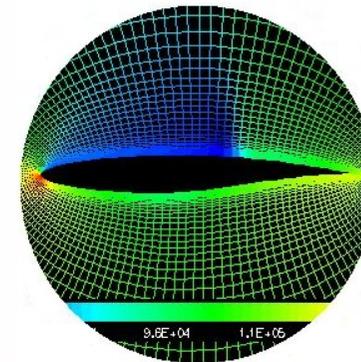
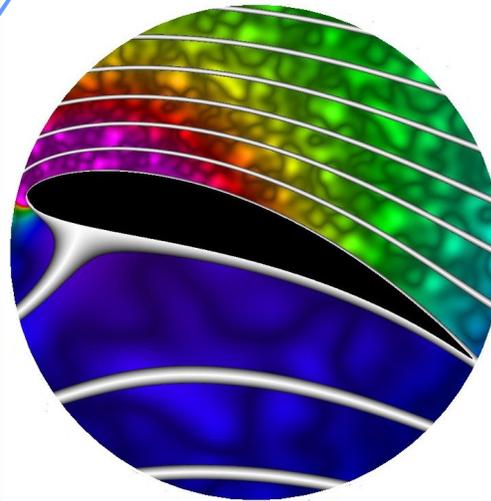
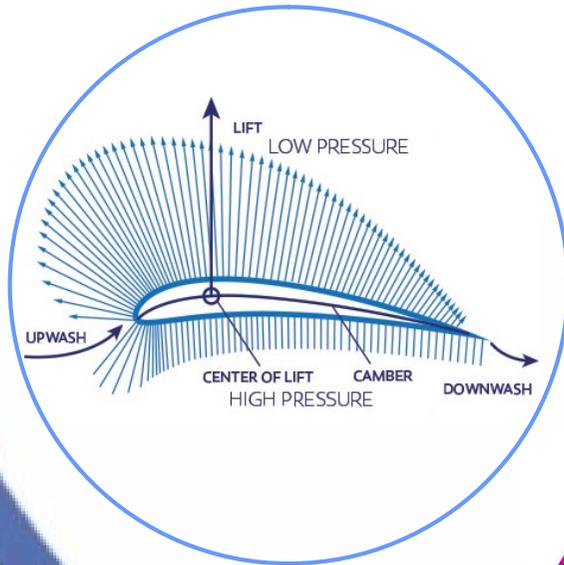


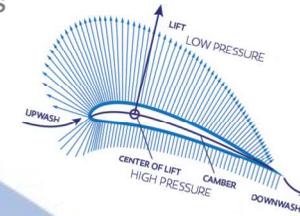
Notions d'aérodynamique:

Chapitre 01-02

Profil d'Aile: Généralités



V06
01/06/2017



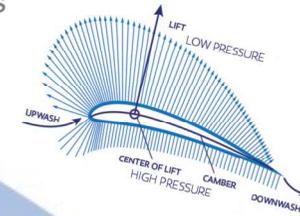
AVERTISSEMENT:

Ceci n'est pas un cours académique et ne peut pas servir en tant que tel.

Ceci est une approche simplifiée à l'intention des jeunes ingénieurs qui désirent se lancer dans l'aéromodélisme.

Pour une étude plus approfondie, il est indispensable de consulter la documentation spécialisée.

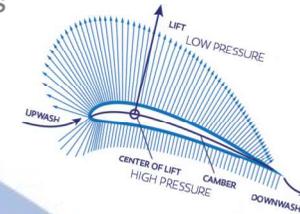
Sommaire



Introduction

- Définitions
- Nombre de Reynolds
- Portance, Traînée et Moment
- Annexes

Introduction



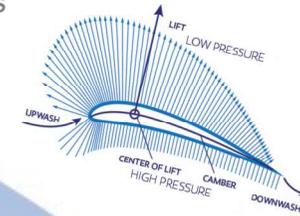
- Dans ce chapitre on se propose d'étudier la notion de profil d'aile: la section verticale de l'aile.
- Donc notre étude se limitera à **l'aspect 2D de l'écoulement.**



- Ceci se justifie par le fait qu'une étude 2D est plus simple à faire et donne des bons résultats pour l'évaluation des profils.

- L'étude 3D, de l'aile, consistera à partir de l'étude 2D et ajouter les corrections nécessaires.

Sommaire:

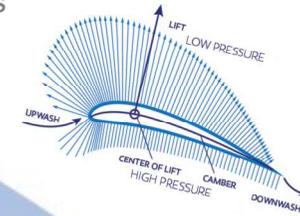


- Introduction



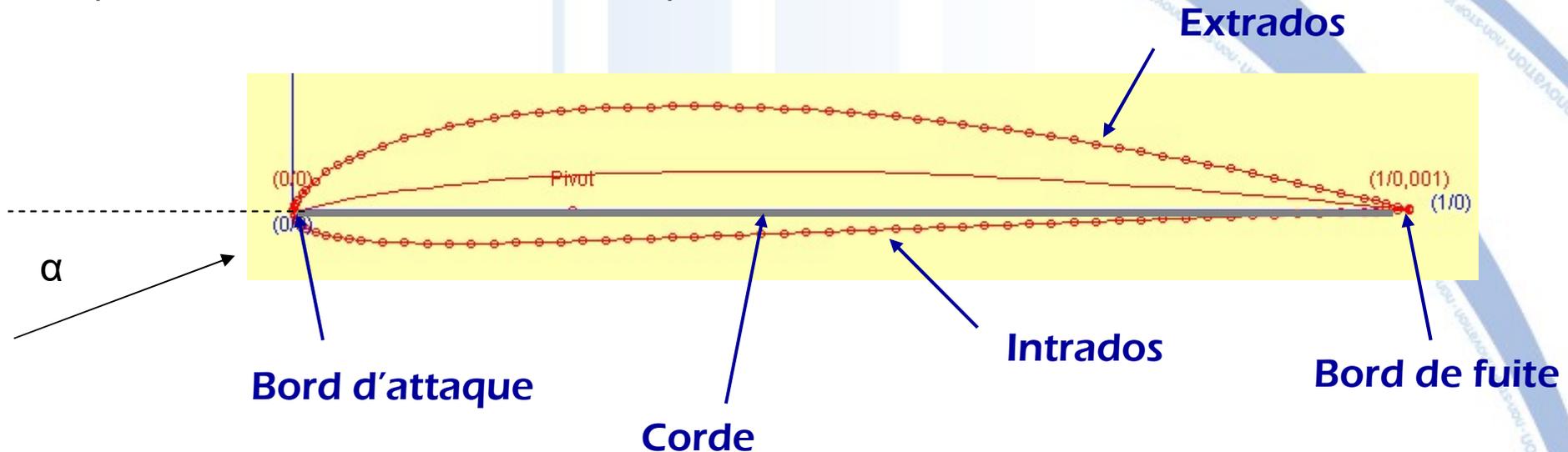
Définitions

- Nombre de Reynolds
- Portance, Traînée et Moment
- Annexes



Définitions:

- Voici quelques définitions relatives à un profil d'aile (illustrées sur un Clark Y)



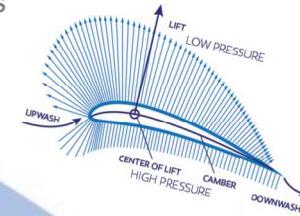
Extrados: face supérieure du profil,

Intrados: face inférieure du profil,

Bord d'attaque et bord de fuite: extrémités avant et arrière du profil.

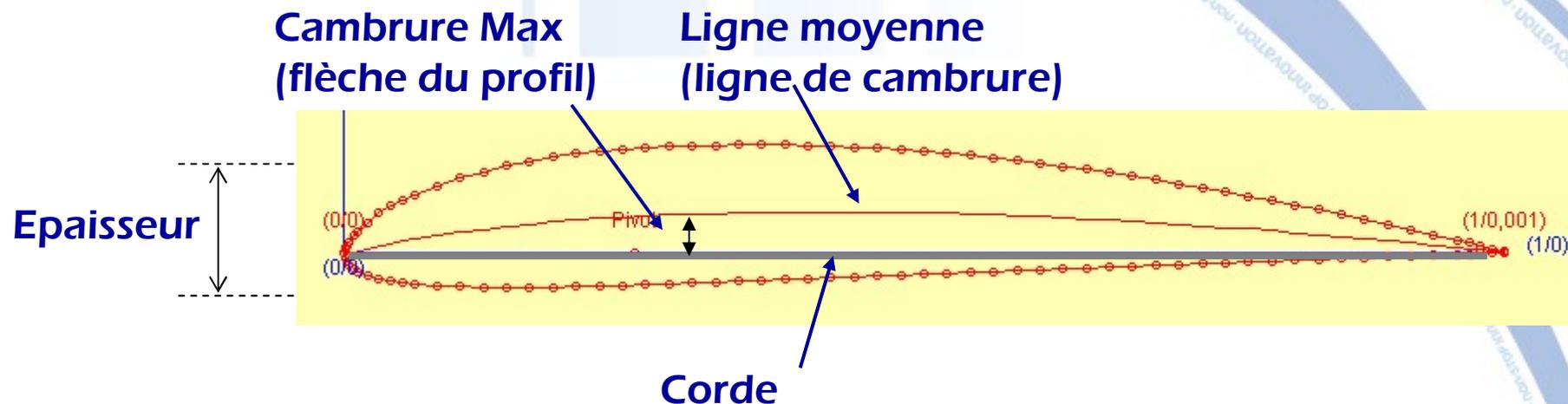
La corde: relie le bord d'attaque de l'aile, au bord de fuite.

Angle d'attaque α (Alpha): angle entre la corde et l'écoulement relatif



Définitions:

- On a aussi.



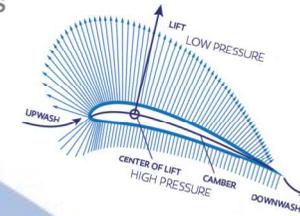
Épaisseur relative : épaisseur / corde

Flèche du profil (*) : écart entre la ligne moyenne et la corde

La cambrure relative (cambrure Max) : flèche / corde

(*) à ne pas confondre avec la flèche d'une aile.

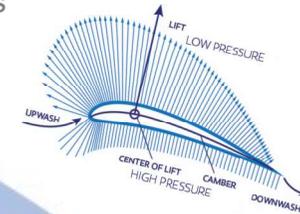
Sommaire



- Introduction
- Définitions
- **Nombre de Reynolds**
- Portance, Traînée et Moment
- Annexes

CLARK Y

Ecoulement



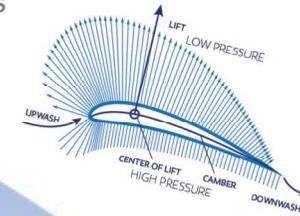
- Dans un écoulement, on s'aperçoit (via les équations de Naviers et Stocks) qu'on a deux forces qui s'opposent: **force d'inertie** vs **force de viscosité**.
- **Expérience:** le phénomène est facile à visualiser en variant le débit d'un robinet.

Lorsque la **viscosité est importante** (par rapport à la vitesse), le frottement dissipe les perturbations et l'écoulement reste **laminaire**.



Inversement, avec une **vitesse importante** la moindre perturbation se transforme en « **turbulence** ».

Nombre de Reynolds



- On définit alors le Nombre de Reynolds comme suit:

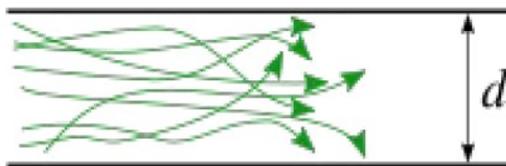
$$Re = \frac{\text{Force d'inertie}}{\text{Force de viscosité}} = \frac{U_{\text{infini}} \cdot L_{\text{caractéristique}}}{\text{Viscosité cinématique}}$$

- On distingue trois types d'écoulements:



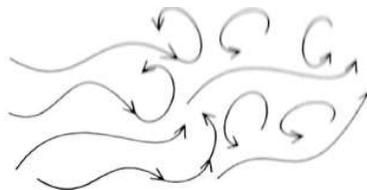
Re faible; Ecoulement laminaire

Filets d'air parallèle, et freinés au niveau de la paroi



Re moyen: Ecoulement turbulent:

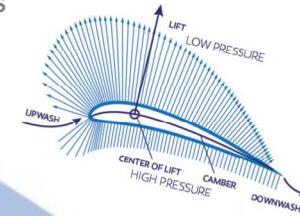
Des particules qui évoluent dans le même sens mais des trajectoires qui ne sont pas rectilignes



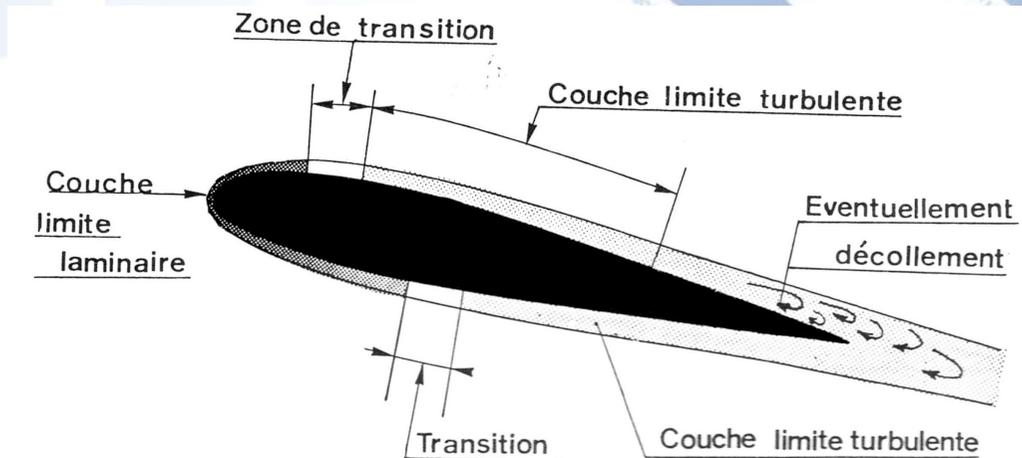
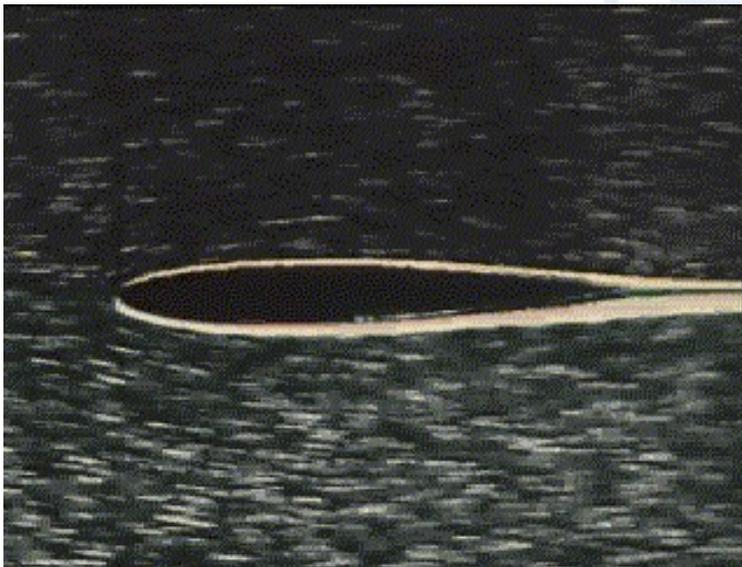
Re important: Ecoulement tourbillonnaire:

Écoulement très désordonné

Ecoulement sur un profil

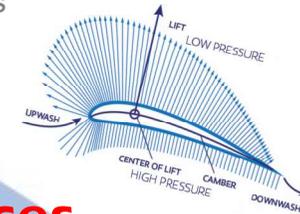


- Sur un profil, les trois états peuvent coexister:



- Idéalement, on cherche l'écoulement laminaire (traînée faible).
- Au pire, on a l'écoulement tourbillonnaire qui fait chuter la portance (décrochage).
- → La réalité, c'est une couche laminaire suivie d'une couche turbulente.

Importance du Nb de Reynolds



- Comme le Re caractérise l'écoulement (et donc **les forces** qui **s'exercent sur le profil**) alors chaque fois qu'on va étudier un profil il faut **définir le Re** ou **la plage de Re** de l'étude.
- Pour une aile, dans les conditions atmosphériques normales (1atm, 15°C) on a:

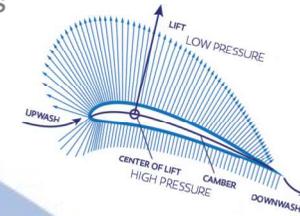
$$Re = \frac{VL}{\nu} \quad \longrightarrow \quad Re = 68000 \cdot \text{Corde} \cdot \text{Vitesse}$$

- On peut étudier un avion dans une soufflerie à condition de **respecter le même Re** entre **l'avion réel** et la **maquette** -> d'où l'importance de ce concept.

Les premières études en soufflerie (années 20) ont échoué car on ne respectait pas la notion du Nb de Reynolds.



Plage de Re



- ***Re au-dessus d'un Million:*** domaine d'évolution des avions « grandeurs ».



A320



Piper J3 cub

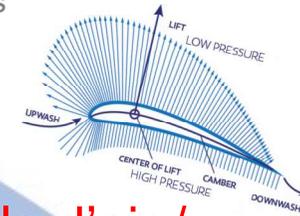
- ***Re entre 10⁵ et 1 Million:*** domaine de l'aéromodélisme out-door (30-80km/h).

- ***Re inférieur à 10⁵:*** domaine de l'aéromodélisme in-door (15km/h).

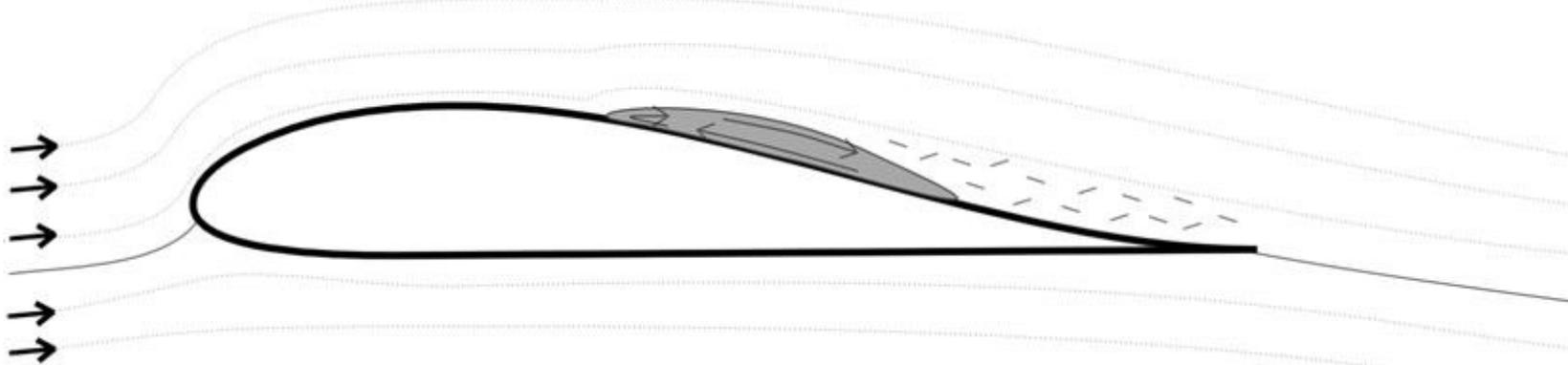


Yak 54

Re critique



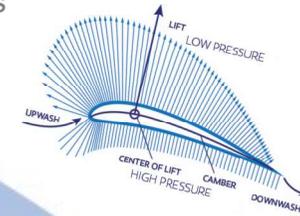
- À faible Reynolds, il peut se former ce qu'on appelle une **bulle d'air / une zone morte**.
- La zone se forme en général derrière le point d'épaisseur maximum.
- A l'arrière de la bulle, un sillage tourbillonnaire se forme.



- Il ne faut pas utiliser un profil dans le **Re critique** car **il a une forte traînée et une faible portance**.
- Si un profil passe en Re subcritique (chute de vitesse), il s'en sortira avec un effet hystérise (une vitesse plus importante).

Pour limiter le Re critique, on peut utiliser les terbulateurs (Vortex Generator) ou des profils spécifiques (mince).

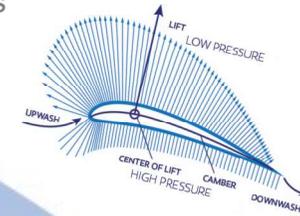
Sommaire



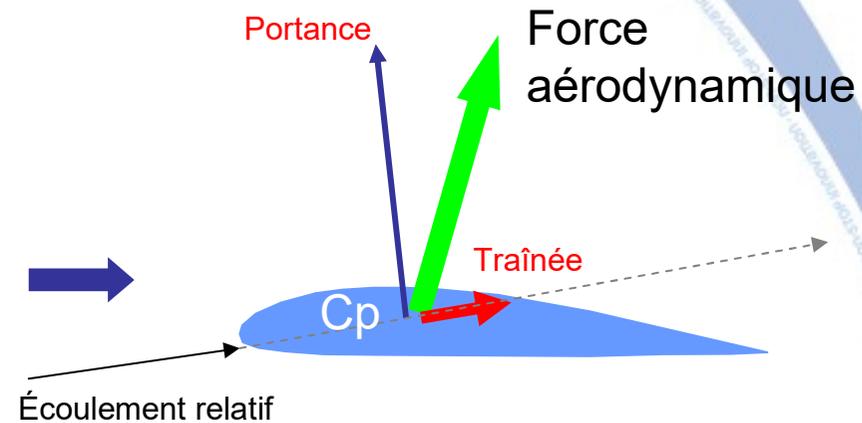
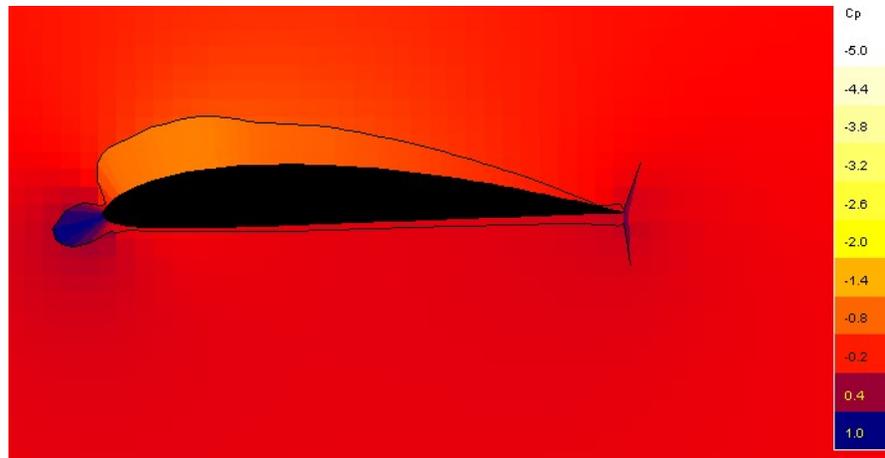
- Introduction
- Définitions
- Nombre de Reynolds
- **Portance, Traînée et Moment**
- Annexes



Centre de pression: C_p

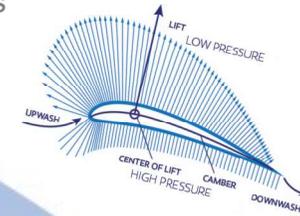


- La force aérodynamique résulte de la pression qui s'exerce sur le contour du profil.
- Cette distribution de pression peut être assimilée à une force aérodynamique qui s'exerce en un point particulier appelé *centre de pression*

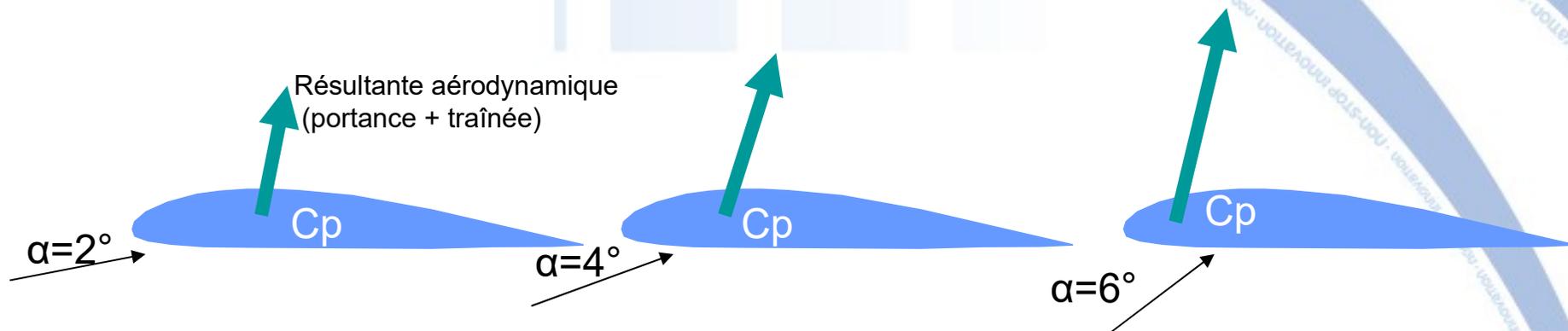


- La force en question se décompose en *portance* et *traînée*.

Centre de pression



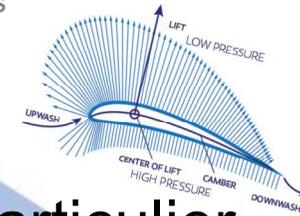
- Le centre de pression est fonction de l'angle d'attaque, **il avance si α augmente.**



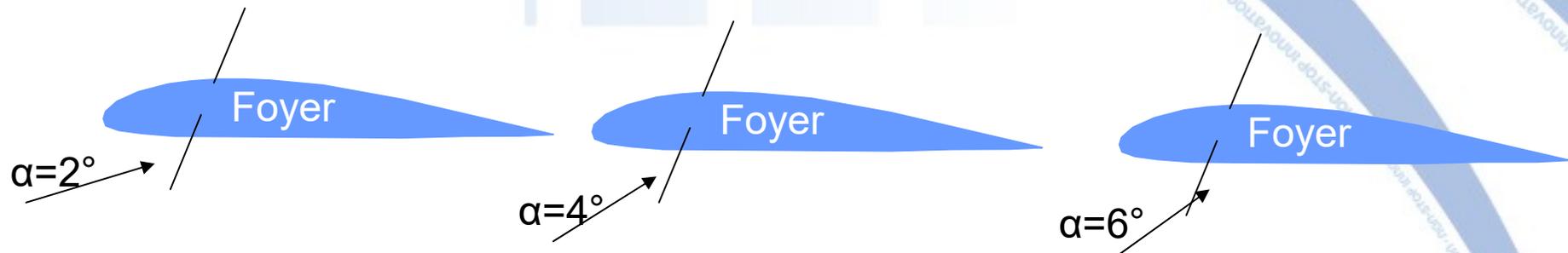
- Le **centre de pression** est décalé du Cg du profil, il en résulte l'apparition d'un moment.
- Concrètement, le profil a tendance à « basculer » par rapport à son centre de gravité (*1).

(*1) Le moment est facile à visualiser via une aile en polystyrène lancée vers l'avant.

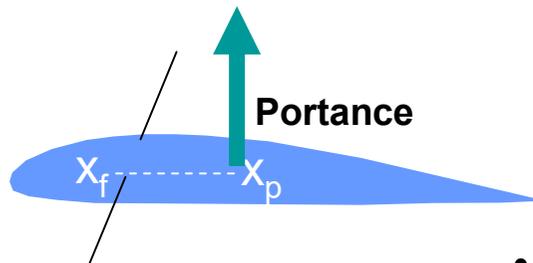
Le foyer: F



- Si on fixe un axe sur le profil, on trouve un point particulier autour duquel le profil reste stable même si l'angle d'attaque varie: **c'est le foyer*** du profil.



- Ceci implique que **le moment de la portance** par rapport à l'axe est **constant** (à une vitesse donnée):

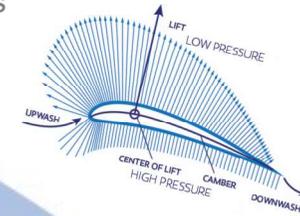


$$M_{/f} = - \text{Portance} \cdot (x_p - x_f) = \text{constante} = C_m < 0$$

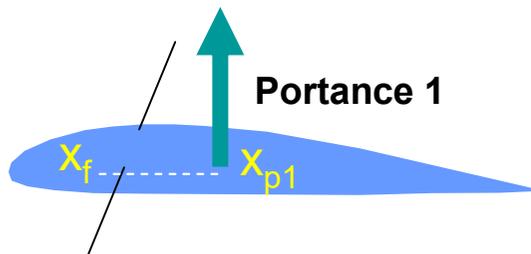
- Le moment de traînée est négligeable car le profil a une faible épaisseur.

(*) certain parle de centre aérodynamique

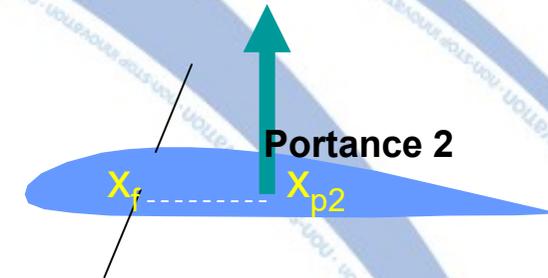
Lien Foyer & variation de la portance



- Si on prend deux configurations différentes, on obtient:



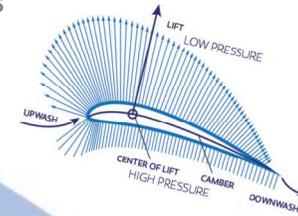
$$- P_1 \cdot (x_{p1} - x_f) = - P_2 \cdot (x_{p2} - x_f)$$



- On introduit x_g (position du centre de gravité):

$$\underbrace{- P_1 \cdot (x_{p1} - x_g) - P_1 \cdot (x_g - x_f)}_{M_{P1/g}} = \underbrace{- P_2 \cdot (x_{p2} - x_g) - P_2 \cdot (x_g - x_f)}_{M_{P2/g}} \quad \Rightarrow \quad \Delta P \cdot (x_g - x_f) = \Delta M_{/g}$$

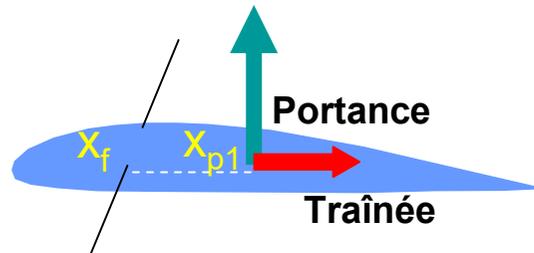
- La **variation du moment** est équivalente à la **variation de la portance** au niveau du **foyer**.
- **Le foyer** est le point **d'application de $\Delta P_{ortance}$** .
- Le foyer est en général au niveau du 25% de la corde.



Modélisation

- C'est ainsi qu'on a opté à la modélisation suivante:

Réalité

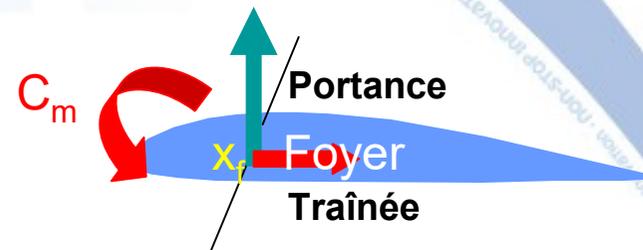


La portance et la traînée s'appliquent au niveau du C_p .

Le Moment: $M_{/g} = P (x_g - x_p)$

La position x_p varie avec l'angle d'attaque.

Modélisation



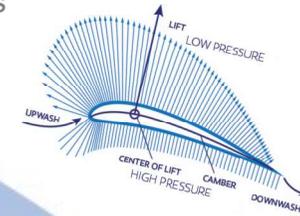
La portance et la traînée s'appliquent au foyer F.

$M_{/g} = P (x_g - x_f) + P(x_f - x_p) = P(x_g - x_f) + C_m$

Pour avoir le même moment, on doit « ajouter » un moment constant au niveau du foyer.

- L'avantage du modèle c'est de faciliter le calcul et le raisonnement pour la stabilité car on utilise le foyer (fixe) au lieu du C_p (variable).

Portance, Traînée et Moment



- Les critères qui vont influencer sur les caractéristiques d'un profil sont:

Epaisseur



Traînée
Rigidité (aile 3D)
Portance

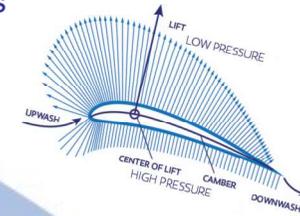
Cambrure



Moment
Portance
Traînée

On se propose dans le chapitre 3 de voir ces notions

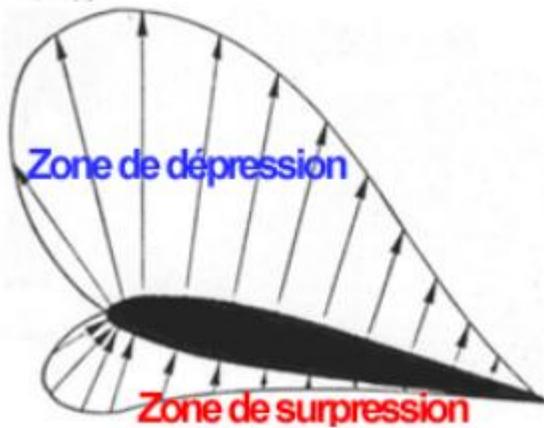
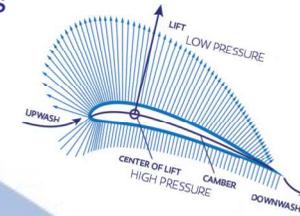
Sommaire



- Introduction
 - Définitions
 - Nombre de Reynolds
 - Portance, Traînée et Moment
- ## Annexes

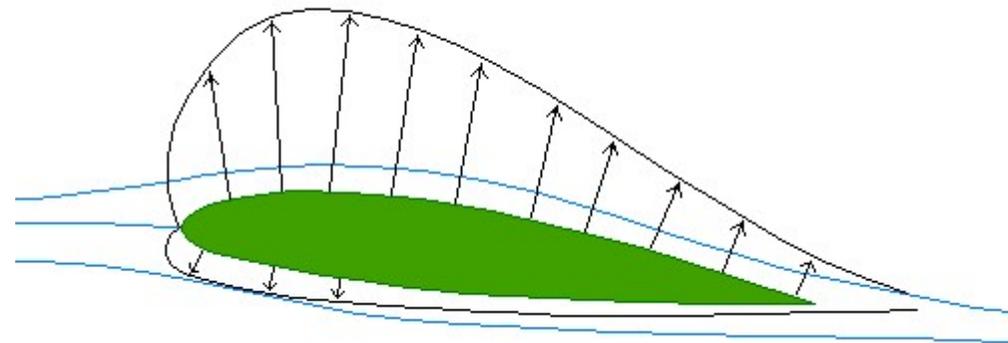
CLARK Y

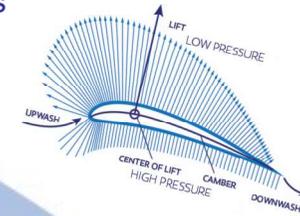
Annexe 1: Clarification



- Il est admis que l'écoulement autour d'un profil génère **une dépression** sur l'extrados et **une surpression** sur l'intrados.

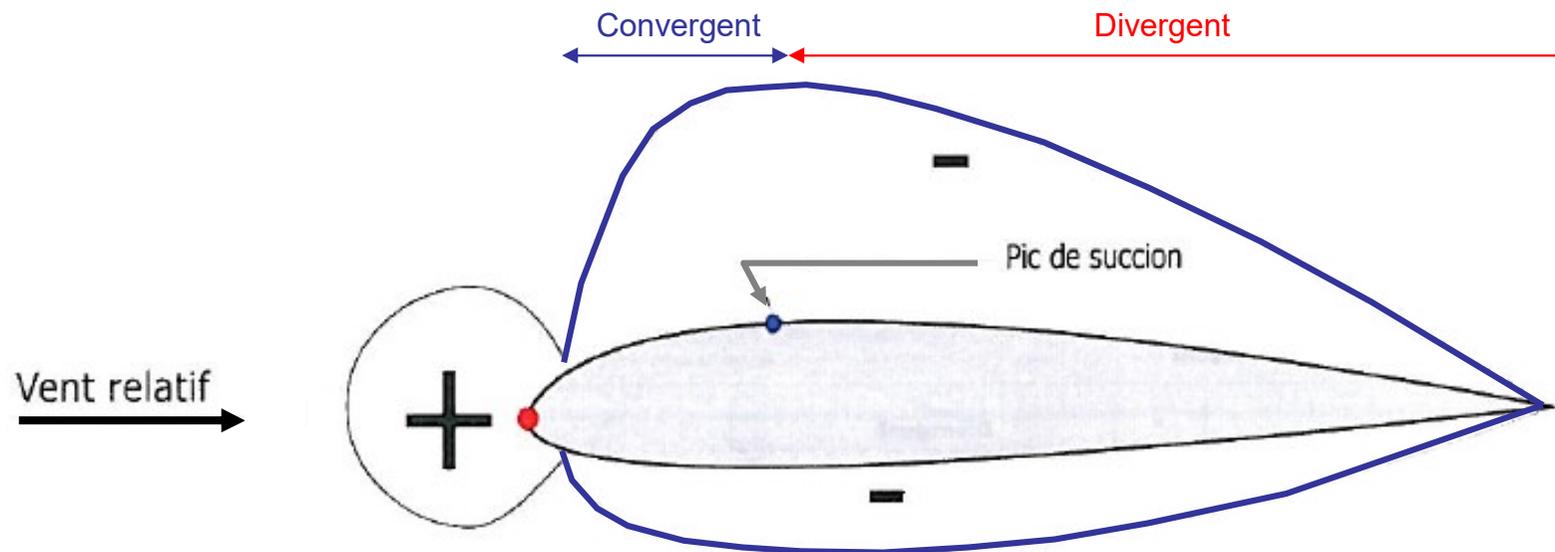
- Mais réellement, en fonction de l'angle d'attaque et du profil, on peut avoir **une légère dépression** sur l'intrados.
- Mais globalement, on a toujours une portance car il faut réfléchir en terme de différence de pressions entre l'intrados et l'extrados.

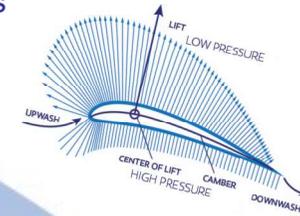




Annexe 2: Pic de succion

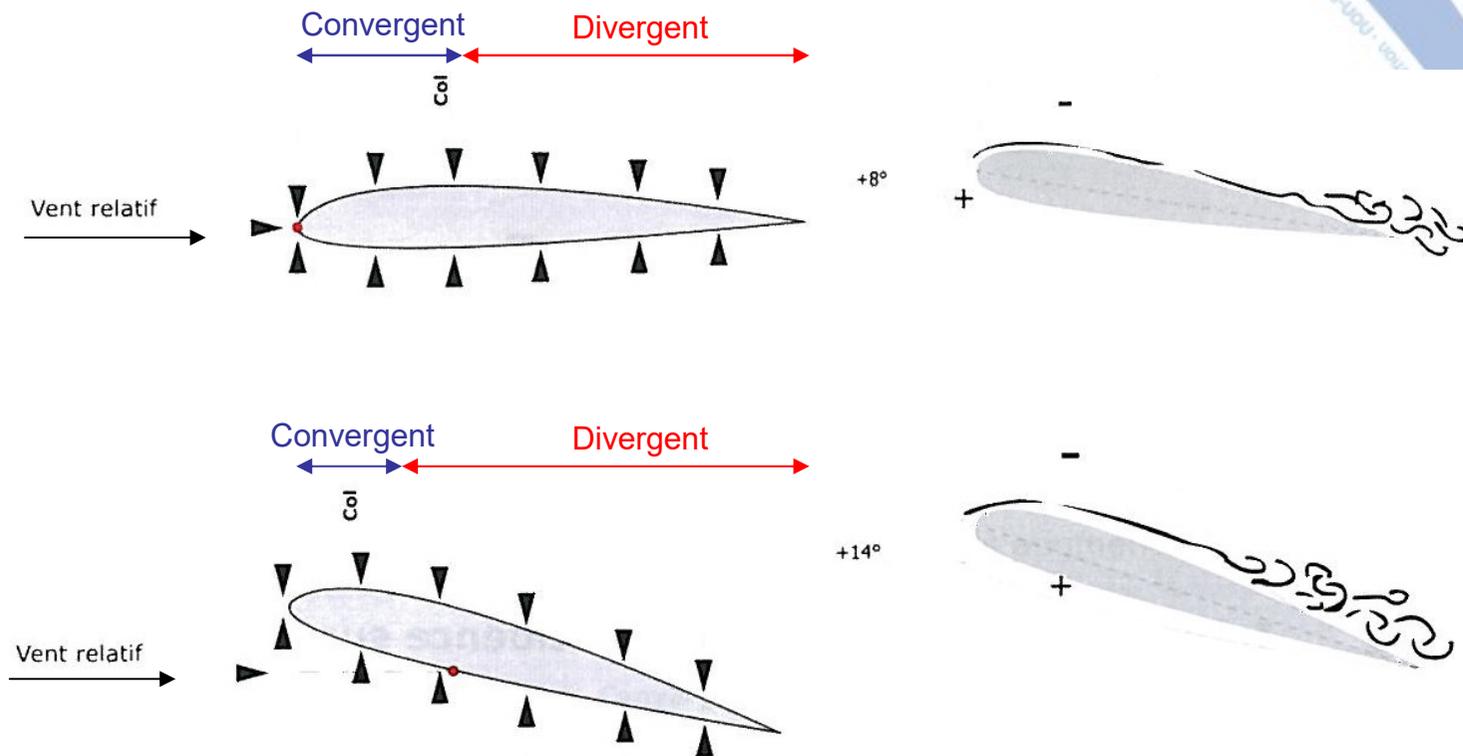
- Le point où la dépression de l'extrados atteint son maximum est appelé « pic de succion ».
- La zone en avant de ce pic est assimilée à un convergent (la vitesse augmente et la pression diminue).
- La zone en arrière de ce pic est assimilée à un divergent (la vitesse diminue et la pression augmente).



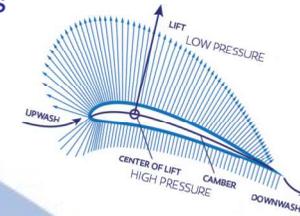


Annexe 3: Déplacement du C_p

- Lorsque l'angle d'attaque augmente le pic de suction avance, la zone du convergent se rétrécit et le C_p avance:



Annexe 4: Vortex generators



- On a vue qu'une couche turbulente résiste mieux au décrochage.
- Ainsi on a ajouté volontairement des VG (Vortex Generators / Turbulateurs) qui génèrent des tourbillons.
- La traînée augmente, mais l'écoulement est plus stable.

Before VGs



Smooth airflow



Boundary layer
begins to separate



Wing stalls

After VGs



Vortex airflow

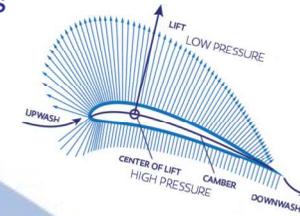


Boundary layer
energized by vortices



Boundary layer
remains attached

Annexe 4: Vortex generators



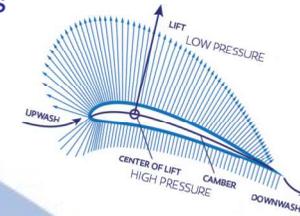
- Les VG peuvent être disposés sur la voilure:



- Certains utilisent ça sur les voitures:

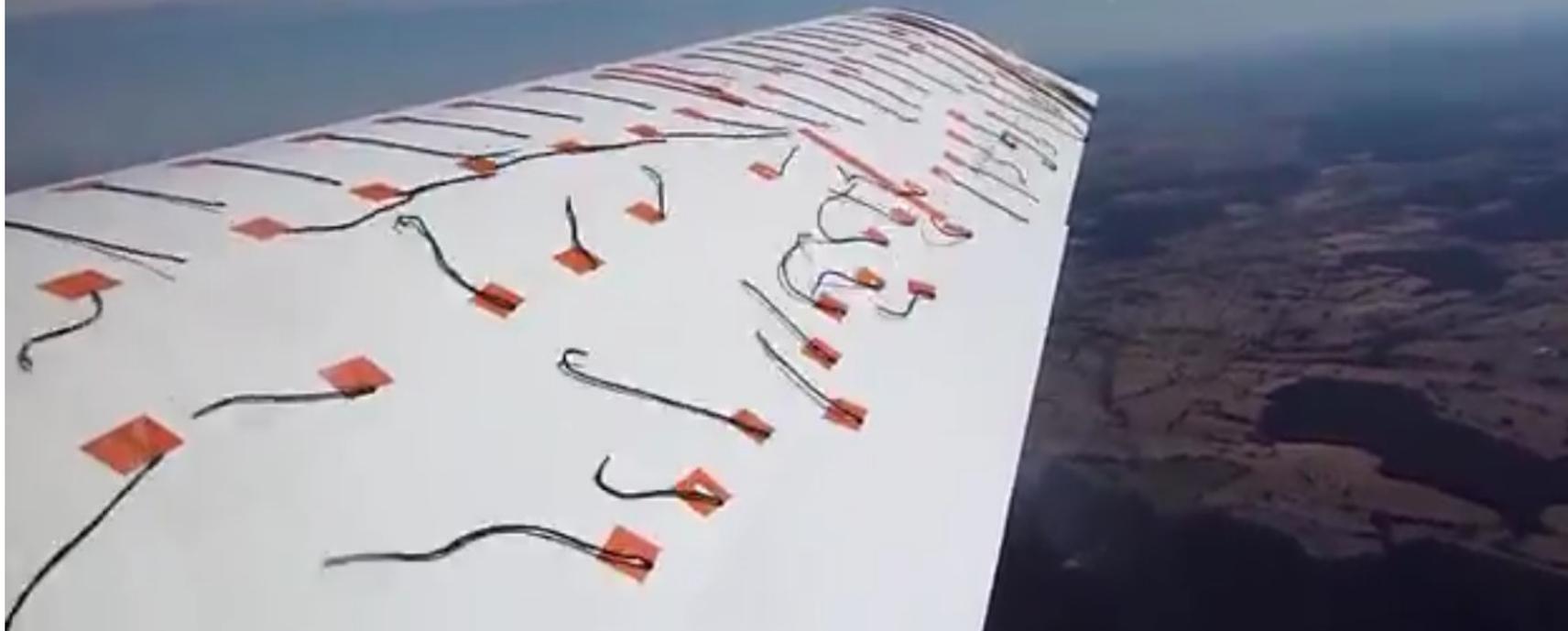


Annexe 4: Vortex generators

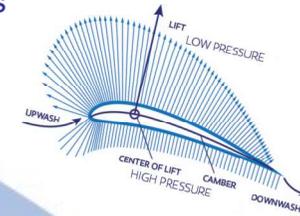


- Les vortex generators sont en amont des ailerons. L'écoulement est stabilisé par rapport au reste de l'aile.

Check the airflow behind the VGs !!!



Références:

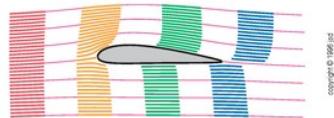


- Foilers, le blog des bateaux volants
 - <http://foils.wordpress.com/2011/12/07/portance-13/>



Nasa: Nationa Aironautics & Space Administration:
<http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/wrong1.html>

See How It Flies



See how it flies de John S. Denker
<http://www.av8n.com/how/htm/airfoils.html>



JavaFoil Version 2.20 - 1 avril 2013. Copyright ©2001-2013 © Martin Hepperle

<http://www.chez.com/aerodynamique>

R.GOUGNOT 2002©