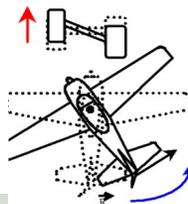
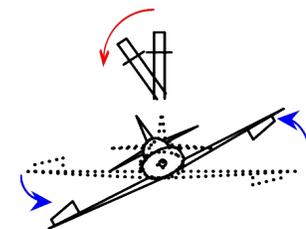
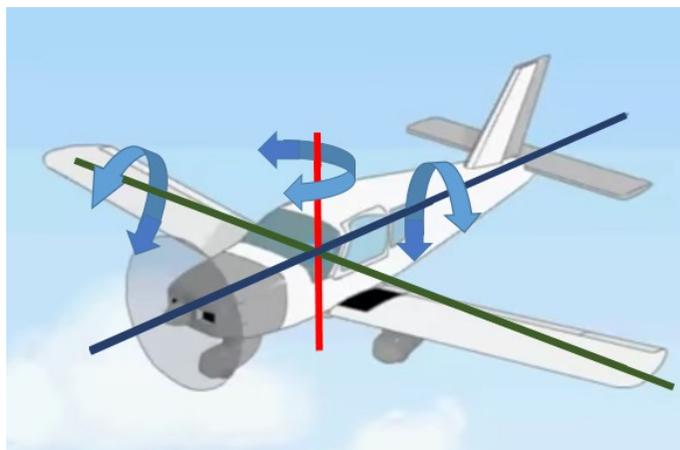
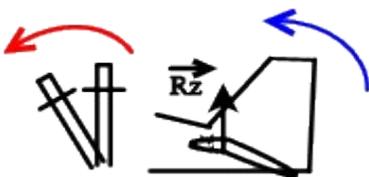




Etude des aéronefs et des engins spatiaux

Commandes de vol avion



3.4 Les commandes de vol

Les commandes de vol primaires

Définitions

Les axes du mouvement

Les commandes de vol primaires

Le contrôle en tangage

Le contrôle en roulis

Le contrôle en lacet

Les effets secondaires des commandes primaires

Différent types d'empennage. Stabilisateur et Dérive

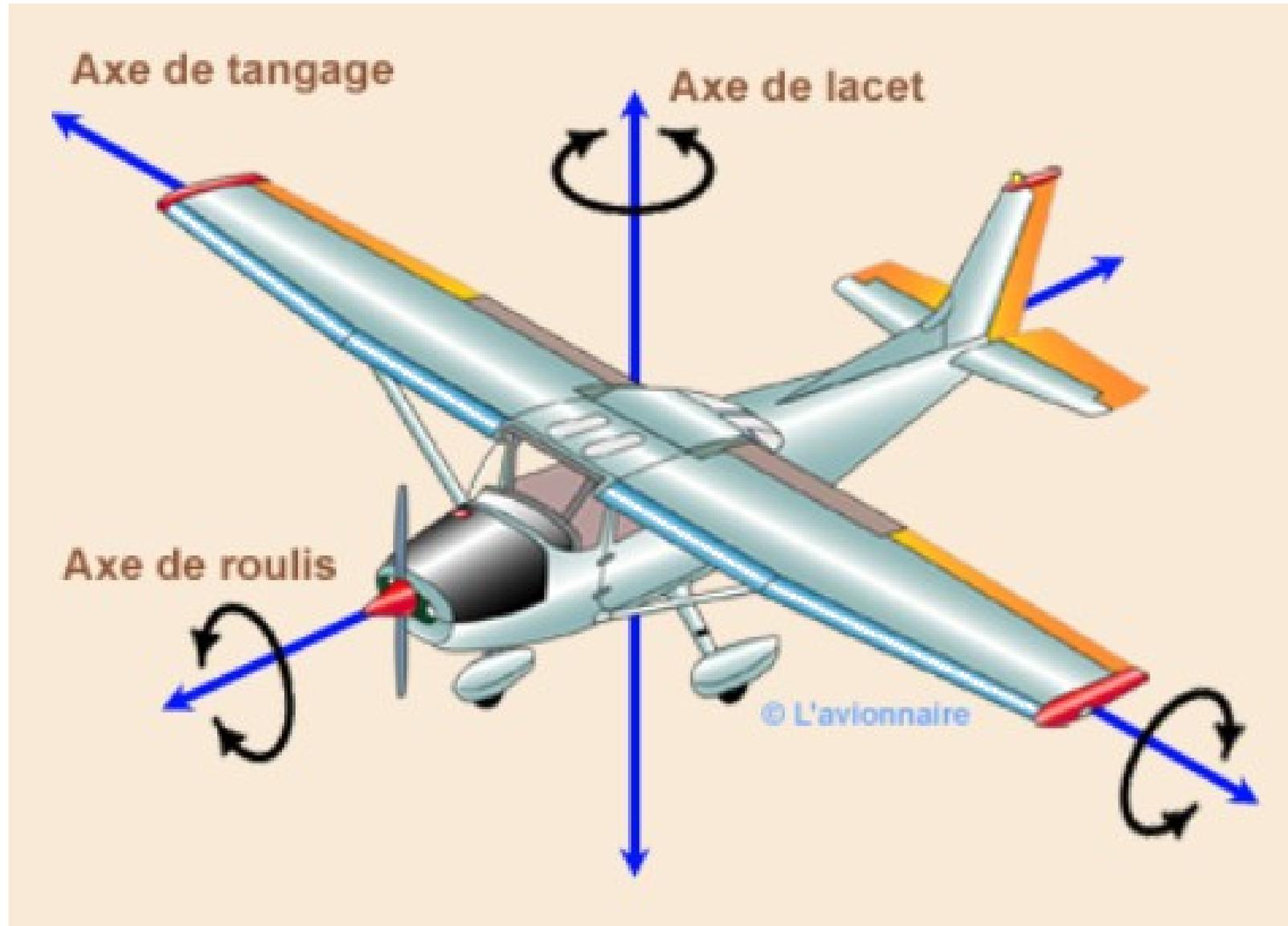
Les surfaces hybrides. En V; Elevons, Flaperons

Les dispositifs de transmission

Quelques définitions

- **Commande de vol:** Les commandes de vol d'un aéronef sont les moyens par lesquels un pilote contrôle la direction et l'assiette d'un aéronef en vol.
 - Commandes de vol **primaires:**
 - Pour contrôler un aéronef pendant le vol et se composent aujourd'hui d'**ailerons**, de **gouvernes de profondeur** (ou, dans certaines cas, de stabilisateurs) et de **gouverne de direction**.
 - Commandes de vol **secondaires:**
 - Améliorent certaines caractéristiques de l'avion ou soulagent les charges excessives sur les commandes: becs de bord d'attaque et des volets, déporteurs de vol et systèmes de compensation.
- L'**empennage**: est un ensemble de plans fixes et mobiles qui assure la stabilité et la gouverne en tangage (profondeur) et en lacet (direction) d'un aéronef.
- **Assiette**: Angle entre l'axe du fuselage et l'horizontale

Les trois axes de rotation d'un avion



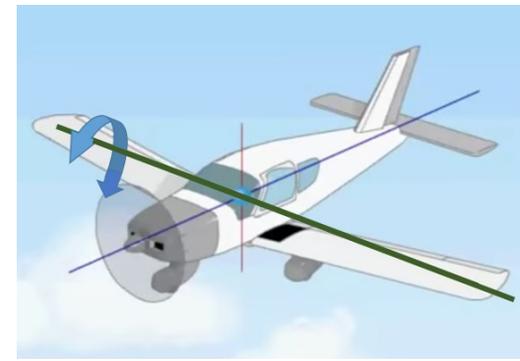
Commandes / Gouvernes de vol Primaires

- **Ailerons:** Axe de Roulis
- **Gouvernes de profondeur** (ou, dans certaines cas, de stabilisateurs): Axe de Tangage
- **Gouverne de direction**
- **Elevons:** gouverne mixte de tangage (volet de profondeur) et de roulis (aileron).
- **Flaperon:** gouverne mixte de roulis (aileron) et d'Hypersustentateur (FLAPS).
- **Aéronefs sans empennage verticale ni horizontale**



Rotation autour de l'axe de Tangage

- Un peu d'histoire:
 - Les premiers constructeurs conçurent des aéronefs dont les surfaces placées à l'avant permettaient de les piloter en tangage et parfois aussi en lacet.
 - Les premiers modèles d'avions qui prirent l'air, tels le Wright Flyer, l'hydravion de Henri Fabre ou le Santos-Dumont 14-bis, et le Curtiss Model D pusher ne possédaient pas encore le type d'empennage arrière pour le contrôle sur l'axe de tangage. Cette configuration c'est imposé plus tard par exemple sur le Blériot 11 pour la traversée de la manche le 25 Juillet 1909.
 - La majorité des avions de nos jours adoptent la configuration de la gouverne de profondeur sur l'empennage horizontal arrière.

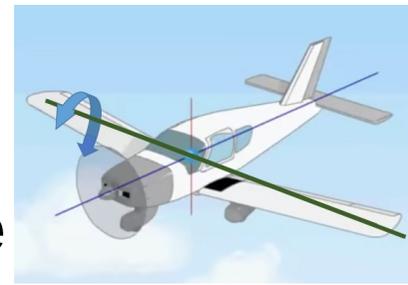


Curtiss Model D

Wright flyer



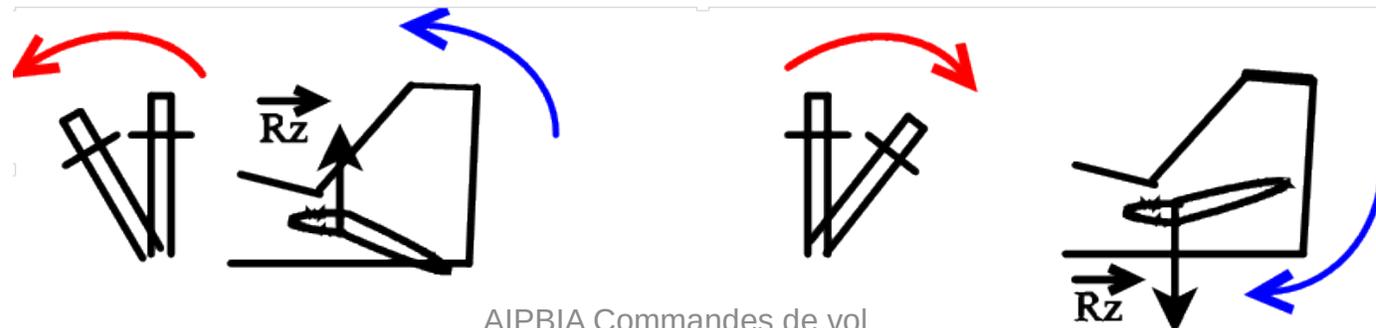
Rotation autour de l'axe de **Tangage**



- La **gouverne de profondeur** contrôle l'avion autour de l'axe de **tangage**. Elle est utilisée pour le contrôle ou la variation d'assiette: Montée, descente ou maintien en vol palier.

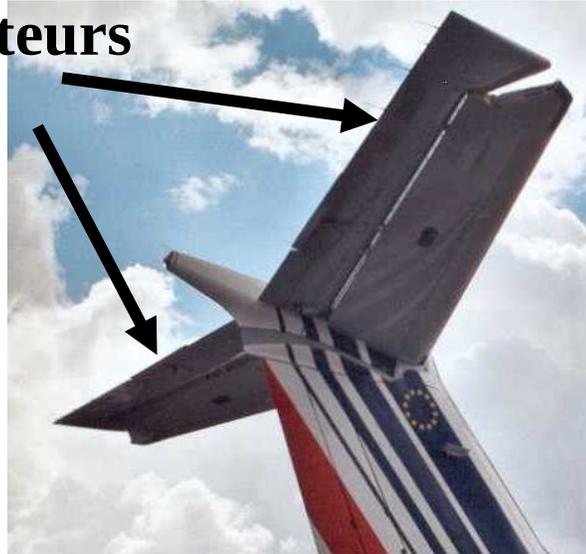
Les gouvernes de profondeur réagissent à un mouvement vers l'avant ou vers l'arrière du manche ou de la commande. Lorsque le pilote déplace la commande vers l'avant, la surface de la gouverne de profondeur est déviée vers le bas. Cela augmente la courbure de l'empennage horizontal, ce qui entraîne une augmentation de sa portance. La portance supplémentaire sur la surface de la queue provoque une rotation autour de l'axe latéral de l'avion et entraîne un changement d'assiette de l'avion à piqué.

L'inverse se produit lors d'un mouvement de la commande en arrière



Le contrôle en **tangage**:

Elévateurs



Empennage monobloc de type canard sur le Rafale.



Pour contrôler le tangage le braquage de élévateurs est toujours symétrique.

Empennage classique



Gouverne de profondeur ou élévateur

Rotation autour de l'axe de **Roulis**

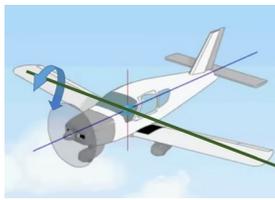


- **Un peu d'histoire:**

- Sur les premiers avions, le roulis était obtenu par le **gauchissement (déformation)** des extrémités de la voilure principale (Wright Flyer, Blériot 11, Santos Dumont 14 Bis, Hanriot), ou bien, était plus ou moins induit par du dérapage en lacet (Farman-Voisin).
- ✓ On attribue à **Robert Esnault Pelterie** deux inventions qui facilitèrent grandement le pilotage d'un avion sur son axe de tangage et de roulis.
 - ✓ Le **manche à balai** en 1906.
 - ✓ Les **Ailerons** en 1908 qui remplacèrent le gauchissement de l'aile.
- ✓ Avant l'invention du manche à balai il fallait une main pour la gouverne de profondeur et une pour le roulis. On pouvait aussi utiliser son corps pour actionner les ailerons comme sur le Curtiss Model D pusher ou le Wright Flyer.



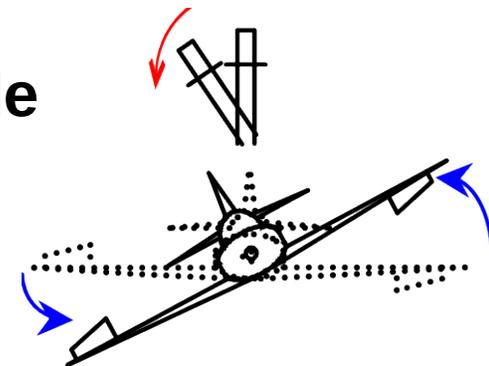
Rotation autour de l'axe de **Roulis**



- Le **gauchissement** de l'aile puis plus tard le mouvement des **ailerons** contrôlent l'avion autour de l'axe de **Roulis**. Ils sont utilisés pour toute changement de cap. Les ailerons sont fixés au bord de fuite extérieur de chaque aile et, lorsqu'ils sont actionnés, ils se **déplacent dans des directions opposées l'un de l'autre**.

Fonction

En déplaçant le volant ou le **manche vers la droite**, l'aileron sur l'aile droite se dévie vers le haut tandis que, l'aileron de l'aile gauche se dévie vers le bas. La flexion vers le haut de l'aileron droit réduit la cambrure de l'aile, ce qui réduit la portance de l'aile droite. Inversement, la flexion vers le bas de l'aileron gauche entraîne une augmentation de la cambrure donc une augmentation de la portance de l'aile gauche. La portance différentielle entre les ailes fait rouler l'avion vers la droite.



Le contrôle en **Roulis**

- Pour les avions rapides et de grande envergure, les **ailerons sont partagés en sections** pour diminuer le stress sur la voilure et la jonction voilure/fuselage.
 - aux extrémités d'ailes pour les basse vitesses (ailerons externes)
 - près du fuselage pour les hautes vitesses (ailerons internes)



A 380 : aileron en 3 sections. L'aileron externe n'est utilisé que jusque 300 kt

Le contrôle en **Roulis**

- Pour les avions rapides et de grande envergure, les **ailerons sont partagés en sections**:
 - aux extrémités d'ailes pour les basse vitesses (ailerons externes)
 - près du fuselage pour les hautes vitesses (ailerons internes)
- l'aileron interne peut parfois aussi jouer le rôle de volet (flap). On parle alors de **flaperon**

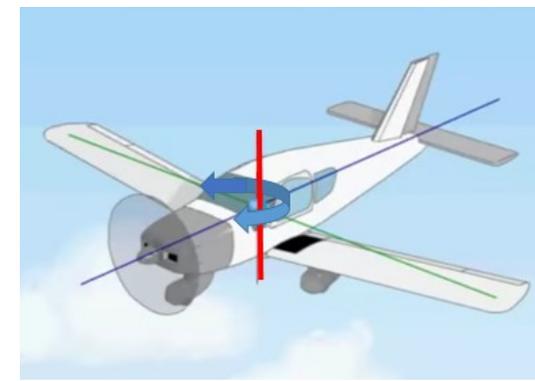


aileron

flaperon

Rotation autour de l'axe de **Lacet**

- La **gouverne de direction** contrôle la rotation autour de l'axe vertical d'un avion, appelé "**lacet**".



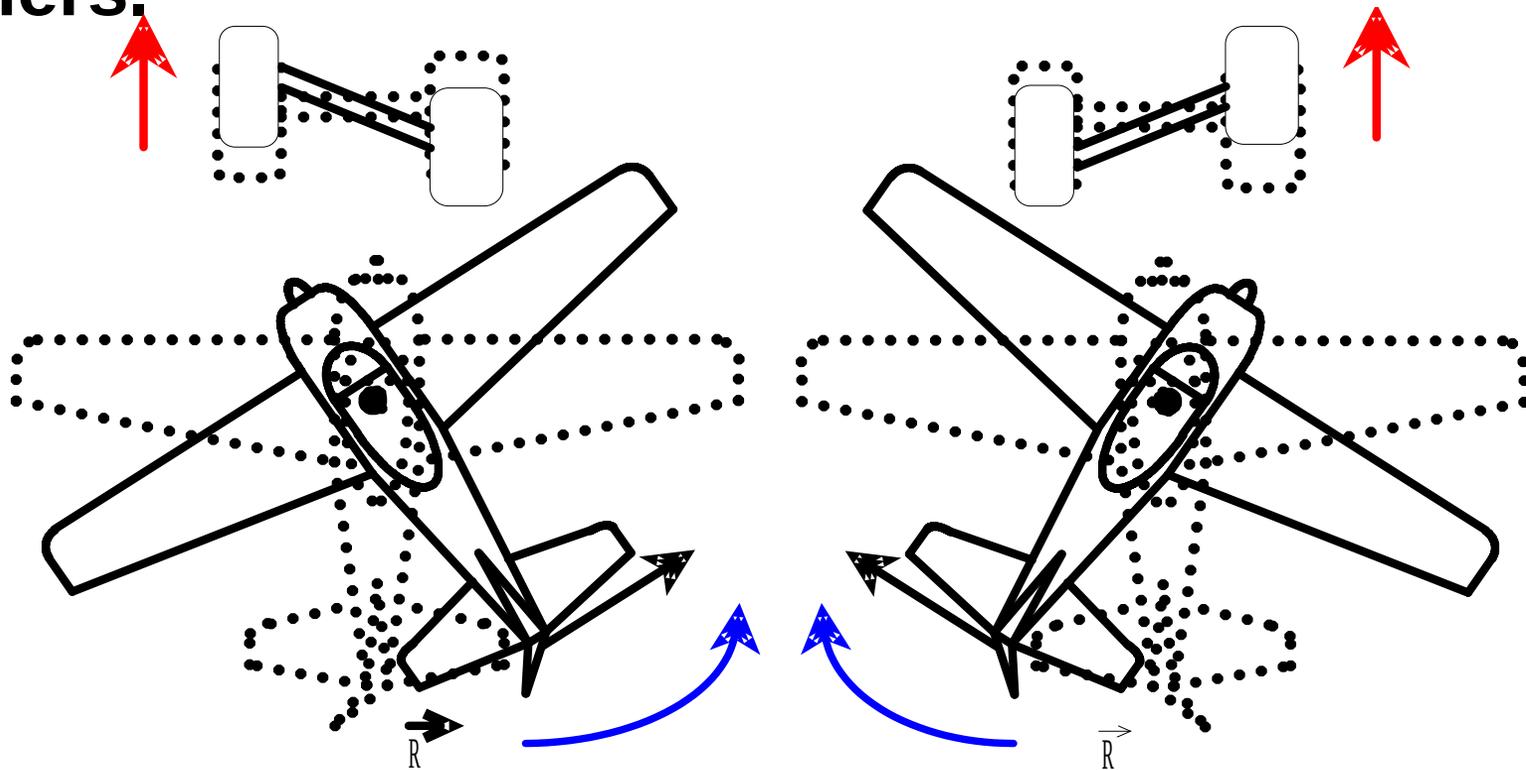
Fonction

- Contrairement à un bateau, le gouvernail **n'est pas utilisé pour diriger l'avion** : il est plutôt utilisé pour surmonter un lacet défavorable induit par un virage ou, dans le cas d'un avion multi moteur, par une panne moteur. Son emploi **favorise la symétrie** du vol tant en ligne droite qu'en virage (complémentarité du roulis).



Rotation autour de l'axe de **Lacet**

- La gouverne de **direction** est une surface mobile qui est montée sur le bord de fuite de la dérive verticale et commande l'axe de **lacet**. Elle est actionnée par les palonniers.



Si on met du **ped** à gauche,
le nez part à gauche.

Si on met du **ped** à droite,
le nez part à droite.

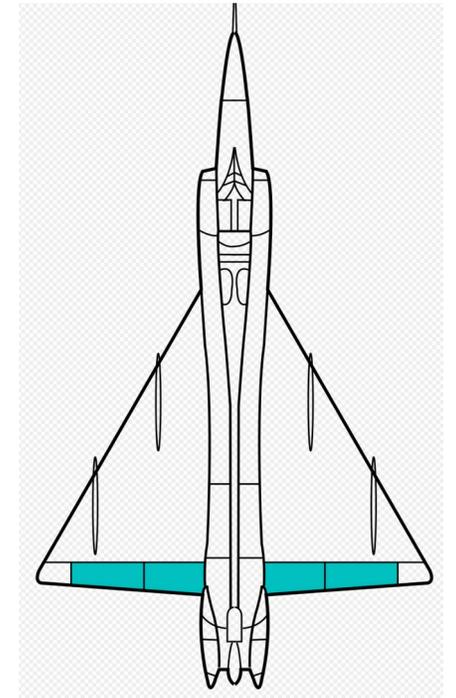
Le contrôle en lacet



Les avions de voltige ont des gouvernes de grande taille pour assurer une bonne manœuvrabilité

Elevons & Flaperon

- Un **élevon** est la gouverne placée sur chaque bord de fuite d'une aile delta ou d'une aile volante et **conjuguant** l'action de gouverne de **tangage** (volet de profondeur) à celle de **roulis** (aileron).
- Le terme est dérivé de l'anglais *elevon*, contraction de *elevator* (gouverne de profondeur) et *aileron*.
- **Flaperon**: gouverne **mixte** de **roulis** (aileron) et d'Hypersustentateur (**FLAPS**).



aileron



flaperon

Avions sans dérive verticale ni horizontale: Aile volante

Ces avions ou drones ne peuvent voler qu'avec l'aide de commande de vol électrique et d'ordinateur. Le pilote donne des instructions et l'ordinateur configure les commandes de vol pour exécuter cette instruction en respectant le domaine de vol de l'aéronefs. Ils sont pourvus d'élevons et flaperons.



Les effets primaires et secondaires des commandes

La profondeur

Effets primaires:

- le nez monte ou descend
- la vitesse diminue ou augmente

Effets secondaires:

- aucun

Si on tire sur le manche, le nez de l'avion monte et la vitesse diminue.

Si on pousse sur le manche, le nez de l'avion descend et la vitesse augmente.

Les effets primaires et secondaires des commandes

Le gauchissement

Effets primaires:

- l'avion s'incline à droite ou à gauche

Si on incline le manche à gauche, l'avion s'incline à gauche

Effets secondaires:

- le nez part en sens inverse de l'inclinaison : **lacet inverse**

Si on incline le manche à gauche, l'avion s'incline à gauche et le nez part à droite.

Les effets primaires et secondaires des commandes

La direction :

Effets primaires:

- le nez de l'avion part à droite ou à gauche

Si on met du pied à gauche, le nez de l'avion part à gauche

Effets secondaires:

- les ailes s'inclinent dans le même sens que le déplacement du nez : **roulis induit**

Si on met du pied à gauche, les ailes s'inclinent à gauche

Des exemples de QCM d'examen sur la partie de cours qui précède

La manoeuvre qui permet d'effectuer une rotation autour de l'axe de tangage est :

- a) le déplacement du manche en avant ou en arrière.
- b) le déplacement latéral du manche.
- c) le déplacement des palonniers à gauche ou à droite.
- d) aucune réponse n'est exacte.

Au cours d'un vol, l'action du pilote sur le palonnier :	
a)	agit sur la gouverne de direction.
b)	agit sur la gouverne de profondeur.
c)	n'agit sur aucun élément car le palonnier n'est utilisable qu'au sol.
d)	agit sur la gouverne de gauchissement.

Un déplacement du manche vers la droite :	
a)	abaisse simultanément les ailerons.
b)	lève l'aileron droit et baisse l'aileron gauche.
c)	relève simultanément les ailerons.
d)	baisse l'aileron droit et lève l'aileron gauche.

La gouverne de profondeur agit sur :

- a) le roulis
- b) le lacet
- c) le roulis et le lacet simultanément
- d) le tangage

Le braquage des ailerons provoque un effet secondaire appelé :

- a) roulis inverse.
- b) lacet inverse.
- c) roulis induit.
- d) lacet induit.

Différent types d'empennage. Stabilisateur et Dérive



Empennage en T. (ATR)



Empennage en T Inversé (Airbus)



**Empennage en Croix
(Falcon Dassault)**

Les surfaces hybrides



Les gouvernes ne sont pas toujours séparées sur les trois axes.

Le contrôle en **tangage** et en **roulis** est assuré par les mêmes gouvernes sur la dérive papillon de ce Fouga Magister.

Les surfaces hybrides

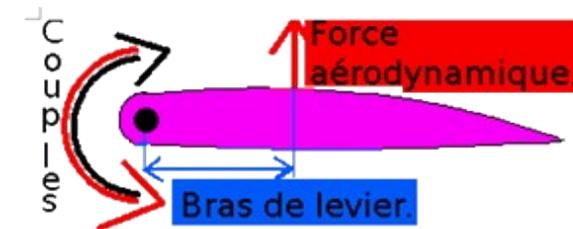


**Cirrus Vision G50 (piste nécessaire : 2500 ft, autonomie : 1200 NM,
z max : 28 000 ft) coût : env. 2 Millions d'US \$ (1.8 M €)**

Les dispositifs de transmission

Force nécessaire pour faire pivoter une gouverne ?

- La force aérodynamique exercée sur une commande de gouverne pour la faire pivoter est directement proportionnelle:
 - à la taille de la gouverne
 - à son braquage
 - au carré de sa vitesse.
- Pour diminuer cette force on joue sur:
 - ✓ Le bras de levier
 - ✓ Les surfaces de compensation
 - ✓ Transmission hydraulique
 - ✓ Transmission électrique



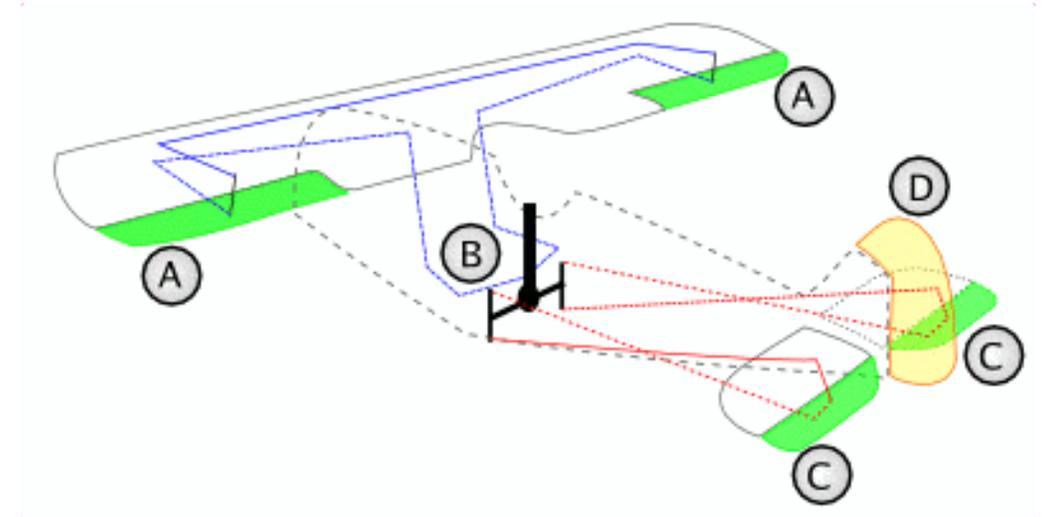
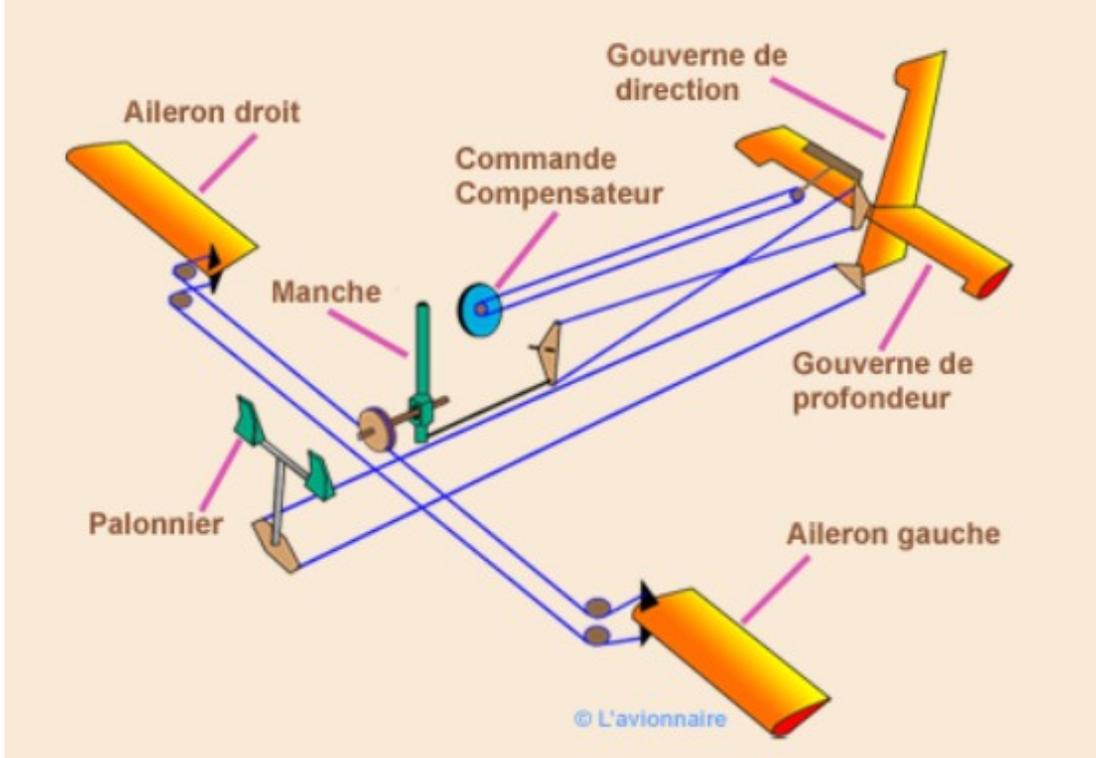
Dispositifs de Transmissions

• Historique:

- Des débuts de l'aviation aux années 40, le principe des commandes de vol est resté le même : **commandes mécaniques à câbles**.
 - Dans ce système, le manche du pilote agit sur des câbles, qui via des poulies et renvois, permettent de contrôler les surfaces de vol sur les trois axes.
- A la fin des années 40, l'apparition des turboréacteurs permet des performances supérieures. On passe de subsonique à supersonique. Les **servocommandes hydrauliques** vont apparaître. Dans ce système, le manche du pilote reste le même, mais la timonerie est connectée à des servocommandes, qui contrôlent directement les gouvernes. Problème : le pilote ne "sent" plus l'avion.
- Dès 1952, les anglais (bombardier Avro "Vulcan") et canadiens (sur le CF-105 "Arrow") testent des vérins **électrohydrauliques**.
- En France, le concept de **commandes de vol électrique (CDVE)** apparaît dès 1955. Mis en œuvre sur le Mirage 2000 en 1978. Avec les CDVE, le manche devient un simple potentiomètre, et plus rien ne justifie le grand volant de direction d'où l'apparition de mini manche.
- Au début des années 70, c'est la révolution **Numérique**, avec l'avènement du circuit-intégré. La NASA est la première à tester un appareil équipé de commandes de vol numériques. (F8 Crusader modifié).
- Sur le Mirage 2000D en 1991, le but n'est plus de disposer d'une assistance au pilotage, mais bien de supprimer la timonerie des commandes de vol "classiques" qui est encombrante et demande de la main d'œuvre pour l'entretenir. On estime que sur l'A320, **le passage aux CDVE a fait gagner 300kg** de câbles, poulies et renvois en tout genre. Mais en plus, on peut exécuter les ordres des pilotes de manière instantanée, tout en tenant compte d'un grand nombre de paramètres extérieurs (altitude, vitesse, dérive due au vent etc...).

Dispositifs de Transmission

- Transmission directe par **Câbles métallique ou par bielle**:
 - Première technique utilisée, Facile et peu cher à construire.
 - Si vitesse faible = efforts aux commandes raisonnables.
 - Majorité des avions de tourisme et avions anciens

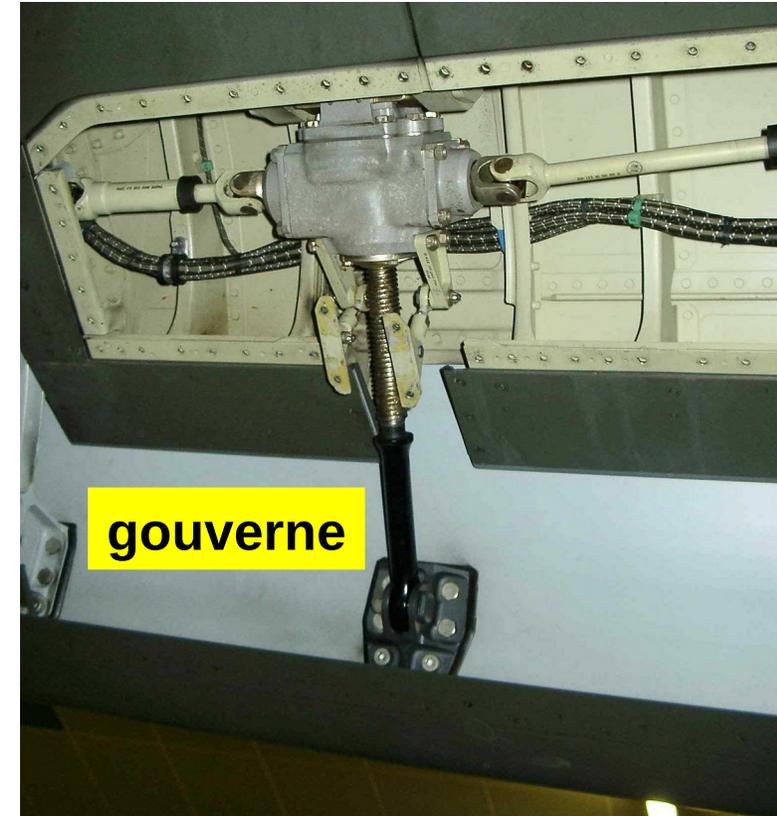


Dispositifs de Transmission

Pour les avions lourds et/ou rapides

- **Hydraulique**: le manche du pilote reste le même, mais la timonerie de commande est connectée aux tiroirs d'admission des servocommandes, qui contrôlent directement les gouvernes.
 - Permet des vitesses supérieures car la force manuelle nécessaire pour bouger les commandes (proportionnelle au carré de la vitesse) est diminuée par l'assistance fournie par les vérins hydrauliques. Similaire à la direction assistée de voiture.
 - Construction plus lourde et complexe que les câbles.

servocommande



gouverne

Les dispositifs de transmission

Pour rendre les aéronefs:

- plus manœuvrant (avions de combat)
- plus économes en carburant (avions de ligne)

il faut **diminuer la stabilité**

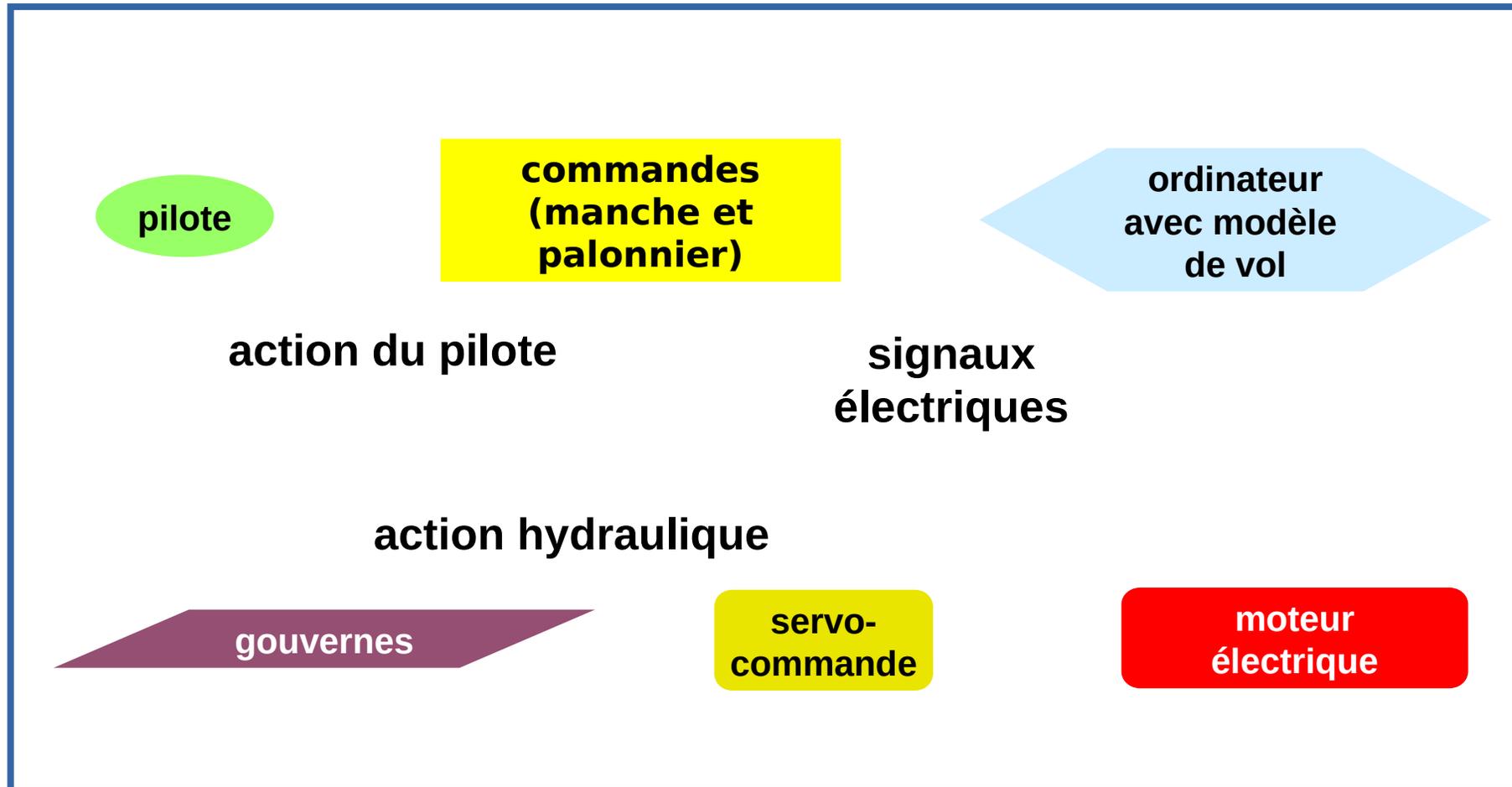
le pilotage devient délicat, voir impossible

Il faut assister le pilote à l'aide d'un ordinateur.

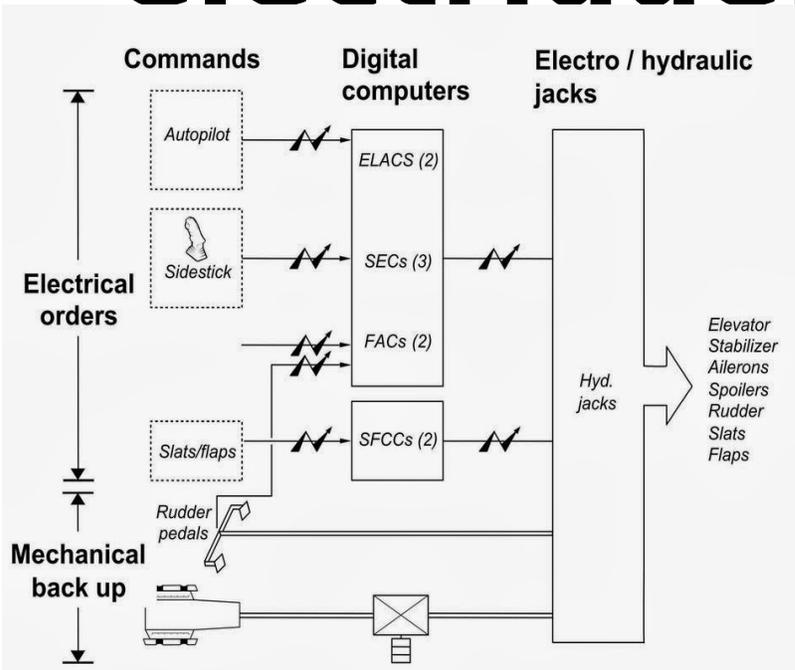
▶ **commandes de vol électriques (CDVE) ou *fly by wire (FBW)*.**

Les dispositifs de transmission

Principe d'une chaîne de commandes de vol électriques



CDVE. Commande de vol électrique. Fly by wire



- **Les lois de commandes de vol programmées sont adaptatives** : elles réagissent différemment suivant que l'appareil est en phase de décollage, de croisière ou d'atterrissage.

- L'appareil possède **trois « lois »**:

1. **La loi normale**, quand tout va bien. Elle possède toutes les caractéristiques de protection d'enveloppe de vol sur les trois axes, et limitation du facteur de charge pour ne pas abîmer l'appareil en cas de manœuvre sévère.

2. **La loi « alternate »** Si un ou plusieurs équipements tombent en panne, on passe alors en loi "alternate". Dans ce mode, on perd les protections d'enveloppe de vol, mais on garde les protections en décrochage et facteur de charge.

3. **La loi « directe »** En cas de gros pépin (panne de plusieurs calculateurs, par exemple), on passe en loi "directe". Dans ce cas, on perd toutes les protections d'enveloppe de vol, et on obtient un déplacement des commandes proportionnel au mouvement du side stick. .

Les dispositifs de transmission

Les commandes de vol électriques apportent les avantages suivants:

- **rendre pilotables des avions instables**
- **optimiser les actions aux commandes du pilote**
- **supprimer la gestion des effets secondaires**
- **interdire les sorties du domaine de vol**
- **diminuer la consommation en croisière**
- **Les CDVE et les FBW ont aussi permis un allègement considérable de la charge de travail des pilotes**
- **Diminution du poids et maintenance des commandes**

Elles sont utilisées pour les avions de combat modernes, les avions de ligne et sur les jets d'affaire récents.

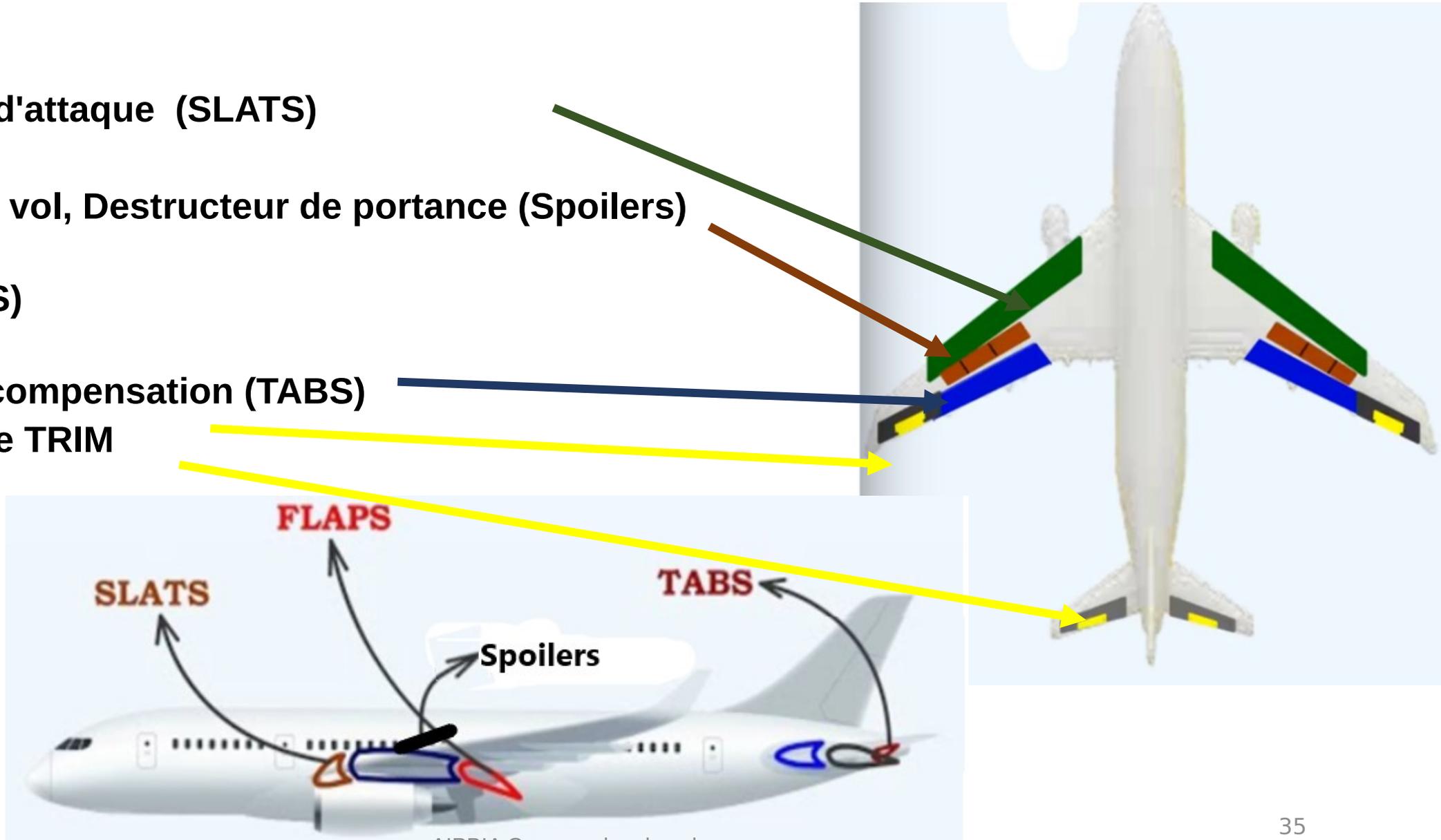
Les commandes de vol Secondaires

Améliorent certaines caractéristiques de l'avion ou soulagent les charges excessives sur les commandes et la structure.

- **Systèmes Hyper sustentateur**
 - **Becs de bord d'attaque (SLATS)**
 - **Volets (FLAPS)**
 - **Volet de bord d'attaque (LE FLAPS = leading edge FLAPS)**
 - **Volet de bord de fuite (TE FLAPS = trailing edge FLAPS)**
- **Systèmes Hypo sustentateur**
 - **Déporteur ou Destructeur de portance. En Anglais Spoiler**
- **Systèmes de compensation. (TABS)**
 - **Dynamique. TRIM**
 - **Statique.**
- **Systèmes de contrôle de vitesse**
 - **Aérofrein**
 - **Inverseur de poussée**

Commandes de vol Secondaires:

- Becs de bord d'attaque (SLATS)
- Déporteurs de vol, Destructeur de portance (Spoilers)
- Volets (FLAPS)
- Systèmes de compensation (TABS)
 - Dynamique TRIM
 - Statique



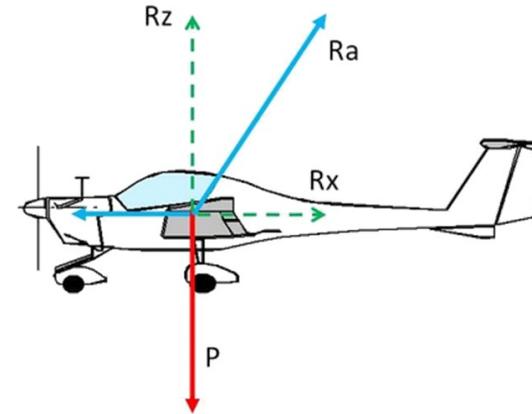
Systeme Hypersustentateur

Hyper = Beaucoup; Plus Sustenter = porter **Hypersustentateurs = augmentant la portance**

L'équation de sustentation nous montre que pour une masse donnée, si l'on veut diminuer la vitesse de vol il faut augmenter la surface alaire S et/ou augmenter le coefficient de portance de l'aile Cz en changeant son profile. C'est ce que l'on va faire avec les dispositifs hypersustentateurs.

Equation de Sustentation

$$P = Rz = \frac{1}{2} \rho S V^2 Cz$$



Différence entre SLATS et FLPAS

SLATS avance le bord d'attaque de l'aile. Augmente la surface alaire
FLPAS augmente la courbature de l'aile et sa surface.

Bec de bord d'attaque (en anglais : *slats*)

- Les **becs constituent le bord d'attaque de l'aile** quand ils sont rentrés. Lors de leur sortie, ils déplacent le bord d'attaque vers l'avant et vers le bas, augmentant ainsi la surface (S) et la courbure de l'aile (C_z) et retardent le décollement des filets d'air sur l'extrados. Ils autorisent de plus fortes incidences que les volets de bord de fuite.



Becs
A319

Rétractés

20/11/2020



Déployés



Types de Bec de bord d'attaque

Bec à fente fixe Ce sont des surfaces fixes écartés du bord d'attaque. Mis au point par Henri Coandă en 1910. On les trouvent souvent sur les ULM ou avion lent d'observation.

- + : Permet des atterrissages courts
- + : Permet un vol lent
- : Augmente la traînée

Becs à fente automatiques. Sortent vers l'avant automatiquement grâce à la dépression locale à incidence élevée. Par exemple sur Morane-Saulnier Rallye des années 1960.

- + : Sécurité car automatique

Bec à fente commandé ou *Slat*. De même principe que le précédent mais commandé par le pilote, il est très utilisé sur les avions de ligne.

- + : Permet un pilotage plus fin
- : A ne pas déployer au dessus d'une certaine vitesse



Les volets de bord de fuite. (TE FLAPS = trailing edge FLAPS)

Les volets de bord de fuite **augmentent** la **portance** en modifiant la cambrure de l'aile et parfois aussi sa surface.

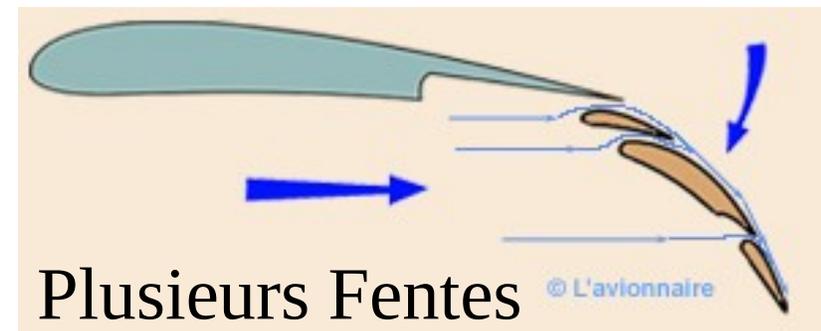
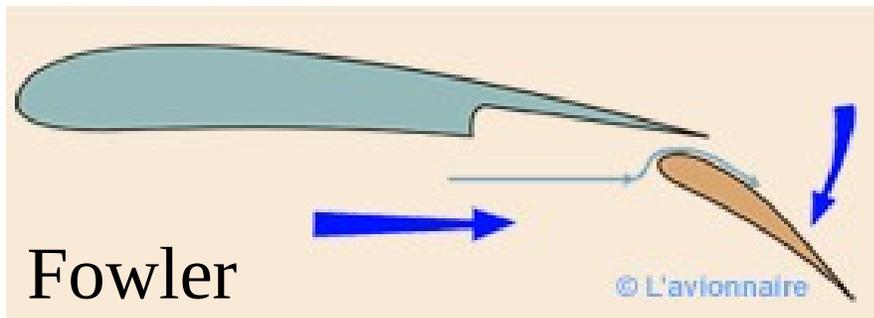
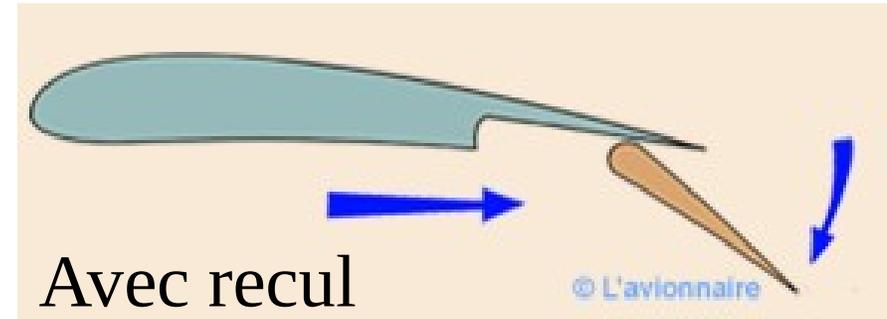
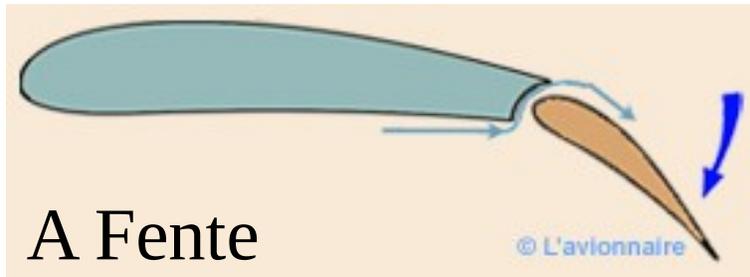
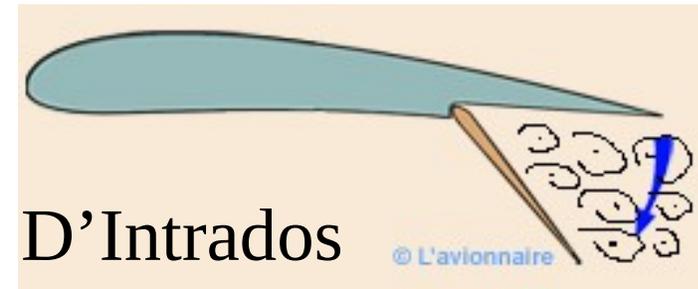
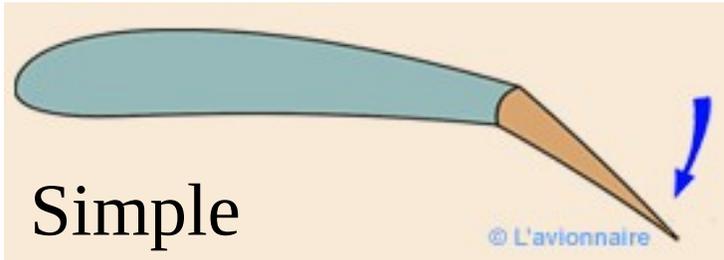


Les effets des volets de bord de fuite:

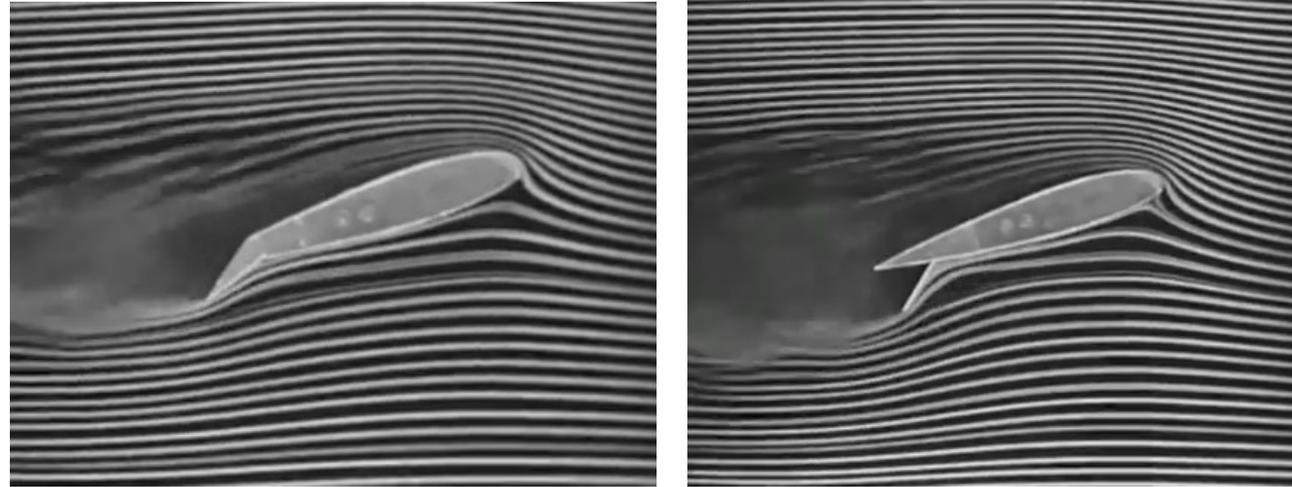
- *augmentation plus ou moins importante de la portance (en fonction du braquage utilisé)*
- *augmentation importante de la traînée*
- *augmentation de la sensibilité au vent*

Réduction de la vitesse de décrochage

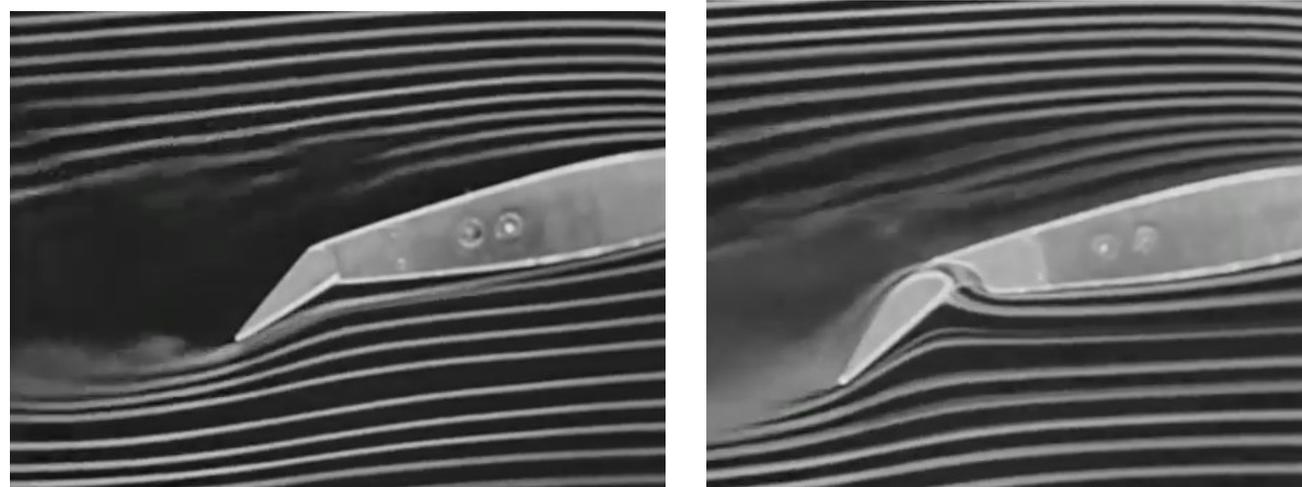
Les volets de bord de fuite



Simple vs Intrados



Simple vs à fente



Les volets de bord de fuite

Utilisation normale des volets:

Décollage

effets recherchés:

- diminuer la vitesse de décollage
- garder une bonne accélération

solution: ***Braquage limité des volets (1^{er} cran)***

Atterrissage

effet recherché:

- diminution de la vitesse d'approche

solution: ***Braquage maximum des volets selon le vent.***

Les volets de bord de fuite

Simple



DR400

Double fente

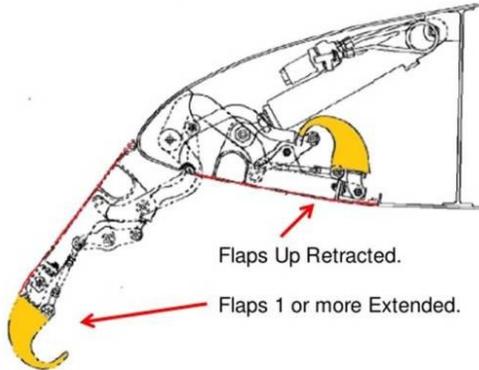


Fowler



**Volet de bord d'attaque
(LE FLAPS =Leading Edge FLAPS)**

LEADING EDGE FLAPS

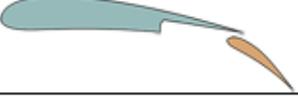


Ils sont du type Kruger. Ils viennent se positionner à l'avant du bord d'attaque de l'aile en augmentant la surface vers l'avant, et la courbure de l'aile en créant un nouveau bord d'attaque plus bas. Positionné près du fuselage.



Leading edge Kruger flaps Extended Any time T.E. Flaps are not up.

Dispositifs hypersustentateurs: Impact

Désignation	Forme de l'aile	Angle de braquage	Augmentation de portance en %
Profil de base			
Volet de courbure		45°	51%
Volet intrados sans recul		50°	67%
Volet à fente		45°	53%
Volet Fowler		40°	88%
Bec automatique			26%
Bec et Volet Fowler		40°	100%

Systeme Hypo-sustentateurs

Déporteurs, Destructeur de portance ou Spoilers.

Hypo = moins Sustentateurs = porter

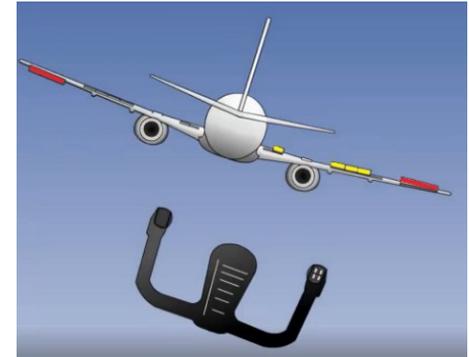
En vol:

Assistance en virage avec les ailerons (élimine lacet inverse) ou peut servir d'aileron haute vitesse. Sortie dissymétrique

Diminution de la portance, augmentation de la traînée pour réduire la vitesse et augmenter le taux de descente. Extension limitée, symétrique de **certains** spoilers.

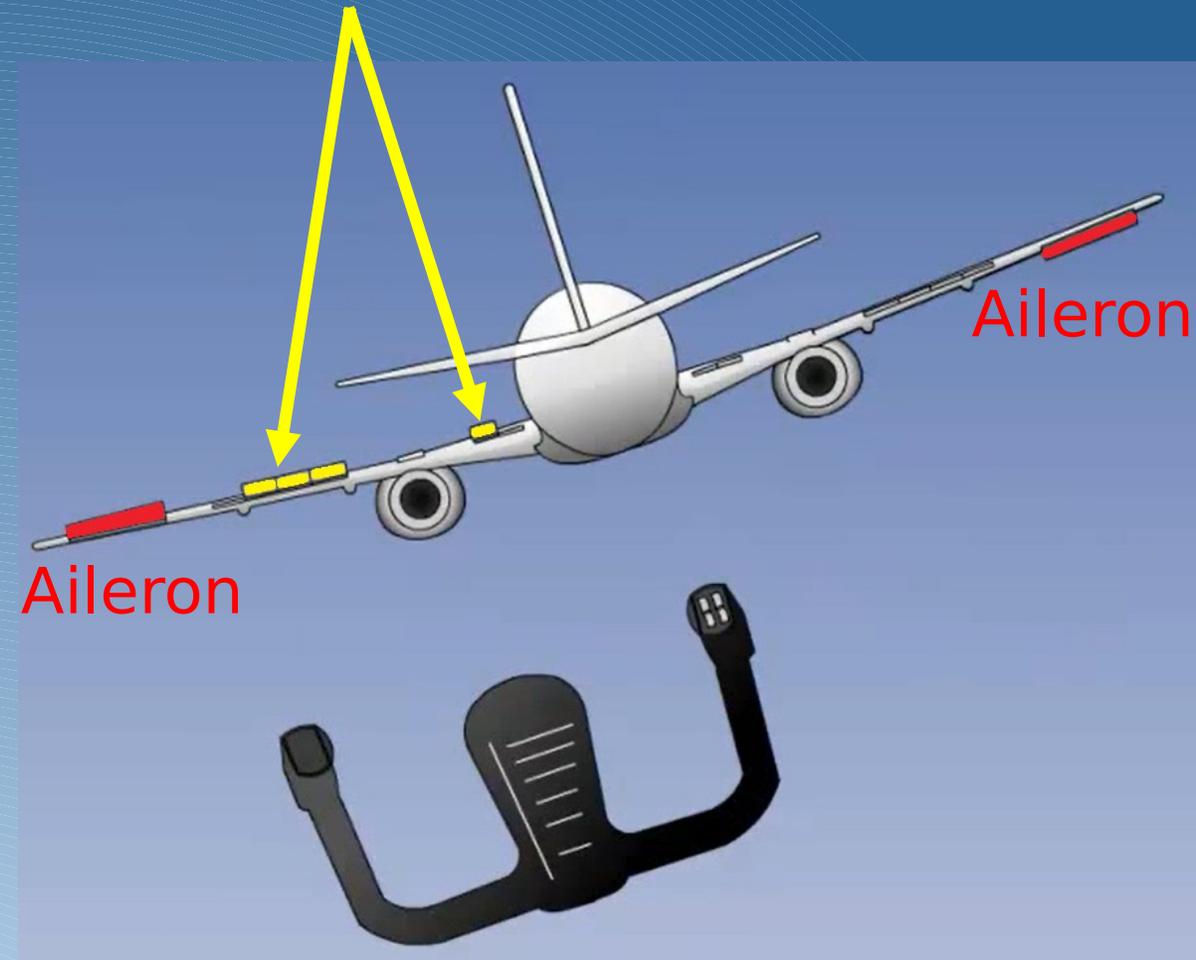
Au sol à l'atterrissage:

Destruction de la portance pour plaquer l'avion au sol et augmenter l'efficacité du freinage. Extension totale et symétrique **de tous** les spoilers.

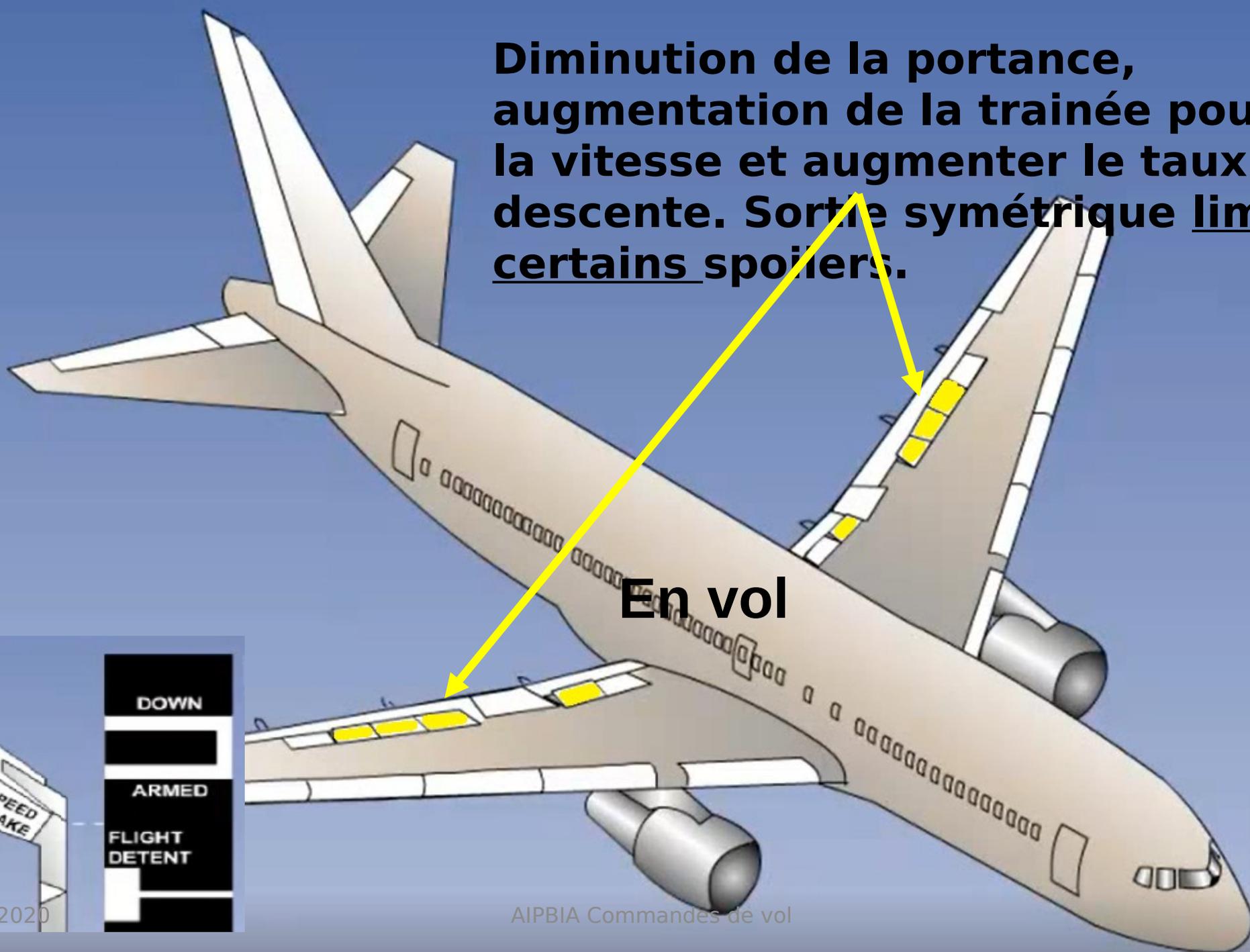


Vol en palier. Spoilers rentrés

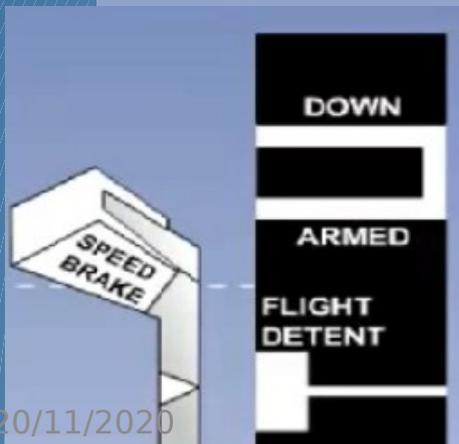
**Assistance en virage.
Sortie dissymétrique des spoilers**



Diminution de la portance, augmentation de la traînée pour réduire la vitesse et augmenter le taux de descente. Sortie symétrique limitée de certains spoilers.

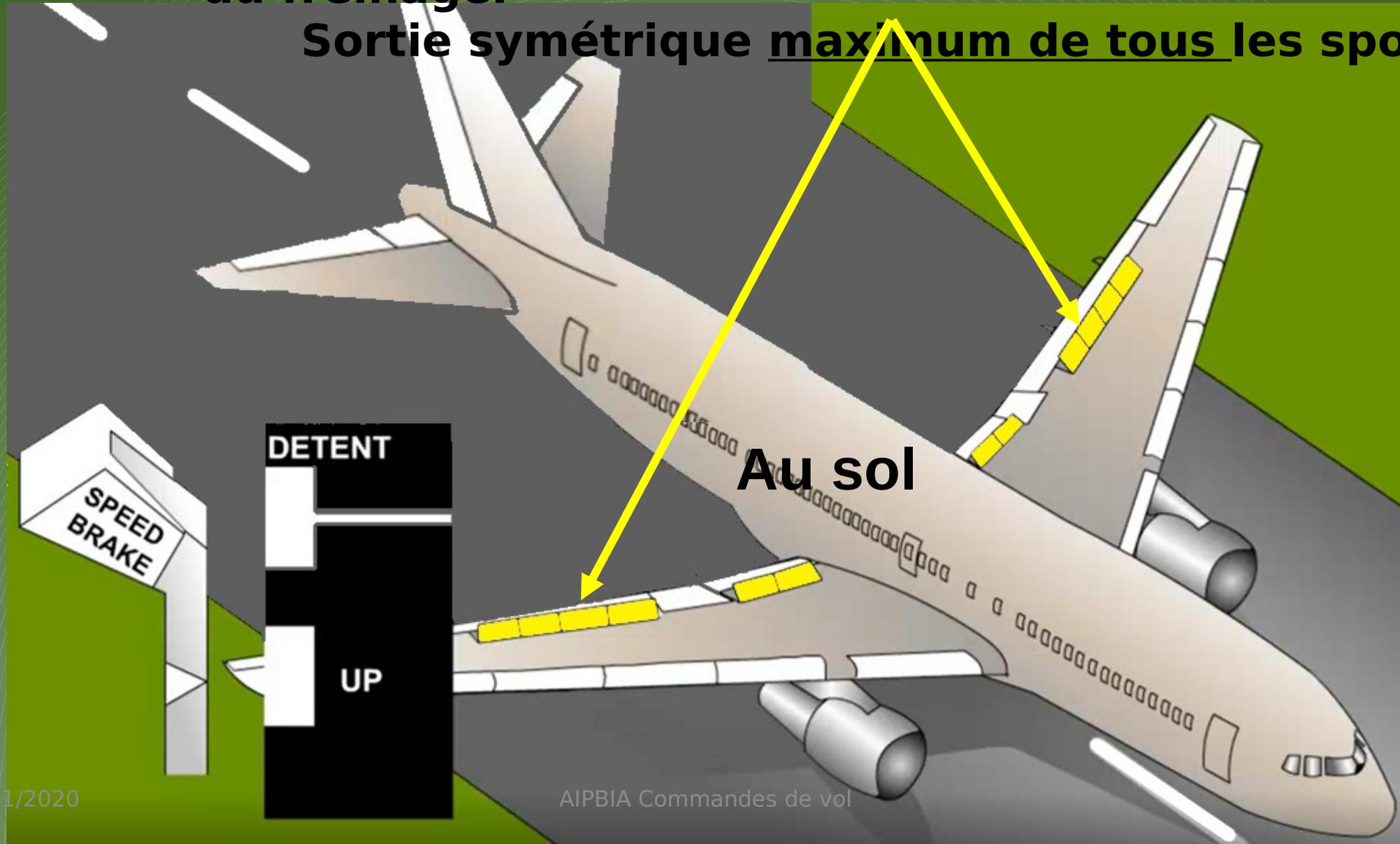


En vol



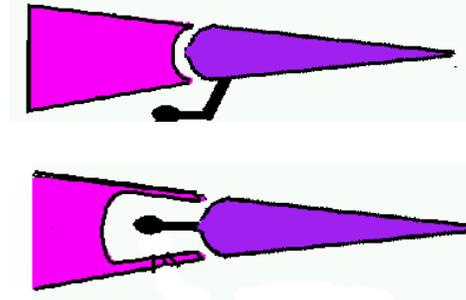
Au sol à l'atterrissage. Destruction de la portance pour plaquer l'avion au sol et augmenter l'efficacité du freinage.

Sortie symétrique maximum de tous les spoilers.

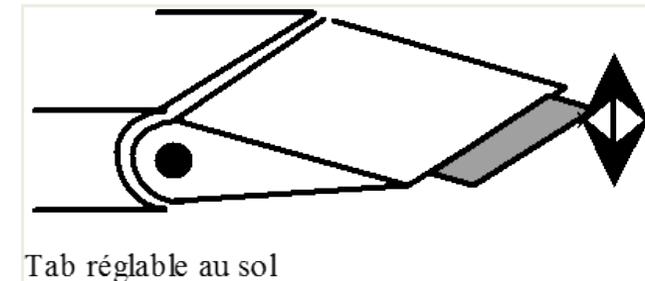


La compensation statique et dynamique des gouvernes

- **Masselottes pour équilibrer les gouvernes (éviter les oscillations)**

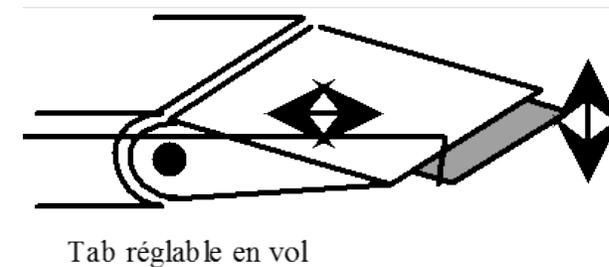


- **Tab** ou gouvernes déportées = **compensateurs d'évolutions**.
Soulage les efforts pour maintenir une position donnée. Réglé au sol.



Tab réglable au sol

- **Trims** = **compensateurs de régime**.
Annule les efforts pour maintenir une attitude donnée. Utilisé en vol.



Tab réglable en vol

Commandes de vol secondaires

Aérofreins

Pour obtenir une décélération efficace on peut utiliser un frein aérodynamique ou aérofrein.

- Situé sur le fuselage



Source: Wikimedia Commons/ Photo: UWE W.



Source: Wikimedia Commons/ Photo: Arpingstone

- Situé sur les ailes



Source : Wikimedia Commons/ Photo: Jean-Patrick Donzey

Les Aérofreins extrados sont "surélevés" pour éviter de perturber la couche limite et de modifier la portance

Commandes de vol secondaires

Inversion de poussée



Inverseur à obstacles
Fokker 70



Inverseur à portes: A 320



Inverseur à grilles: Boeing 747

- Le rôle d'un **inverseur de poussée** lors de l'atterrissage est de **diminuer la distance de freinage** en redirigeant vers l'avant une partie de la poussée générée par le turboréacteur.
- Le système d'inversion de poussée est sécurisé pour ne pas pouvoir s'activer en vol ce qui détruirai l'avion.

Des exemples de QCM d'examen sur la partie de cours qui précède

Lorsque les volets sont en configuration atterrissage :

- a- la configuration est dite lisse.
- b- les volets sont rentrés.
- c- la courbure de l'aile augmente pour augmenter la portance.
- d- leur braquage est négatif.

Parmi les dispositifs suivants, lequel n'est pas un dispositif hypersustentateur ?

- a- Les volets à fente.
- b- Les becs de bord d'attaque.
- c- Les aérofreins.
- d- Les volets Fowler.

Le fluide d'un circuit hydraulique :

- | | |
|----|--|
| a) | est de l'eau utilisable sous basse pression et à une température supérieure à 0°C. |
| b) | est difficilement utilisable sur avion du fait de sa compressibilité. |
| c) | n'est utilisé qu'au-delà de 0°C pour actionner les freins et les vérins des trains escamotables. |
| d) | est utilisé sous pression pour actionner des commandes. |

Un compensateur est une petite surface placée à l'arrière d'une gouverne et qui sert à :

- a) compenser les erreurs de pilotage.
- b) compenser les variations de pression dues aux changements d'altitude de l'avion.
- c) compenser les efforts que le pilote doit effectuer sur les commandes.
- d) les réponses a, b et c sont correctes.

Bibliographie

Pour ce travail j'ai lu, je me suis inspiré et j'ai emprunté des dessins, vidéos, explications des documents suivant. Merci à leurs auteurs/créateurs.

- Les effets des commandes de vol et gouvernes d'un avion. Frédéric Picard https://www.youtube.com/watch?v=C_blZKPxnEE
- Techno Science . Net: **Plan canard - Définition et Explications** <https://www.techno-science.net/definition/9443.html>
- Les commandes de vol <https://www.simulateur-de-vol.net/articles/les-differentes-parties-commandes-de-vol.php>
- Aeronewstv.com Comment piloter un avion & Différent types d'empennage.
- Avions légendaires.net
- Cours BIA 2019 de l'AIPBIA. Connaissances des aéronefs et engins spatiaux.
- BIA CIRAS Toulouse. Manuel BIA 2019.
- Vidéos de Old Rhinebeck Aerodrome.
- Vidéo Histoire de l'aviation La conquête du ciel, le temps des pionniers.
- Commandes de vol électriques. (2020, mai 17). *Wikipédia, l'encyclopédie libre*. Page consultée le 20:50, mai 17, 2020 à partir de http://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Commandes_de_vol_%C3%A9lectriques&oldid=170982533
- Commandes de vol du B737-800. <https://www.flightsim-corner.com/aller-plus-loin/737-800/commandes-de-vol-du-b737-800/>
- © 2005HIESSE.COM / CPL (A) - 020 Commandes de vol
- Wikiwand https://www.wikiwand.com/fr/Dispositif_hypersustentateur#/Volets_de_bord_de_fuite
- <http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables>
- <http://federation.ffvl.fr/pages/brevet-dinitiation-aeronautique-bia>

Quelques références vidéo pour ce cours

- <https://www.youtube.com/watch?v=MWWEjwideag> Flight club How do Flaps work?
- <https://www.youtube.com/watch?v=qDs7haZK7Go> Boeing 737 FLPAS séquence
- https://www.youtube.com/watch?v=kKDMjc3l_gw Fowler Flaps rexxtube
- https://www.youtube.com/watch?v=67HUcVOAY_0 Mentor pilot
- <https://www.youtube.com/watch?v=G3Mf1XsQZvs> Understanding Secondary Control Surfaces: Flaps, Slats - Slots, Spoilers, Balance Tabs & Trim Tabs!
- <https://youtu.be/PeUh8TXghC8> ou <https://youtu.be/ZP0R9Cwn0H0> Fly by wire A330
- https://www.youtube.com/watch?v=C_bZKPxnEE Les effets des commandes de vol et gouvernes d'un avion. Frédéric Picard
- <https://www.flightsim-corner.com/aller-plus-loin/737-800/commandes-de-vol-du-b737-800/> Commandes de vol du B737-800.
- <https://www.youtube.com/watch?v=iB5gxCPsQaM> Avions anciens. Old Rhinebeck Aerodrome. Gauchissement de l'aile. Commandes de vol avant le manche à balai.
- <https://www.aeronestv.com/fr/industrie/aviation-commerciale/3995-les-differents-types-d-empennage-d-avions.html> Aéronews. Différentes positions d'empennage
- <http://faq-fra.aviatechno.net/avion/cdevol.phpv> How It Works Flight Controls
- <https://www.youtube.com/watch?v=LigpsX1KoQE> The Brilliant Engineering of FIRST FLIGHT. Commandes de vol des frères Wright en 1903 sur le Wright Flyer. Gauchissement de l'aile et gouverne de profondeur à l'avant. Comment annulé le lacet inverse.
- <https://www.youtube.com/watch?v=AiTk5r-4coc> Commandes de vol par câbles
- <https://www.youtube.com/watch?v=vXZctFouxZE> Reverse sur un réacteur. Animation.
- https://www.youtube.com/watch?v=3_kOhtV-JLM Déploiement d'un inverseur de poussé, des spoilers (déporteurs), flaps
- <https://www.youtube.com/watch?v=flfaCbJhPs> Vol avec Morane Saulnier Rallye et visualisation du fonctionnement des commandes de vol automatiques 6:18

Commandes de vol avion

