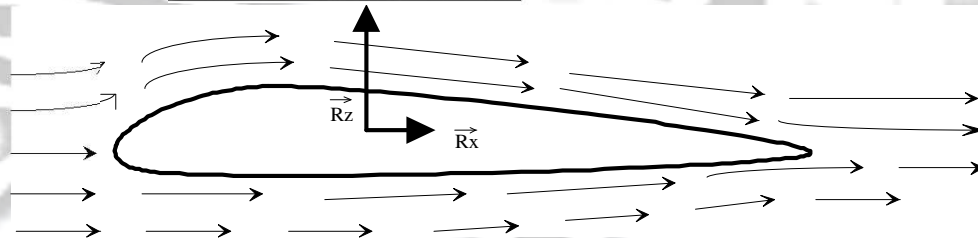
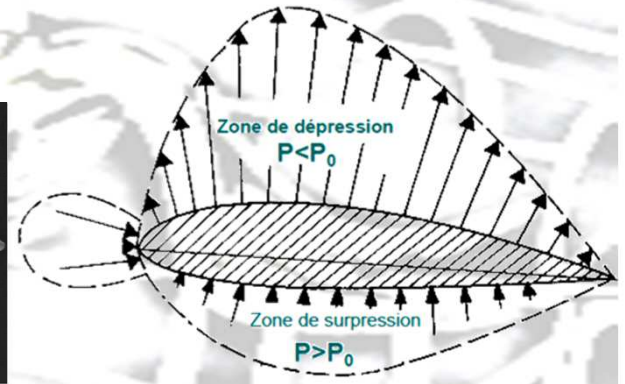
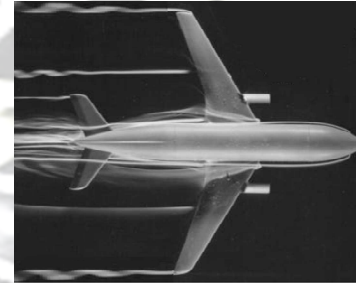
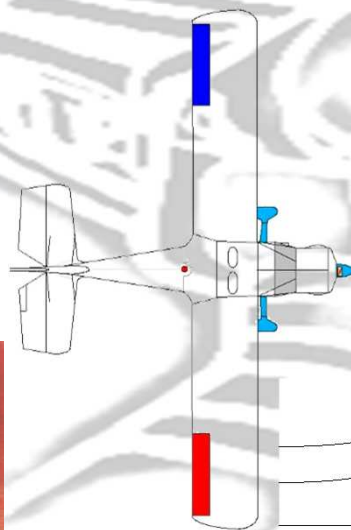


Aérodynamique, Aérostatique Principes du vol

2.1 Sustentation et l'Aile. Notions préliminaires



07/09/2017



AIPBIA

1

Aérodynamique, Aérostatique et principes du vol

2.1 La sustentation et l'aile – Notions préliminaires

Ecoulement de l'air sur un profil – Notion de pression

Caractérisations des forces aérodynamiques : Portance, Trainée.

Paramètre influençant les forces aérodynamiques - expression algébrique

Etude de la polaire (Incidence, finesse, décrochages, Mach)

Caractéristiques d'une voilure (géométrie, position, dispositifs hyper et hypo sustentateurs et d'aérofreinage.

Relation assiette – pente – incidence

Equilibre, stabilité et maniabilité de l'aéronef

Aérodynamique et Mécanique du vol

I Les forces aérodynamiques

1. Ecoulement de l'air sur un profil.
Notion de pression

2. Caractérisations des forces
aérodynamiques.

1. La portance

2. La traînée

I Les forces aérodynamiques

1. Les actions de l'air en écoulement

Créons un courant d'air entre 2 feuilles:



- l'air soufflé entre les feuilles voit sa pression diminuer du fait de l'augmentation de vitesse. Les feuilles se rapprochent: **Loi de Bernouilli: augmentation de la vitesse => diminution de la pression**

L'avion et son milieu

L'air c'est le milieu dans lequel évolue l'avion.

Propriétés physiques:

- 1 **expansible**
- 2 **compressible**
- 3 **élastique**
- 4 **pesant**
- 5 **visqueux**

L'air expansible et pesant exerce une **pression** perpendiculaire à toutes les surfaces avec lesquelles il est en contact.

Masse volumique: en kg/m³: 1.225 kg/m³ (à 15° au niveau de la mer)

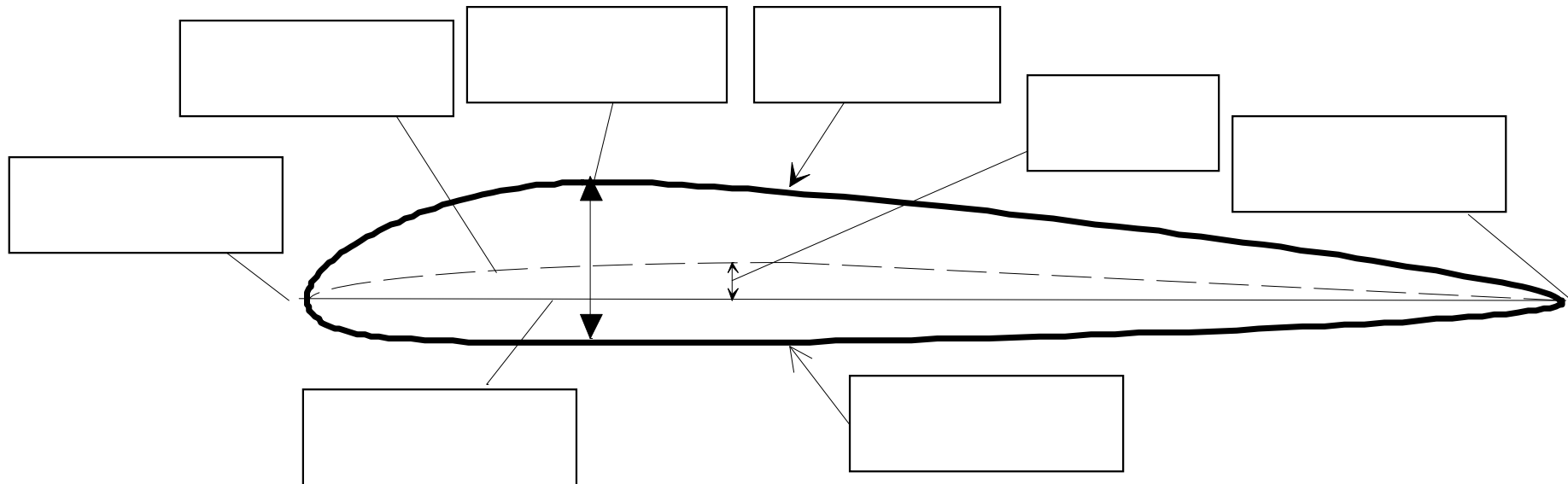
Pression : en Pa (Pascal) 1mbar=100Pa

Température:

I Les forces aérodynamiques

2. Etude de la portance

Les profils d'aile:

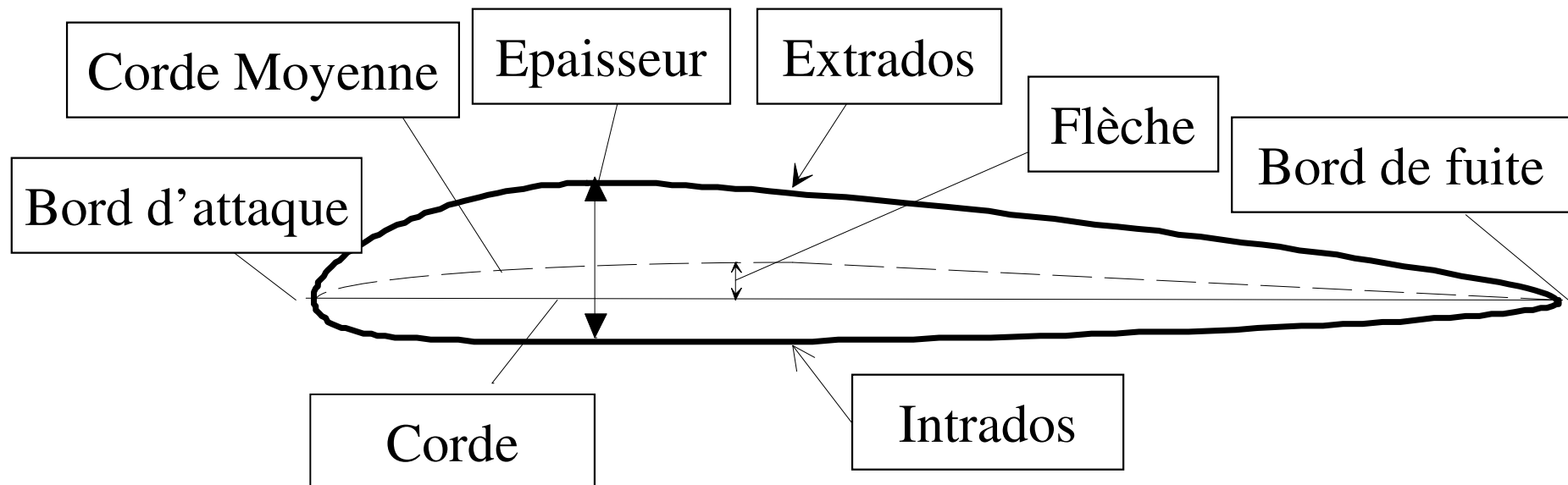


Définitions à apprendre

I Les forces aérodynamiques

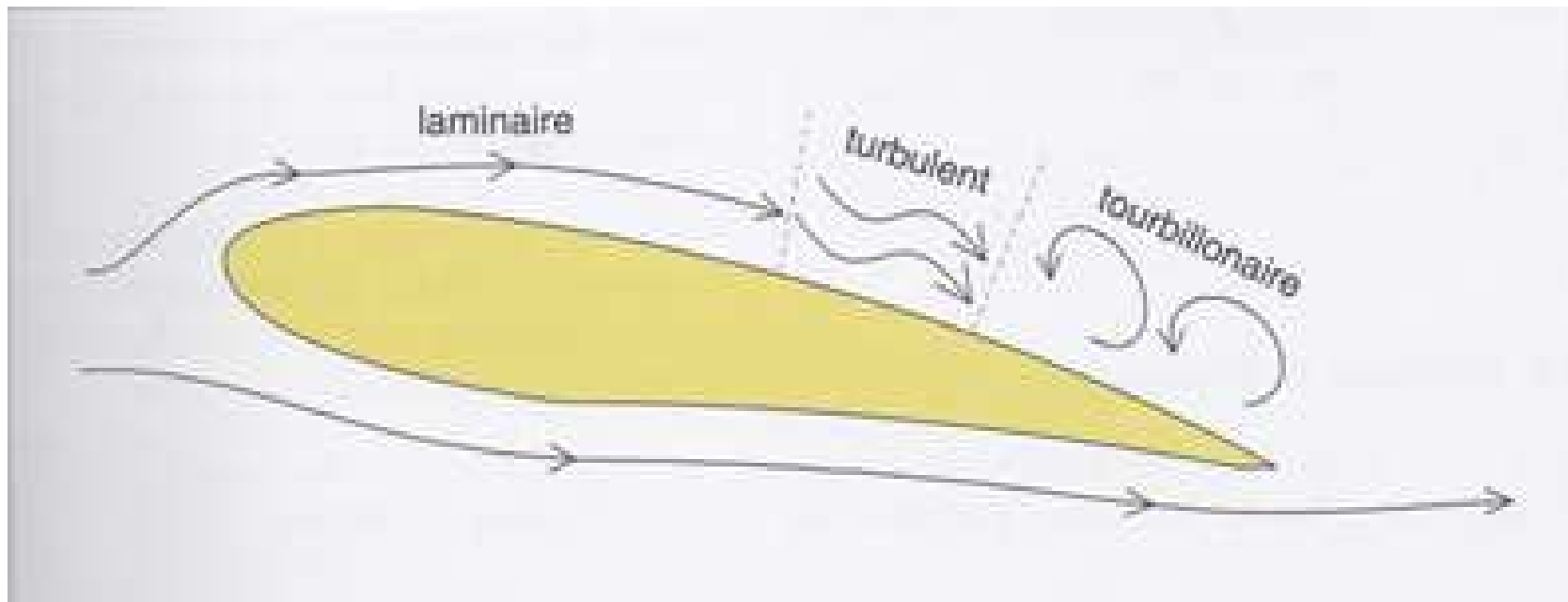
2. Etude de la portance

Les profils d'aile:

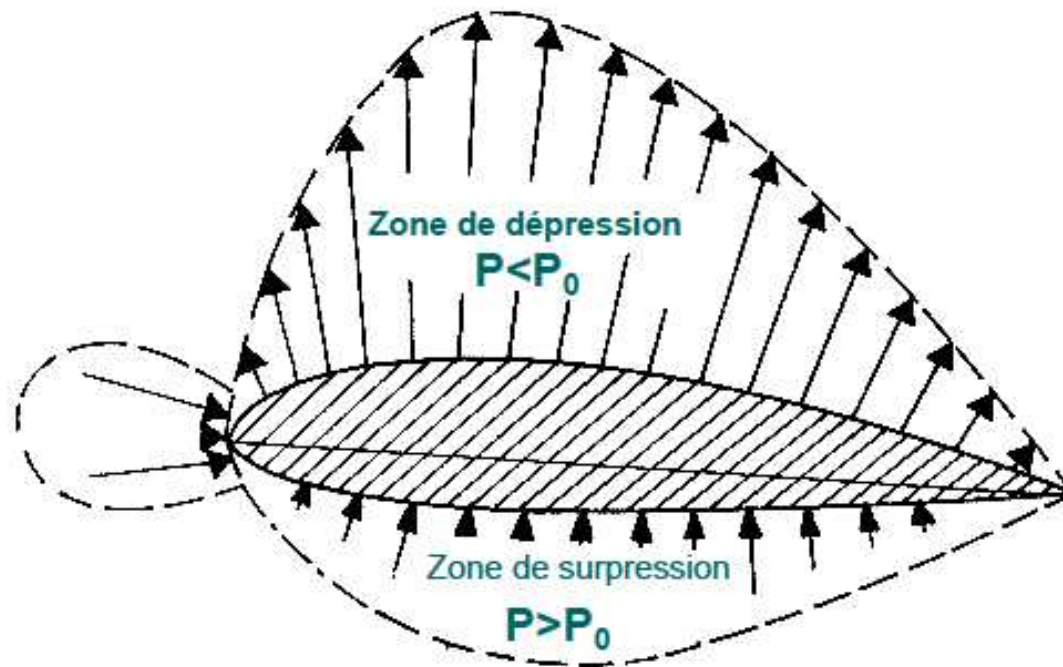


Écoulement autour d'un profil d'aile

Un écoulement d'air peut-être :



Répartition des pressions autour d'un profil d'aile



Pression amont P_0

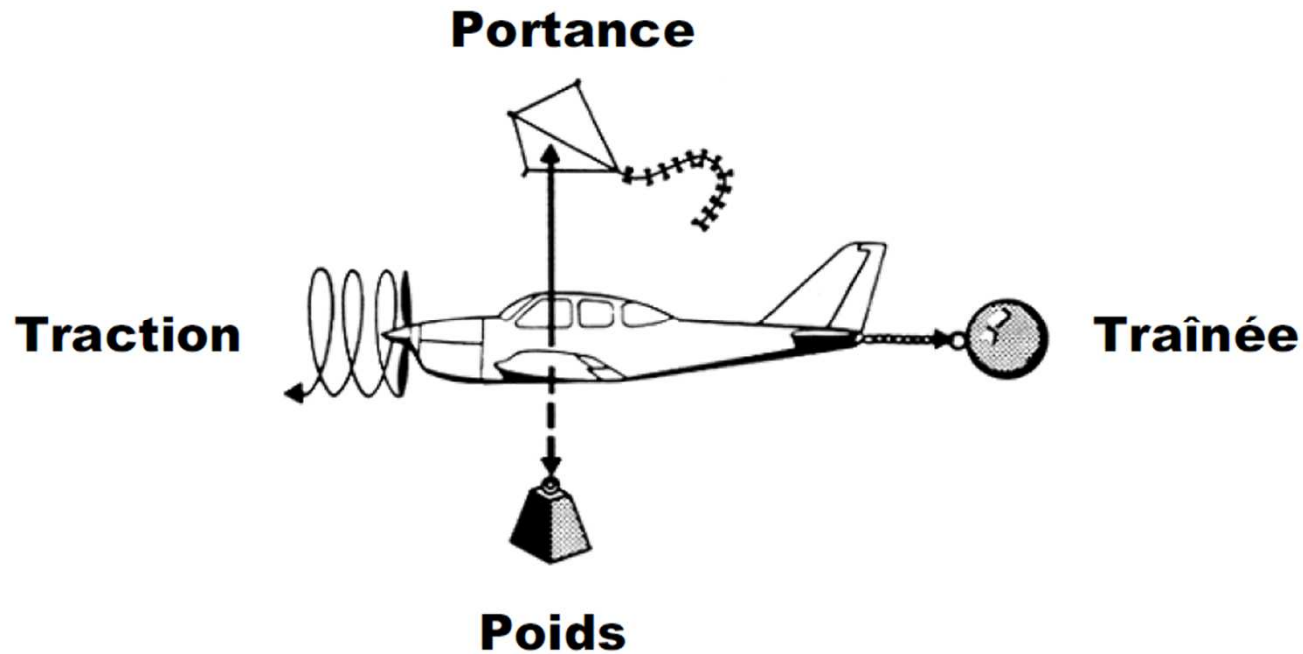
Zone de dépression
 $P < P_0$

Zone de surpression
 $P > P_0$

Zone de dépression participe pour 75% à la portance globale de l'avion

CHAMP DE PRESSION AUTOUR D'UNE AILE

Bilan des forces



Un aéronef en vol est soumis à 4 force:

- La Traction (avion à hélice) ou Poussée (avion à réaction)
- La Trainée
- Le poids (appliqué au centre de gravité)
- La Portance (appliqué au centre de poussée)

Le point d'application des variations de portance est appelé: Foyer.

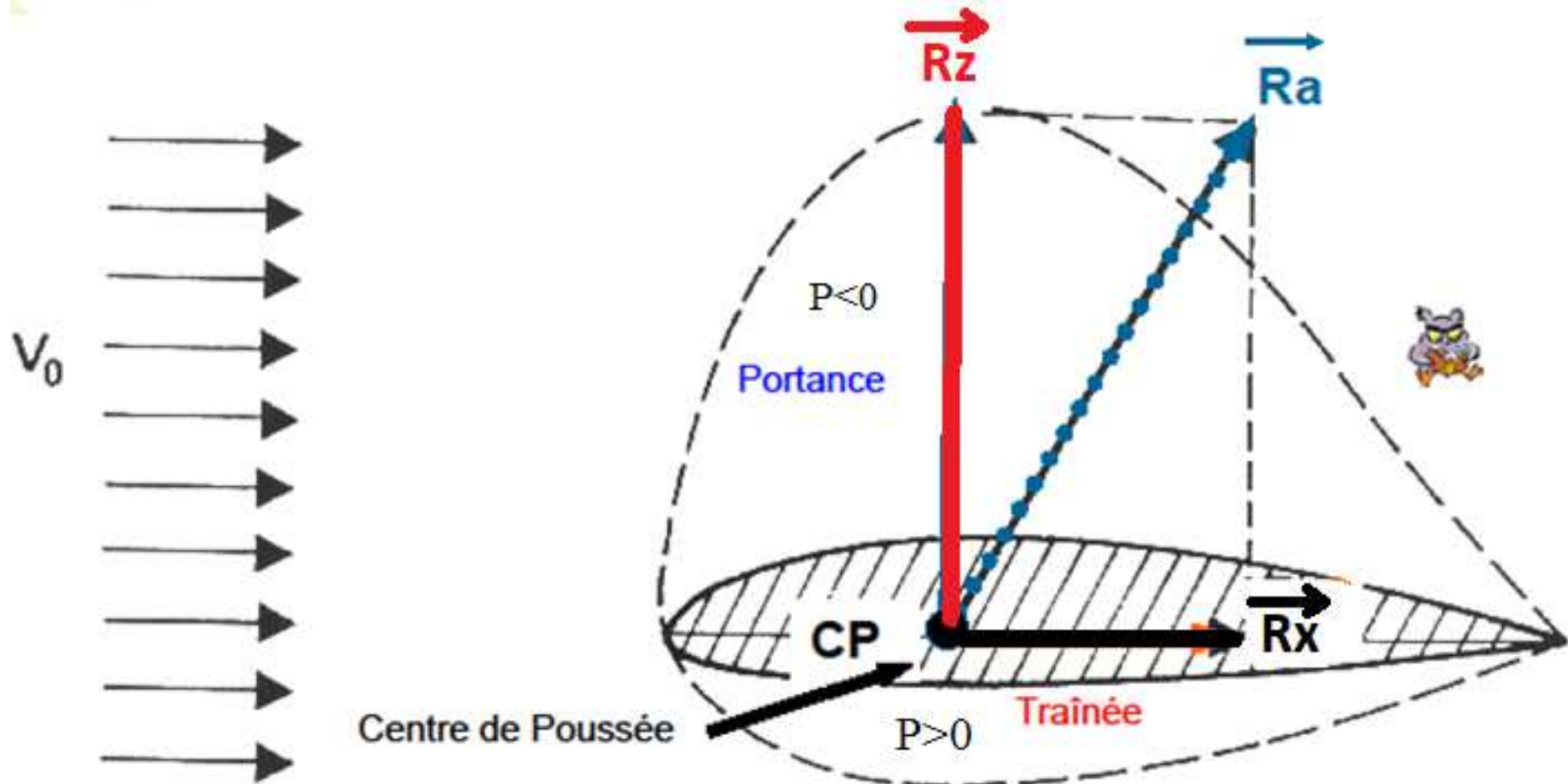
Pour un profil donné sa position est fixe et généralement au $\frac{1}{4}$ de la corde à partir du bord d'attaque

Aérodynamique et Mécanique du vol

I Les forces aérodynamiques

1. Etude de la portance

Décomposition de la résultante aérodynamique



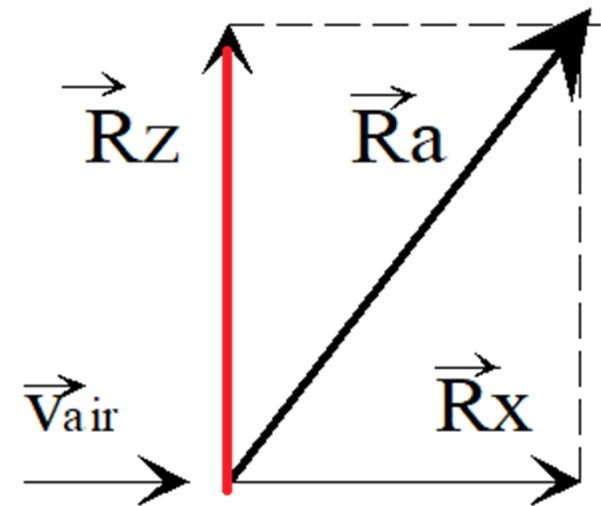
I Les forces aérodynamiques

2. Etude de la portance

Les actions de l'air se décomposent en deux forces :

- une **perpendiculaire à la vitesse de l'air (ou trajectoire), la portance R_z**

- une parallèle à la vitesse de l'air (ou trajectoire) et de même sens, la traînée R_x .



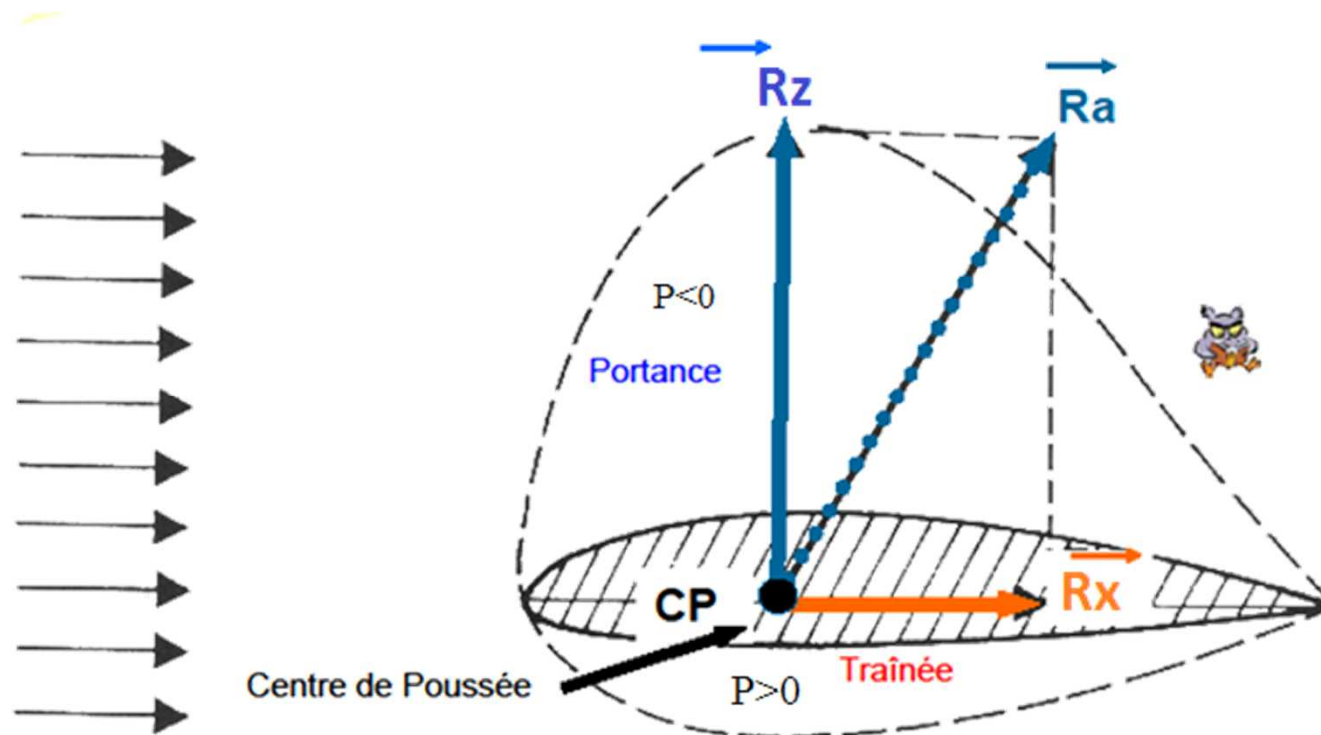
La somme vectorielle de ces deux forces constitue la résultante des forces aérodynamiques R_a

Les forces aérodynamiques

1. Etude de la traînée

Les forces aérodynamiques

1. Caractérisation de la traînée



La pression sur l'amont du profil est supérieure à celle sur l'arrière du profil. Il en résulte une force orientée vers l'arrière, qui s'oppose au déplacement: **la traînée**.

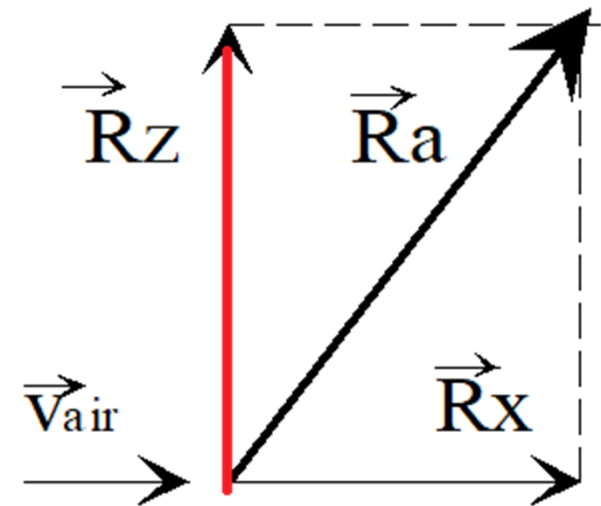
I Les forces aérodynamiques

2. Etude de la traînée

Les actions de l'air se décomposent en deux forces :

- une **perpendiculaire** à la **vitesse de l'air** (ou trajectoire), la **portance R_z**

- **une parallèle à la vitesse de l'air** (ou trajectoire) et de même sens, la **traînée R_x** .

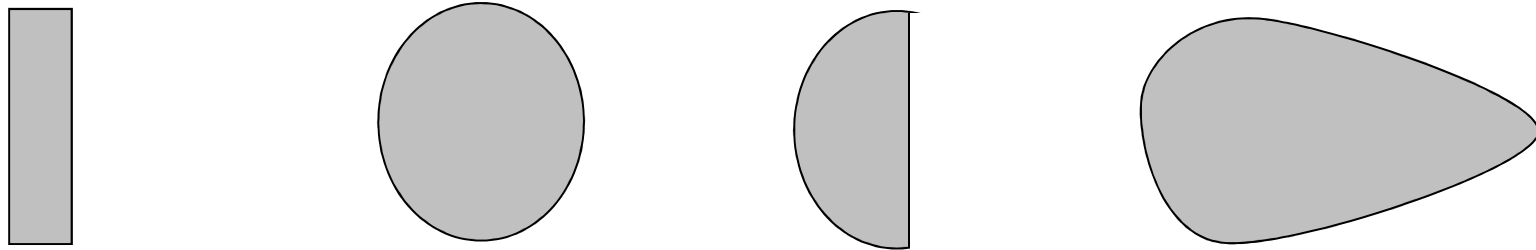


La somme vectorielle de ces deux forces constitue la résultante des forces aérodynamiques R_a

I Les forces aérodynamiques

3. Etude de la traînée

Influence de la forme :

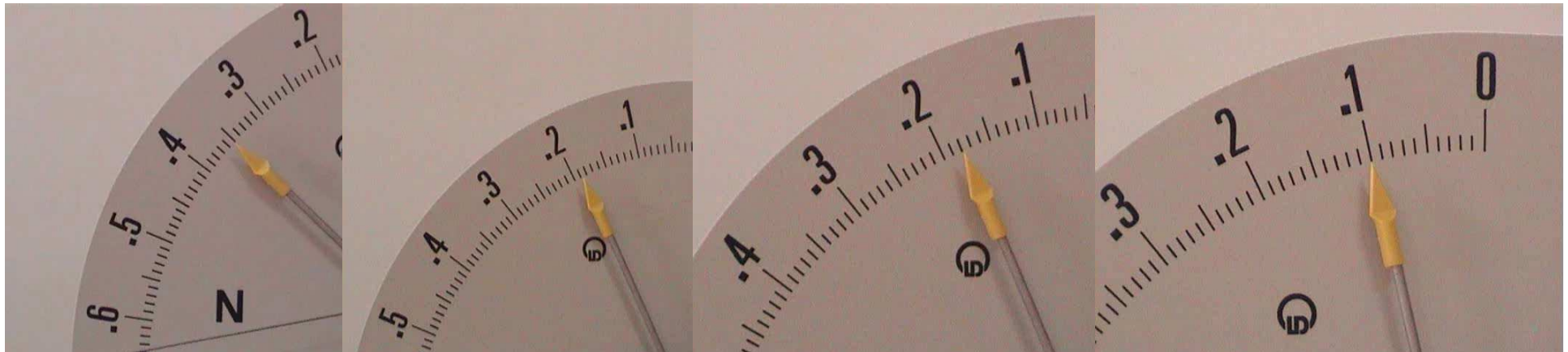
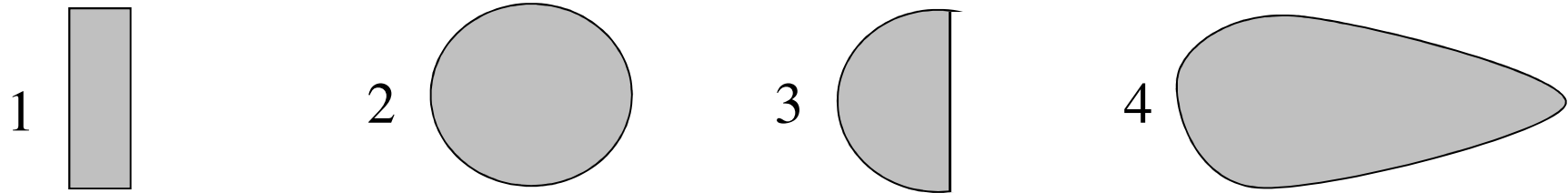


- On va tester 4 formes différentes et voir l'impact sur la traînée.
- Toutes les formes ont la même surface frontale.

I Les forces aérodynamiques

3. Etude de la traînée

Influence de la forme :

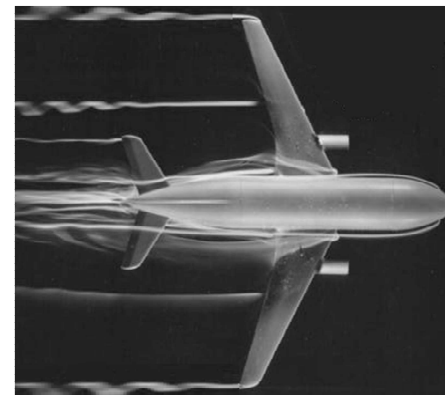


- La traînée est très dépendante de la forme.

3. Etude de la traînée

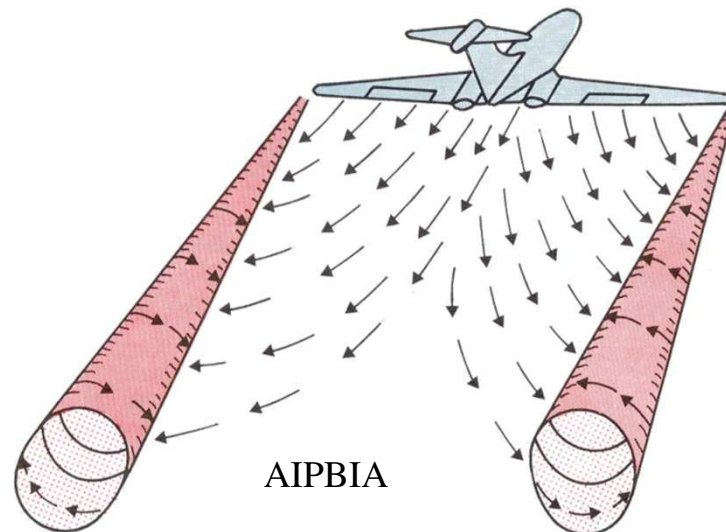
Les différentes traînées :

- La traînée d'un profil résulte des forces de pression dans l'axe de l'avion. Toutefois on peut la décomposer en trois parties distinctes :
 - traînée de forme et de frottement
 - traînée induite



3. Etude de la traînée

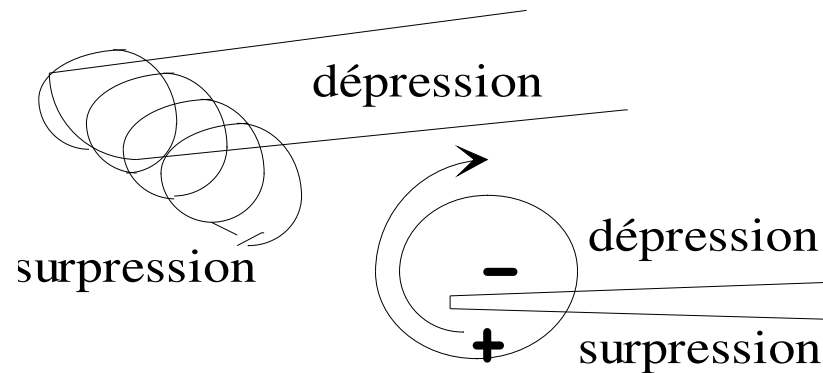
- **Trainée de forme et de frottement** est liée à:
 - la **forme (dessin) du profil**. Les différents profils engendrent des écoulements différents.
 - la **Qualité** de la « peau » de l'avion. Un avion sale engendre de la traînée.



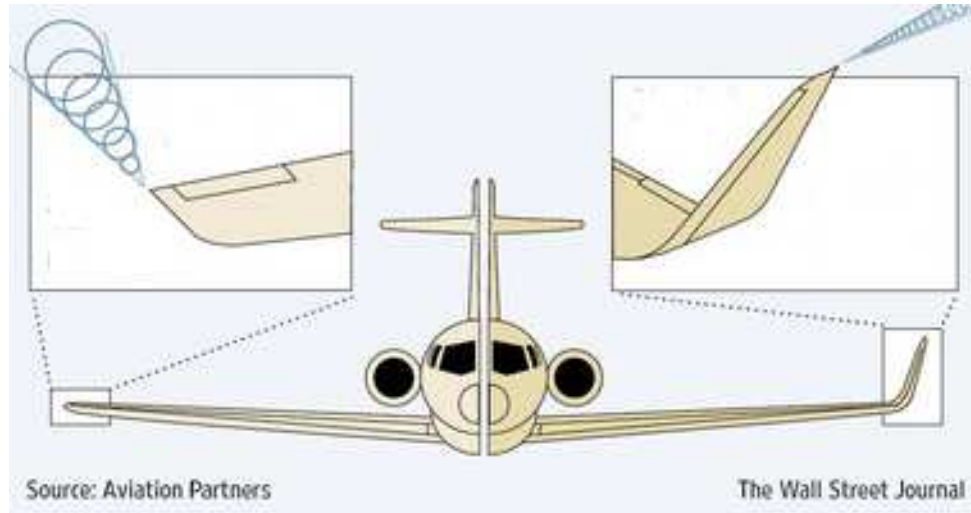
Etude de la traînée

- **Trainée INDUITE**

- Est liée aux différences **de pression** entre l'intrados et l'extrados de l'aile (qui engendrent la portance). L'air du dessous du profil a tendance à **remonter** vers le dessus au niveau des saumons d'aile. Cela crée des tourbillons que l'on appelle **tourbillons marginaux**.



Une Technologie réduisant la trainée induite



Winglet & Sharklet



AIPBIA



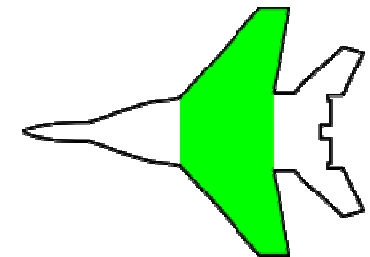
22

Paramètres influençant les forces aérodynamiques

- Expression algébrique

Les paramètres

- Masse volumique: en kg/m^3 : 1.225 kg/m^3 (à 15° au niveau de la mer). Rho. ρ
- Surface à laire: L'aire des ailes projetée sur le plan incluant la surface reliant les ailes à travers le fuselage.
- Coefficient sans unité:
 - Trainée: C_x
 - Portance: C_z
- Unité de hauteur: Ft. (pied, feet) ou Mètres.
 - $1\text{m} = 0,33 \text{ ft}$.



Les paramètres

- Vitesse:

En aviation nous utilisons différentes notions de vitesse.

Dans le cadre de la portance et de la traînée quand on parle Vitesse c'est:

- *La vitesse propre de l'avion: **Vitesse de l'avion par rapport à la masse d'air.***

- *En Nœud (Kt, Knots) ou Mètre/seconde.*

– 1 kt = 1852m/sec.

- *En nombre de Mach pour les avions très rapides*

Mach. Ma



Source: futura sciences .com

- C'est une unité de mesure sans dimension déterminant le rapport entre la vitesse d'un mobile à l'endroit où il se déplace par rapport à la vitesse du son à ce même endroit.
- La vitesse du son dans un gaz variant avec sa nature et sa température, le nombre de Mach ne correspond pas à une vitesse fixe, il dépend des conditions locales.
- Aux températures habituelles et dans l'air, la vitesse du son vaut environ 340 m s⁻¹ ou 1 224 km h⁻¹.

$$\text{Ma} = \frac{V}{a}$$

*V est la vitesse de l'objet (par rapport à son environnement)
a est la vitesse de propagation ou célérité du son dans l'environnement considéré. Elle ne dépend que de la température*

2. Etude de la portance

Expression de la portance:

$$R_z = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \cdot C_z$$

- ρ la masse volumique de l'air. Kg/m³
- S est une surface de référence sur l'aile.m²
- v est la vitesse de l'avion dans l'air (vitesse air).m/s
- **C_z est le coefficient de portance de l'aile. Sans dimension**

Il dépend de la forme du profil et de l'incidence de vol. Les profils présentant des courbures importantes ont des bons C_z .

I Les forces aérodynamiques

2. Etude de la portance

- La portance se crée sur chaque partie de l'aile. Le point d'application de la portance globale s'appelle le **centre de poussée (CP)**.
- Lors des différentes phases de vol **il se déplace** sur l'aile en fonction de l'incidence (30 à 50% de la corde)..
- Au moment du **décrochage** le centre de poussée **recule brutalement**

3. Etude de la traînée

Expression de la traînée:

$$R_x = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \cdot C_x$$

- ρ la masse volumique de l'air. Kg/m³
- S est la surface de référence sur l'aile. m²
- V est la vitesse de l'avion dans l'air (vitesse air) m/s.
- C_x est le **coefficient de traînée** de l'aile. Sans dimension.
- ✓ C_x dépend de la forme du profil et de l'incidence de vol. Il augmente continuellement avec l'incidence.

3. Etude de la traînée

Influence de l'incidence:

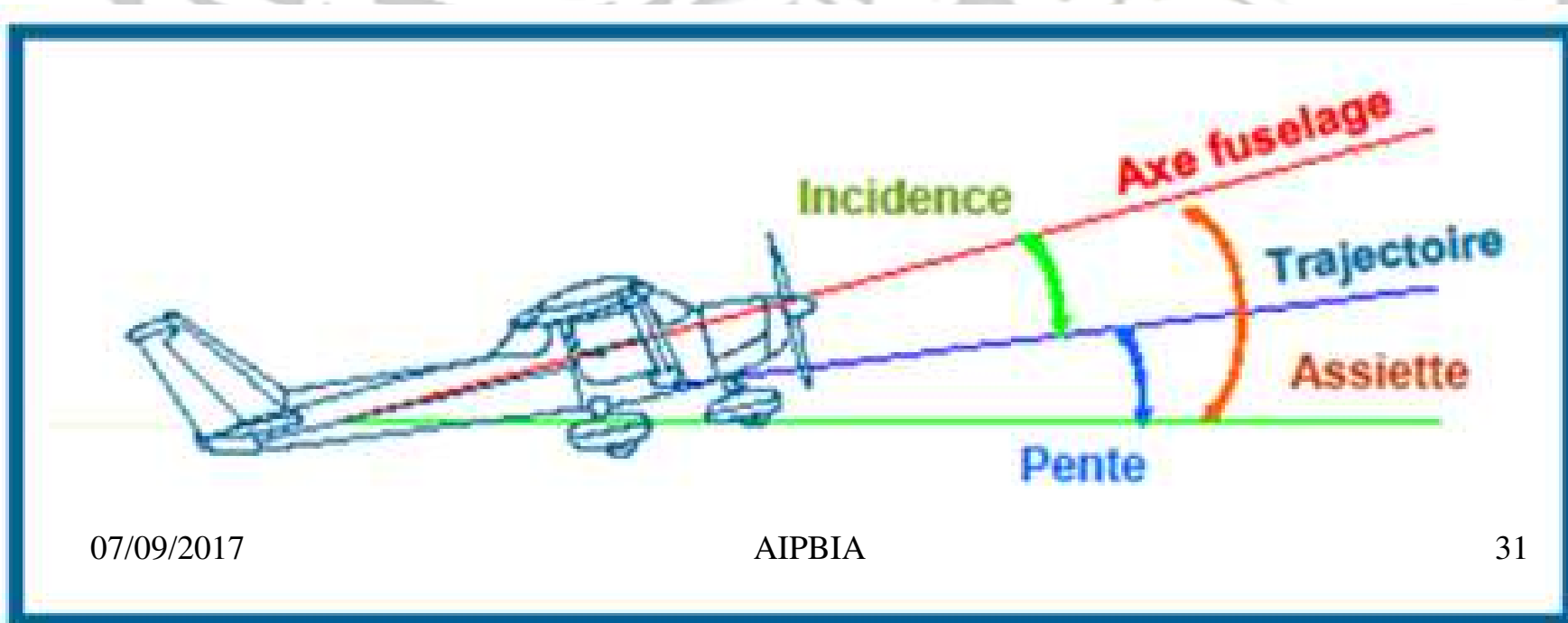
- La traînée augmente avec l'incidence.
- A grande incidence, la traînée importante peut nécessiter de maintenir une puissance importante au moteur.

Incidence, Pente et Assiette

Incidence = angle entre trajectoire (ou vent relatif) et axe du fuselage

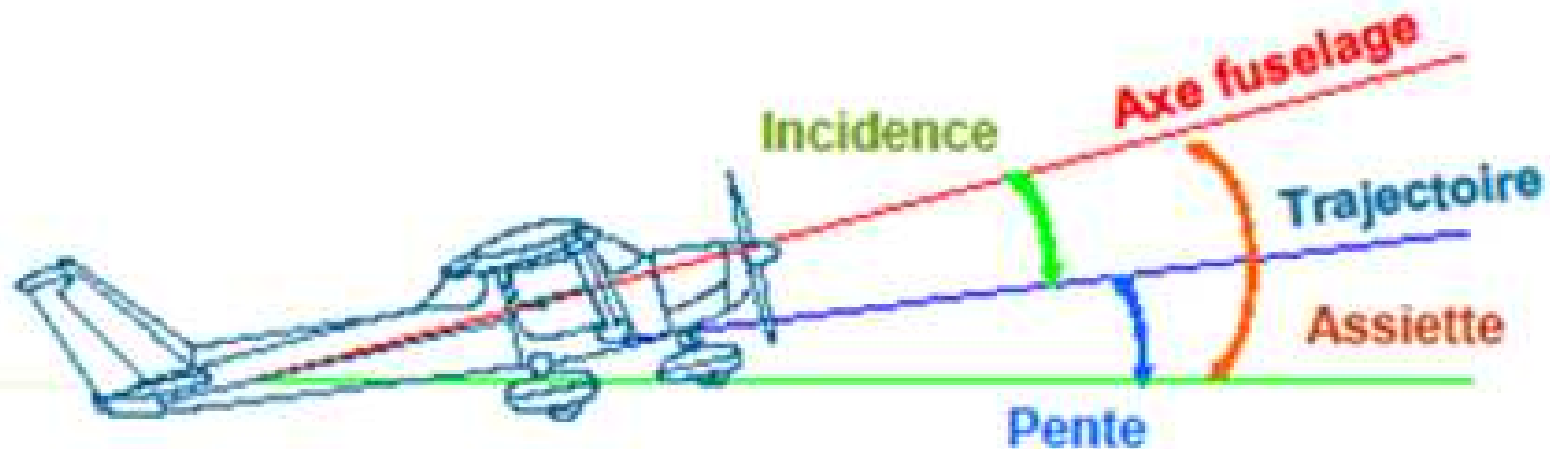
Pente = angle entre trajectoire et horizontale

Assiette = angle entre axe du fuselage et horizontale



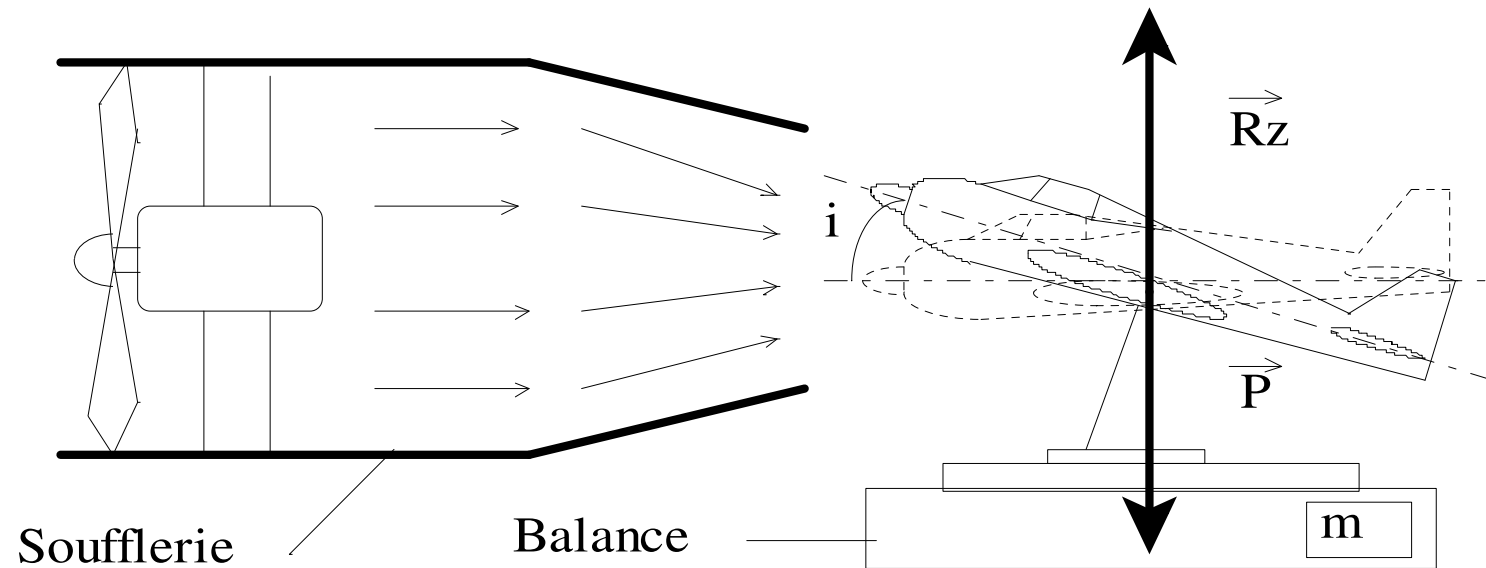
Incidence, Pente et Assiette

- Assiette = Pente + Incidence
- Pente
 - Positive quand trajectoire au dessus de l'horizon
 - Négative quand la trajectoire est au dessous de l'horizon
- Assiette
 - Positive quand l'axe de référence est au dessus de l'horizon
 - Négative quand l'axe de référence est au dessous de l'horizon



I Les forces aérodynamiques

2. Etude de la portance



- Pour une vitesse donnée, la portance augmente avec l'incidence.

Aérodynamique et Mécanique du vol

Etude des polaires

III Etude des polaires

1. Généralités sur les polaires

Les polaires sont des courbes qui permettent de représenter les **caractéristiques d'un profil**. En pratique on en utilise de deux types :

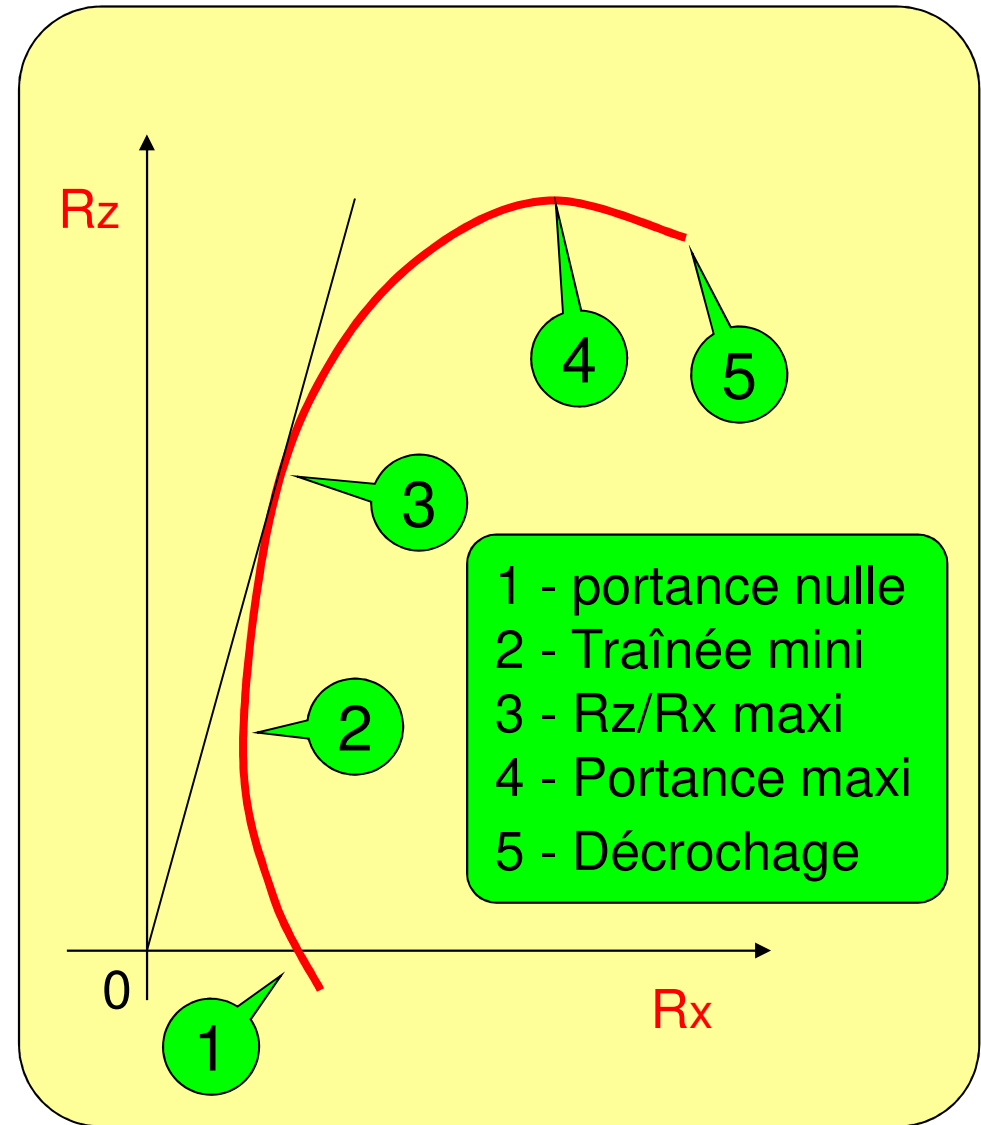
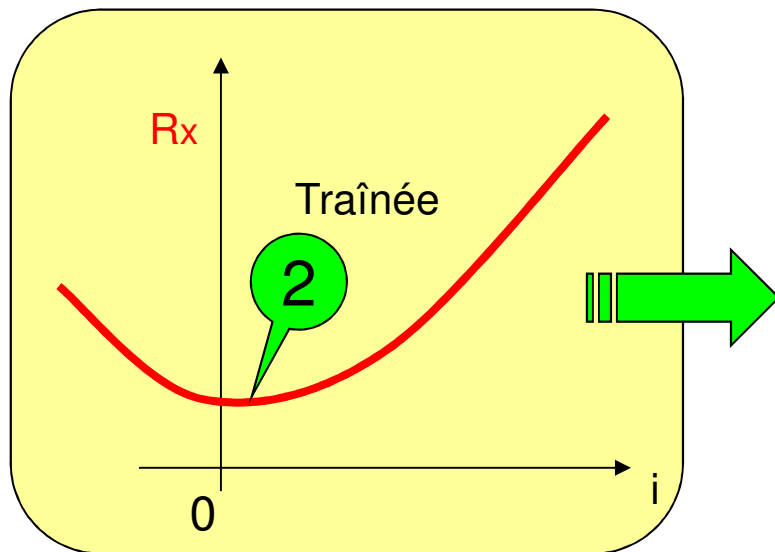
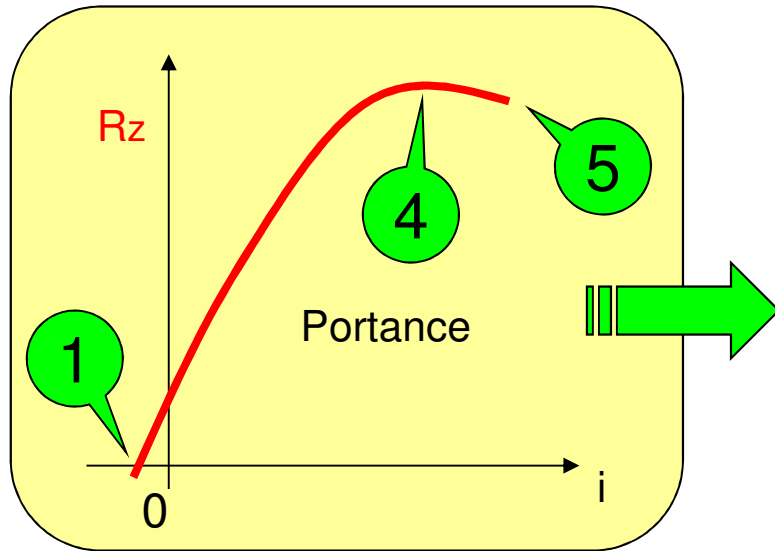
- la **polaire type EIFFEL** : elle représente C_z en fonction de C_x
- la **polaire des vitesses** : elle représente V_z (vitesse verticale) en fonction de V_x (vitesse horizontale) dans le cas d'un vol plané. Elle est surtout utile pour la conception des ailes de planeurs ou parapentes.

III Etude des polaires

2. Etude de la polaire de type EIFFEL

- Grâce à elle on détermine quelques caractéristiques essentielles du profil.
- Elle s'obtient à l'aide de mesures effectuées en soufflerie. On en déduit alors C_z et C_x .
- En général on indique sur les points de la polaire l'incidence à laquelle ils correspondent.

Polaire de Eiffel



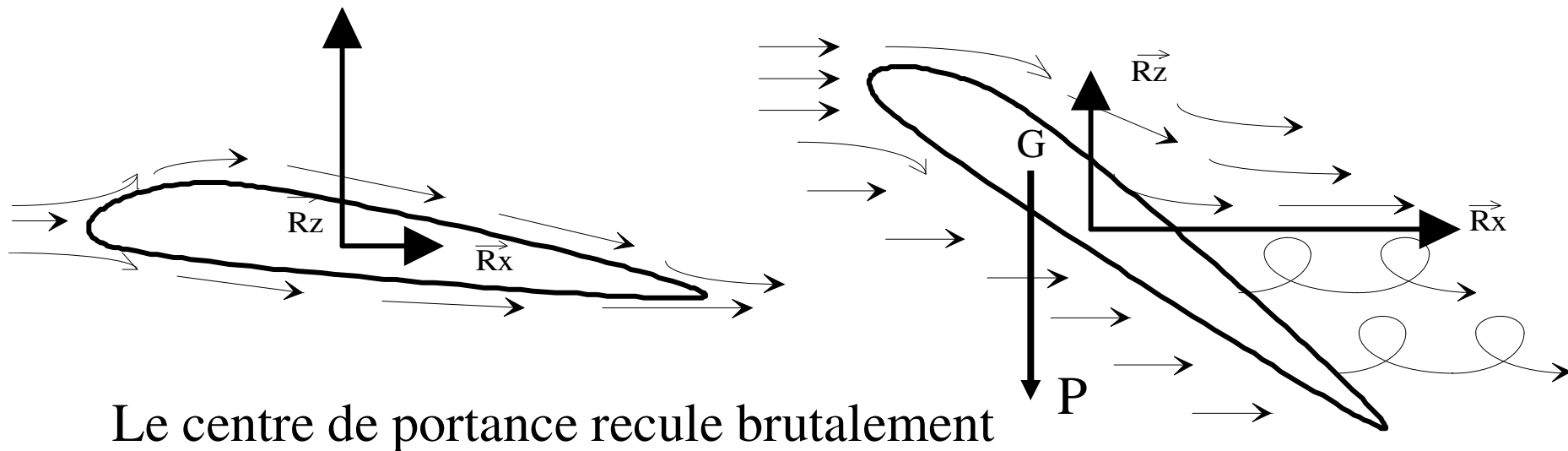
Aérodynamique et Mécanique du vol

Décrochage

Finesse Maximum

2. Etude de la portance

- En pratique, on constate que si l'incidence dépasse une certaine valeur, la portance n'augmente plus mais chute très fortement. C'est le décrochage de l'aile :



Le centre de portance recule brutalement

Nous verrons en « Connaissances des aéronefs » des artifices pour retarder la vitesse de décrochage

- Vrillage de l'aile.
- Ajouts aérodynamiques pour réduire la vitesse décrochage:
 - bec de bord d'attaque
 - fixes
 - automatiques
 - commandés
 - basculants, Handley Page, Kruger, Betz
 - Volets
 - intrados
 - volets de courbure simple ou à fente
 - volets fowlers (volets à recul) simple ou à fente



I Les forces aérodynamiques

2. Etude de la portance

En conclusion, à vitesse donnée la portance de l'aile augmente avec l'incidence, jusqu'à l'incidence de décrochage.

Le décrochage se produit parce qu'on atteint cette incidence limite.

Expression de la finesse

- Le point de finesse max est important : il représente l'incidence de vol permettant d'effectuer la distance la plus longue possible en vol plané sans vent.
- La **finesse** (coefficient sans unité) peut se définir de plusieurs façons :

$$f = \frac{C_z}{C_x} = \frac{R_z}{R_x}$$

- Le point de **finesse max** se repère sur la polaire en prenant la **tangente à la courbe passant par l'origine** du repère.

Expression de la finesse

- La **finesse** peut donc se définir de plusieurs façons en fonction:
 - Du rapport de la **portance** (C_z ou R_z) sur la **trainée** (C_x ou R_x)
 - Du rapport de la **vitesse horizontale** (V_x) sur la **verticale** (V_z)
 - Du rapport de la **distance parcourue horizontalement** (D) sur la **distance verticale** (Δz)

$$f = \frac{C_z}{C_x} = \frac{R_z}{R_x} = \frac{V_x}{V_z} = \frac{D}{\Delta z}$$

- Ce point se repère sur la courbe des polaires en prenant la **tangente à la courbe passant par l'origine** du repère.

Etude de la polaire des vitesses

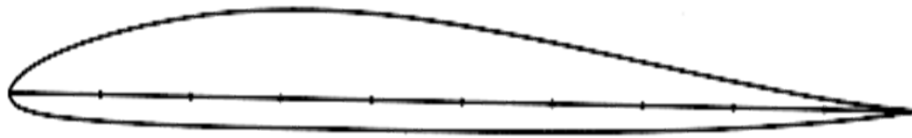
- C'est au régime de finesse maximale ou au régime de taux de chute minimum (en fonction des conditions aérologiques) que se placent les vélivoles et les parapentistes dans les ascendances.
- Cela leur permet alors de profiter de la vitesse verticale de la masse d'air pour gagner un maximum d'altitude par rapport au sol.

Impact de la forme/épaisseur sur portance et trainée

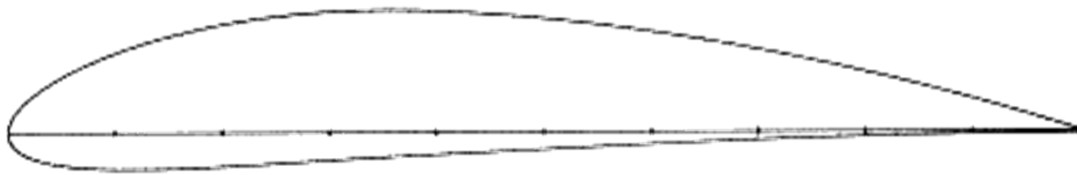
- Pour la portance:
 - En pratique un profil possédant une certaine **épaisseur** est plus efficace qu'un simple plan incurvé pour la portance
 - L'écoulement autour des profils aérodynamique est plus **accélééré sur la surface supérieure** que sur la surface inférieure.
- Pour la portance et la trainée:
 - La **forme du profil** influe beaucoup sur la portance, la trainée et leur coefficient.

Caractéristiques d'une voilure

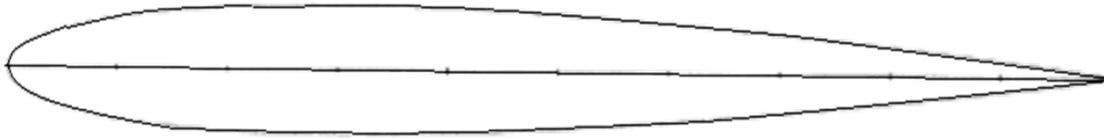
Suivant les profils d'ailes on aura plus ou moins de portance et ou de trainée.



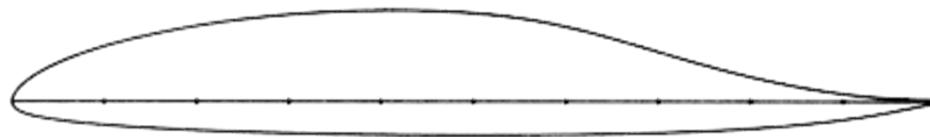
Le profil plan **convexe** « porte » bien.



Le profil **biconvexe dissymétrique** « porte » bien



Le **biconvexe symétrique** ne « porte » pas bien

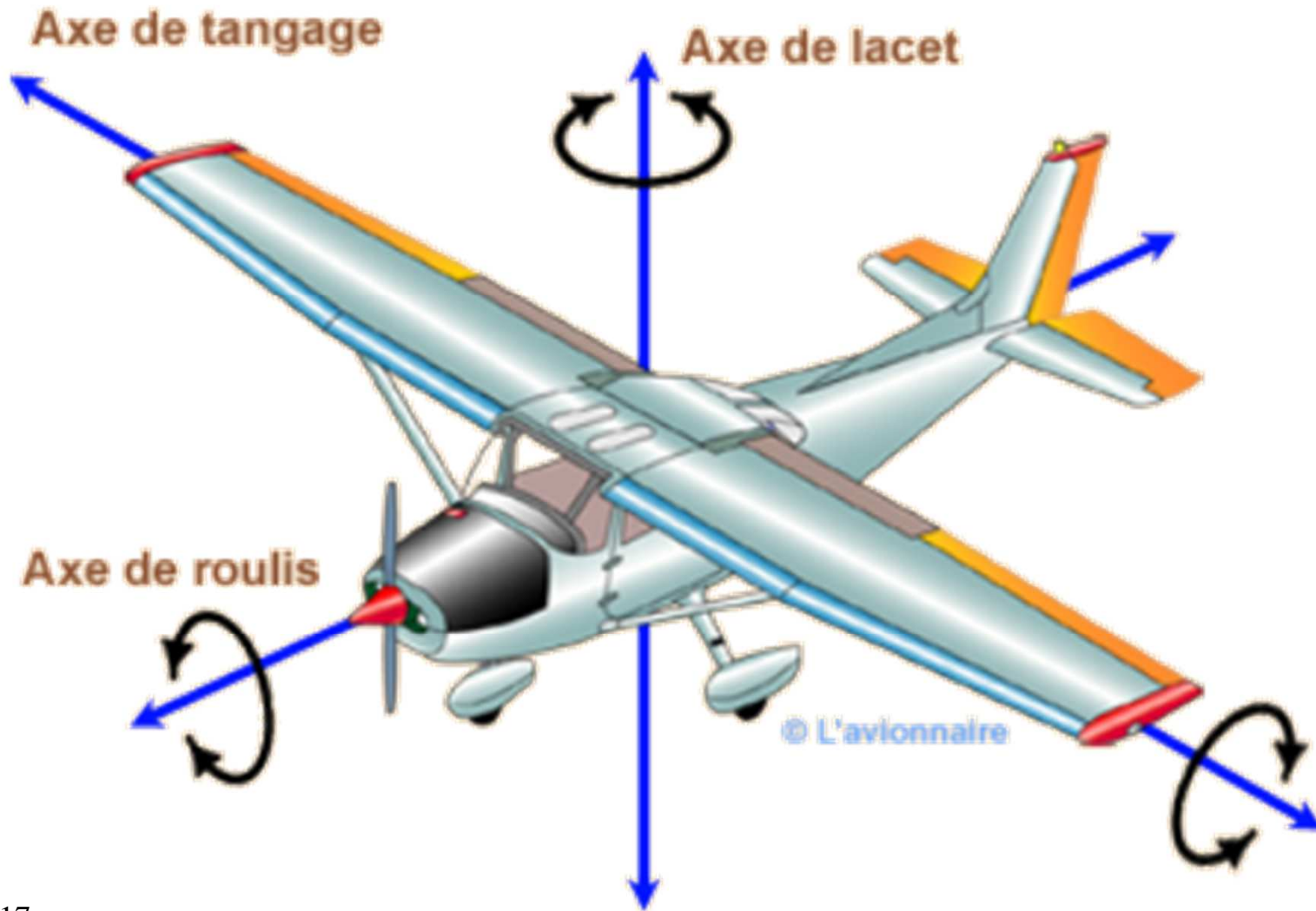


Le profil à **double courbure** (ou **autostable**) une portance moyenne et trainée importante.

Aérodynamique et Mécanique du vol

Equilibre, Stabilité et maniabilité
d'un aéronef

Les axes du mouvement



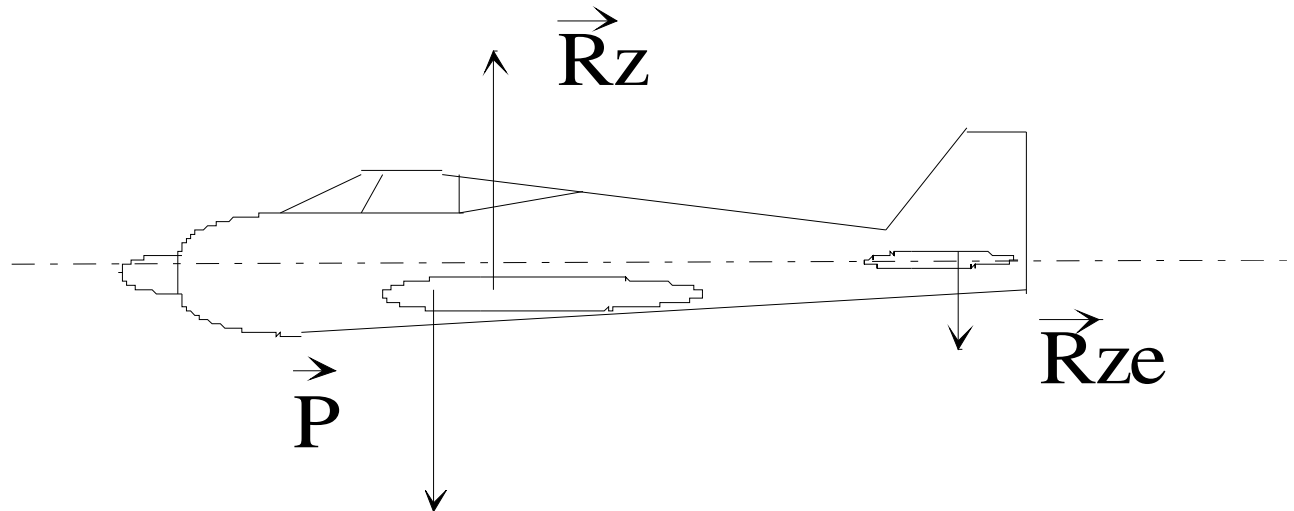
Stabilité statique longitudinale

- Pour qu'un avion soit facilement pilotable, il faut qu'il soit stable.
- Il doit avoir tendance compenser naturellement les petites variations de vitesse ou d'attitude non désirées qui peuvent survenir du fait de l'aérodynamique.

Stabilité statique longitudinale

- La stabilité est dite longitudinale quand on étudie les mouvements autour de l'axe de tangage.
- Une petite variation d'incidence doit provoquer un retour spontané à la position d'équilibre.

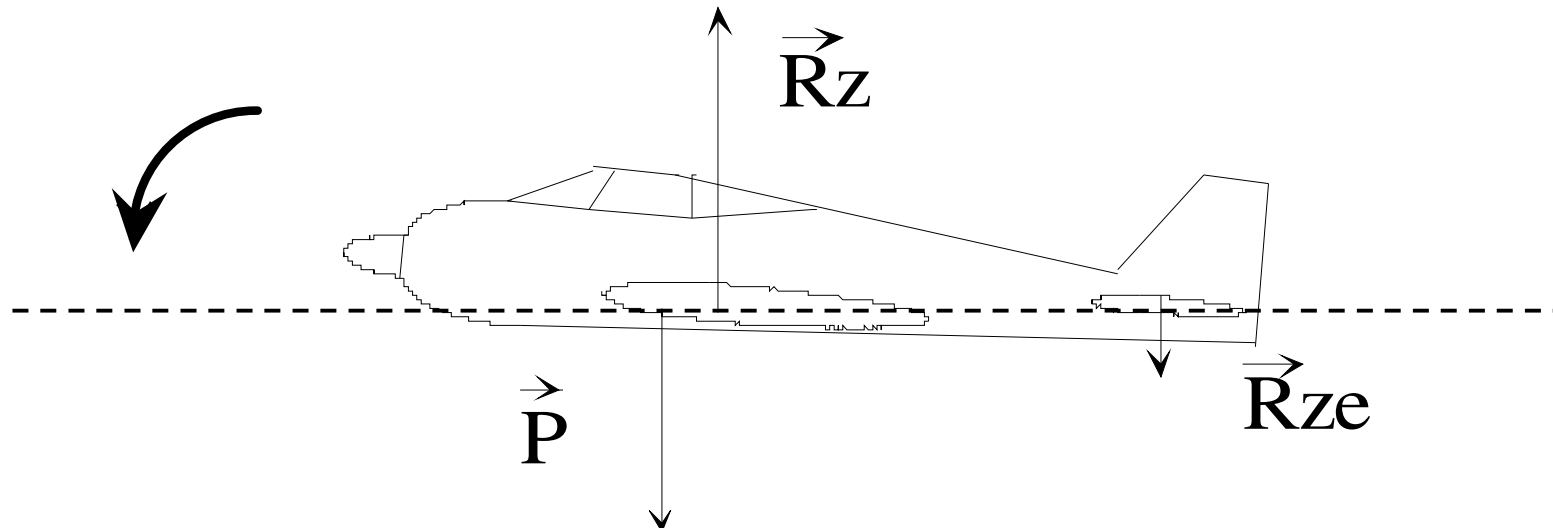
Stabilité statique longitudinale



- Le centre de gravité est en avant du centre de poussée de l'aile, la voilure est porteuse et l'empennage est déporteur.
- La portance de la voilure fait basculer le nez de l'avion vers le bas mais la portance négative de l'empennage permet de contrer cette rotation afin d'assurer l'équilibre.

Stabilité statique longitudinale

Réaction à une augmentation d'incidence:

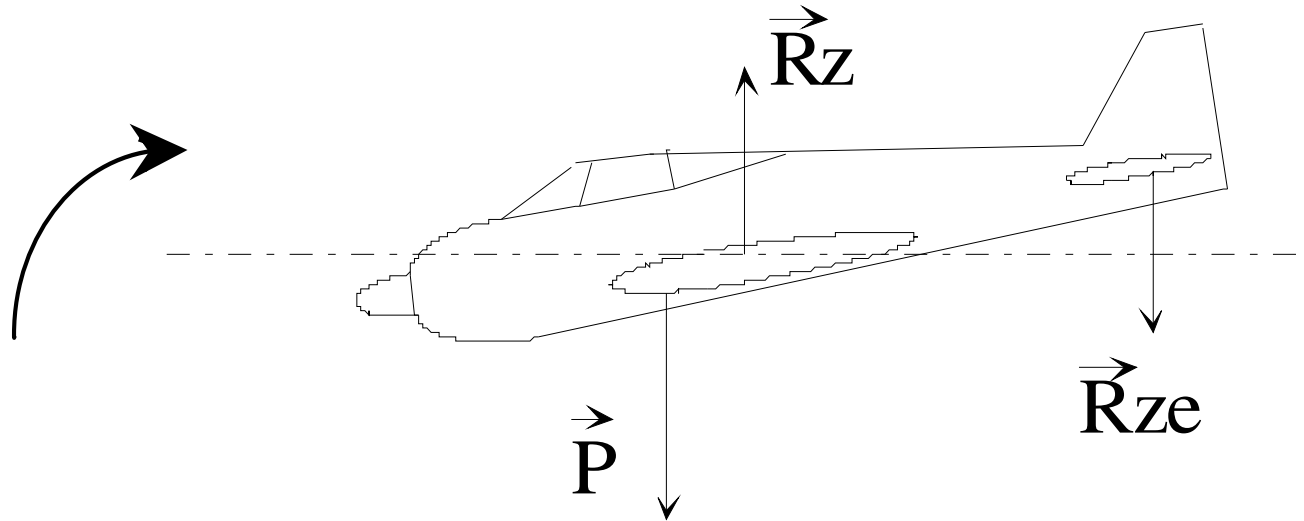


Si i augmente, R_z augmente et R_{ze} diminue (elle devient moins négative).

On a donc un couple à piquer qui tend à ramener l'avion dans sa position initiale.

Stabilité statique longitudinale

Réaction à une diminution d'incidence:



Si i diminue, R_z diminue et R_{ze} augmente (elle devient plus négative).

On a donc un couple à cabrer qui tend à ramener l'avion dans sa position initiale.

V Stabilité statique d'un aéronef

1. Stabilité statique longitudinale

- **Un avion est stable longitudinalement si le centre de gravité de l'avion est en avant du centre de poussée.**
- **Plus un avion est stable, moins il est maniable**
- **Plus un avion est maniable, moins il est stable.**

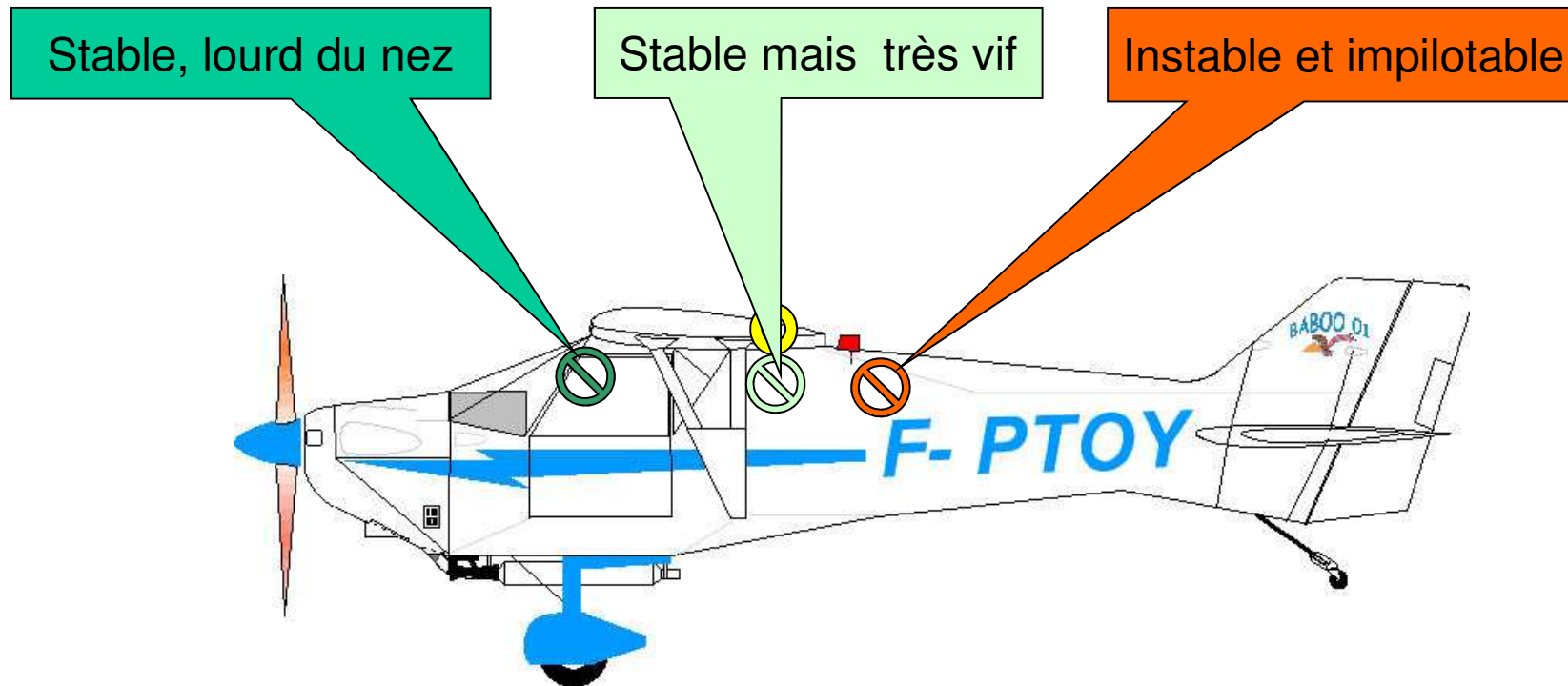
Stabilité statique longitudinale

Ce qu'il faut faire

Avantages Inconvénients

- **Le pilote doit maîtriser la position du centre de gravité de l'avion (opération de « centrage »)**
- **Le centre de gravité doit se trouver entre deux limites (limite avant / limite arrière)**
- **Si le centre de gravité est « vers l'avant » de l'avion, l'avion sera stable, mais peu maniable**
- **Si le centre de gravité est « vers l'arrière », l'avion sera maniable, mais peu stable**

Position du centre de gravité par rapport au centre de poussée



Le centre de gravité doit toujours se situer en avant du centre de poussée.

Aérodynamique et Mécanique du vol

V Stabilité statique d'un aéronef

1. Stabilité statique longitudinale
2. Stabilité statique transversale

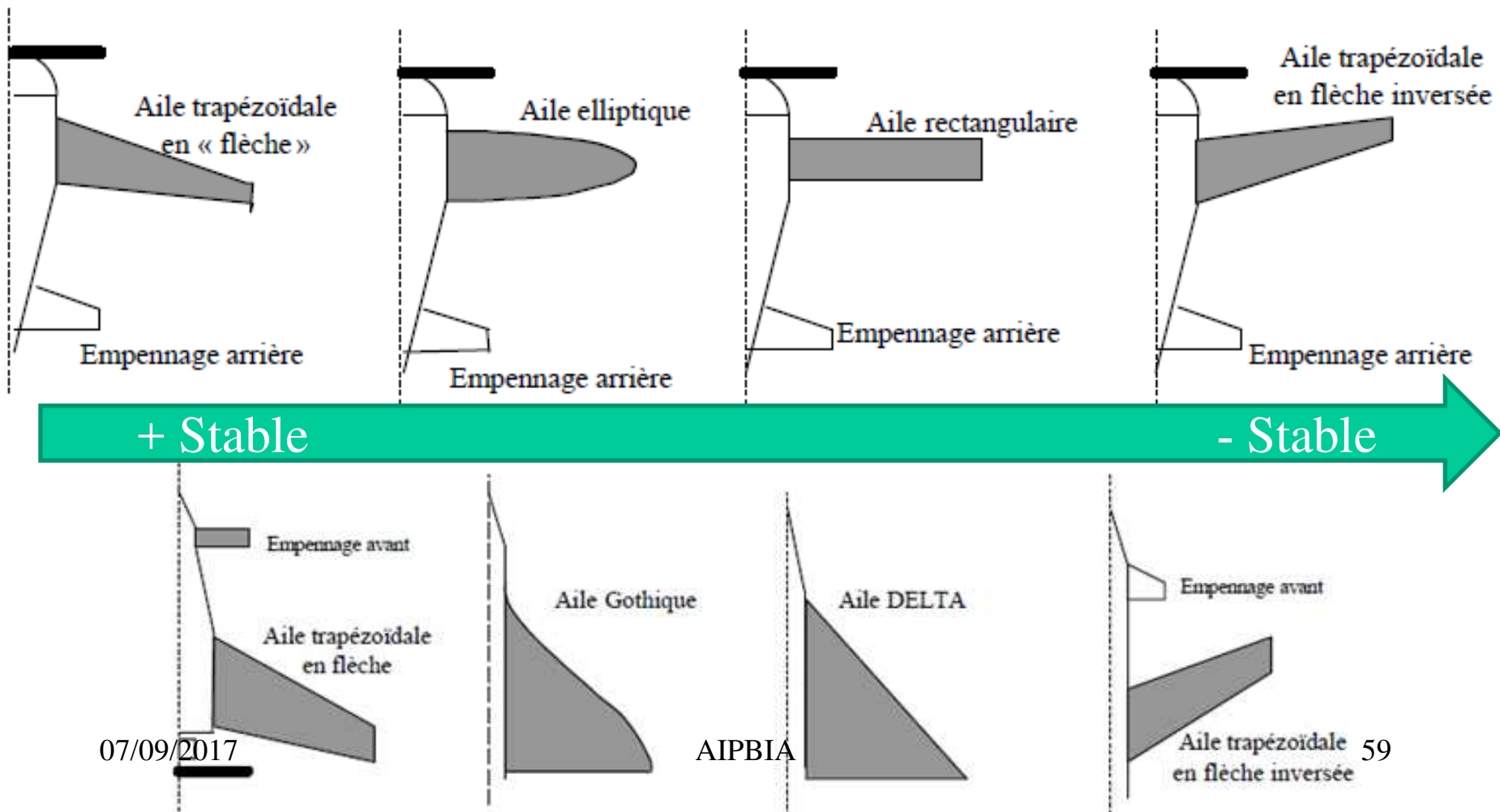
V Stabilité statique d'un aéronef

2. Stabilité statique transversale

- La stabilité statique transversale concerne les rotations autour des axes de roulis et de lacet lors des petites variations de dérapage et d'inclinaison.
- Son étude est assez complexe et on ne retiendra que l'influence du dièdre, de la flèche, de la position de l'aile et de la dérive

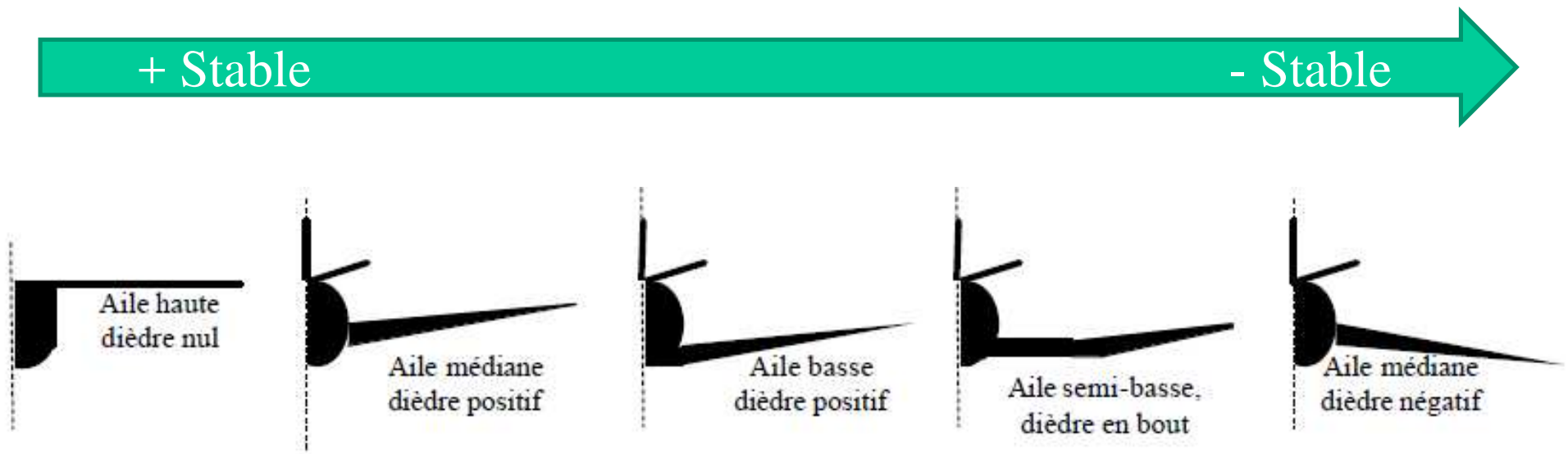
En résumé

Influence de la forme de l'aile sur la stabilité de l'avion



En résumé

Impact du Dièdre & Position de l'aile sur la stabilité de l'avion



V Stabilité statique d'un aéronef

2. Stabilité statique transversale

- Pour assurer une stabilité transversale en roulis on adopte en général les configurations suivantes :

type d'aile	position	dièdre
droite	haute	environ nul
droite	basse	positif
en flèche	basse	faiblement positif
en flèche	haute	fortement négatif

V Stabilité statique d'un aéronef

2. Stabilité statique transversale

- Les importants progrès des systèmes de commandes de vol électriques permettent de concevoir des avions légèrement instables.
- Le pilotage assisté par l'ordinateur permet de rendre l'avion contrôlable.

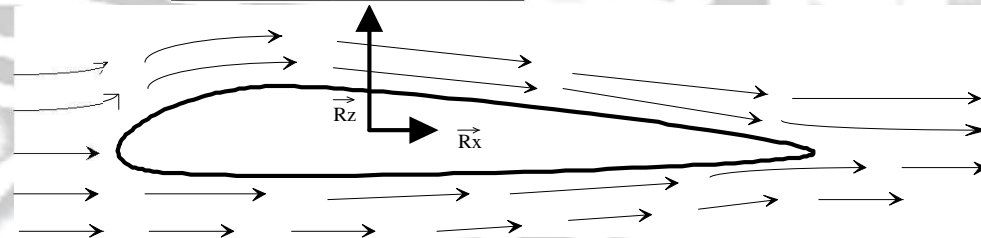
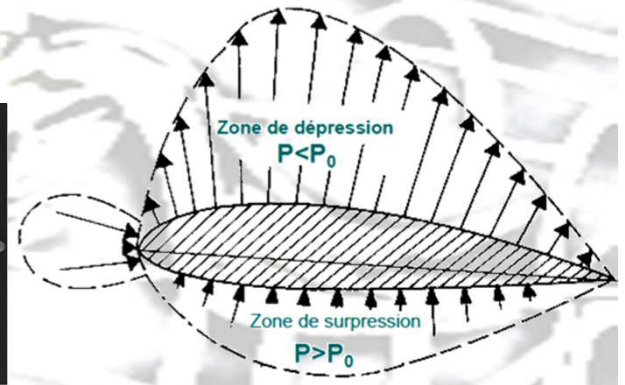
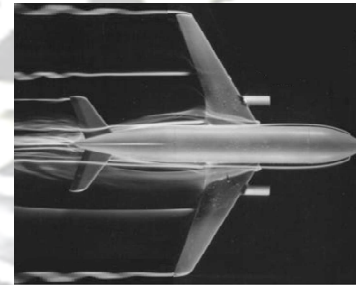
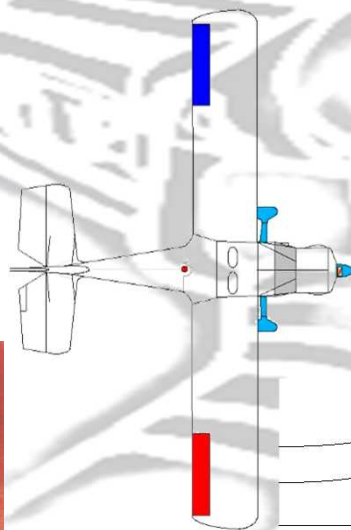


Aérodynamique, Aérostatique Principes du vol

2.1 Sustentation et l'Aile. Notions préliminaires



07/09/2017



AIPBIA

63

Ressources ou liens utiles

- <http://www.futura-sciences.com/sciences/videos/kezako-passe-t-il-lorsquun-avion-franchit-mur-son-866/>