

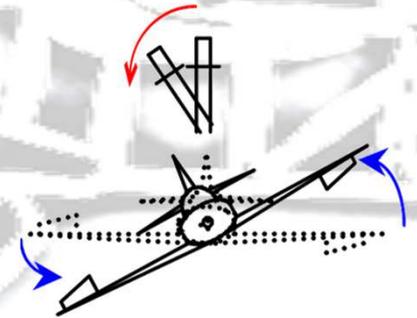
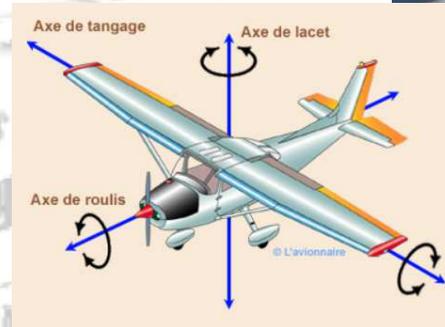


# 3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

## 3.4 Commandes de vol



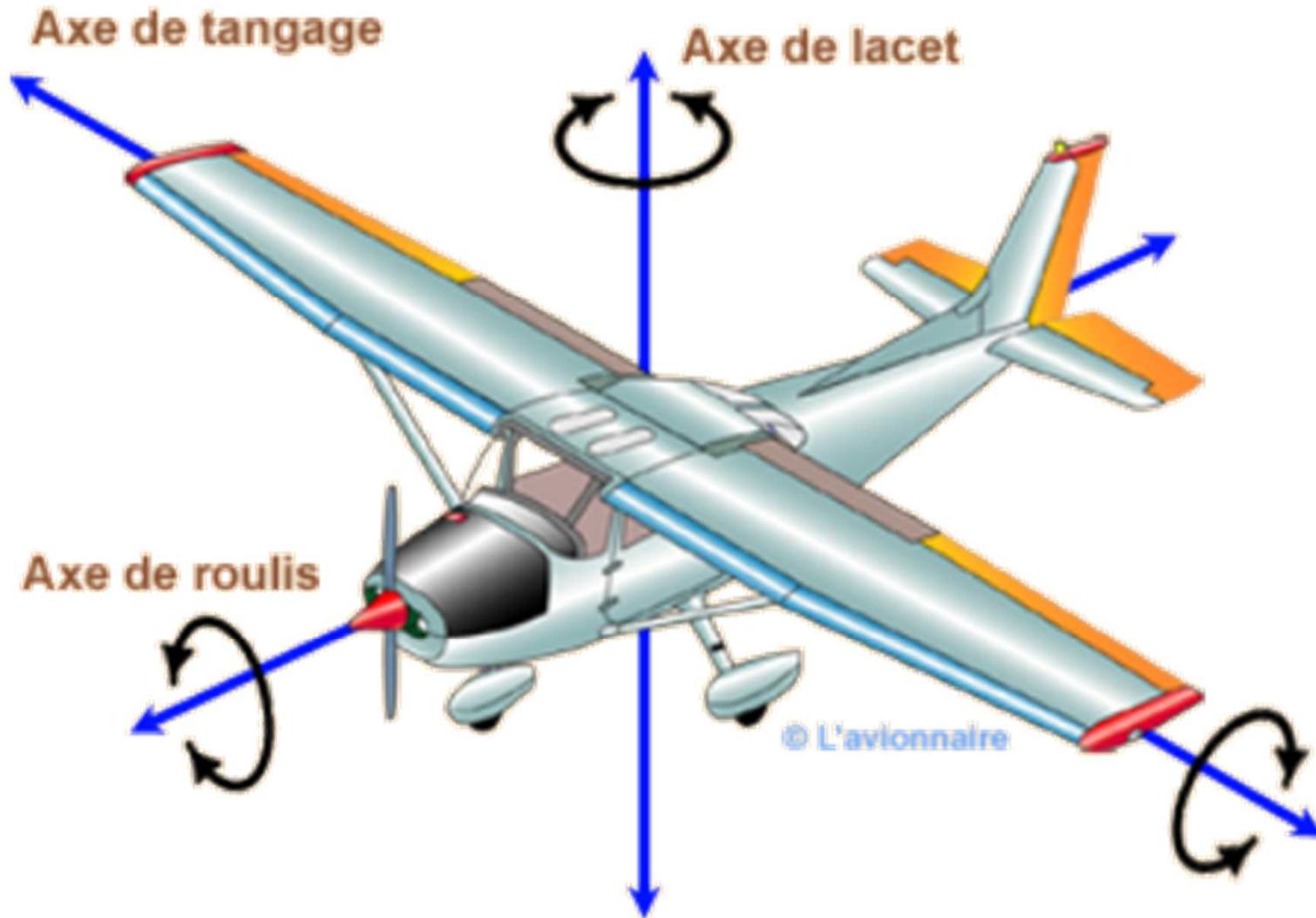
Source: Wikimedia Commons/ Photo: Arpingstone



## 3.4 Les commandes de vol

- Les axes du mouvement
- Le Contrôle en tangage
- Le Contrôle en roulis
- Le Contrôle en lacet
- Les surfaces hybrides
- Les effets secondaires des commandes
- Le contrôle de la vitesse
- La compensation statique des gouvernes
- Les dispositifs de transmission

# Les axes du mouvement



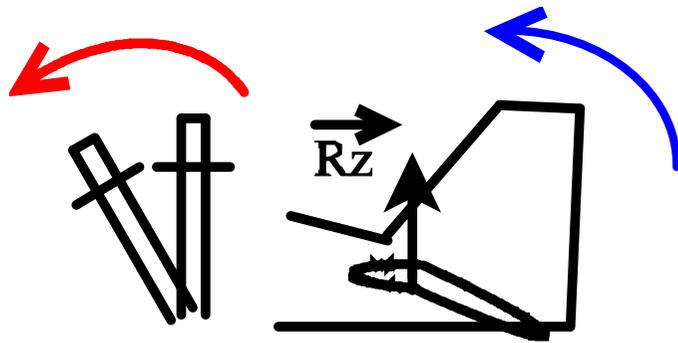
# Les commandes de vol

- Les axes du mouvement
- Le Contrôle en tangage
- Le Contrôle en roulis
- Le Contrôle en lacet
- Les surfaces hybrides
- Les effets secondaires des commandes
- Le contrôle de la vitesse
- La compensation statique des gouvernes
- Les dispositifs de transmission

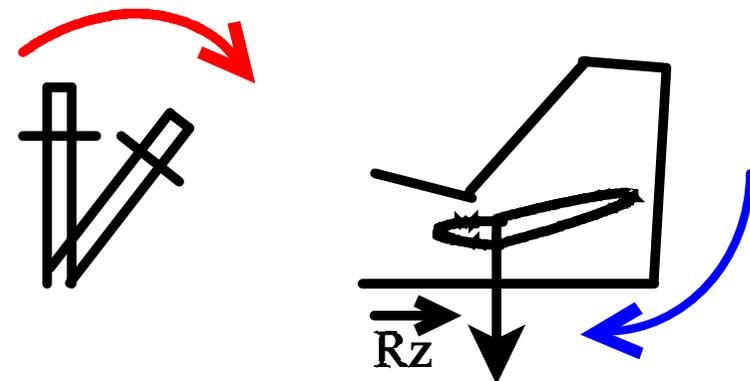
## Le contrôle en tangage

Le contrôle en tangage est assuré par l'intermédiaire du manche ou du volant que l'on actionne

*d'avant en arrière.*



**Si on pousse le manche,  
l'avion pique.**

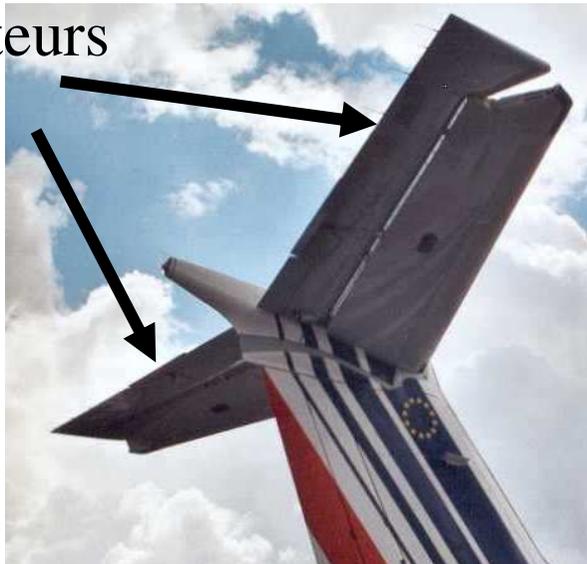


**Si on tire le manche,  
l'avion cabre.**

***Le braquage de élévateurs est toujours symétrique.***

# Le contrôle en tangage:

Elévateurs



Empennage en T

**Empennage monobloc** de type canard sur le Rafale.



Empennage classique



Gouverne de profondeur ou élévateur

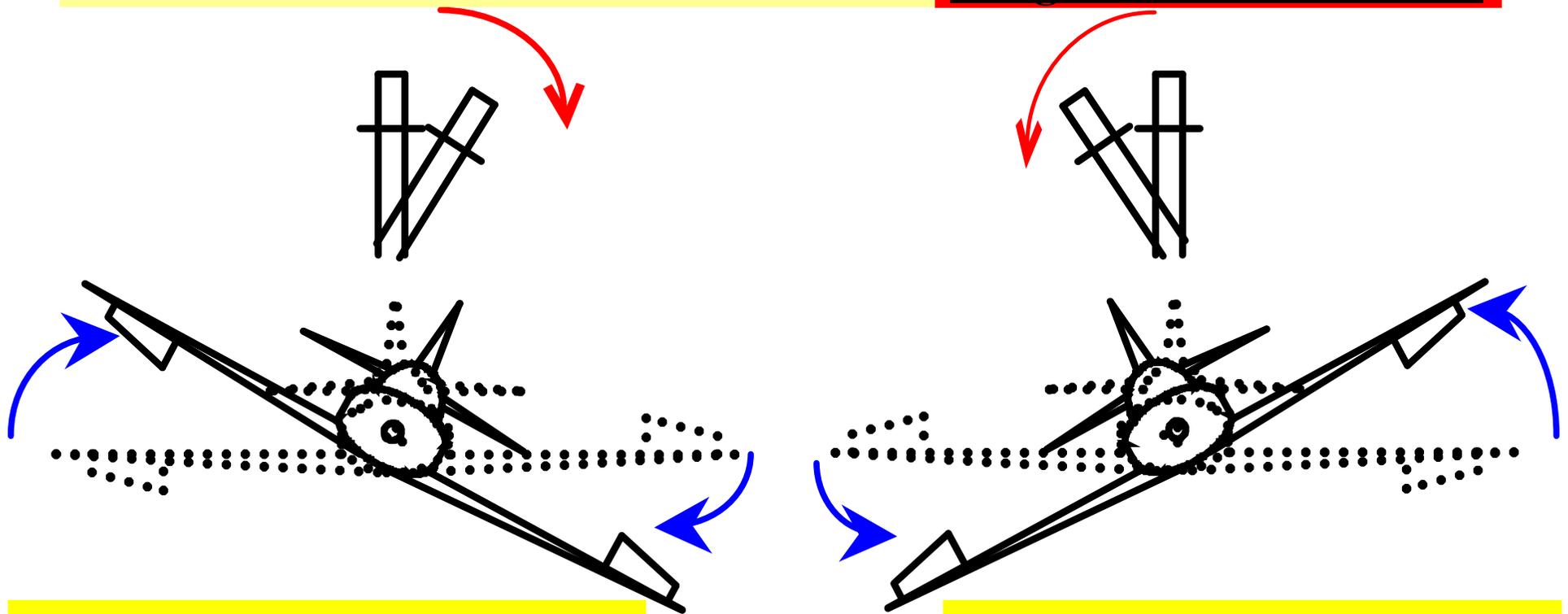
## 3.4 Les commandes de vol

- Les axes du mouvement
- Le Contrôle en tangage
- Le Contrôle en roulis
- Le Contrôle en lacet
- Les surfaces hybrides
- Les effets secondaires des commandes
- Le contrôle de la vitesse
- La compensation statique des gouvernes
- Les dispositifs de transmission

## Le contrôle en roulis

Le contrôle en roulis est assuré par l'intermédiaire du manche ou du volant que l'on actionne

*de gauche à droite.*



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

Si on incline le manche à droite,  
l'avion s'incline à droite.

## Le contrôle en roulis

Les gouvernes correspondantes s'appellent des *ailerons*.



*Le braquage des ailerons est dissymétrique*

## Le contrôle en roulis

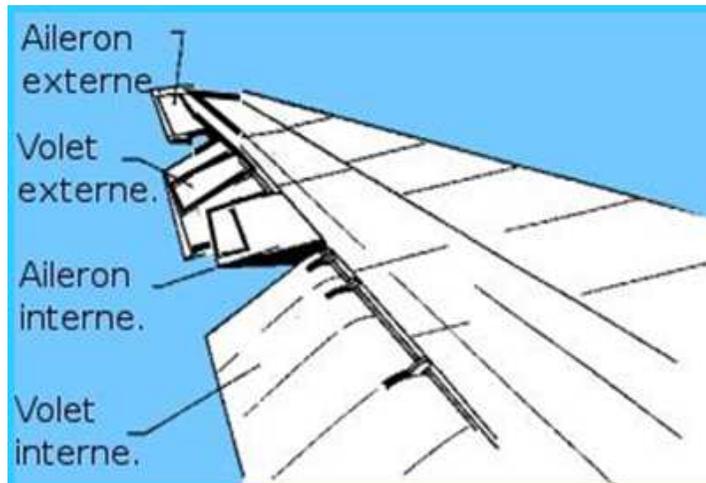
Sur ce Junkers 52, les ailerons occupent toute la longueur du bord de fuite de l'aile.

**L'aileron est levé du côté de l'aile qui descend et il est abaissé du côté de l'aile qui monte.**



## 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).



A 380. 3 Sections

## 3.4 Les commandes de vol

- Les axes du mouvement
- Le Contrôle en tangage
- Le Contrôle en roulis
- Le Contrôle en lacet
- Les surfaces hybrides
- Les effets secondaires des commandes
- Le contrôle de la vitesse
- La compensation statique des gouvernes
- Les dispositifs de transmission

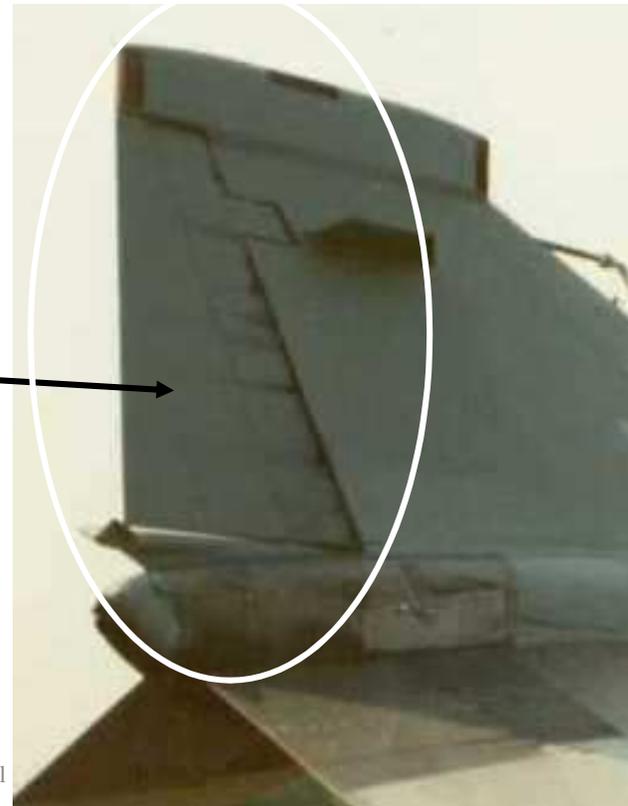
## Le contrôle en lacet

Le contrôle en lacet est assuré par l'intermédiaire du **palonnier** que l'on actionne au pied

*en poussant à gauche ou à droite.*

La gouverne de direction se trouve sur la dérive.

On l'appelle parfois drapeau de la dérive.





## Le contrôle en lacet



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

-

## 3.4 Les commandes de vol

- Les axes du mouvement
- Le Contrôle en tangage
- Le Contrôle en roulis
- Le Contrôle en lacet
- Les surfaces hybrides
- Les effets secondaires des commandes
- Le contrôle de la vitesse
- La compensation statique des gouvernes
- Les dispositifs de transmission

## 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



Mirage 2000

Elévateur +  
volet

Elévateur +  
aileron =  
élevon

## 3.4 Les commandes de vol

- Les axes du mouvement
- Le Contrôle en tangage
- Le Contrôle en roulis
- Le Contrôle en lacet
- Les surfaces hybrides
- Les effets secondaires des commandes
- Le contrôle de la vitesse
- La compensation statique des gouvernes
- Les dispositifs de transmission

## Les effets secondaires des commandes

### LA PROFONDEUR:

#### Effets primaires:

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

#### 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 secondaires des commandes

### LE GAUCHISSEMENT:

#### Effets primaires:

- l'avion s'incline à droite ou 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.

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

## Les effets secondaires des commandes

### LA DIRECTION:

#### Effets primaires:

- le nez de l'avion part à droite ou 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, le nez de l'avion part à gauche et les ailes s'inclinent à gauche.

Si on met du pied à gauche, le nez de l'avion part à gauche et les ailes s'inclinent à gauche.

## 3.4 Les commandes de vol

- Les axes du mouvement
- Le Contrôle en tangage
- Le Contrôle en roulis
- Le Contrôle en lacet
- Les surfaces hybrides
- Les effets secondaires des commandes
- Le contrôle de la vitesse
- La compensation statique des gouvernes
- Les dispositifs de transmission

## Le contrôle de la vitesse

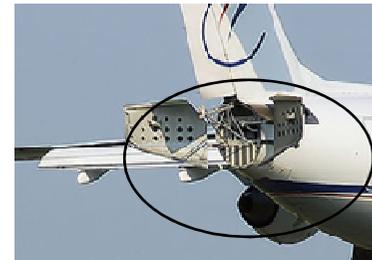
**La manette des gaz** permet de contrôler la puissance du moteur.



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



Source: Wikimedia Commons: Photo : UWE W.



Source: Wikimedia Commons: Photo: Arpingstone

On peut aussi utiliser des **spoilers** montés sur les ailes.

En vol



08/09/2017

Au sol



AIPBIA Commandes de vol

24

# Aéroofrein sur l'aile



Source : Wikimedia Commons/ Photo: Jean-Patrick Donzey

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

## Aéroofrein Transal C 160

Inverseur de poussée. Uniquement utilisés au sol.



**Inverseur à obstacles  
Fokker 70**



**Inverseur à portes: A 320**



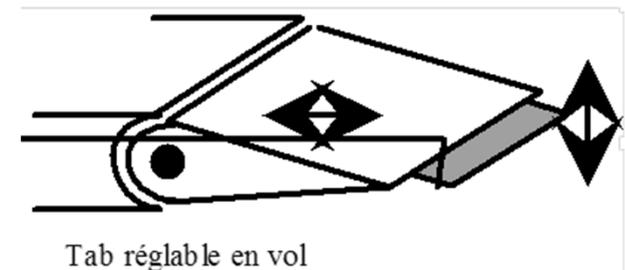
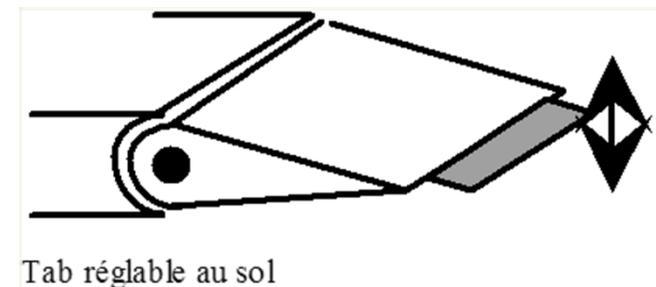
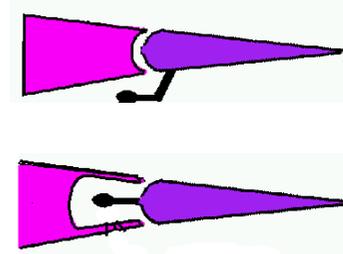
**Inverseur à grilles: Boeing 747**

## 3.4 Les commandes de vol

- Les axes du mouvement
- Le Contrôle en tangage
- Le Contrôle en roulis
- Le Contrôle en lacet
- Les surfaces hybrides
- Les effets secondaires des commandes
- Le contrôle de la vitesse
- La compensation statique des gouvernes
- Les dispositifs de transmission

## La compensation statique des gouvernes

- Masselottes pour équilibrer les gouvernes (éviter les oscillations)
- Tabs ou gouvernes déportées = ***compensateurs d'évolutions***.  
Soulage les efforts pour maintenir une position donnée. Réglé au sol.
- Trims = ***compensateurs de régime***.  
Annule les efforts pour maintenir une attitude donnée. Utilisé en vol.



## 3.4 Les commandes de vol

- Les axes du mouvement
- Le Contrôle en tangage
- Le Contrôle en roulis
- Le Contrôle en lacet
- Les surfaces hybrides
- Les effets secondaires des commandes
- Le contrôle de la vitesse
- La compensation statique des gouvernes
- Les dispositifs de transmission

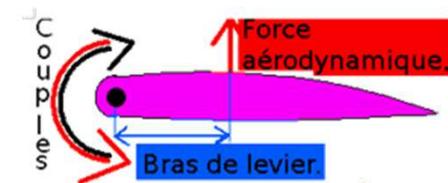
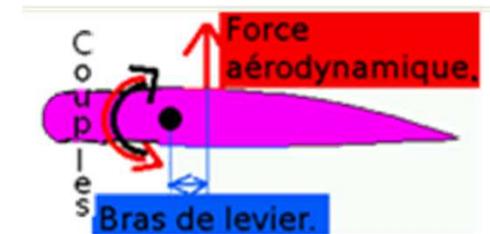
## Les dispositifs de transmission

Il existe trois types de transmission classiques pour les commandes de vol:

- par câble ou par bielles
- hydrauliques
- électriques

## Force nécessaire pour faire pivoter une gouverne?

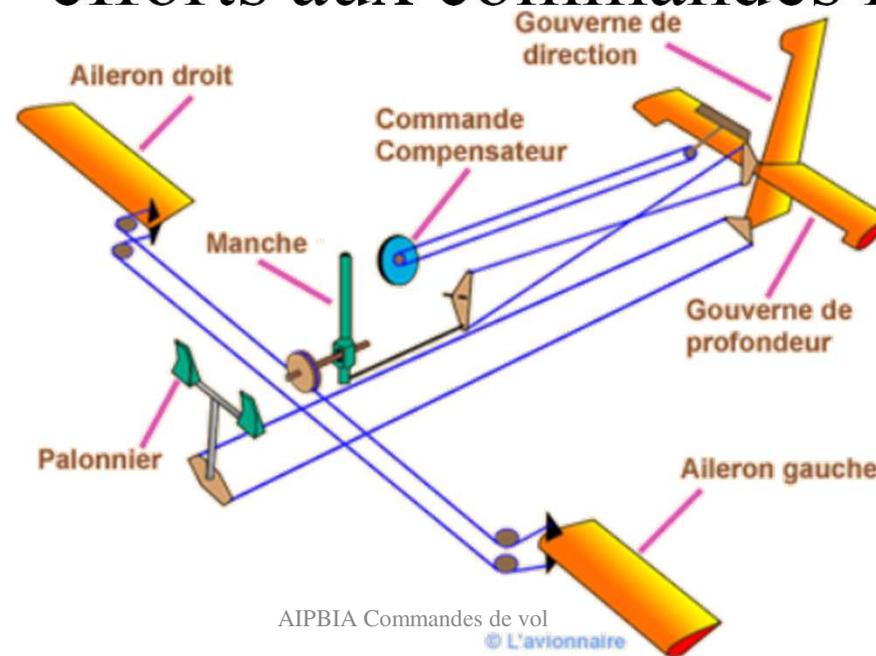
- La force aérodynamique exercée sur une commande de gouverne pour la faire pivoter est directement proportionnelle:
  - à la taille de la gouverne
  - à son braquage
  - au carré de sa vitesse.
- Pour diminuer cette force on joue sur:
  - ✓ Le bras de levier
  - ✓ Les surfaces de compensation
  - ✓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



## Les dispositifs de transmission

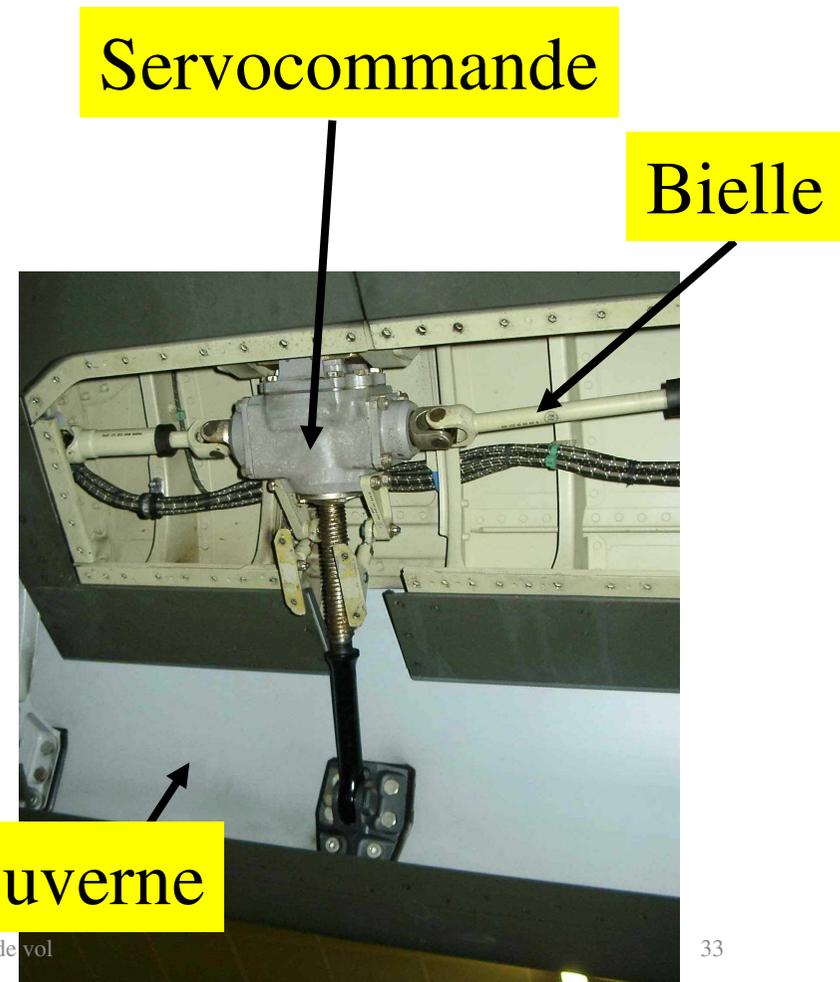
- La transmission directe par câble métallique ou par bielle:
  - Première utilisée.
  - Toujours employée pour les avions légers est pas trop rapides.

Vitesse faible = efforts aux commandes raisonnables.



## Les dispositifs de transmission

- Si la taille, le poids et la vitesse des avions augmentent  $\Rightarrow$  les efforts aux commandes aussi.
  - Il faut assister le pilote dans les efforts à fournir  $\Rightarrow$  Utilisation de l'énergie hydraulique.
- L'action aux commandes est transmise par des **bielles** jusqu'à des **servocommandes** qui actionnent les gouvernes.



## Les dispositifs de transmission

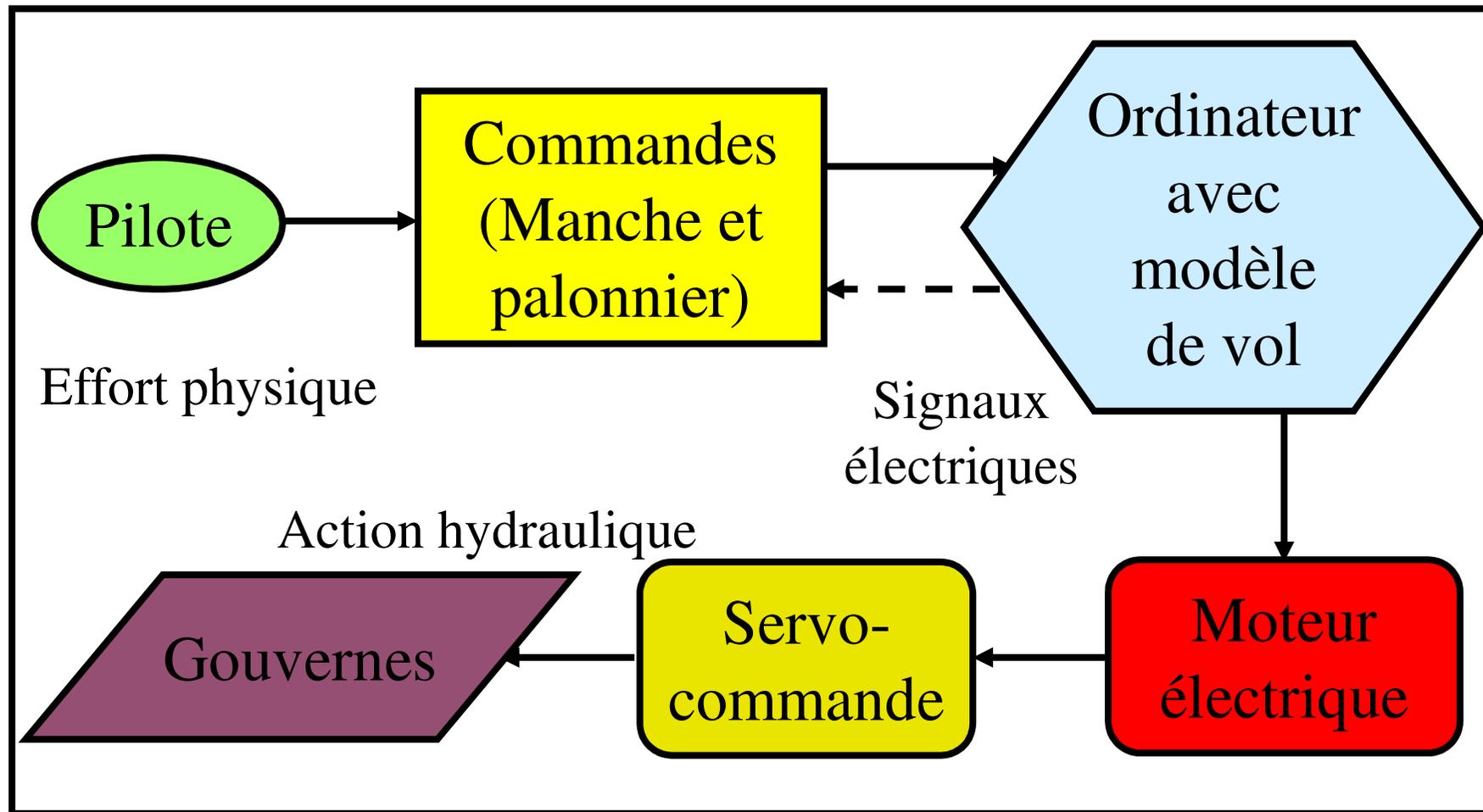
- Pour rendre les aéronefs:
  - Plus manœuvrant (avions de combat)
  - Plus économe en carburant (avions de ligne)
- Il faut diminuer la stabilité des aéronefs.

⇒ *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



## 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

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

# 3. Etude des aéronefs et des engins spatiaux

- 3.1 Classification des aéronefs et des engins spatiaux
- 3.2 Les groupes motopropulseurs
- 3.3 Structure et matériaux
- 3.4 Commandes de vol
- 3.5 L'instrumentation de bord

**Ce module a été conçu et réalisé par un groupe de volontaires passionnés,**

**Nous avons utilisés de nombreuses sources et documents dont:**

**Productions de l'Académie de Bordeaux. Bernard GUYON, Stéphane MAYJONADE**

**<http://blog.crdp-versailles.fr/brevetinitiationaeronautique/>**

**<http://www.lavionnaire.fr/>**

**[http://biacalais.free.fr/cours/Connaissance\\_Aeronefs-V2.pdf](http://biacalais.free.fr/cours/Connaissance_Aeronefs-V2.pdf)**

**Cours BIA Lycée Marie Curie et Aéroclub du Dauphiné. Grenoble.**

**Site commerciaux fabricants avion, hélicoptère, ULM, Voile ...**

**<https://fr.wikipedia.org>**

**Fiches de Laetitia Souteyrat**

**Fiches de Charles Pigaillem**

**[Franck.cazaurang@ims-bordeaux.fr/1\\_Tech\\_Struct\\_Aero.pdf](mailto:Franck.cazaurang@ims-bordeaux.fr/1_Tech_Struct_Aero.pdf)**

**<http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables>**

**<http://federation.ffvl.fr/pages/brevet-dinitiation-aeronautique-bia>**