AERODYNAMIQUE

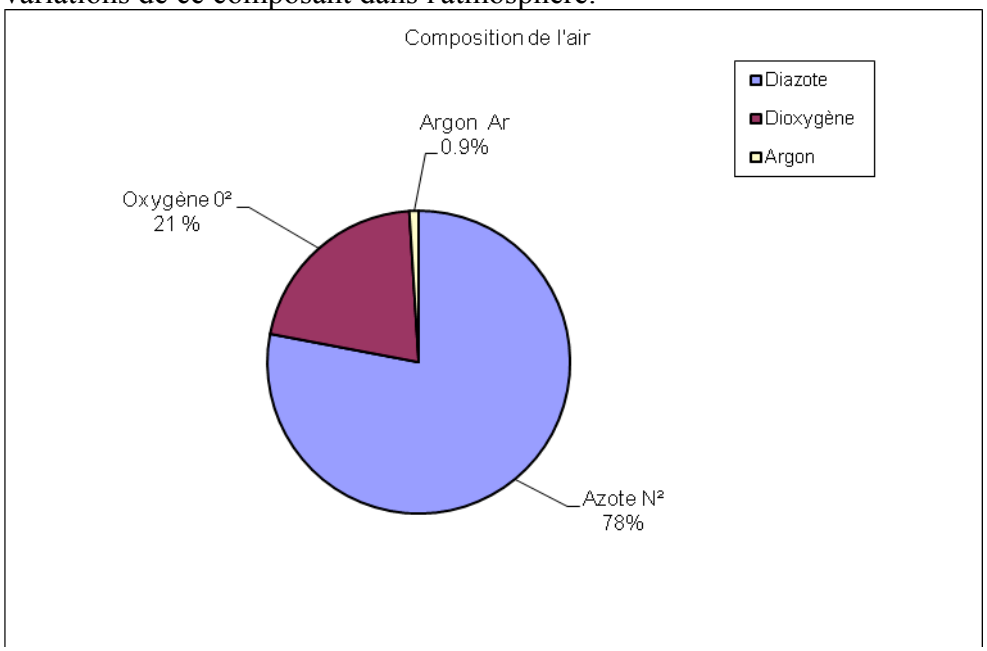
- Caractéristiques de la masse d'air
- Généralités sur les fluides en mouvements
- Forces aérodynamiques
- Les profils d'aile
- La polaire

1) Caractéristiques de la masse d'air.

L'air est composé :

- environ 78 % d'Azote en volume,
- environ 21 % d'Oxygène en volume,
- environ 1 % d'autres gaz dont :
  - les gaz rares (principalement de l'argon),
  - d'autres gaz (dioxyde de carbone, méthane ...).
  - et vapeur d'eau

L'air peut contenir de 0 à 7 % de vapeur d'eau. La proportion de vapeur d'eau dépend du taux d'hygrométrie de l'air et de sa température. Les météorologues s'intéressent de près aux variations de ce composant dans l'atmosphère.



Les trois paramètres principaux qui définissent l'état de l'air sont les suivants :

- La masse volumique notée ρ (Rhô) $=1.225\times\frac{273}{273+T}$ en Kg/m3
- La pression atmosphérique notée **P** et en hPascal. Pression standard = **1013,25hPa**
- La température notée **T** exprimé en C° ou en Kelvin K= T° +273. température standard =**15°**

La pression atmosphérique normale (ou *pression atmosphérique standard*) est la pression exercée au niveau moyen de la mer par une colonne verticale de 760 millimètres de mercure à la température de 0 degré Celsius ; sa valeur est fixée à **1 013,25** hPa .

Pression atmosphérique moyenne.

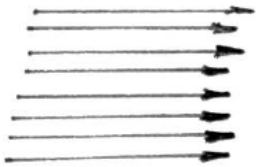
On constate en météorologie que ce nombre peut être considéré comme une estimation précise de la moyenne des valeurs prises par la pression atmosphérique au niveau moyen de la mer dans les zones tempérées : c'est pourquoi l'on convient de le choisir afin de distinguer à ce niveau les régions où la pression est "plus haute" ou "plus basse" que la moyenne, c'est-à-dire supérieure ou inférieure à la pression atmosphérique normale ; toutefois, on arrondit pratiquement celle-ci à la valeur **1 015 hPa** pour les besoins de la représentation cartographique. Ainsi, sur une carte d' analyse objective ou de prévision de la pression réduite au niveau de la mer à un moment déterminé, les lignes isobares sont usuellement tracées de 5 en 5 hPa en s'écartant de la ligne 1 015 hPa vers les pressions plus élevées (1 020 hPa, 1 025 hPa, 1 030 hPa, 1 035 hPa, etc.) ou plus basses (1 010 hPa, 1 005 hPa, 1 000 hPa, 995 hPa, etc.) jusqu'à cerner respectivement les zones anticycloniques et dépressionnaires .

2)Généralités sur les fluides en mouvements.

L'écoulement est le terme générique qui définit le déplacement de l'air. On distingue trois types d'écoulement.

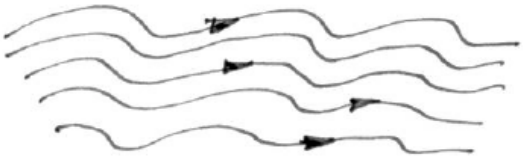
L'écoulement laminaire :

Les molécules d'air suivent des trajectoires rectilignes et parallèles entres elles.



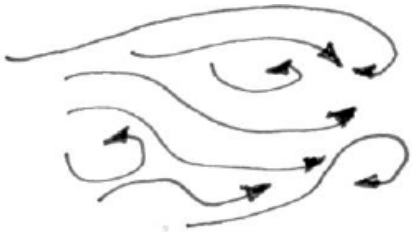
L'écoulement turbulent :

Les molécules d'air se déplacent parallèlement, mais les trajectoires ne sont plus rectilignes.



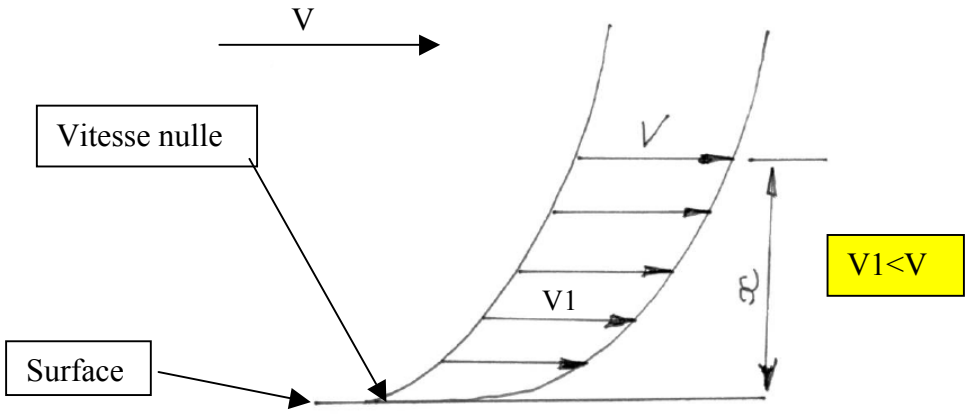
L'écoulement tourbillonnaire :

L'ensemble de l'écoulement est très désordonné bien que l'air se déplace globalement dans la même direction. Des particules peuvent remonter le courant et former des tourbillons.



Viscosité

Au voisinage d'une surface, la vitesse réelle du fluide est nulle, puis elle croît pour atteindre la vitesse V à une certaine distance x



Ces différences de vitesses engendrent des frottements entre les différentes couches de fluide, d'où une force de frottement par unité de surface, quantifié par un coefficient de viscosité cinématique. **ν** (nu) exprimé en m²/sec

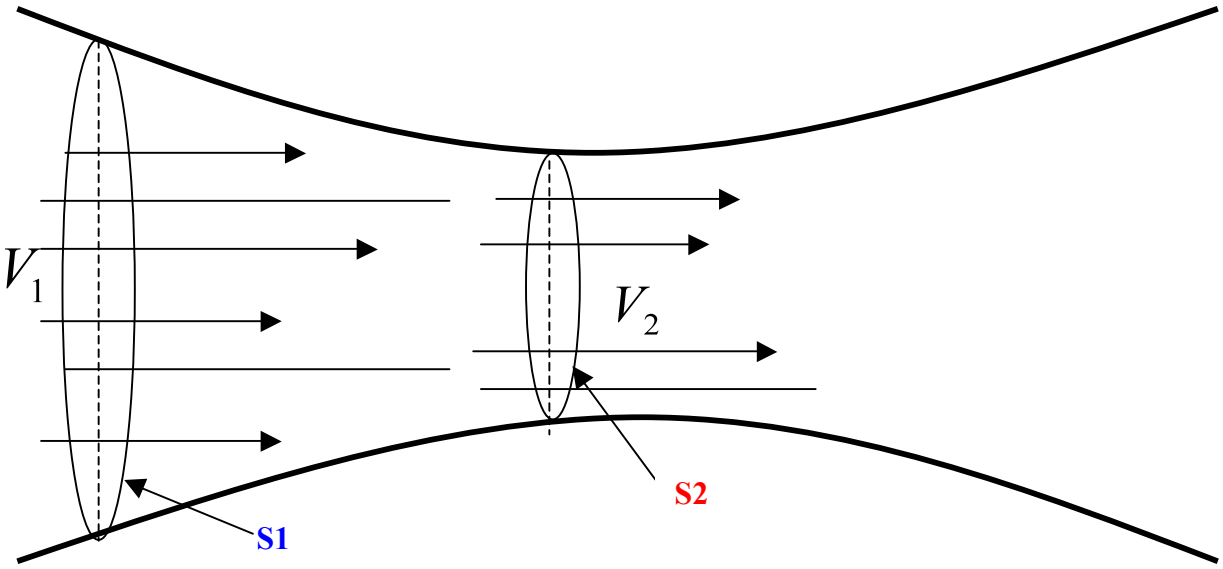
$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

Pression/(vitesse/longueur)

Masse volumique

Equation de continuité

Sont les relations de section et vitesse dans un fluide en mouvement

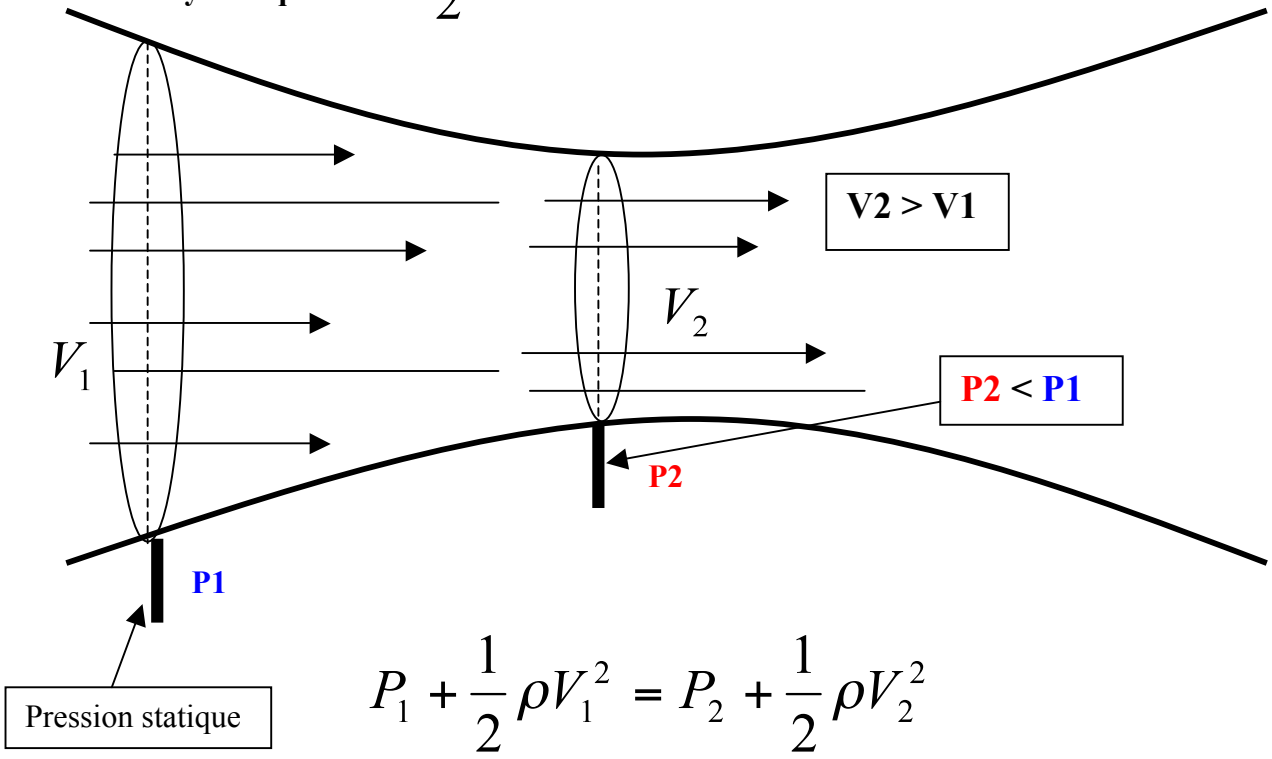


$$S_1.V_1 = S_2.V_2 \qquad \text{ou encore} \qquad \frac{V_1}{V_2} = \frac{S_2}{S_1}$$

Quand la section décroît, la vitesse augmente, et inversement.

Equation de Bernouilli et pression dynamique.

Pression dynamique $q = \frac{1}{2}.\rho.V^2$ **V en m/s**



$$P_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho V_2^2$$

Pression Totale = pression statique + pression dynamique => P+q = cte

Nombre de Reynolds

Pour que les résultats d'un essai de maquette soient directement applicables à l'avion correspondant, il faudrait que la vitesse des filets d'air soit la même que la vitesse de l'avion dans l'atmosphère. Il existe donc un effet d'échelle.

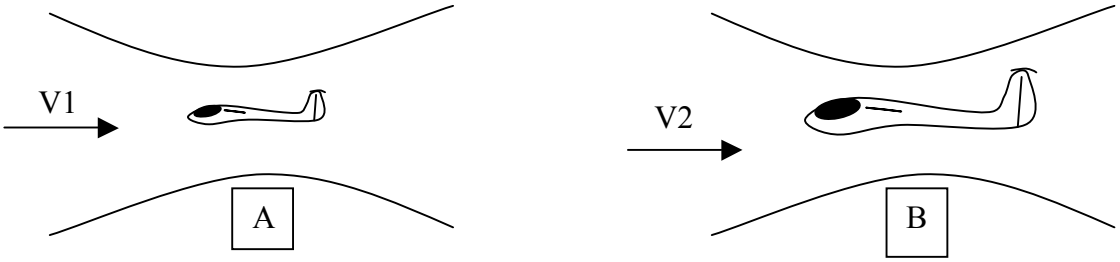
Deux écoulements sont semblables l'un à l'autre à condition que le rapport

$$R = \frac{V.L}{\nu}$$

Longueur de la maquette, ou profondeur de l'aile

soit le même dans les deux cas. Ce rapport est appelé **nombre de Reynolds.**

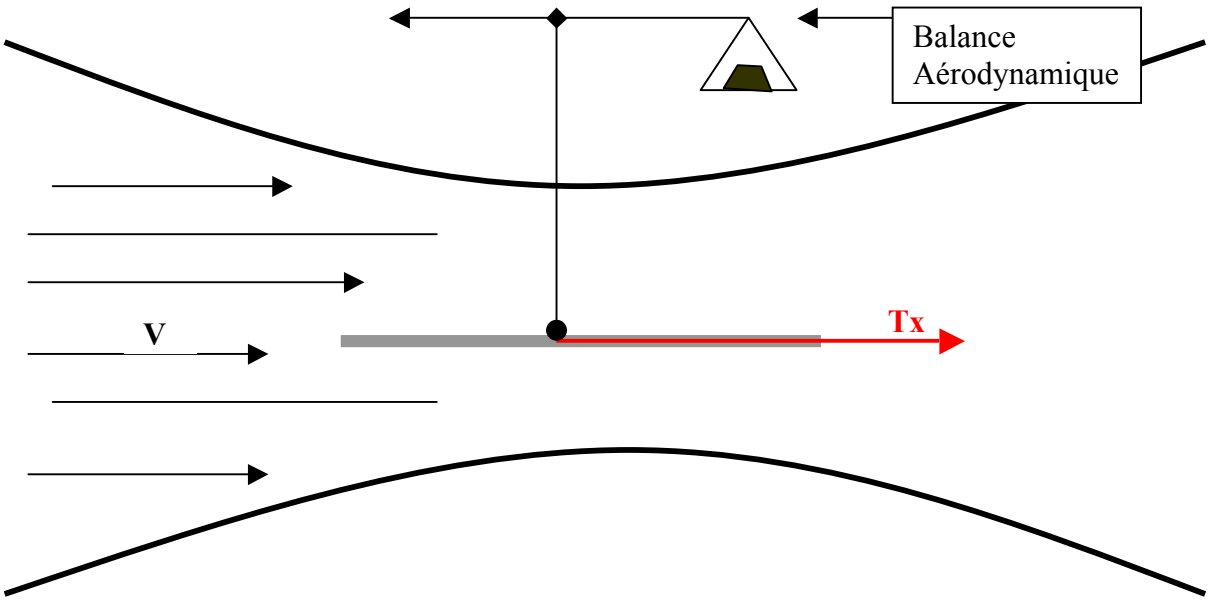
R est un nombre sans dimension. R= 100 000 pour un modèle réduit d'avion et environ 3 000 000 et plus pour un avion grandeur.



Sur l'avion A, pour obtenir le même nombre de Reynolds sur que sur l'avion B, on augmente la vitesse de l'écoulement, Et inversement sur l'avion B

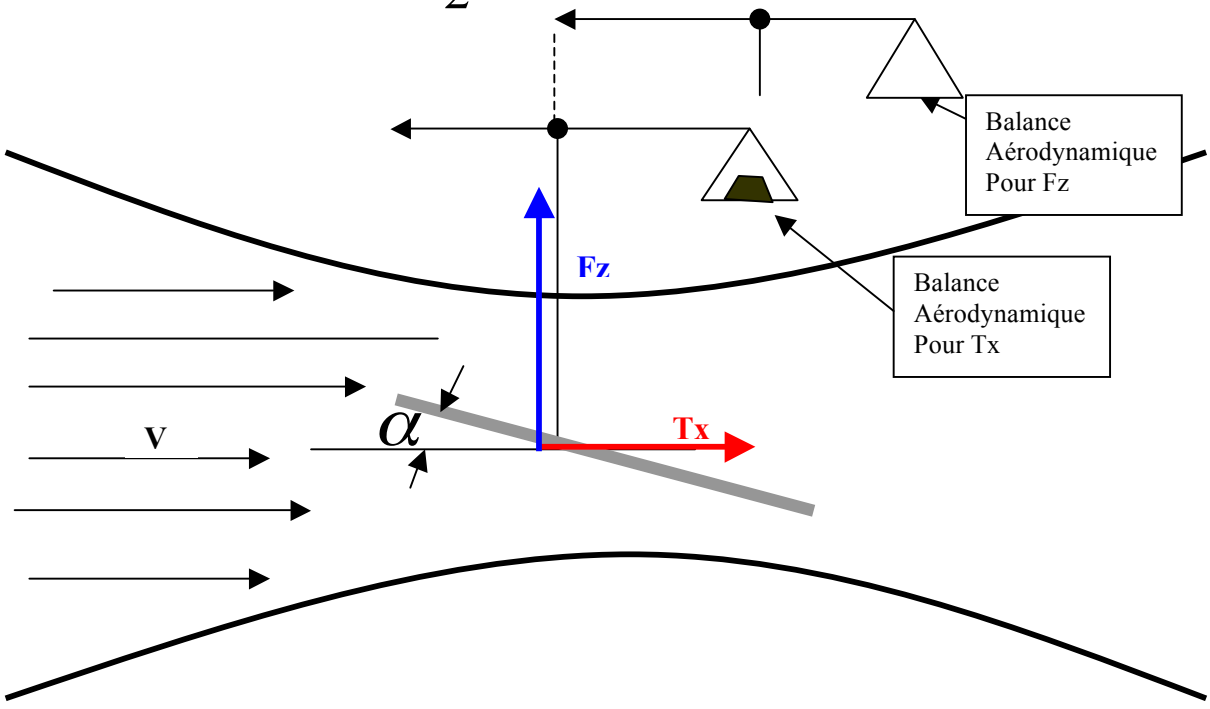
3) Forces aérodynamiques.

Etude d'une plaque dans un flux d'air



Une plaque plane est placée dans une soufflerie parallèlement à un flux d'air laminaire.
On mesure une résistance aérodynamique parallèle au flux. Elle est due à la pression dynamique et à la viscosité

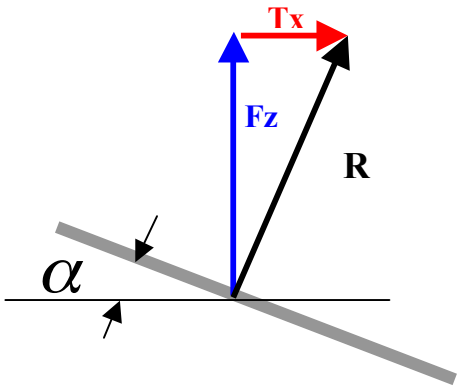
$$Tx = \frac{1}{2}.\rho.S_1.V^2$$



Si l'on incline la plaque d'un angle α , la résistance aérodynamique n'a plus une seule composante horizontale, mais également une composante verticale orientée vers le haut .

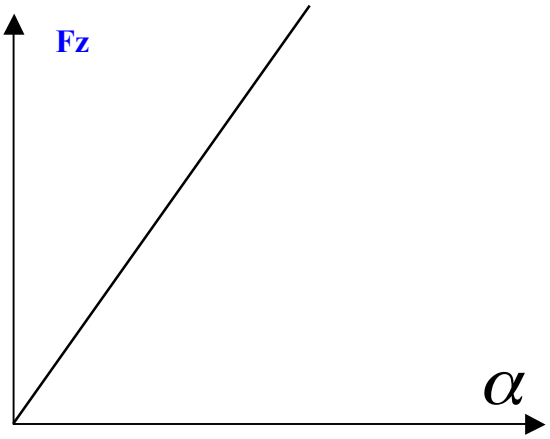
$$Fz = \frac{1}{2}.\rho.S_2.V^2$$

La somme des deux forces est appelée résultante aérodynamique



Fz et Tx sont proportionnels à l'angle α

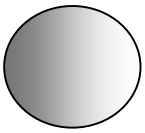
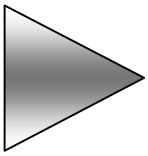
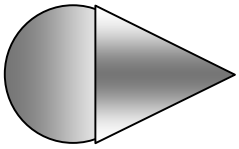
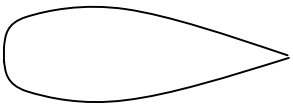
Fz augmente linéairement avec l'angle d'incidence.
Fz est représenté sur un graphique par une droite



.

La plaque qui est placée précédemment dans le flux d'air est presque une aile.
Mais son rendement n'est pas très bon. En augmentant l'angle **α,** la force de traînée augmente plus rapidement que la force de portance.
Comment diminuer la traînée ? Comment augmenter la portance ? => Modifier la forme de la plaque.

Différentes formes ont été testées en soufflerie et des mesures de traînée réalisées.
Une plaque plane a été placée perpendiculaire au flux d'air, la traînée a été mesurée et normée à une valeur de 1. C'est le coefficient de traînée pour une plaque plane, appelé **CX.**
Ensuite la plaque a été équipée de différentes formes et les coefficients de traînée mesurés.

Formes	**CX**
V →	**1**
	**0.5**
	**0.6**
	0.4
	**0.2**
	**0.04**

L/h =3 à5 →

Les profils d'ailes ont été réalisés de cette manière. Leurs performances optimisées en comparant leurs coefficients de traînée **Cx** et de portance **Cz** (Norme a zéro pour une portance nulle).

Les équations aérodynamiques du profil s'écrivent maintenant :

Portance

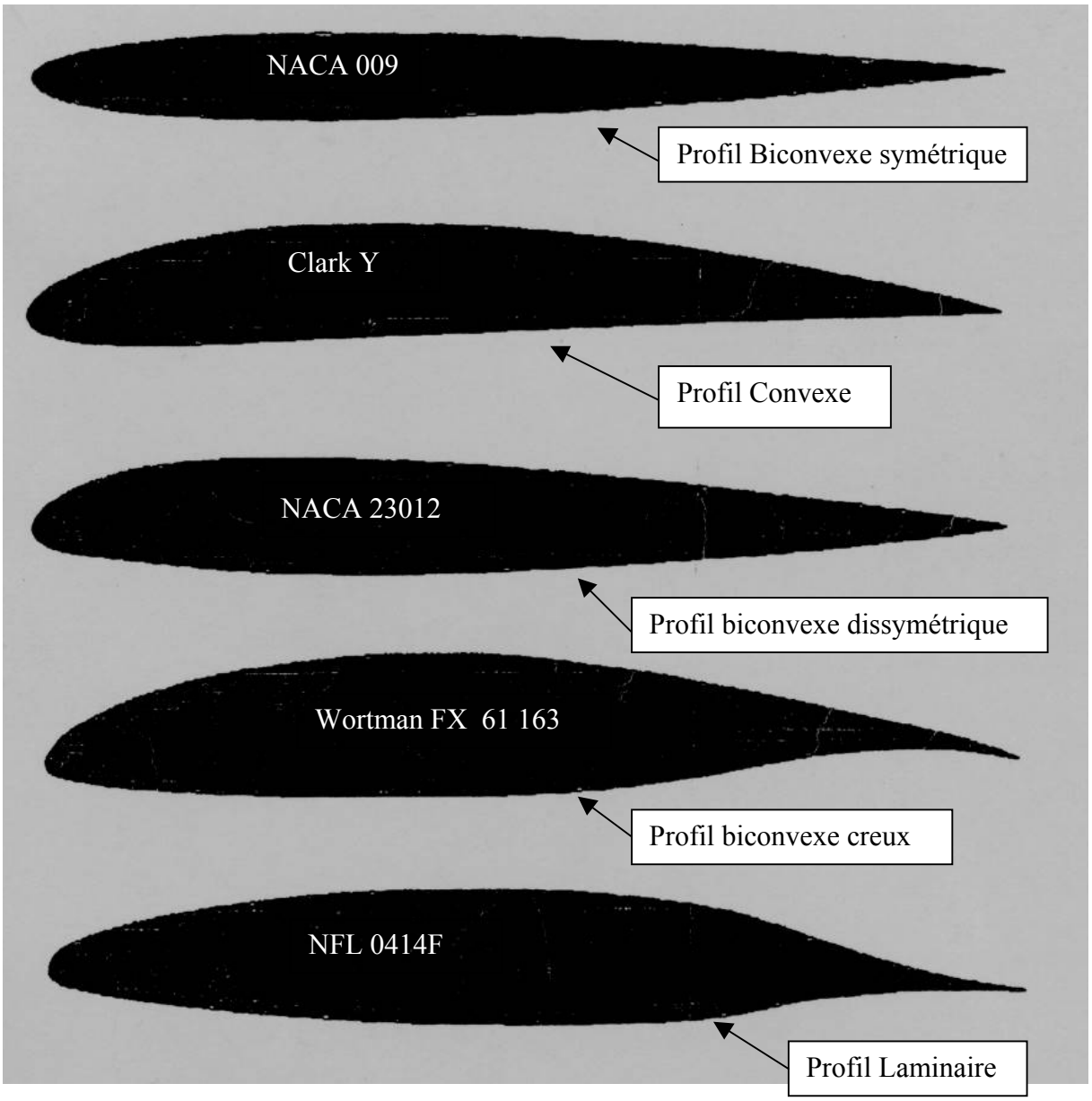
$$Fz => P = \frac{1}{2}.\rho.S.V^2Cz$$

Traînée

$$Tx => T = \frac{1}{2}.\rho.S.V^2Cx$$

4) Les profils d'aile.

Les surfaces portantes planes employées au début de l'aviation pour la réalisation des ailes d'avion sont apparues rapidement moins efficaces que les surfaces courbes. Des expériences aérodynamiques effectuées en soufflerie ont montré qu'une surface courbe est plus porteuse à superficie égale qu'une surface plane.
De plus la construction exige que les ailes aient une certaine épaisseur et l'on a été conduit à rechercher des volumes (et non plus des surfaces sans épaisseur) réunissant les meilleures conditions de portance et de pénétration. C'est ainsi que l'on est arrivé à adapter un **profil aérodynamique.**

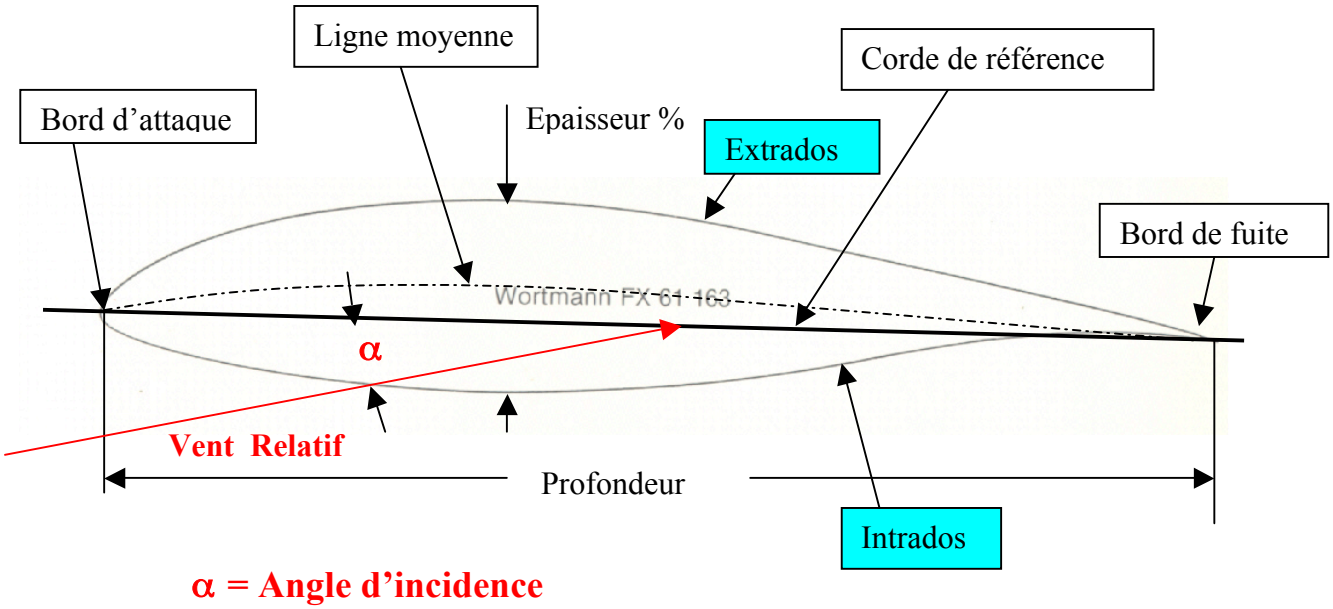


*** N.A.C.A** National advisory committee for aeronautic.

On peut également les classer par épaisseur.

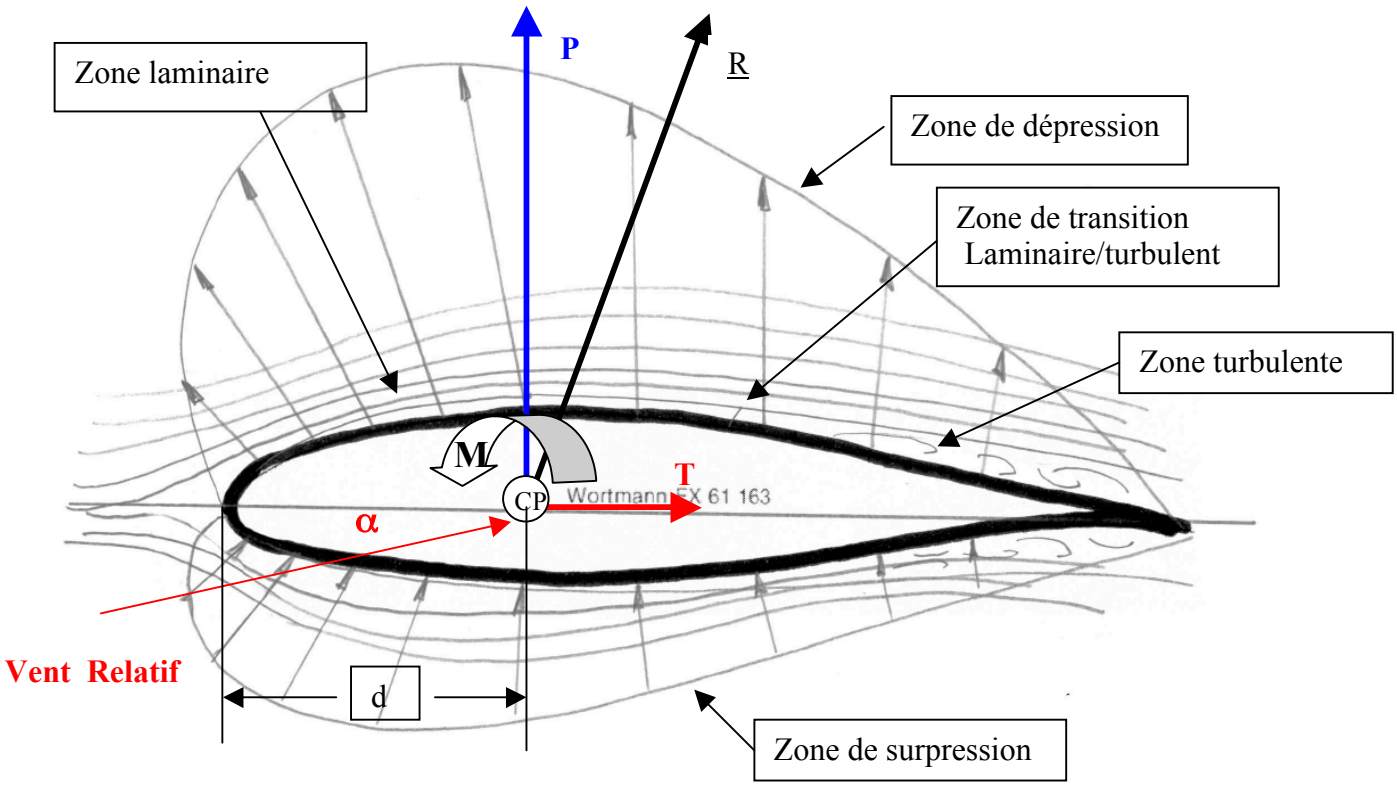
- Profil mince jusqu'à 8%
- Profil semi-épais 8 à 15%
- Profil épais > à 15%

Les lignes caractéristiques du profil.



α = Angle d'incidence

Les Forces **Sustentatrices** appliquées au profil.



Le point d'application de la résultante aérodynamique s'appelle le **Centre de Poussée**
Il se situe environ entre 30 et 40% de la profondeur du profil. Il est mobile, il se déplace vers l'avant quand l'angle d'incidence augmente.
Le centre aérodynamique s'appelle le Foyer. Il est fixe. Sa position est définie par forme du profil. Il se situe à 25% de la profondeur du profil. Il sert de référence.

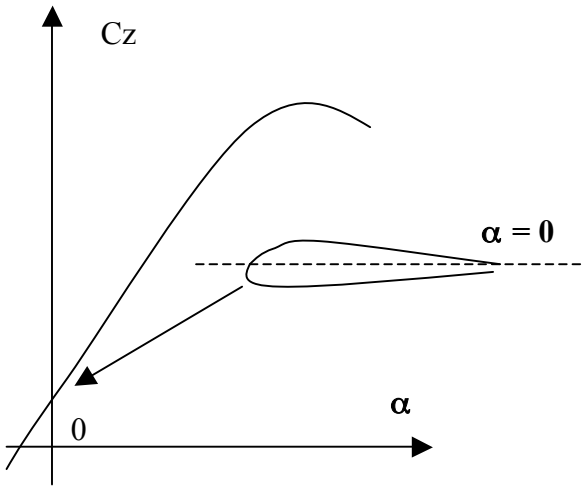
Moment Aérodynamique

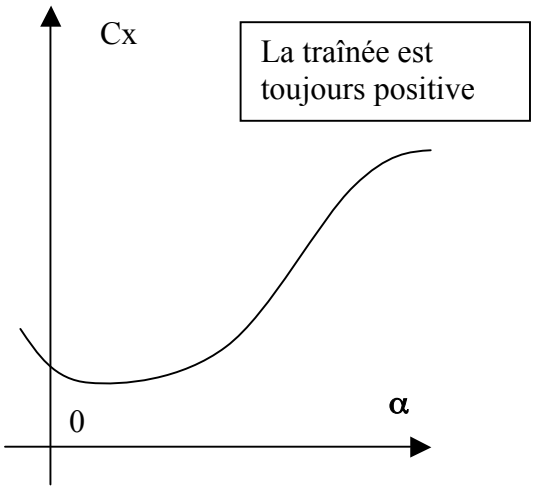
Pour être en mesure de comprendre la totalité des phénomènes aérodynamiques se développant sur une aile en mouvement, il peut être utile de déterminer la position du centre de poussée en fonction de l'intensité de la résultante aérodynamique et par rapport au bord d'attaque de l'aile.
Un moment est le produit d'une force par une distance
M = F x d
Nous remplaçons F par Rz Moment = Rz x d => Cz x d

Le moment aérodynamique de l'aile s'écrit donc :

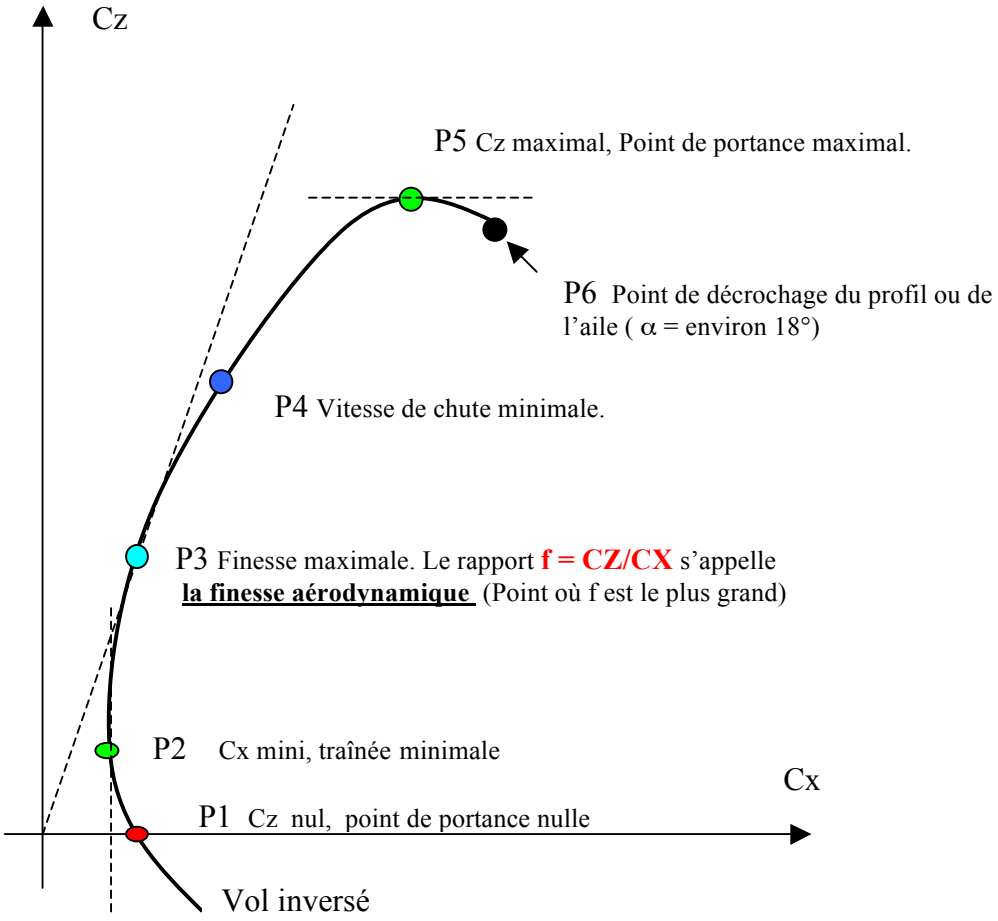
$$Moment = \frac{1}{2}\rho.S.V^2 Cz.D \qquad \text{ou encore} \qquad Moment = \frac{1}{2}\rho.S.V^2.L.Cm$$

5) La polaire.
La polaire est une courbe essentielle pour déterminer les caractéristiques d'un profil, d'une aile, d'un planeur, d'un avion complet.
Elle montre comment varient la portance et la traînée, en fonction de l'angle d'incidence.
C'est une fonction réalisée par l'assemblage des deux courbes de Cx et de Cz à l'aide d'une opération mathématique.
Courbe des Cz et Cx d'un profil dissymétrique.





Remarque pour un profil dissymétrique :

- A incidence nulle la portance est positive.
- A portance nulle l'incidence est négative.

Les points remarquables de la polaire.