile

- Le longeron principal
- le longeron secondaire ou faux longeron
- les ailerons
- les nervures
- le revêtement

Bois résineux pour les longerons : sapin, spruce, épicéa.
Bois feuillus en contreplaqué : peuplier, okoumé, bouleau.

Types de longeron



Support essentiel de tous les efforts

CONSTITUTION ET TYPES D'AILES



FABRICATION D'UNE AILE EN BOIS ET TOILE

Collage des nervures sur longeron,
collage et couture de la toile de lin.

FABRICATION D'UNE AILE MÉTALLIQUE EN ALLIAGE LÉGER

Rivetage des nervures sur longeron,
rivetage de la tôle d'aluminium
sur nervures et longeron.

La partie de l'aile qui assure
la jonction avec le fuselage
se nomme l'EMPLANTURE.

Le profilage aérodynamique
de l'emplanture avec le fuselage
porte le nom de l'ingénieur
aérodynamicien : KARMAN.



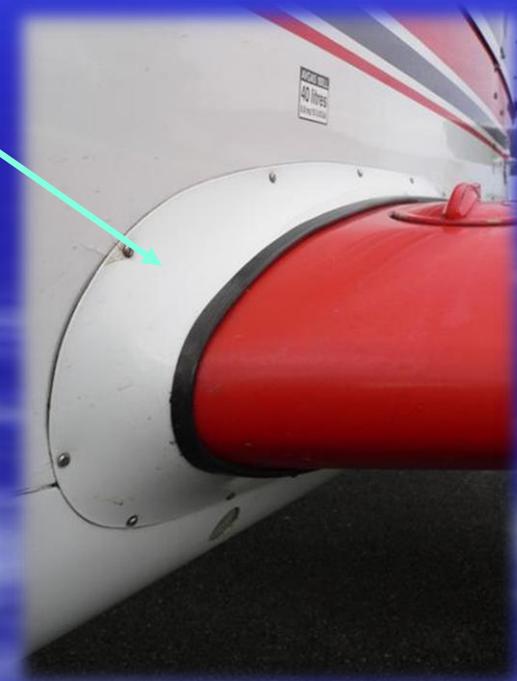
CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DE L'AILE

À l'emplanture de l'aile, on rencontre souvent un élément dont le rôle est d'améliorer l'écoulement aérodynamique à la jonction avec le fuselage. Cette pièce s'appelle un karman de voilure.

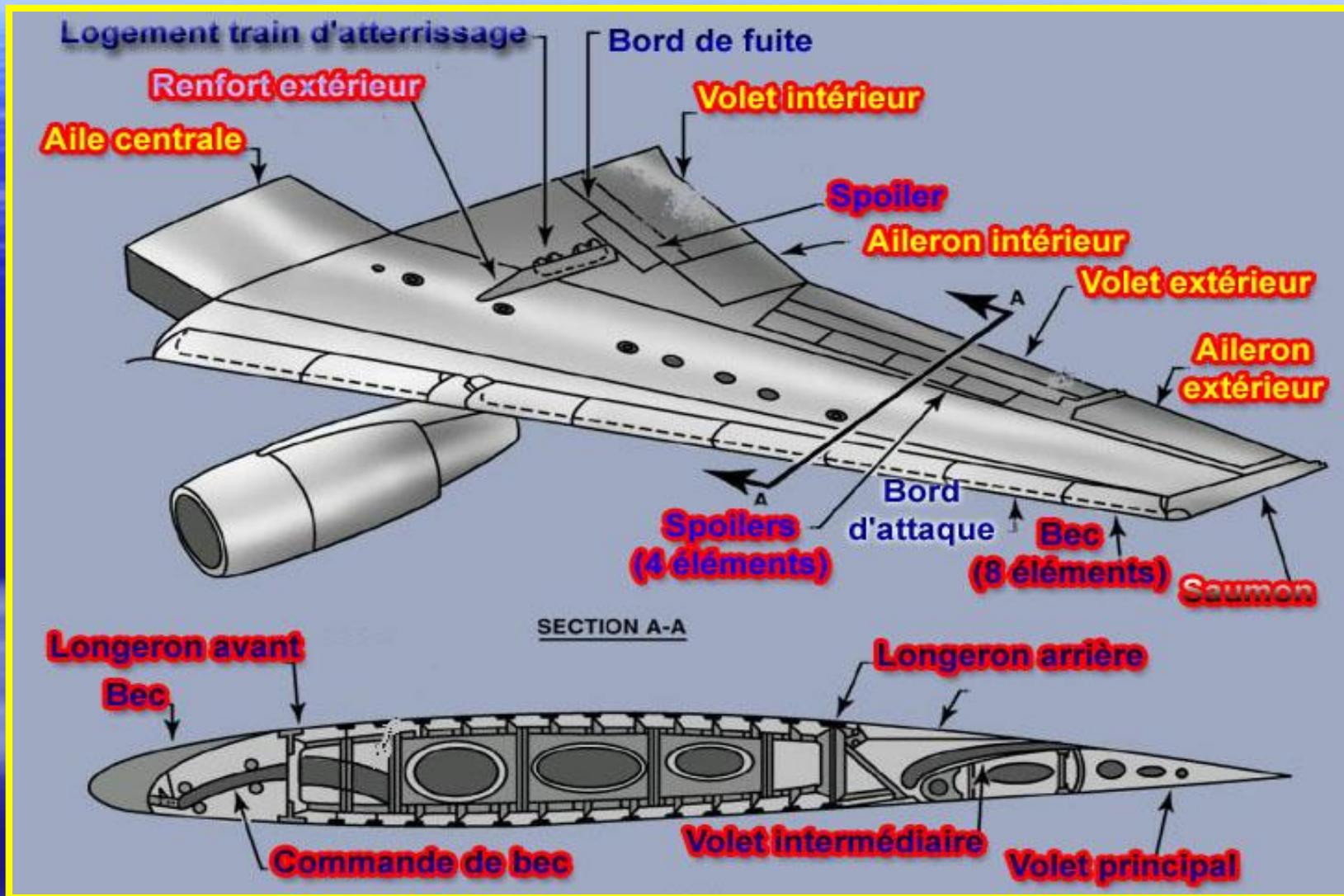
Au saumon de l'aile, on rencontre souvent une surface verticale dont le rôle est d'optimiser l'écoulement des filets d'air, ce qui permet une économie de consommation d'environ 2 %. Cette pièce se nomme WINGLET.



Le winglet de l'A 320



CONSTITUTION ET TYPES D'AILES



Détails d'une aile métallique (Boeing 747)

CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DE L'AILE

La flèche est un élément de la stabilité de route de l'avion.

Angle formé par la perpendiculaire horizontale de l'axe longitudinal de l'avion et le bord d'attaque de l'aile.



La flèche d'une voilure est exprimée en degrés. Elle peut être positive (vers l'arrière), négative ou nulle.

Le dièdre est un élément de la stabilité latérale de l'avion.

Angle formé par l'horizontale et le plan de l'aile (jonction des cordes de profil de la voilure).



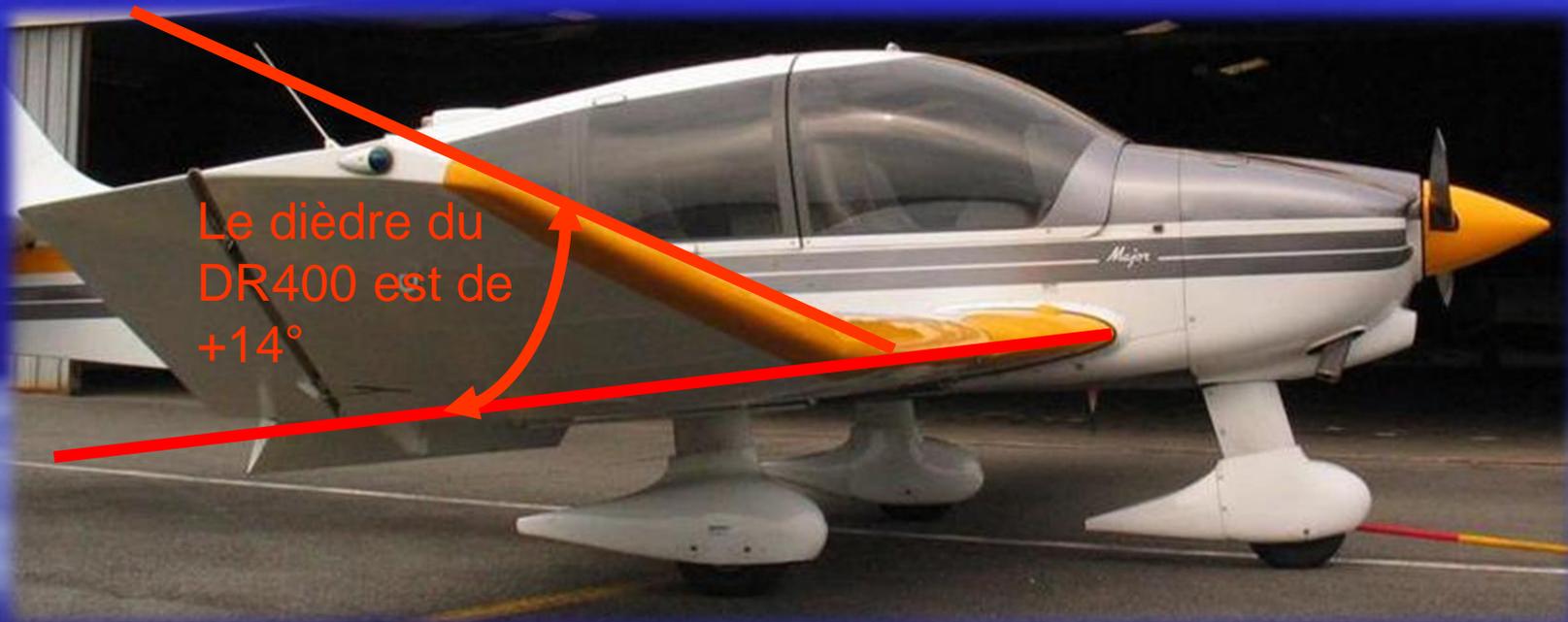
Le dièdre d'une voilure peut être exprimée en degrés ou en mètres mesurés en bout d'aile.

CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DE L'AILE

Le dièdre est un élément de la stabilité latérale de l'avion.

Angle formé par l'horizontale et le plan de l'aile (jonction des cordes de profil de la voilure).

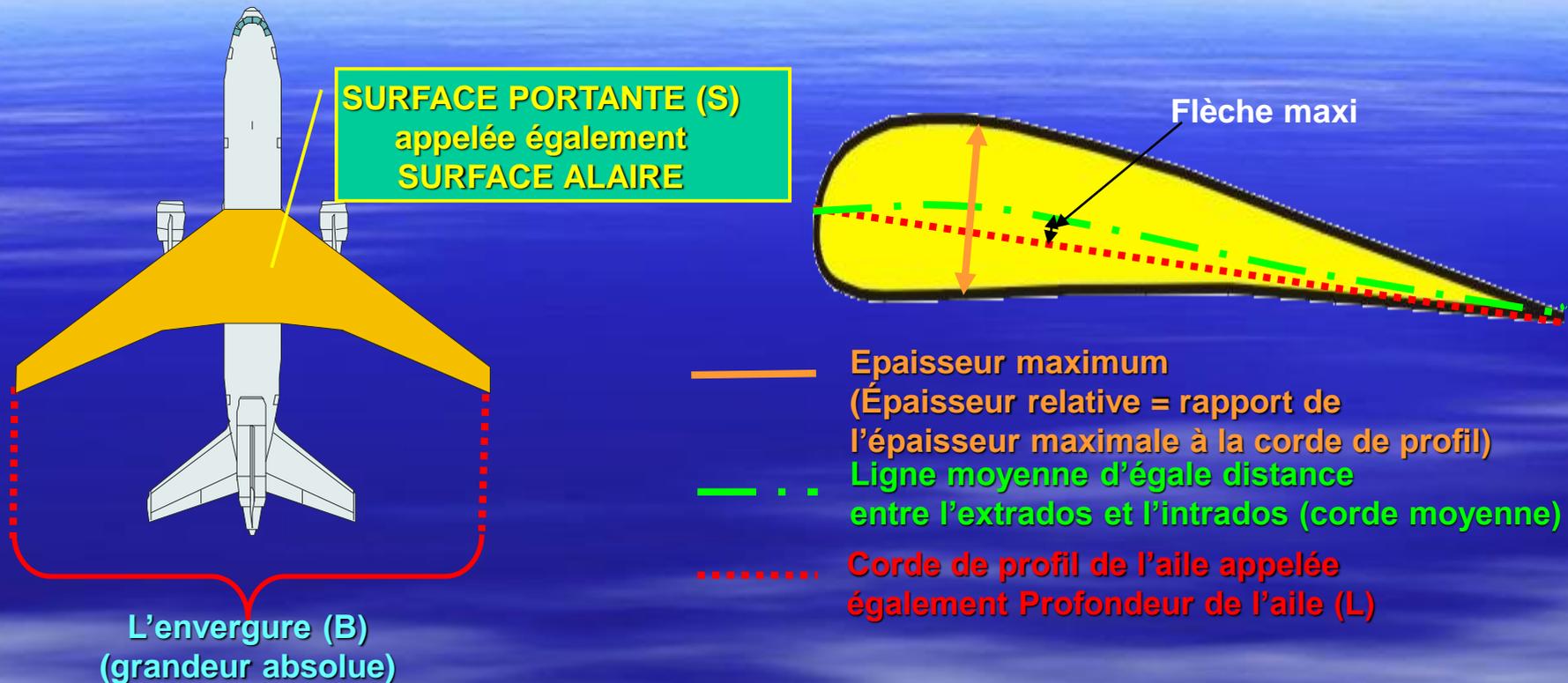
Les ailes d'avions d'aéro-clubs ont souvent un dièdre positif sur la partie extérieure de l'aile seulement, afin d'arriver à un compromis acceptable entre stabilité et maniabilité. On parle alors de semi-dièdre.



L'aile à semi-dièdre de type Jodel du Robin DR 400

Le dièdre d'une voilure peut être exprimée en degrés ou en mètres mesurés en bout d'aile.

CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DE L'AILE



ALLONGEMENT (λ) (grandeur relative) : c'est le rapport de

➤ l'envergure sur la longueur de la corde moyenne

ou

➤ du carré de l'envergure sur la surface de l'aile

$$\lambda = B / L$$

$$\lambda = B^2 / S$$

Les planeurs ont des voilures à fort allongement environ 20 à 25,
les avions classiques de 6 à 12 en moyenne et les avions rapides de l'ordre de 3 à 5.

CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DE L'AILE

EFFILEMENT DE L'AILE

Rapport de la corde de profil à l'extrémité de l'aile (saumon) à la corde de profil à l'emplanture. ($E = C_{ext} / C_{int}$).
Valeur moyenne de l'ordre de 0,7.



CHARGE ALAIRE (kg / m^2) $C = M / S$
Rapport de la masse de l'avion sur la surface alaire (surface portante).

De l'ordre de 60 à 120 kg/m^2 pour les monomoteurs ;
de 120 à 180 pour les bimoteurs légers ;
de 180 à 250 pour les commutants et petits biréacteurs ;
de 250 à 350 pour les moyens courriers ;
de 350 à 520 pour les gros longs courriers.



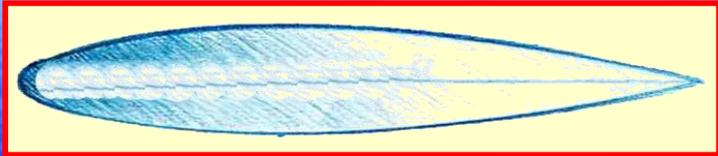
RÉDUCTION DES TRAÎNÉES MARGINALES
(appelées également traînées induites)
par WINGLETS, CLOISONS ou PAN au saumon.



CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DE L'AILE

Les profils définissent l'utilisation et le comportement de l'avion.

P
R
O
F
I
L
S
É
P
A
I
S



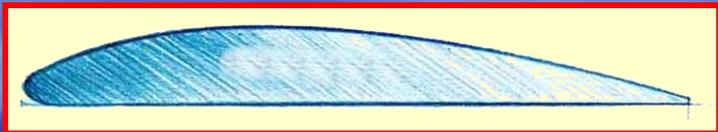
Profil biconvexe symétrique

Traînée moyenne, Portance élevée
Stabilité moyenne, assez fin.



Profil biconvexe dissymétrique

Traînée faible, bonne portance
Stabilité moyenne, assez fin



Profil plan convexe

Traînée moyenne, bonne portance
Stabilité moyenne, assez porteur,
assez fin.

P
R
O
F
I
L
S
M
I
N
C
E
S



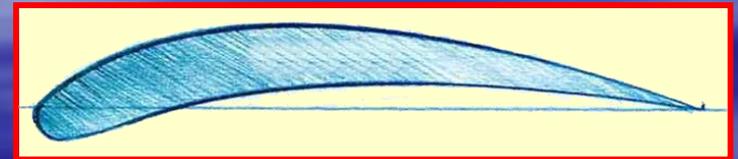
Profil laminaire

Traînée faible, Portance moyenne
Stabilité moyenne, assez porteur,
très fin.



Profil à double courbure

Grande traînée, Portance moyenne
Très stable, assez porteur, pas fin.



Profil creux

Grande traînée, Portance élevée
Stabilité moyenne, très porteur,
pas fin.

CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DE L'AILE

Le dessin et l'implantation de la voilure conditionnent l'utilisation et le comportement de l'avion par leurs spécificités aérodynamiques.

Aile rectangulaire

- Simplicité de construction
- Avion lent, peu maniable



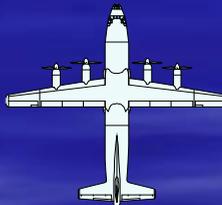
Aile saumon arrondi

- Construction plus élaborée
- Avion lent, assez maniable



Aile flèche bord d'attaque

- Simplicité de construction
- Amélioration de la vitesse



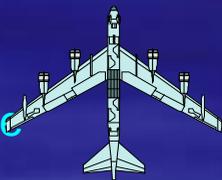
Aile flèche bord de fuite négative

- Diminution de la traînée
- Amélioration de la stabilité



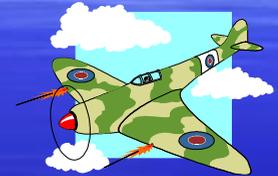
Aile double flèche positive

- Aptitude à la vitesse
- Limitation du poids et de la traînée



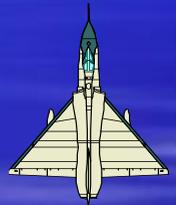
Aile elliptique

- Difficulté de construction
- Très maniable
- Très bon rendement



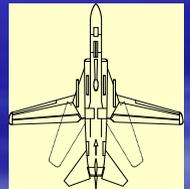
Aile delta

- Avion très rapide
- Instable, bon rendement



Aile à géométrie variable

- Complexité de construction
- Rendement optimisé pour basse et haute vitesse



Aile haute

- stabilité et rendement



Aile médiane

- très maniable

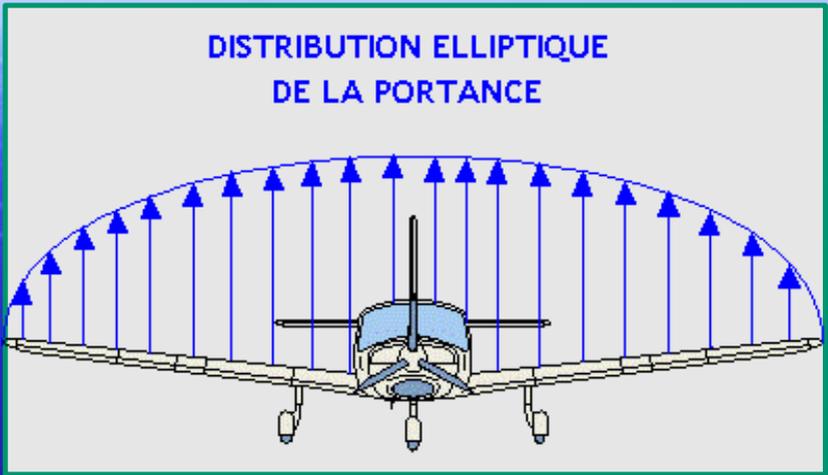
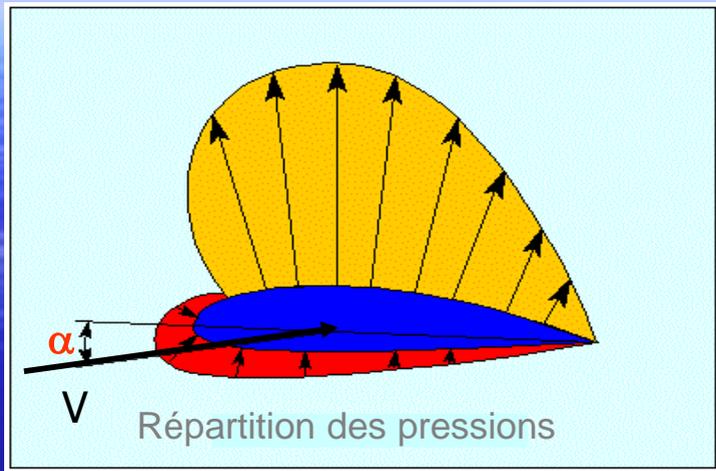


Aile basse

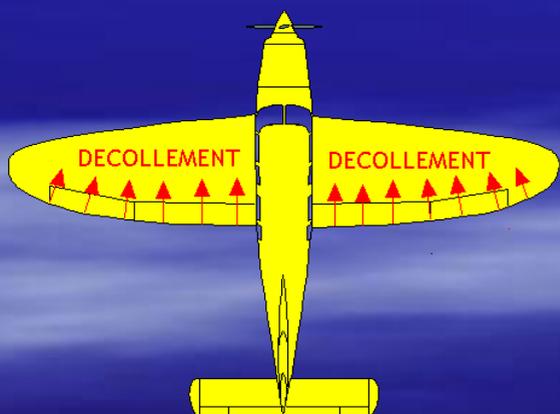
- Compromis stabilité manœuvrabilité



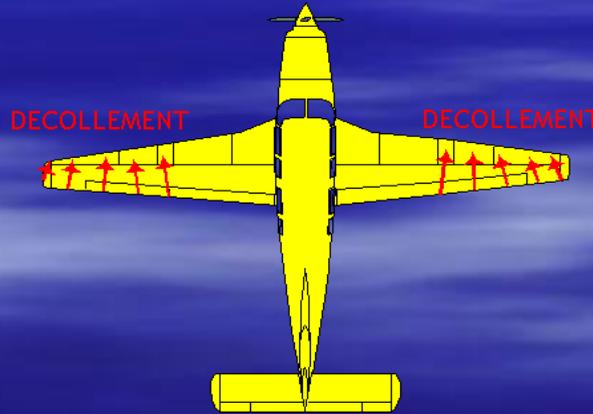
INFLUENCE DES CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES DE L'AILE



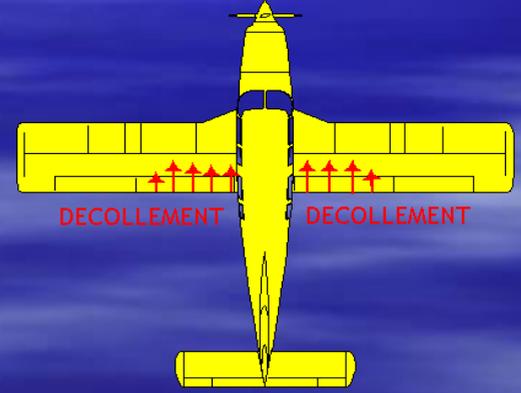
FILETS D'AIR AUX BASSES VITESSES : APPROCHE DÉCROCHAGE



Aile elliptique



Aile Flèche
positive bord d'attaque
négative bord de fuite



Aile rectangulaire

LES AXES D'ÉVOLUTION DE L'AVION

Évolution dans les trois dimensions donc trois axes à maîtriser



AXE DE ROULIS : Référence d'inclinaison de l'avion à droite ou à gauche
Commande : manche ou volant en latéral
Gouvernes sollicitées : les ailerons

AXE DE TANGAGE : Référence d'attitude de l'avion à cabrer ou à piquer
Commande : manche ou volant en arrière ou en avant
Gouverne sollicitée : la profondeur

AXE DE LACET : Référence de symétriseur d'un virage à droite ou à gauche
Commande : palonniers
Gouverne sollicitée : la direction

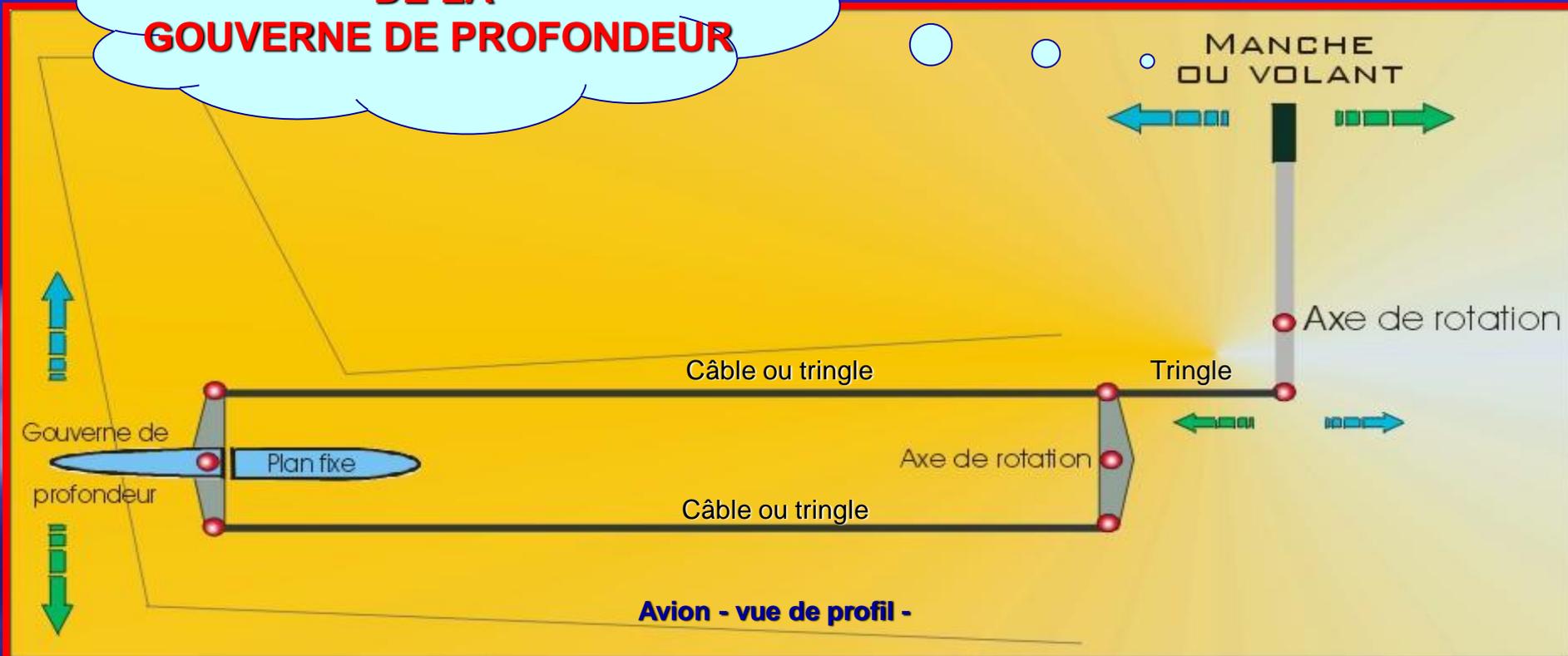


AXE DE TANGAGE STABILITÉ LONGITUDINALE

COMMANDE DE LA GOUVERNE DE PROFONDEUR

ACTION DU MANCHE OU DU VOLANT

- pour monter, tirer vers l'arrière
- pour descendre, pousser vers l'avant



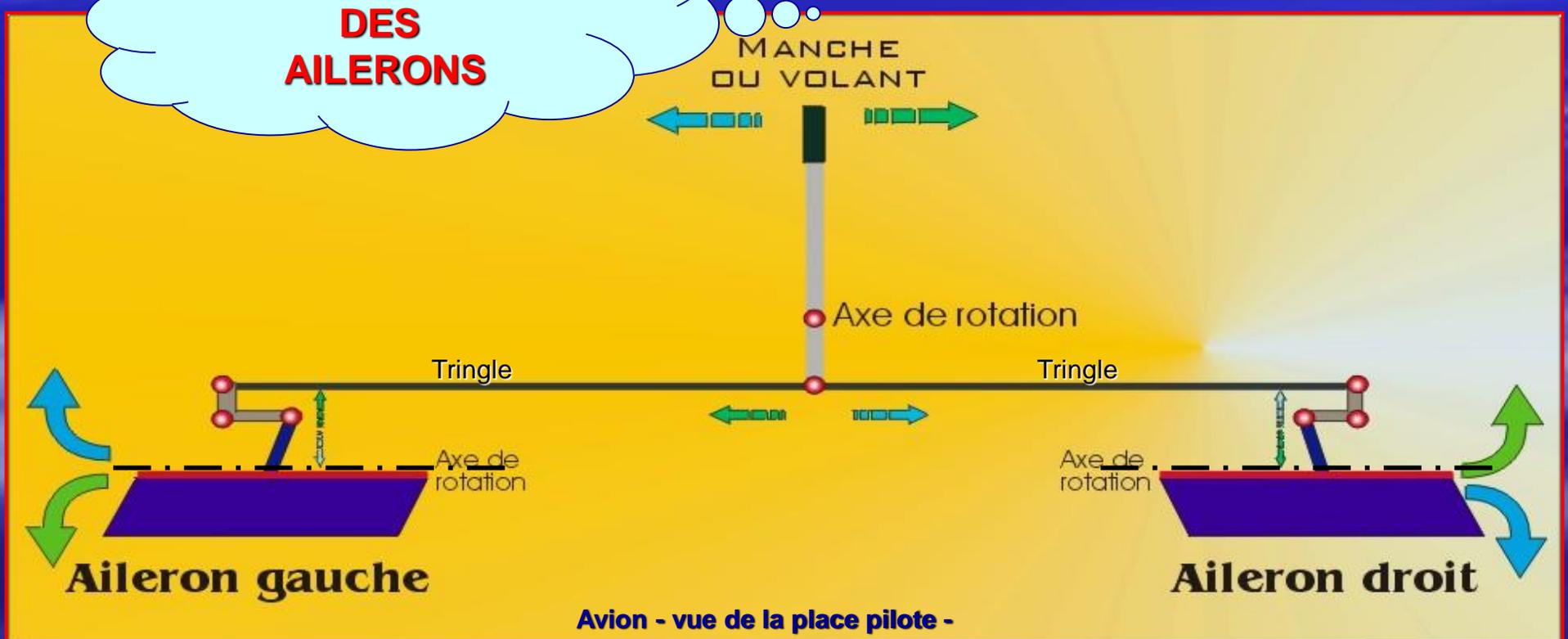


AXE DE ROULIS STABILITÉ LATÉRALE

ACTION DU MANCHE OU DU VOLANT EN LATÉRAL

- pour incliner à droite, manche à droite
- pour incliner à gauche, manche à gauche

COMMANDE DES AILERONS





AXE DE LACET STABILITÉ DE ROUTE

**COMMANDE
DE LA
GOUVERNE DE DIRECTION
(SYMÉTRIE)**

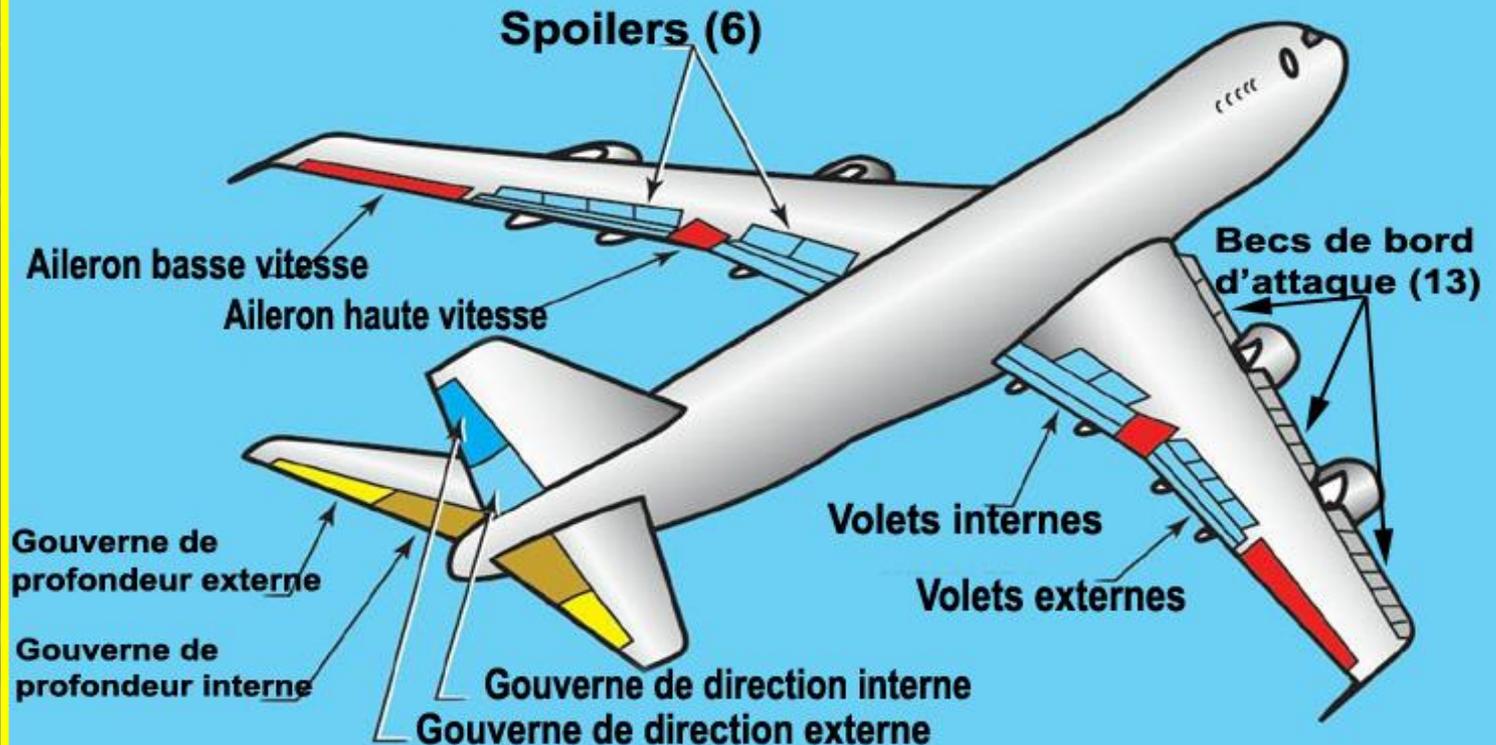
ACTION DES PALONNIERS

- lacet à droite, palonnier droit
- lacet à gauche, palonnier à gauche



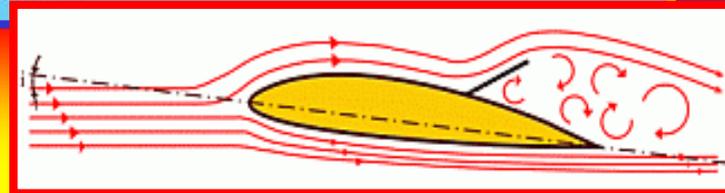
LES GOUVERNES

BOEING 747 Gouvernes mobiles



Sur certains appareils, l'adjonction de **SPOILERS** aux ailerons facilite l'inclinaison de l'appareil et rattrape l'effet de lacet inverse.

Rôle : diminution de la portance du côté de l'aile à abaisser et augmentation de la traînée du côté intérieur du virage.



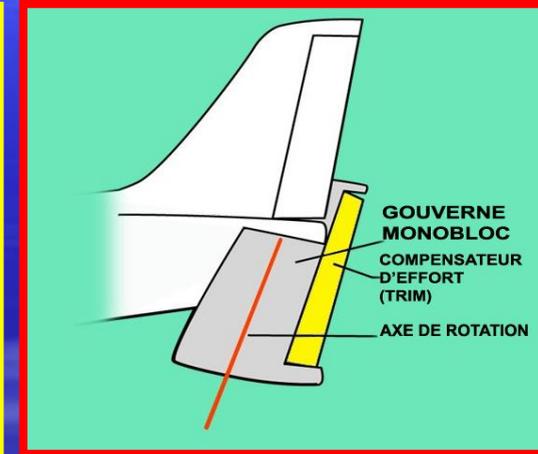
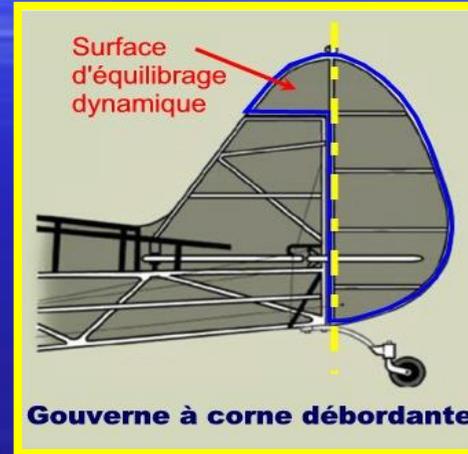
LES GOUVERNES ET LEURS ÉQUILIBRAGES

Afin d'équilibrer l'avion sur sa trajectoire et de compenser tout effort sur le manche, des surfaces réglables du cockpit (TRIM) ou non réglables du cockpit (TAB) sont adjointes aux gouvernes.

La réalisation de surfaces situées de l'autre côté de l'axe de rotation permet d'équilibrer dynamiquement les efforts aux gouvernes.

Exemple :

- les gouvernes monobloc ou
- les gouvernes à cornes débordantes.



Moment de l'effort au manche

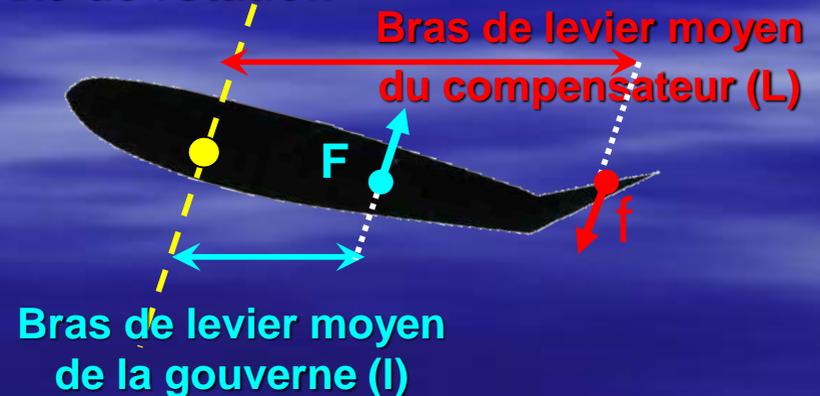
$$\text{moment gouvernes} = l \times F$$

—

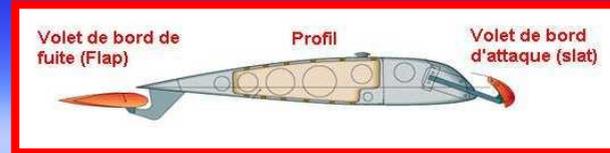
$$\text{moment compensateur} = L \times f$$

à l'équilibre = 0

Axe de rotation



LES DISPOSITIFS HYPERSUSTENTATEURS



Objectif : Permettre à l'avion de voler à vitesse faible tout en maintenant une marge de sécurité par rapport à la vitesse de décrochage (équilibre constant du rapport Portance / Poids à différentes vitesses).

Trois traitements possibles :

- augmenter la surface portante de l'aile (recul d'un élément mobile),
- modifier la courbure de l'aile (rotation d'un élément mobile),
- améliorer la couche limite par recul du point de décollement des filets d'air (création d'un conduit d'orientation du vent relatif sur une partie de l'extrados).

Deux conséquences aérodynamiques :

- ❑ Augmentation de l'incidence maxi par effet de fente (profil normal de 15 à 18° ; avec l'effet de fente de 18 à 25°)
- ❑ Gain de portance sans influence sur l'incidence par surface alaire augmentée et creusement du profil d'aile

Deux emplacements utilisés :

- ❖ au bord d'attaque de l'aile, ce sont les « becs »,
- ❖ au bord de fuite de l'aile, on les dénomme « volets »

LES DISPOSITIFS HYPERSUSTENTATEURS

Rôle : Permettre à l'avion de voler à vitesse faible.

Trois traitements possibles:

- augmenter la surface portante,
- augmenter la courbure de l'aile ou
- améliorer la couche limite.



Volet simple

Facilité de construction, courbure d'aile
Augmentation de portance sup à la traînée.



Volet d'intrados

Facilité de construction, courbure d'aile
Gain de portance mais traînée forte.



Volet d'intrados à recul

Courbure d'aile + surface agrandie
Portance forte et traînée augmentée.



Volet à fente

Construction simple, courbure d'aile
+ amélioration de la couche limite.
Portance améliorée à grande incidence.



Volet Fowler

Volet très élaboré, surface accrue
+ courbure de l'aile + couche limite.
Portance accrue, limitation de la traînée.



Volet à fentes multiples

Summum de l'efficacité car lui-même
étant sustenté. Rapport C_z/C_X élevé.
Les trois améliorations sont présentes.

LES DISPOSITIFS HYPERSUSTENTATEURS

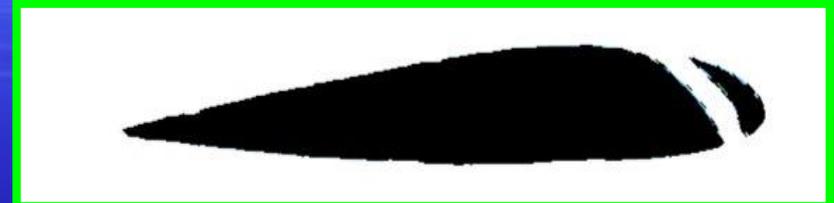


Les systèmes de bord d'attaque interviennent principalement sur l'amélioration de la couche limite et donc de la portance à grande incidence.



Bec à bord d'attaque basculant

Modification de la courbure de l'aile
Facilité de réalisation, fiabilité moyenne
due au givrage de bord d'attaque.



Bec à fente fixe

Traînée faible, Portance accentuée
L'air en sortie de convergent repousse
le point de décollement de la couche limite
vers l'arrière.



Bec KRUEGER

Augmentation de la portance max à grande
incidence par infléchissement de la
trajectoire des filets d'air en amont de l'aile.



Bec mobile de bord d'attaque

Automatiques ou commandés, ces becs
améliorent l'efficacité en portance par
recul du point de décollement de la couche
limite et augmentation de la courbure.

LES DISPOSITIFS HYPERSUSTENTATEURS

QUELQUES TYPES DE BECS DE BORD D'ATTAQUE

BEC À FENTE FIXE



Ces dispositifs fixes ont équipés les premiers avions à décollage et atterrissage court. L'un des avions le plus connu est le Fieseler Fi 156 surnommé Storch;

BEC À FENTE AUTOMATIQUE

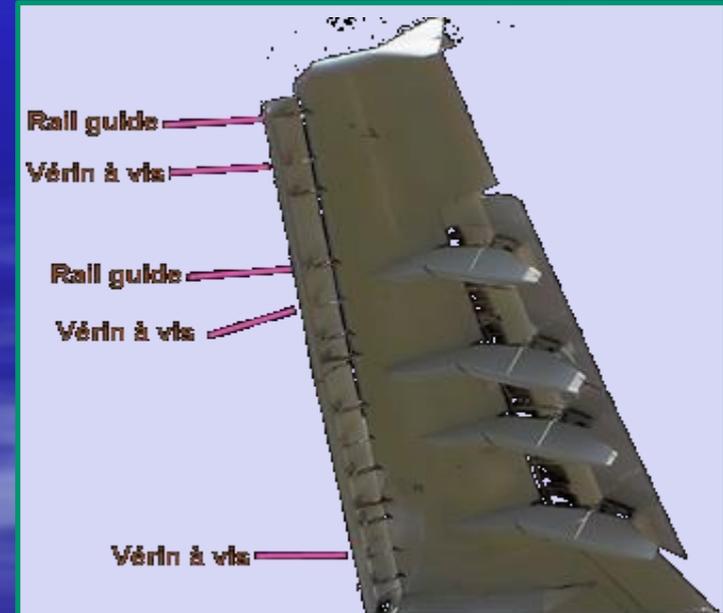


A vitesse élevée les becs sont plaqués contre le bord d'attaque de l'aile et se déploient vers l'avant automatiquement grâce à la dépression locale à incidence élevée. Ces becs sont montés notamment sur les Morane-Saulnier Rallye.

BEC À FENTE COMMANDÉ (SLAT)

Commandé par le pilote ce bec allie augmentation de la surface, augmentation de la courbure par basculement et traitement de la couche limite par la fente.

Partie d'une aile d'un airbus A300

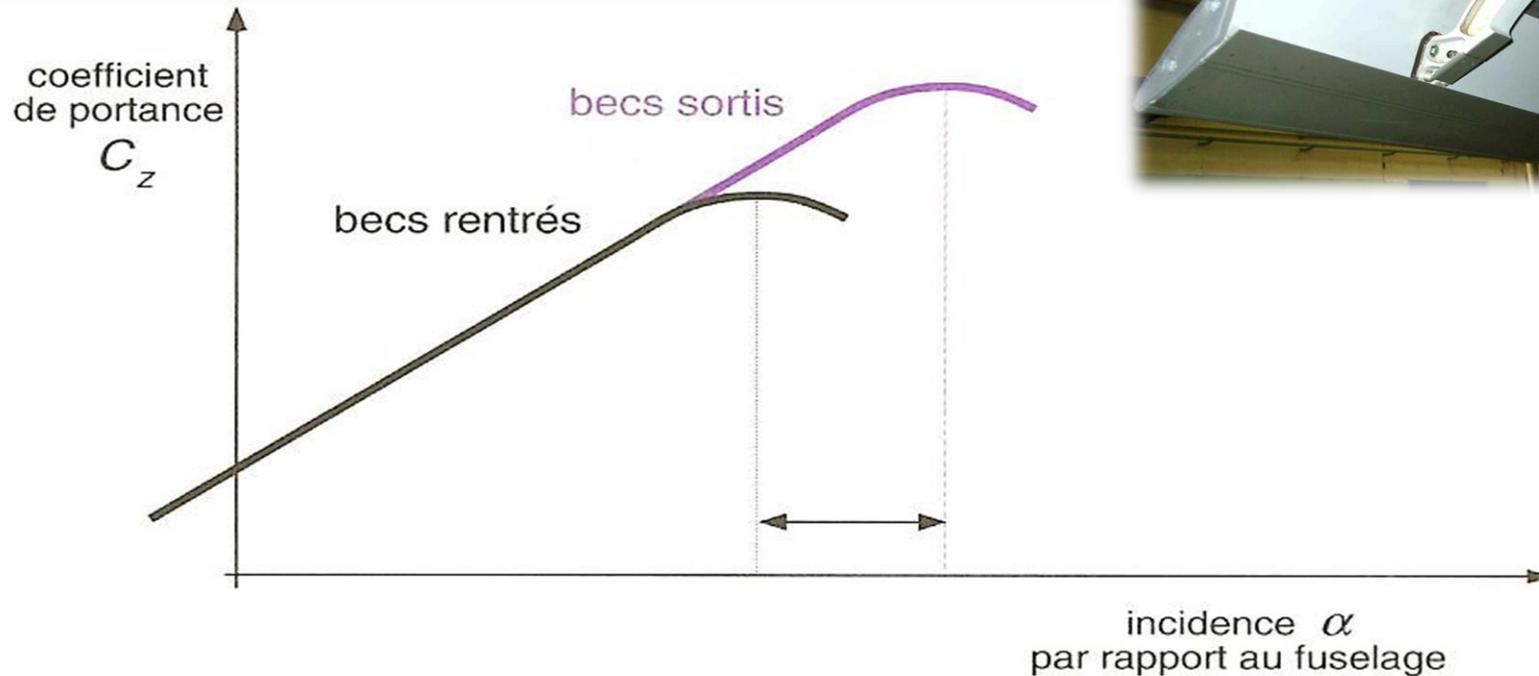


BORD D'ATTAQUE BASCULANT

C'est la partie avant du profil qui bascule vers le bas, créant un effet de cambrure de l'aile. Ce dispositif est principalement utilisé sur les avions de chasse. (F-104).

LES DISPOSITIFS HYPERSUSTENTATEURS

Bec de bord d'attaque
d'un Mirage 2000



**LES BECS DE BORD D'ATTAQUE PERMETTENT SURTOUT D'ALLER
« PLUS LOIN EN INCIDENCE »
AUGMENTANT NOTABLEMENT L'ASSIETTE
LEUR UTILISATION REQUIERT SOUVENT CELLE DES VOILETS DE BORD DE FUITE**

LES DISPOSITIFS HYPERSUSTENTATEURS

DÉTAILS DU BEC DE BORD D'ATTAQUE KRUEGER

Le déploiement et l'avancement du bec Krueger à basse vitesse permettent d'augmenter

- la surface alaire ;
- la courbure de l'aile ;
- et influent sur la trajectoire des filets d'air en amont de l'aile.

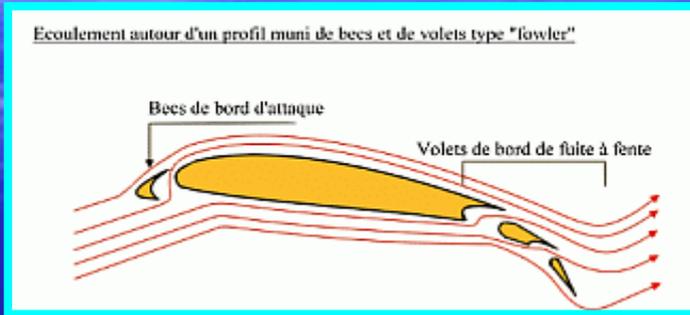
Il n'est employé que sur des avions conséquents compte tenu de la complexité de sa conception.

Il a été optimisé par l'adjonction de l'effet de fente en avançant son point de rotation.



LES DISPOSITIFS HYPERSUSTENTATEURS

DÉTAILS DES GOUVERNES ET DISPOSITIFS SUSTENTATEURS D'UNE AILE DE BOEING 747



Lorsque tous les volets Fowler sont sortis,
hauteur entre bord de fuite de l'aile
et bord de fuite du volet inférieur
= 2, 35 mètres.

Gros plan sur spoilers du 747.

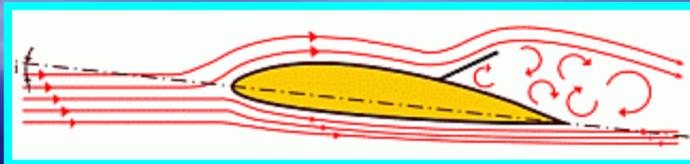


Schéma aérodynamique
des effets du spoiler.



EFFICACITÉ DES VOLETS

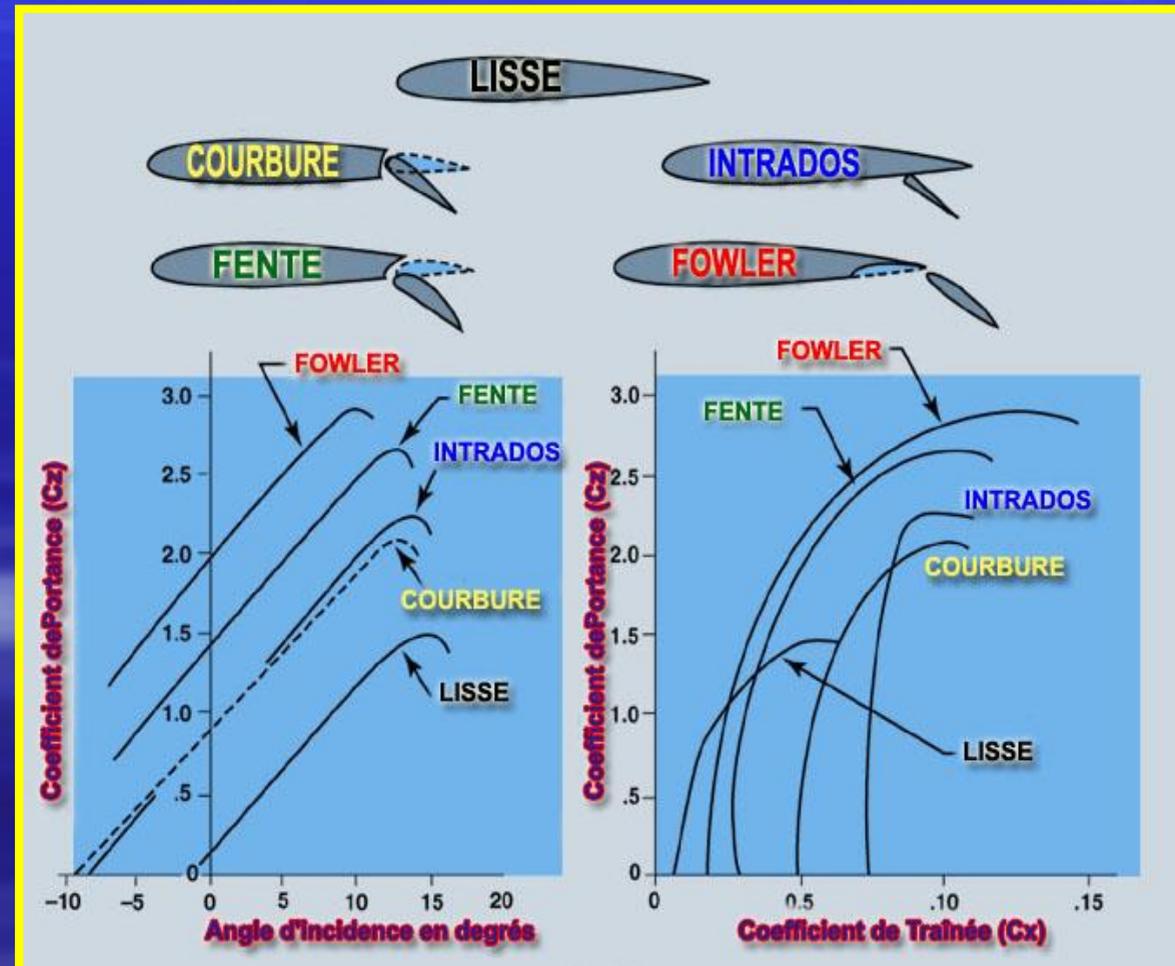
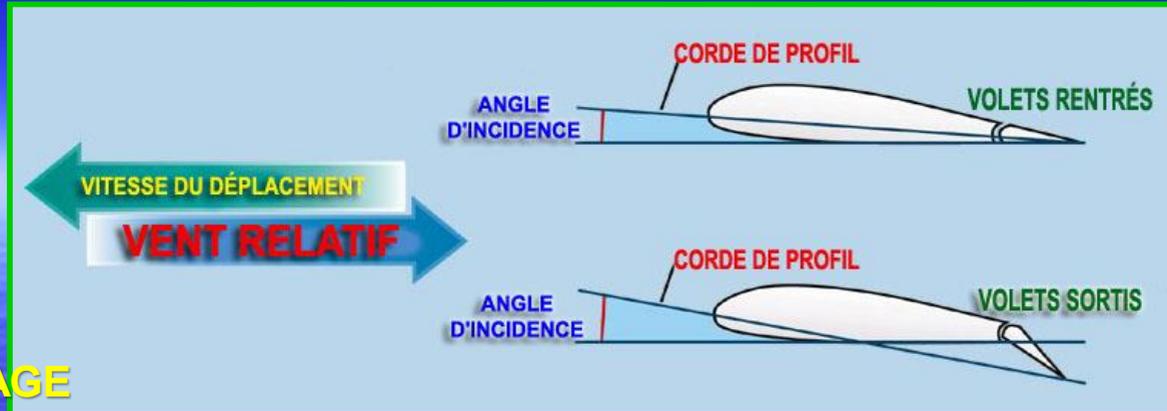
L'UTILISATION DE VOLETS PERMET D'AUGMENTER LA PORTANCE MAIS AUSSI LA TRAÎNÉE.

PEU D'INFLUENCE SUR L'ANGLE D'INCIDENCE DE DÉCROCHAGE

mais permet de voler à vitesse plus faible.

Quelques références d'efficacité :

- Volets Fowler à fentes multiples plus bec : C_z max + 120 %
Angle d'attaque = 26°
- Volets Fowler
 C_z max + 90 %
Angle d'attaque = 16°
- Volets à fentes
 C_z max + 65 %
Angle d'attaque = 15°
- Volets d'intrados
 - C_z max + 60 %
 - Angle d'attaque = 14°
- Volets de courbure simple
 C_z max + 50 %
Angle d'attaque = 12°



LES FREINS AÉRODYNAMIQUES

TROIS SYSTÈMES DE FREINAGE AÉRODYNAMIQUES COURANTS

LES AÉROFREINS

Ils peuvent être situés sur ou sous le fuselage, sur les ailes ou sur le cône de queue. Ils augmentent la traînée de profil et n'influencent pas la portance (C_z max constant).



LES SPOILERS

Ils participent à l'effet aérofreins mais altèrent en plus la portance. Ils sont situés exclusivement sur l'extrados des ailes. Le C_z diminuant, la vitesse de décrochage augmente avec leur sortie.



LES VOILETS

Par l'augmentation des traînées à plein volet (C_x croît d'une façon importante), ils provoquent un ralentissement important. Ils diminuent la vitesse de décrochage (augmentation du C_z , diminution de l'incidence).



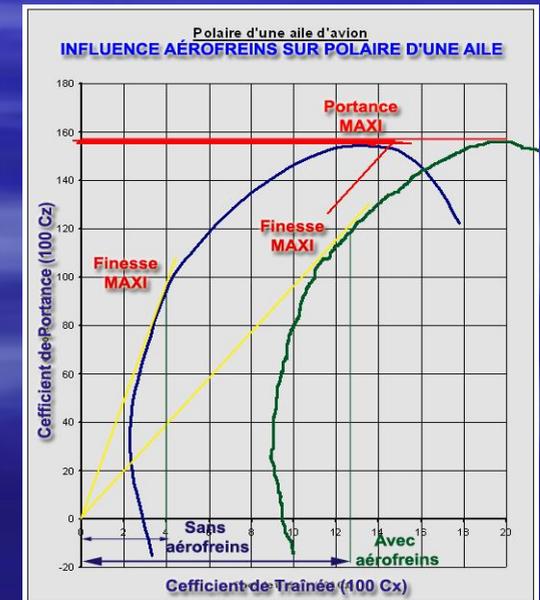
LES FREINS AÉRODYNAMIQUES

**Objectif : Permettre à l'avion de réduire sa vitesse en vol et au sol.
Faciliter les trajectoires de descente**



Les impératifs des solutions envisagées :

- augmenter la traînée de profil par adjonction d'une surface mobile située face au vent relatif (extrados et ou intrados)
- ne pas induire d'augmentation de portance et même agir pour les spoilers comme destructeur de portance afin de plaquer l'avion au sol et de le freiner lors de l'atterrissage.



LES FREINS AÉRODYNAMIQUES

Les principes de réalisation :

- ❑ Plaque mobile intégrée longitudinalement dans l'aile (sortie partielle ou totale suivant efficacité recherchée)
- ❑ Surfaces diverses en grandeur et en constitution
- ❑ Plaques pouvant se déployer face au vent relatif sur la dérive verticale de l'empennage par exemple...



Les solutions complémentaires induites par d'autres fonctions :

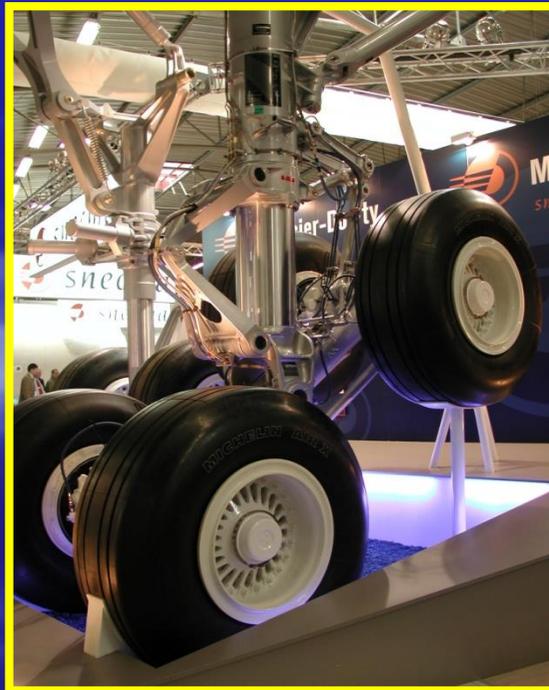
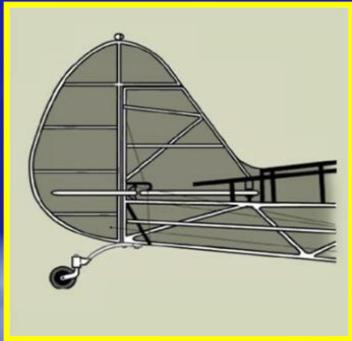
- ❖ présentation de surfaces au vent relatif (volets, spoilers, ...)
- ❖ reverse sur les turbopropulseurs et turboréacteurs
- ❖ sortie des trains d'atterrissage rétractables
- ❖ éjection d'un parachute de queue (avions militaires).



LE TRAIN D'ATTERRISSAGE

CARACTÉRISTIQUES DES TRAINS

- Qu'ils soient classiques ou tricycles, les trains peuvent être :
- fixes ou escamotables ;
 - freinés ou non ;
 - avec roue directrice (conjugué avec les palonniers) ou non ;
 - munis d'amortisseurs de type divers capables d'encaisser une vitesse verticale de 600 ft / mn à un poids déterminé sans casse ou déformation permanente.



LE TRAIN D'ATTERRISSAGE

TROIS TYPES DE TRAINS D'ATTERRISSAGE

LES TRAINS CLASSIQUES

Composé d'un train principal et d'une roulette ou d'un patin situé à l'arrière. Ils sont simples et robustes mais désuets.

INCONVÉNIENTS :

- Risque de passer en pylône (freinage ou blocage de roue)
- Forte traînée au décollage (ligne de vol à acquérir)
- Mauvaise visibilité devant (pilote plus bas que le capot)...

LES TRAINS TRICYCLES FIXES

Ils équipent la plupart des avions modernes et présentent toutes les solutions aux inconvénients décrits ci-dessus.

INCONVÉNIENTS :

- Poids plus élevé ;
- Construction plus difficile donc plus onéreuse;
- Fragilité relative de la roulette avant, sujette au shimmy.

LES TRAINS MONOTRACE

Utilisés surtout sur les avions légers et les planeurs. La stabilité latérale au roulement est assurée sur certaines machines par des balancines (sorte de tube léger assorti d'une roulette et fixé à l'extrémité des ailes. Principal avantage : le poids.



LE TRAIN D'ATTERRISSAGE

LES DIFFÉRENTS TYPES DE TRAIN



TRAIN MONO ROUE

Le nombre de roues sur une même Jambe de train d'atterrissage est variable. Il peut aller de 1 à 6.

Train principal de Mirage 2000

LE TRAIN D'ATTERRISSAGE

LES DIFFÉRENTS TYPES DE TRAIN



TRAIN A DEUX ROUES APPELÉ TRAIN DIABOLO

Afin de répartir la masse,
ou de'assurer une sécurité en
cas d'éclatement d'un pneu,
on peut doubler les roues sur
une même jambe de train

Train auxiliaire d'Embraer 175

LE TRAIN D'ATTERRISSAGE

LES DIFFÉRENTS TYPES DE TRAIN

BOOGIE 4 ET 6 ROUES

La masse de l'AIRBUS 380 est de 576 tonnes. Il a donc fallu répartir cette masse afin de ne pas endommager les pistes et voies de circulation. Cet avion comporte 22 roues, certaines couplées par boogie de 4 ou 6 roues.



Train principal d'A380

LE TRAIN D'ATTERRISSAGE

CARACTÉRISTIQUES GÉOMÉTRIQUES



VOIE

EMPATTEMENT



Angle de garde

De trois à

...

32 roues

...



LE TRAIN D'ATTERRISSAGE

DES COMPOSANTS A FORTE ÉPREUVE



LES ROUES ET PNEUS

Premier élément de contact avec le sol, les pneus sont calibrés pour une vitesse et une pression maxi (inférieure au quart de la pression d'éclatement).

Les roues doivent être équilibrées dynamiquement afin d'éviter le shimmy (vibrations de train).

Un contrôle du maintien de position roue-pneu figure sur le flanc externe.

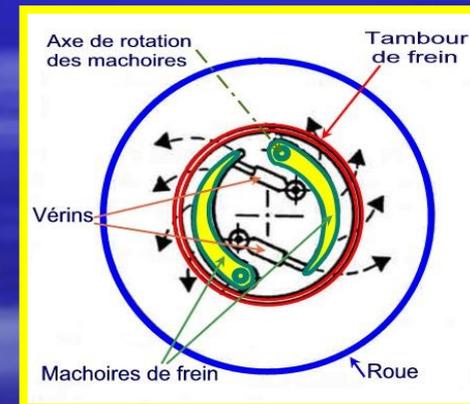


LES FREINS

Ils peuvent être à tambours ou à disques simples ou multiples et ne s'appliquent que sur le train principal.

La transmission de l'effort de freinage est hydraulique en circuit propre.

Sur certains avions légers cette transmission peut être assurée par câble notamment pour les freins de parking.



LES PRÉCAUTIONS DE FREINAGE

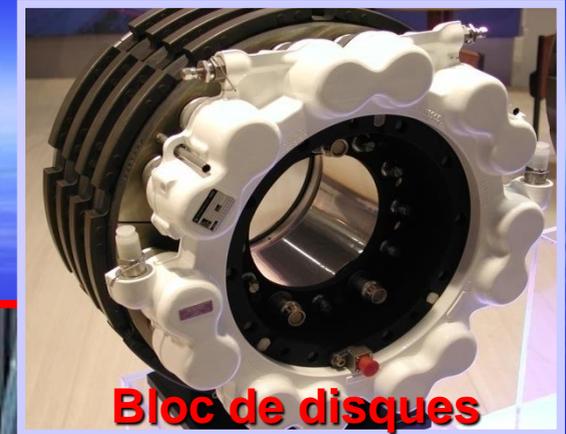
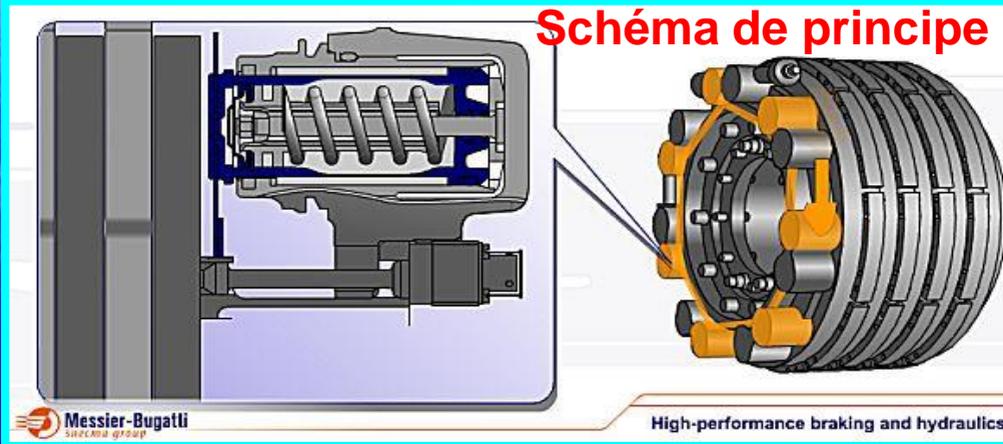
La surface de frottement étant faible, n'utiliser les freins qu'avec mesure pour éviter tout blocage ou éclatement (système Anti-skid sur avion plus conséquent).

Attention aux hydroplanages dynamiques, par viscosité ou par dévulcanisation.

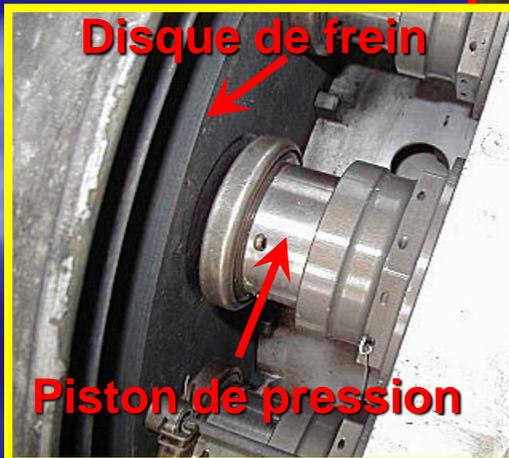


LE TRAIN D'ATERRISSAGE

DÉTAILS SUR LES FREINS



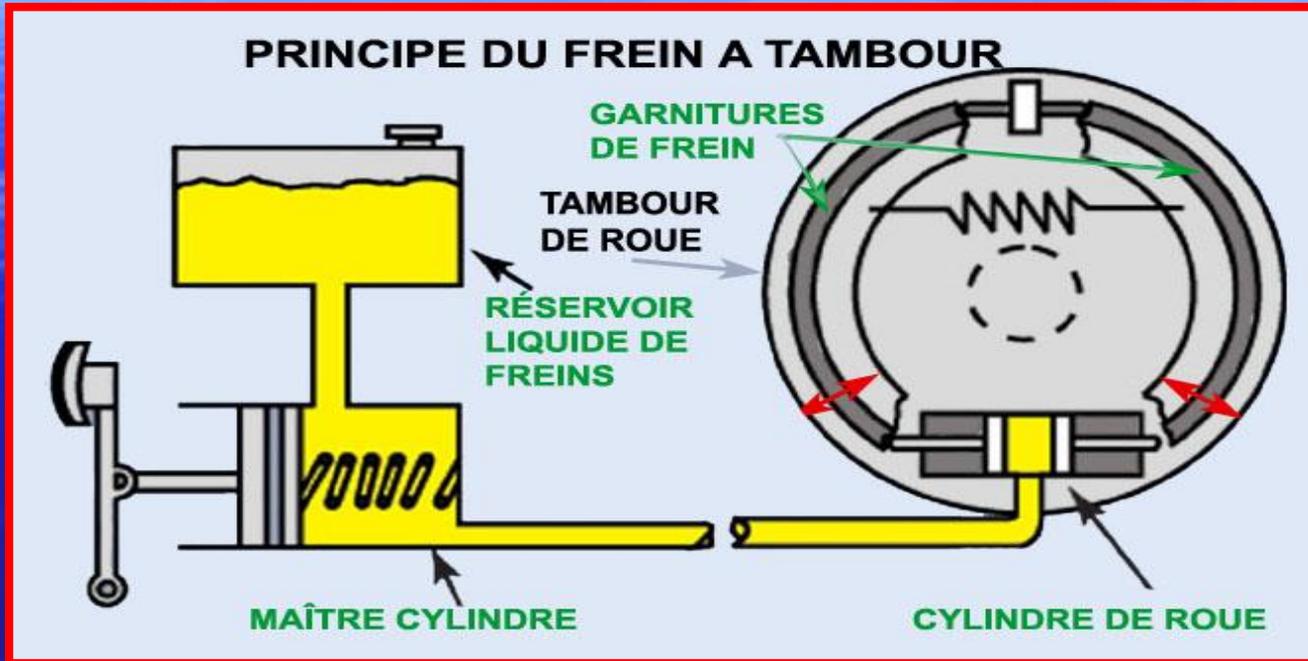
DISQUES : acier,
carbone ou céramique.
TEMPÉRATURE : 2500 °.



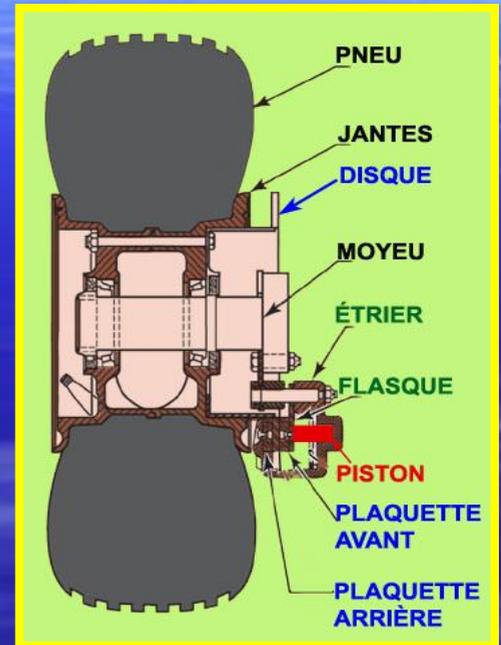
FREIN A DISQUES (8) D'AIRBUS A 340 (12 roues freinées)

LE TRAIN D'ATTERRISSAGE

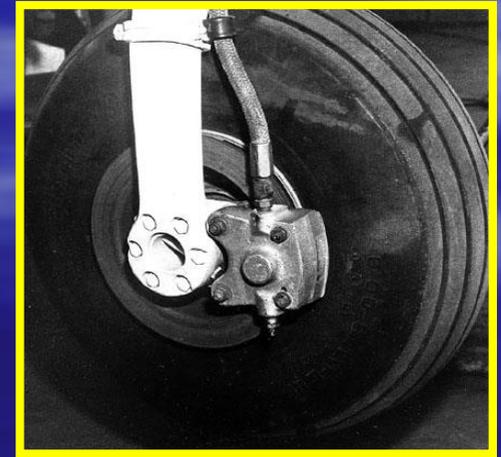
FREINS A TAMBOUR ET AMORTISSEURS SANDOWS



FREINS A DISQUE



DÉTAILS DE PNEU



LE TRAIN D'ATTERRISSAGE

DES COMPOSANTS A FORTE ÉPREUVE

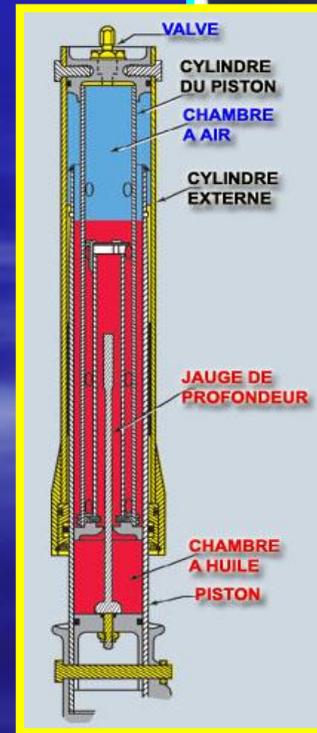
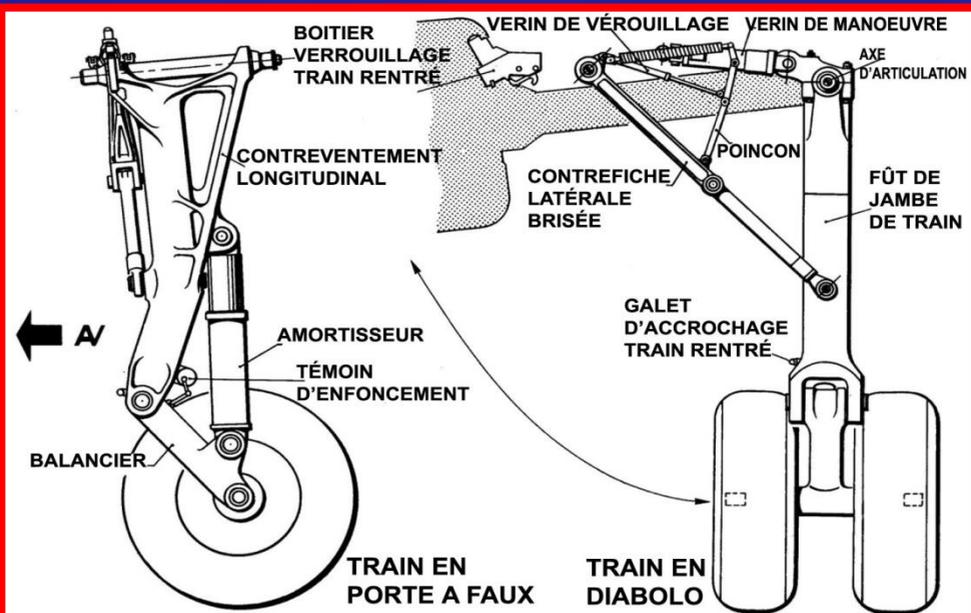


LES AMORTISSEURS

Élément oléopneumatique chargé d'encaisser et d'amortir un choc provoqué par la chute verticale à 600 ft/mn de l'avion.

On amortit en comprimant un volume d'air contenu dans une chambre close et on évite la réaction de ressort en canalisant la circulation d'un fluide hydraulique.

LES ÉLÉMENTS MÉCANIQUES



LE TRAIN D'ATTERRISSAGE

LES ÉLÉMENTS MÉCANIQUES DU TRAIN

On distingue :

- le fut du train reliant l'avion à la roue,
- l'amortisseur oléopneumatique chargé d'encaisser et d'amortir les chocs à l'atterrissage (maxi chute verticale de l'avion à 600ft/mn),
- la ou les roues.

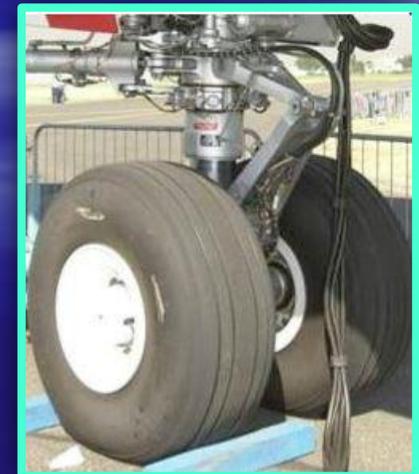
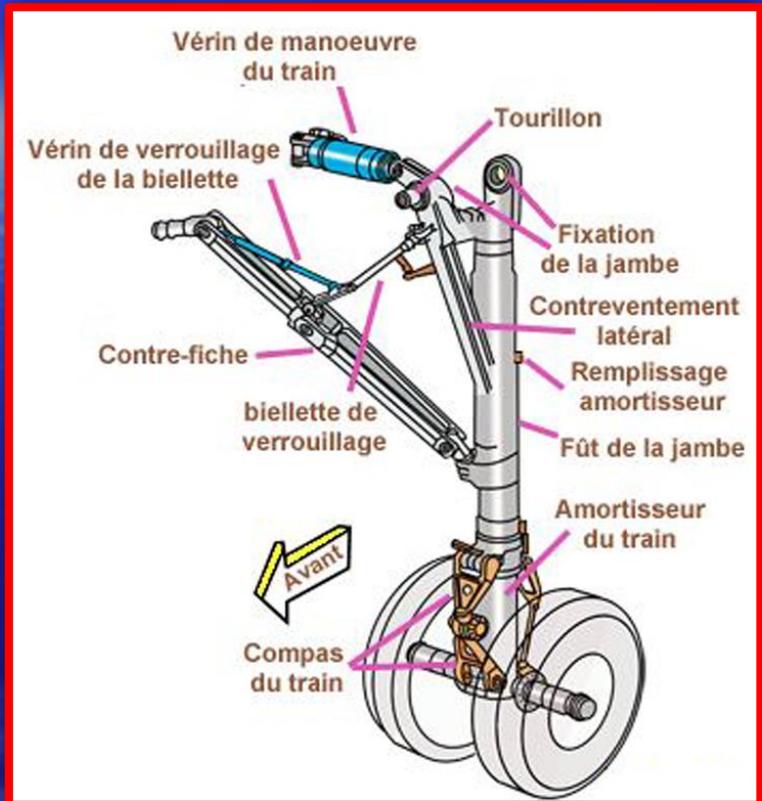
LA CONTREFICHE

Elle a pour fonction de transmettre les efforts et rigidifier la position du train.

La contrefiche peut être axiale pour sortir le train dans l'axe longitudinal ou latérale si la roue sort de l'intrados de l'aile.

LE COMPAS DE TRAIN

Élément utilisé principalement sur avion léger pour bloquer en rotation les deux éléments de l'amortisseur (chambre et piston) tout en permettant le débattement vertical de l'amortisseur oléopneumatique.



LE TRAIN D'ATTERRISSAGE



**TRAIN
D'ATTERRISSAGE
ESCAMOTABLE**

LE TRAIN D'ATTERRISSAGE ESCAMOTABLE

OBJECTIF : Limiter les traînées aérodynamiques afin d'augmenter la vitesse de croisière.

Relevage et descente du train

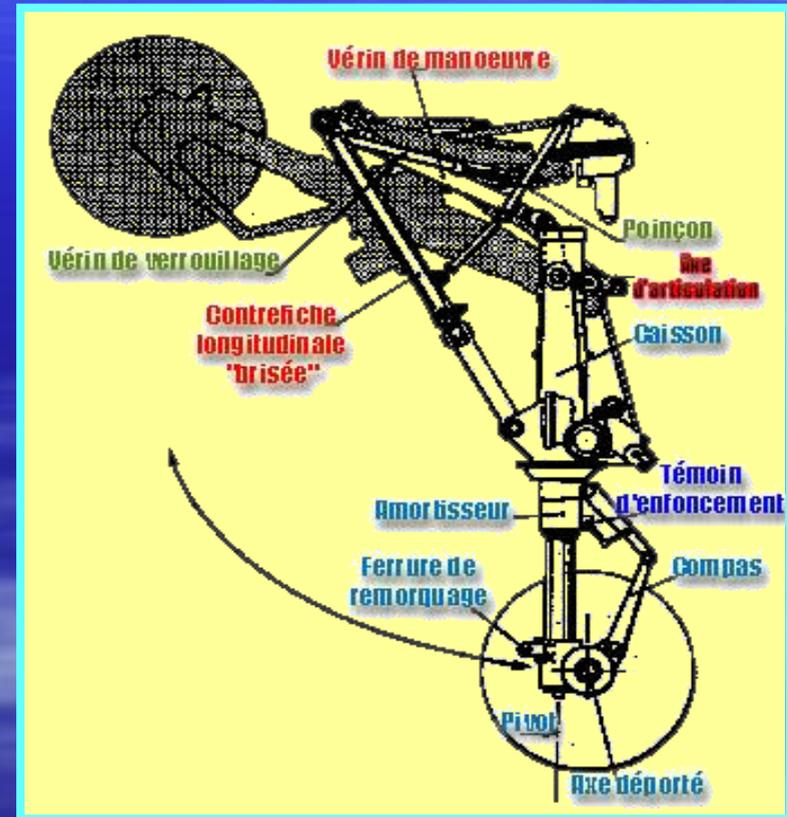
Les mouvements sont déclenchés par une manette ou un interrupteur à deux positions (UP ou DOWN).

En secours, le pilote peut disposer de différents dispositifs : pompe mécanique, manivelle avec vis sans fin, moteur électrique de secours, réserve hydraulique par accu de génération.

Fiabilité du fonctionnement

La position du train sorti et verrouillé est toujours confirmée par un contrôle lumineux.

La translation ou la position train rentré verrouillé est signalée suivant les constructeurs par voyant ou (et) klaxon.



Deux technologies sont employées pour la translation du train :
Le système hydraulique et le système électrique.

LE TRAIN D'ATTERRISSAGE ESCAMOTABLE

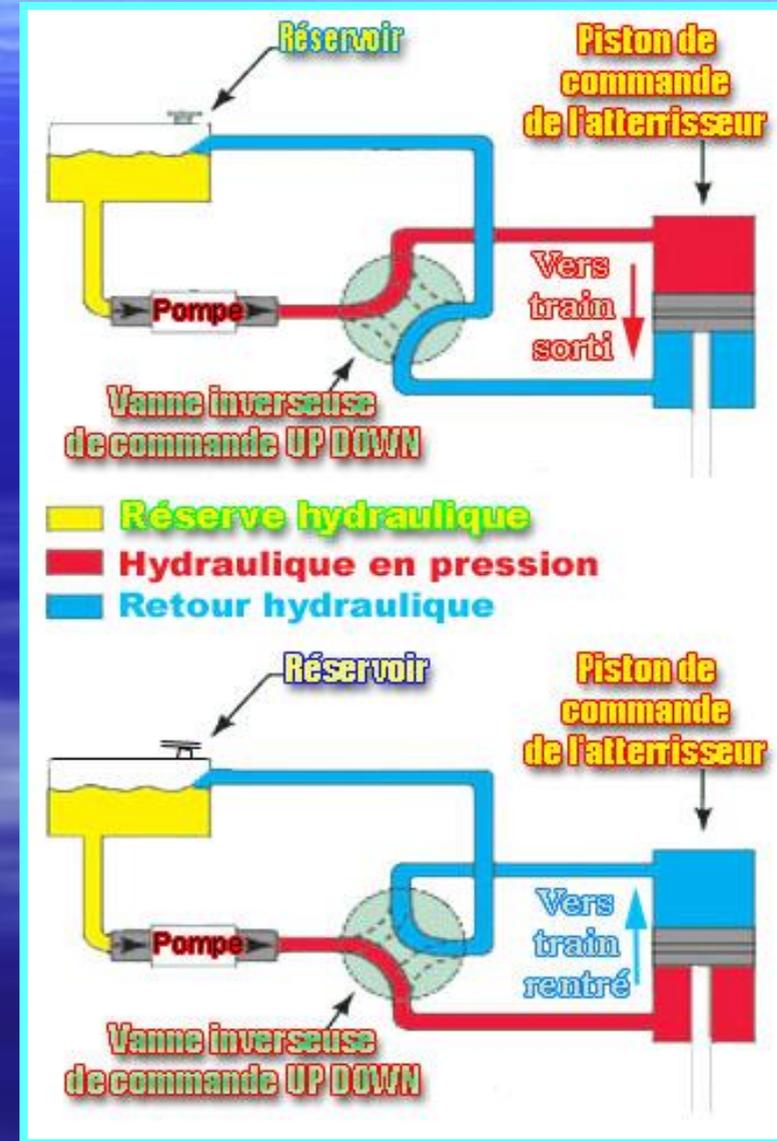
LE SYSTEME HYDRAULIQUE

Une pompe mécanique ou électrique met en pression un circuit hydraulique qui, orienté par une vanne « trois voies » ou un clapet « navette », pousse un piston de commande de l'atterrisseur vers la position commandée (sortie ou rentrée).

Conjointement, un ensemble de vérins, verrous, contrefiches assurent le blocage et déblocage de ce mécanisme.

Avantages de l'hydraulique :
précision, légèreté et indépendance vis à vis des conditions extérieures (pression, température, hygrométrie).

Inconvénients : appareillage coûteux, risque de perte d'étanchéité.



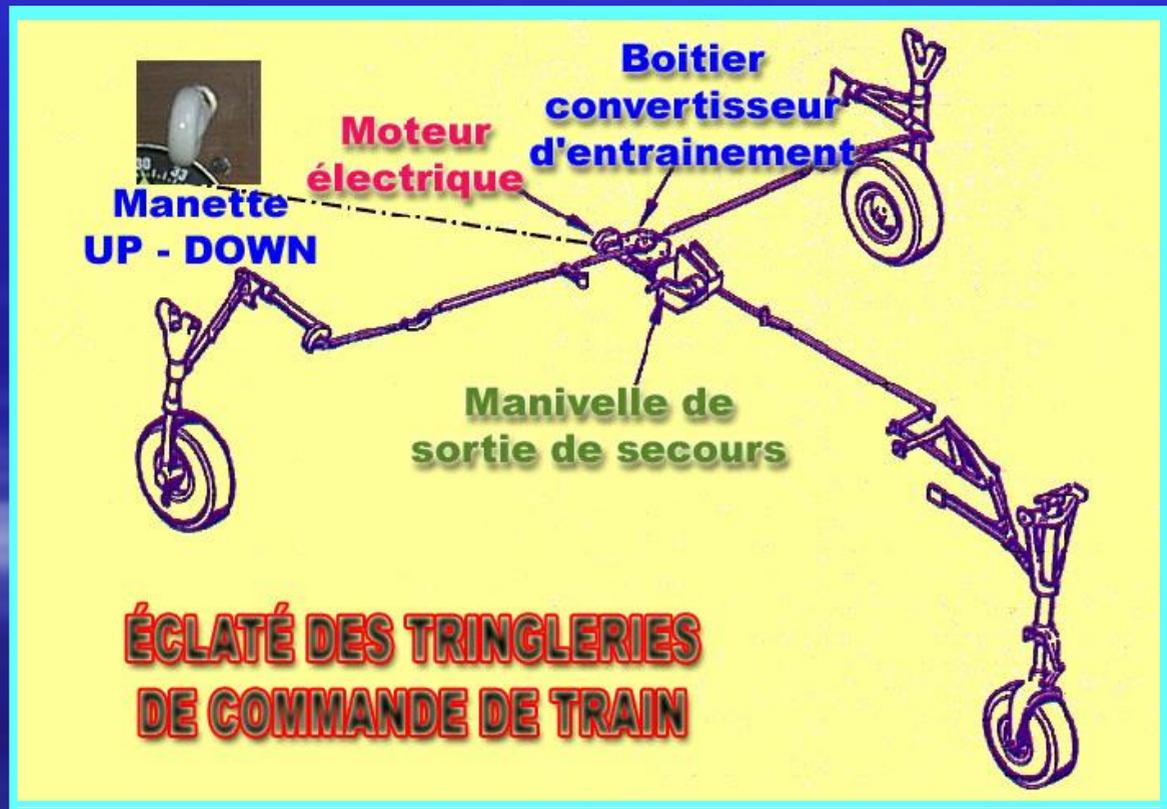
LE TRAIN D'ATTERRISSAGE ESCAMOTABLE

LE SYSTEME ÉLECTRIQUE

La manette de position Up – Down commande l'inversion de polarité électrique qui détermine le sens de rotation d'un moteur réversible.

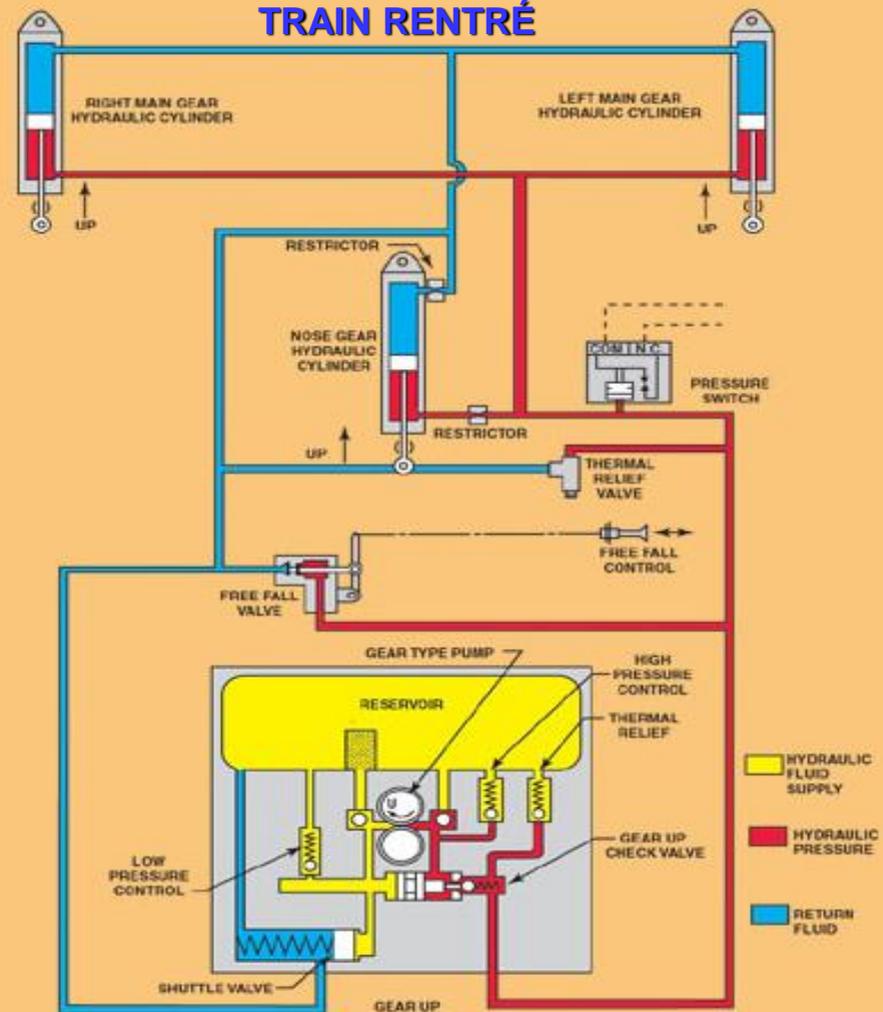
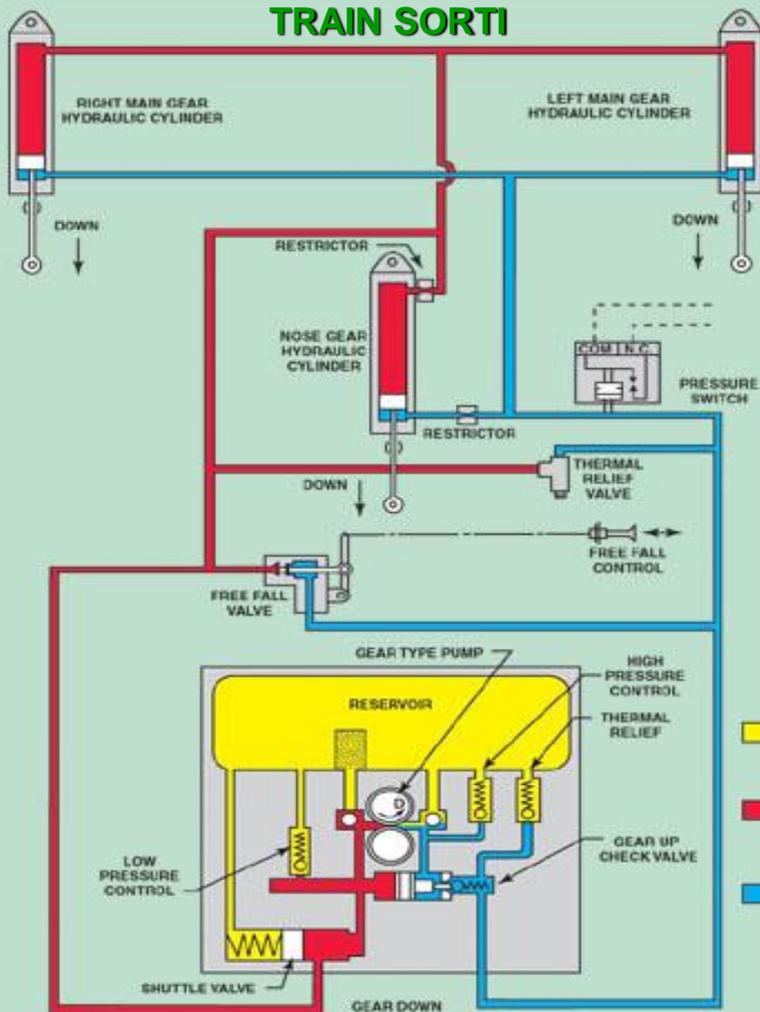
En liaison avec une vis sans fin, ce moteur agit par tringlerie interposée sur la position des atterrisseurs.

Son fonctionnement ne sera interrompu que par le blocage de la butée «Up» ou «Down» du boîtier de commande des atterrisseurs.



LE TRAIN D'ATTERRISSAGE ESCAMOTABLE

SYSTEME ÉLECTRO-HYDRAULIQUE

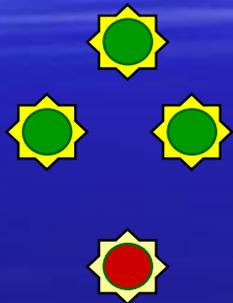


LE TRAIN D'ATTERRISSAGE ESCAMOTABLE

LES SÉCURITÉS ASSOCIÉES

Témoins lumineux de position et de verrouillage

La plupart des avions disposent de 4 voyants de contrôle :



- **3 lampes vertes** pour chaque atterrisseur sorti et verrouillé.
- **1 lampe rouge** lorsque le train est en transit ou lorsque que l'un des atterrisseurs, au moins, n'est pas bien verrouillé.

D'autres, tel le Mooney ne dispose que de trois voyants :



- **1 vert** pour la position train sorti verrouillé.
- **1 ambre** lorsque le train est rentré.
- 1 indicateur central éclairé au plancher afin de vérifier la position mécanique du train.

LE TRAIN D'ATTERRISSAGE ESCAMOTABLE

LES SÉCURITÉS ASSOCIÉES

Klaxon ou autre alarme sonore

- **Alarme au sol** si la manette de commande est sur la position « rentrée ».
- **Alarme en vol** en cas de commande sur Down et position du train rentrée (blocage ou non - sortie du train).
- **Alarme en vol** si la manette de P.A se trouve dans la plage de débattement correspondant à une pression d'admission de l'ordre de 12 à 14 pouces ET si le train n'est pas sorti et verrouillé.



LE TRAIN D'ATERRISSAGE ESCAMOTABLE

LES SÉCURITÉS ASSOCIÉES

SÉCURITÉ SOL

Les avions récents sont équipés d'une sécurité (située en général sur l'atterrisseur principal gauche) interdisant la rétraction du train lorsque l'appareil se trouve au sol.

Par ailleurs, une fausse manœuvre au sol sur le levier de commande vers UP déclenche une alarme sonore.

SÉCURITÉ AU DÉCOLLAGE

Sur certains modèles, une capsule anémométrique interdit le déverrouillage et la translation du train tant qu'une vitesse de sécurité (1,1 VS) n'est pas atteinte.

LE TRAIN D'ATERRISSAGE ESCAMOTABLE

LES PROCÉDURES DE SECOURS

Il existe différents types de système permettant de sortir le train « en manuel ».

Les dispositifs associés à un circuit hydraulique

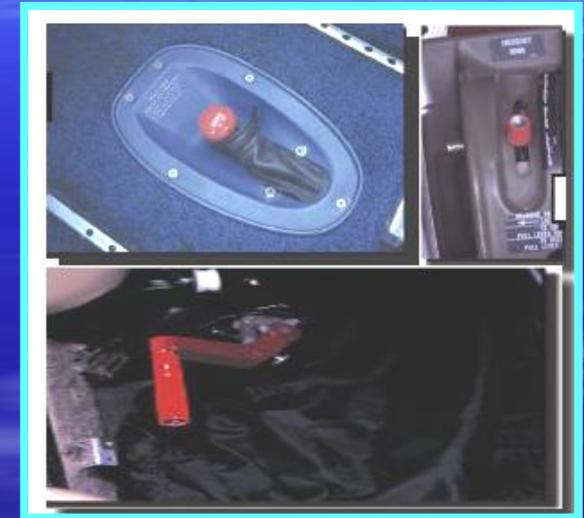
- pompe manuelle,
- cartouche de gaz sous pression,
- dépressurisation du circuit.

Pour les avions équipés d'un circuit électrique

Une manivelle à main, directement connectée au boîtier de commande, vient suppléer la puissance électrique défaillante.

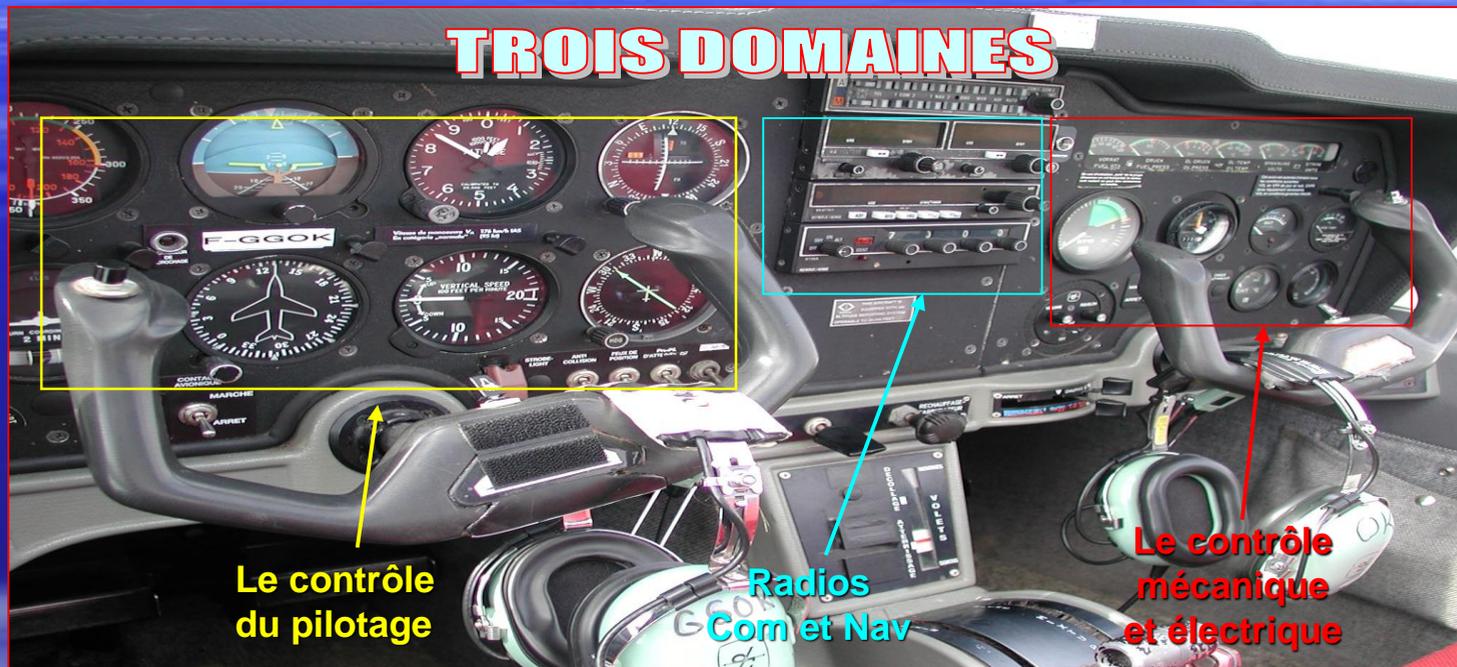
De 20 à 50 tours sont en général nécessaires suivant le type d'avion pour obtenir une sortie complète du train.

Afin d'éviter tout démarrage intempestif du moteur électrique lors de la manœuvre, le disjoncteur correspondant doit être déclenché.



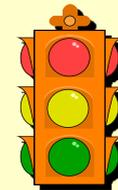
LES TABLEAUX DE BORD

Aides à la décision et autocontrôle de l'action



Prise en compte du facteur humain et de la relation homme-machine :

- organisation similaire sur tous les avions
 - reconnaissance de son domaine
 - réconfort moral et efficacité accrue
 - actions et réactions amplifiées
- emplacement des indicateurs identique
- fonds d'indicateur colorés

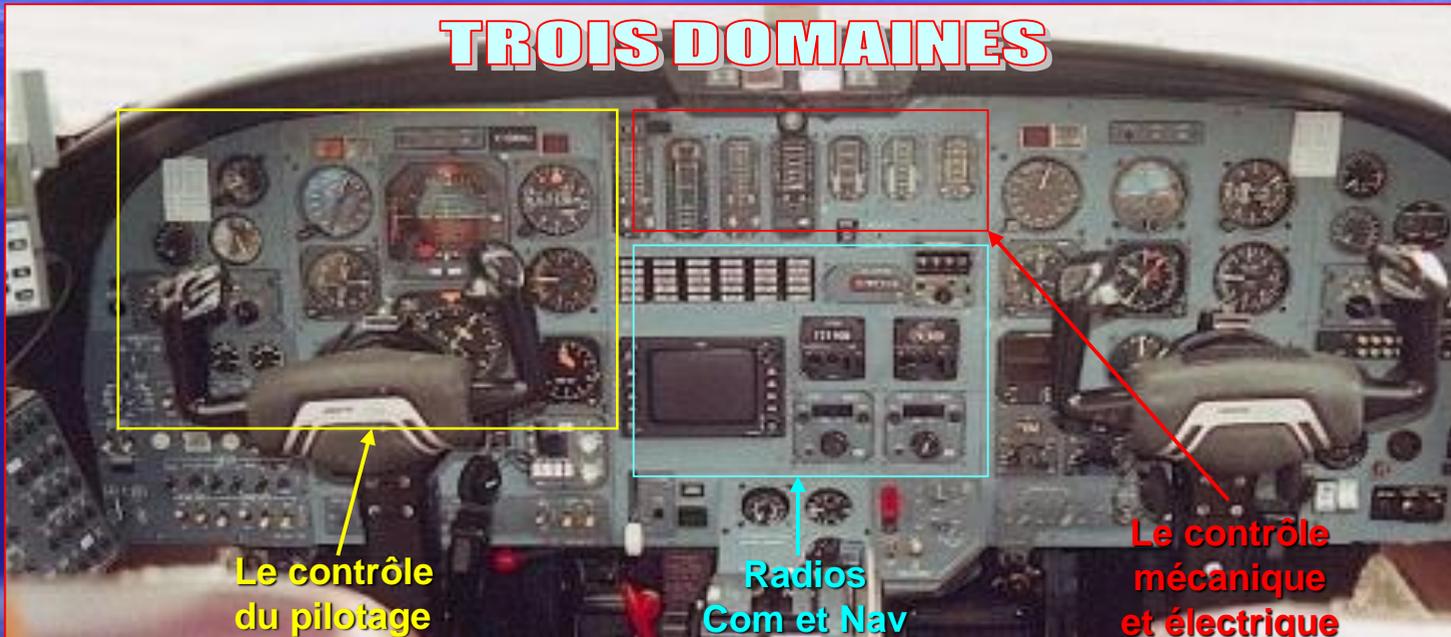


MONOMOTEUR LÉGER

LES TABLEAUX DE BORD

Aides à la décision et autocontrôle de l'action

TROIS DOMAINES



Le contrôle
du pilotage

Radios
Com et Nav

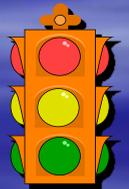
Le contrôle
mécanique
et électrique

Objectifs :

- faciliter l'action
- permettre un autocontrôle rapide
- accroître la réaction
- limiter l'ambiguïté
- déstresser donc favoriser l'efficacité

Les points-clés de son efficacité :

- organisation structurée et banalisée
- fonds d'indicateur colorés
- utilisation séquentielle
- limitation aux informations pertinentes
- possibilité de croisement des informations



LES TABLEAUX DE BORD

De l'équipement de base ...

Anémomètre

Horizon artificiel

Altimètre



Montre
de bord

Coordinateur de virage
et Bille

Conservateur de cap

Variomètre

LES TABLEAUX DE BORD

à la version High Tech ...



LES LIMITATIONS STRUCTURALES

Tous les composants de l'avion ont été calculés en fonction :

- d'un type d'utilisation ;
- de limites structurales ;
- d'impondérables du domaine de vol
 - Vitesses ;
 - Accélérations ;
 - Turbulences...



La bible du pilote sur la connaissance de son avion (Manuel de Vol) indique les limitations et la classification d'emploi de cet appareil.

UN SEUL IMPÉRATIF: NE PAS FLIRTER AVEC LES DÉFORMATIONS PERMANENTES

DEUX CATÉGORIES DE LIMITATION STRUCTURALE

- LES LIMITATIONS AÉRODYNAMIQUES,
- LES LIMITATIONS MÉCANIQUES.

LES LIMITATIONS AÉRODYNAMIQUES

ELLES SONT EN RAPPORT DIRECT AVEC LA VITESSE

Paramètres de pilotage pour limitation des déformations

VNE Vitesse maxi à ne jamais dépasser

Risque de flutter et déformation permanente

VNO Vitesse maxi en air turbulent

Risque de déformation permanente cellule

VFE Vitesse maxi volets tous sortis

Risque de déformation des organes de manœuvre des gouvernes

VLO Vitesse maxi pour sortir le train

Risque de ne pas pouvoir sortir et verrouiller le train

VLE Vitesse maxi train sorti

Risque de déformation des organes de manœuvre de train

Diagramme de vol en manoeuvre et en vol en rafales (conception)

VA Vitesse de calcul en manoeuvre

Risque de décrochage sous facteur de charge défini (+2,5 G à - 1 G)

VB Vitesse de calcul en air turbulent

Risque de décrochage en cas de vol avec rafales de 20,2 m/s (Vitesse - FC)

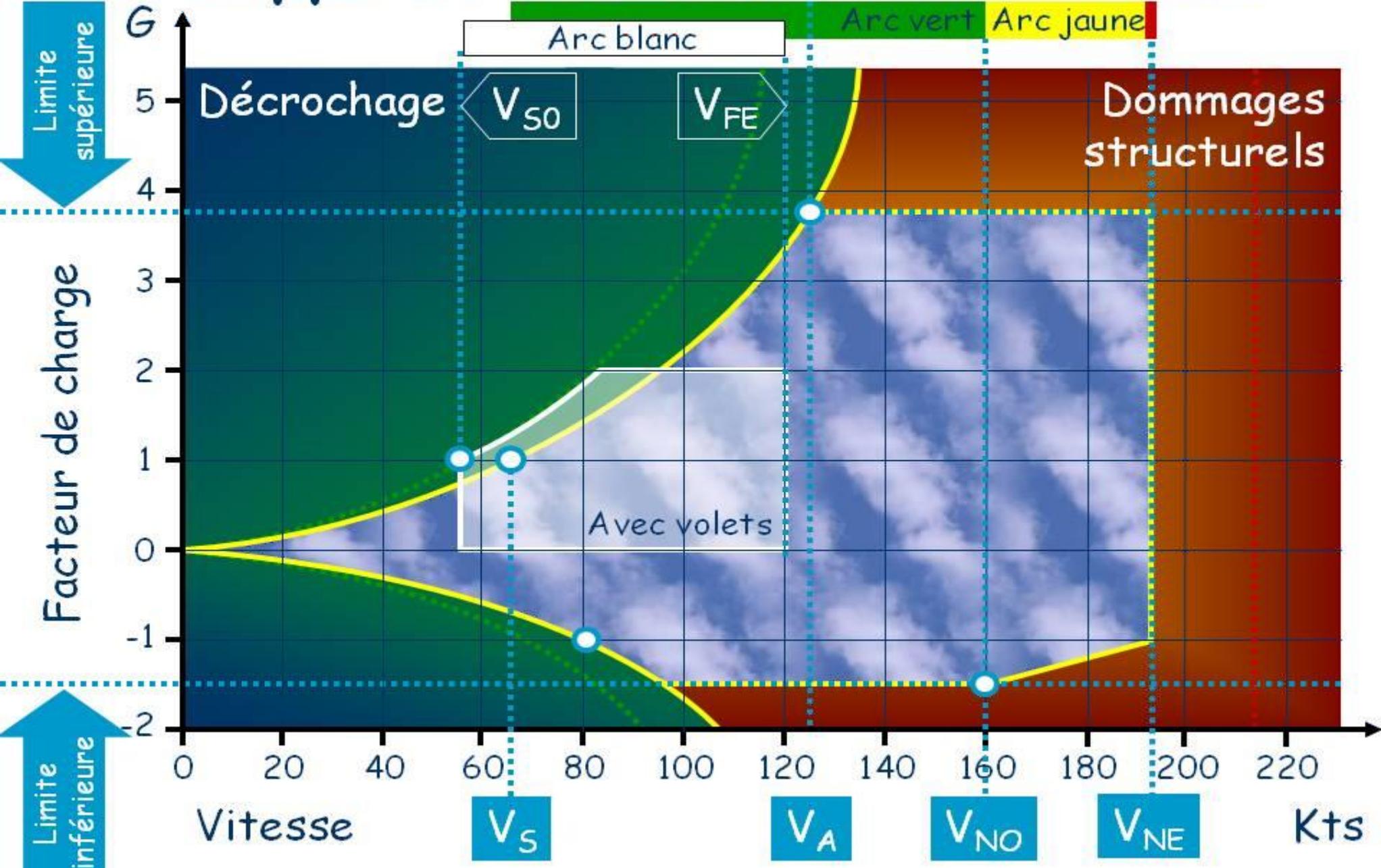
VC Vitesse de calcul en croisière

Risque de déformation permanente sous FC (+2,5 G à - 1 G) au delà de V_c

VD Vitesse de calcul en piqué

Risque de déformation permanente Vitesse maxi et facteur de charge avec rafales turbulentes de 7,6 m/s

L'enveloppe de vol - Catégorie Normale - Avion fictif



LES LIMITATIONS AÉRODYNAMIQUES

ELLES COMPRENNENT LES VITESSES DE SUSTENTATION

Paramètres de pilotage pour sustenter l'avion

VS Vitesse de décrochage avion lisse

Bas de l'arc vert de l'anémomètre

VSO Vitesse de décrochage volets sortis

Bas de l'arc blanc de l'anémomètre



Paramètres de pilotage Décision décollage avion

VR Vitesse de rotation

Vitesse mini pour un monomoteur
avant action de décollage

V1 Vitesse de décision

Vitesse à partir de laquelle sur multimoteur
le pilote décide de continuer le décollage

V2 Vitesse de décollage

Vitesse de sécurité au décollage
sur multimoteur

Vitesse limite de vent de travers

Vitesse du vent plein travers pour
laquelle l'avion reste contrôlable

LES LIMITATIONS MÉCANIQUES

LIMITATIONS D'EFFORT DUES AUX ACCÉLÉRATIONS.

En aucun cas, les limites de déformation permanente des structures de l'avion ne doivent être dépassées. Le Manuel de Vol indique la catégorie d'utilisation dans laquelle l'avion peut être piloté sans problème de résistance des matériaux.

LIMITATION EN FACTEURS DE CHARGE



Catégorie normale (N)

De + 3,8 G à - 1,52 G.



Catégorie utilitaire (U)

De + 4,4 G à - 1,76 G.



Catégorie acrobatique (A)

De + 6 G à - 3 G.

LIMITATION EN MASSES MAXI



Masse maxi au roulage (MRW) Maximum Range Weight
Limitation due à la résistance du train.



Masse maxi à l'atterrissage (MLW) Maximum Landing Weight
Limitation due à la résistance du train.

Précision, la limitation en masse maxi au décollage (MTOW) Maximum Take Off Weight n'est pas une limitation mécanique mais dépend des performances de l'avion.

AUTRES LIMITATIONS : LA MASSE ET LE CENTRAGE

CE SONT DES LIMITATIONS DE RÉSISTANCE DES MATÉRIAUX ET D'ÉQUILIBRE

LA FICHE DE PESÉE

Afin de respecter les normes de résistance des matériaux et des assemblages, le constructeur a défini des masses maxi à ne pas dépasser en fonction de l'utilisation et des séquences de vol (roulage, décollage, réservoirs vides, atterrissage).

Le calcul prend en compte tous les éléments du vol (poids de l'avion à vide, des pilotes, des passagers, de l'essence, des ingrédients divers, des bagages). De plus des limites de chargement sont apportées dans certains espaces.

LE DIAGRAMME DE CENTRAGE

Chaque élément de poids est positionné par rapport à une référence de mesure. Le moment de force de chaque élément peut donc être calculé et permettre de trouver le moment global de l'avion ainsi que la position du centre de gravité.

La position de ce centre de gravité incluse dans le diagramme de centrage de l'avion permet de vérifier instantanément si le vol est réalisable dans les conditions d'équilibrage et de sécurité définies par le constructeur.

AUTRES LIMITATIONS : LA MASSE ET LE CENTRAGE

Le devis de masse prend, entre autres composantes, la masse à vide de l'avion.

Celle-ci figure sur la **FICHE DE PESÉE ET DE CENTRAGE** (située en général dans le Carnet de route) et non dans le Manuel de vol (donnée à titre d'exemple avec un avion standard usine non équipé pour info).

Attention, ce poids à vide mesuré par l'atelier de maintenance inclut quelquefois le poids de l'essence non utilisable et de l'huile dans le carter. La mention figurant sur la fiche spécifie ce cas par **MVE (masse à vide équipée)**.

Dans ce cas, le bras de levier « Avion à vide » inclut bien évidemment les fonds de réservoir (15 litres pour le C172).

Précision de calcul, sur le quadriplace C172, donné pour exemple, le poids à vide indique 651 kg et la feuille de pesée précise « MVE » « donc avec fonds de réservoir et huile ».

Pour le calcul du moment « Essence », n'appliquer le bras de levier correspondant qu'à la différence : Total essence – 15 litres.

Centrage CESSNA F 172 M / F-BUET

Masse maxi : 1043 Kg

Limites centrage Av : 0,98 Ar: 1,20

	Litres	Masse (kg)	Bras de levier	Moment (m x kg)
Avion + Fonds	15,000	651,000	0,960	624,960
CDB		75,000	0,940	70,500
Co Pilote		82,000	0,940	77,080
Passager 1		77,000	1,850	142,450
Passager 2		0,000	1,850	0,000
Bagages Zone 1		10,000	2,410	24,100
Bagages Zone 2		0,000	3,120	0,000
Essence utilisable	116,000	83,520	1,220	101,894
Total	131,000	978,520	1,064	1 040,984

Masse Totale	978,520
Bras de levier	1,064



AUTRES LIMITATIONS : LA MASSE ET LE CENTRAGE

Contrairement à la voiture, les contraintes de poids max obligent le pilote à un choix crucial

131 litres
d'essence
max dont
116 litres
utilisables

LE PLEIN DE PASSAGERS OU LE PLEIN D'ESSENCE

3 personnes
poids std
+
1 personne
de 30 kg

Centrage CESSNA F 172 M / F-BUET

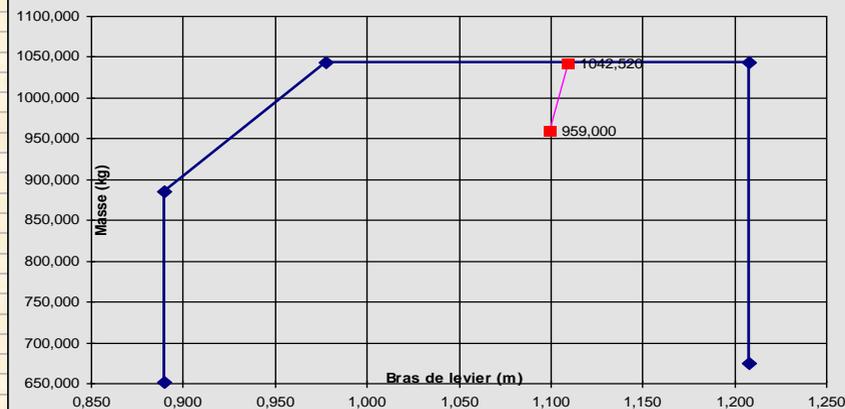
Masse maxi : 1043 Kg

Limites centrage Av : 0,98 Ar: 1,20

	Litres	Masse (kg)	Bras de levier	Moment (m x kg)
Avion + Fonds	15,000	651,000	0,960	624,960
CDB		77,000	0,940	72,380
Co Pilote		77,000	0,940	72,380
Passager 1		77,000	1,850	142,450
Passager 2		77,000	1,850	142,450
Bagages Zone 1		0,000	2,410	0,000
Bagages Zone 2		0,000	3,120	0,000
Essence utilisable	116,000	83,520	1,220	101,894
Total	131,000	1 042,520	1,109	1 156,514

CHOIX :
Quatre personnes à bord

Masse Totale 1 042,520
Bras de levier 1,109



Centrage CESSNA F 172 M / F-J

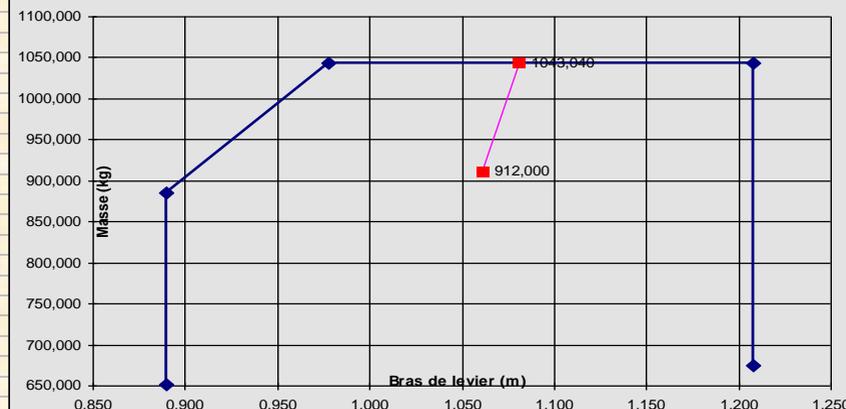
Masse maxi : 1043 Kg

Limites centrage Av : 0,98 Ar: 1,20

	Litres	Masse (kg)	Bras de levier	Moment (m x kg)
Avion + Fonds	15,000	651,000	0,960	624,960
CDB		77,000	0,940	72,380
Co Pilote		77,000	0,940	72,380
Passager 1		77,000	1,850	142,450
Passager 2		30,000	1,850	55,500
Bagages Zone 1		0,000	2,410	0,000
Bagages Zone 2		0,000	3,120	0,000
Essence utilisable	182,000	131,040	1,220	159,869
Total	197,000	1 043,040	1,081	1 127,539

CHOIX :
Plein d'essence

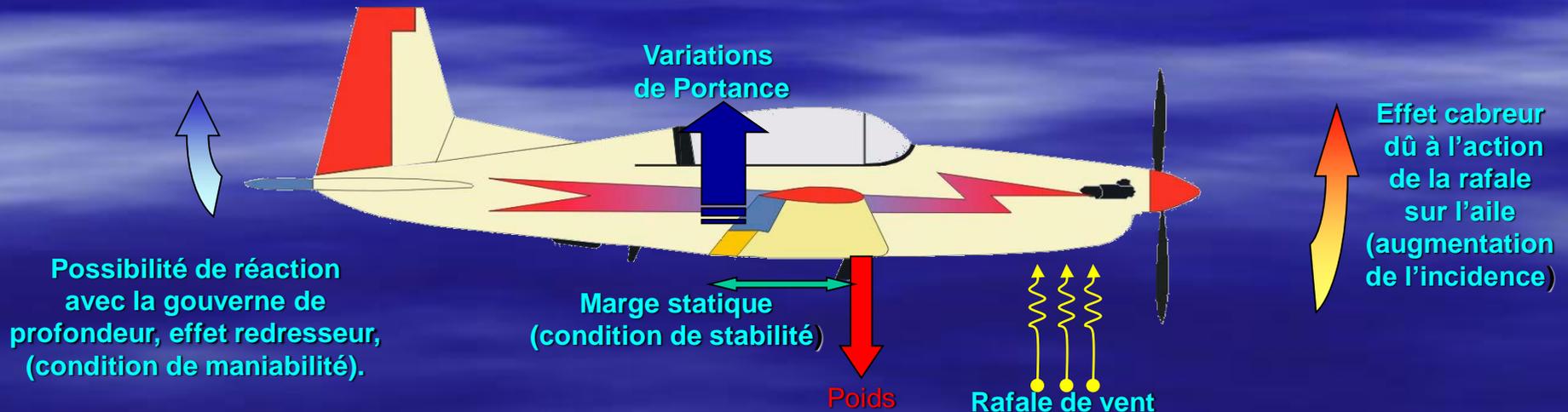
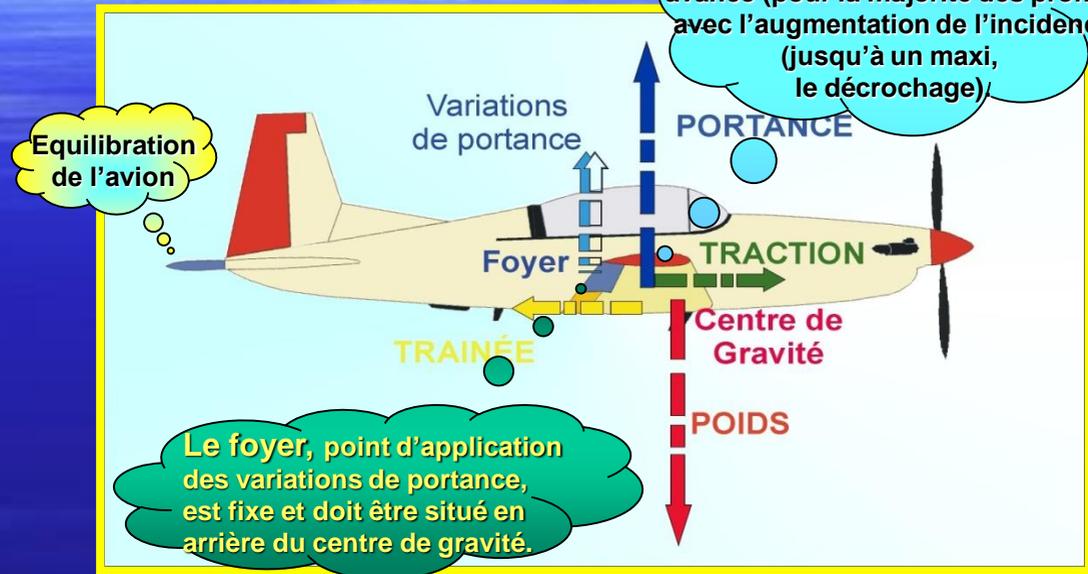
Masse Totale 1 043,040
Bras de levier 1,081



AUTRES LIMITATIONS : LA MASSE ET LE CENTRAGE

LE CENTRAGE CONDITIONNE :

- **La stabilité longitudinale**
Propriété permettant à l'avion sans action du pilote de maintenir (ou de retrouver suite à une perturbation), sa trajectoire initiale.
- **La maniabilité de l'avion**
Propriété définissant la possibilité d'intervention du pilote sur le changement d'assiette de l'avion.



AUTRES LIMITATIONS : LA MASSE ET LE CENTRAGE

CONDITIONS DE STABILITÉ LONGITUDINALE

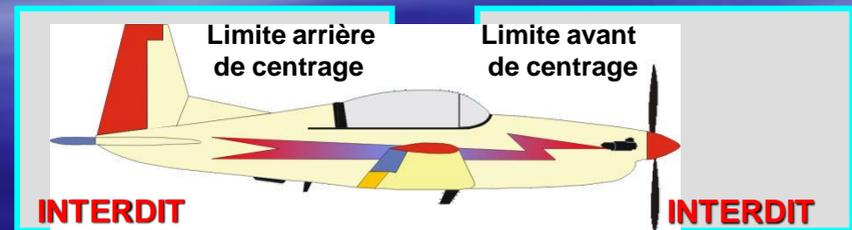
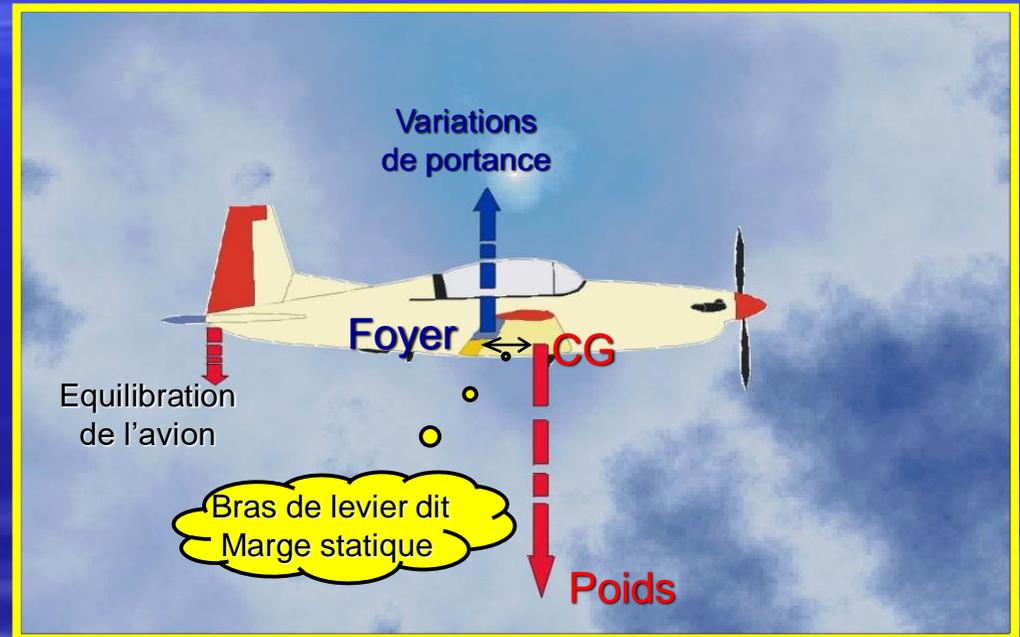
Si CG trop en arrière = petit bras de levier.
L'avion est très instable et difficile à piloter.
La moindre action sur le manche engendre
une variation d'incidence importante.

Si CG trop en avant = grand bras de levier
Les variations d'incidence représentent
un effort trop important ne pouvant être
compensé par la gouverne de profondeur

L'EXPLOITATION DE L'AVION EST SOUMISE A
DEUX LIMITES, AVANT ET ARRIERE,
DE LA POSITION DU CENTRE DE GRAVITÉ.

Cette position peut être définie par rapport
à la cloison pare-feu ou au bord d'attaque de l'aile.

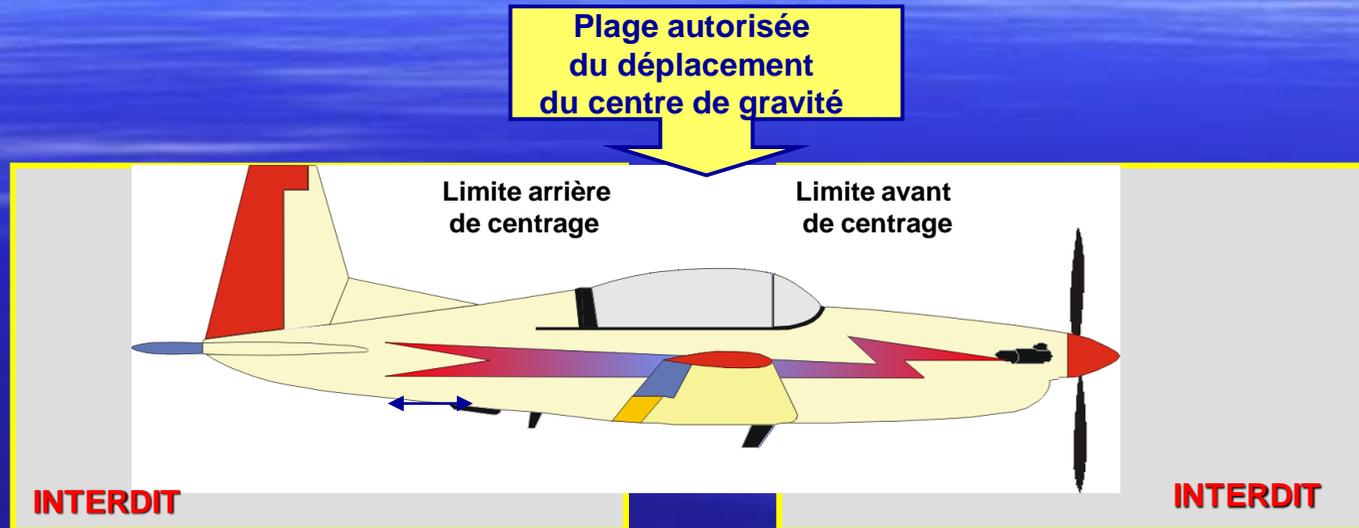
Le calcul et le respect
du centrage de l'avion
sont donc des impératifs
de SÉCURITÉ.



Plage d'utilisation

AUTRES LIMITATIONS : LA MASSE ET LE CENTRAGE

INFLUENCE SUR LE VOL



CENTRAGE ARRIERE

INSTABILITE LONGITUDINALE
MANIABILITÉ ACCRUE
ACTION GOUVERNES FAIBLE
TRAINÉE DIMINUÉE
CONSOMMATION MOINDRE

CENTRAGE AVANT

GRANDE STABILITE LONGITUDINALE
MANIABILITÉ LIMITÉE
ACTION GOUVERNES FORTE
TRAINÉE AUGMENTÉE
CONSOMMATION ACCENTUÉE

LA POSITION DU CENTRAGE INFLUE SUR LES RÉACTIONS ET LES PERFORMANCES DE L'AVION

GALERIE DE PORTAITS

Les Ancêtres



L'Aviation légère



Le Travail aérien



L'Aviation militaire



L'Aviation commerciale





**Merci
de votre attention**

