

PROFIL D'AILE, PORTANCE ET TRAINEE

Une aile se désigne par son profil. De ce profil découle la portance (R_z) et la traînée (R_x), mais aussi la finesse de l'aile et quelques autres paramètres dont nous parlerons plus tard.

Profil de l'aile

Le profil de l'aile est le contour de la voilure, vu de côté, sur une section donnée. Nous obtenons ce profil si nous « coupons » l'aile et que l'on regarde la découpe.

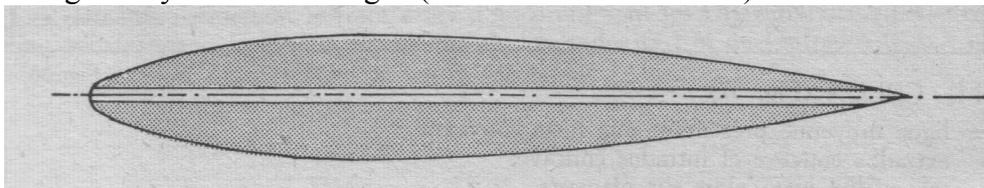


Le profil d'une est spécifique à l'application de l'avion (de tourisme, de chasse, de ligne ou de transport). Les différents types de profils sont classés par familles, suivant la forme générale qu'ils ont.

Ces familles sont au nombre de 6.

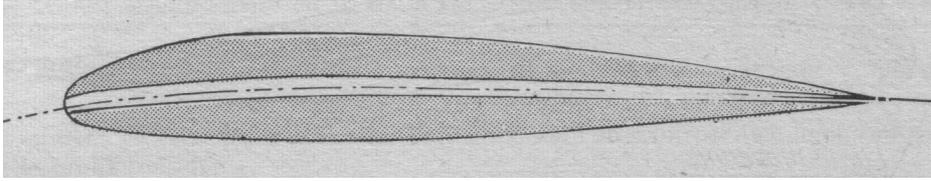
Biconvexe symétrique :

La ligne moyenne est rectiligne (confondue avec la corde)



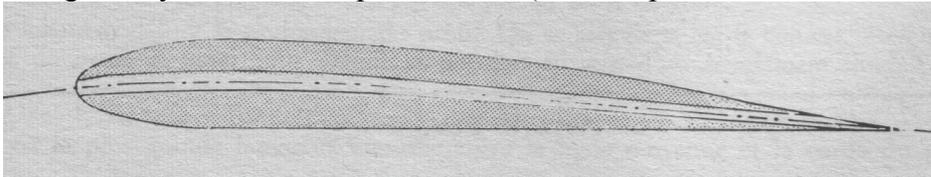
Biconvexe dissymétrique :

La ligne moyenne est à simple courbure (intrados et extrados convexes)



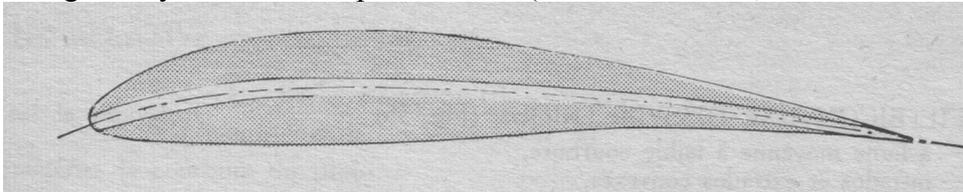
Plan convexe :

La ligne moyenne est à simple courbure (intrados plat et extrados convexe)



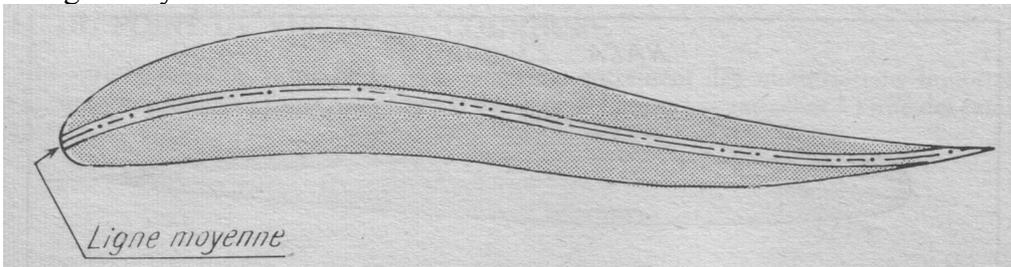
Creux :

La ligne moyenne est à simple courbure (intrados concave, extrados convexes)



Double courbure :

La ligne moyenne est à double courbure



Supercritique:

extrados plat



épaisseur importante

Prévu pour les vols à vitesse élevée

-extrados relativement plat

-intrados convexe

-épaisseur relative variable:

moins de 6% pour un profil mince (avion de chasse)

entre 6% et 12% pour un profil semi épais (avion de ligne)

plus de 12 % pour un profil épais (avion de transport à basse vitesse)

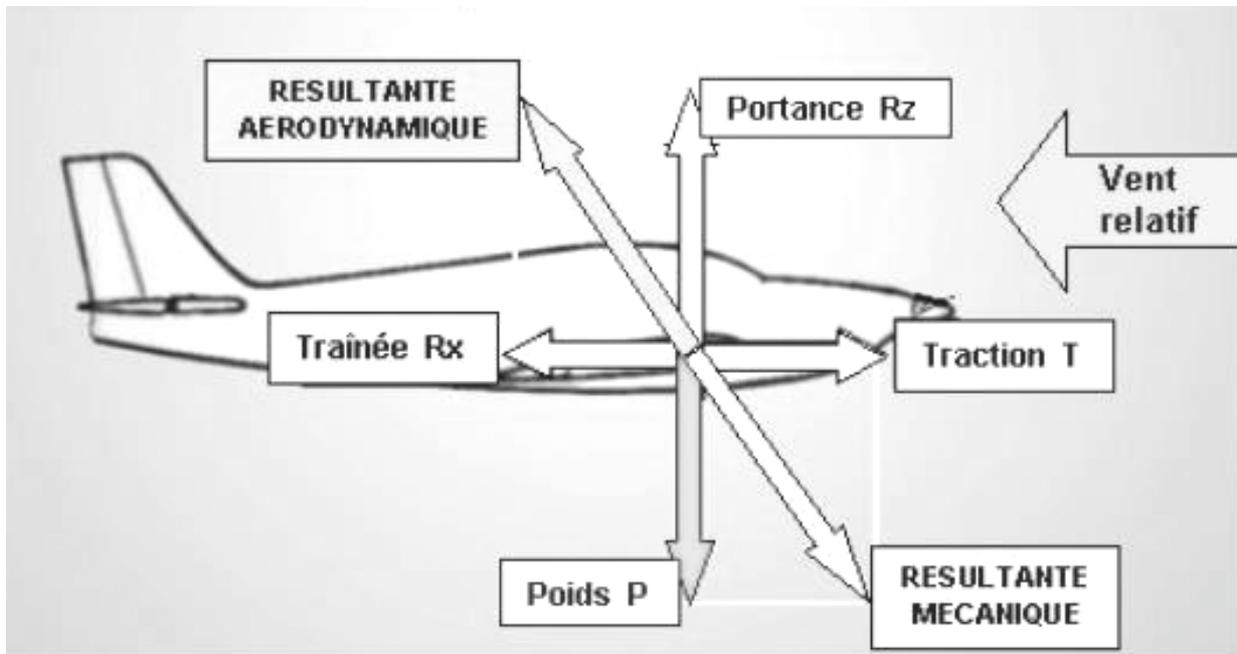
Portance et traînée

La portance et la traînée sont les projections orthogonales(sur l'axe x et Z de l'avion) d'une force appelée « Résultante aérodynamique » (d'où Rz et Rx). Cette résultante est appliquée en un point spécifique de la corde de l'aile, le centre de poussée.

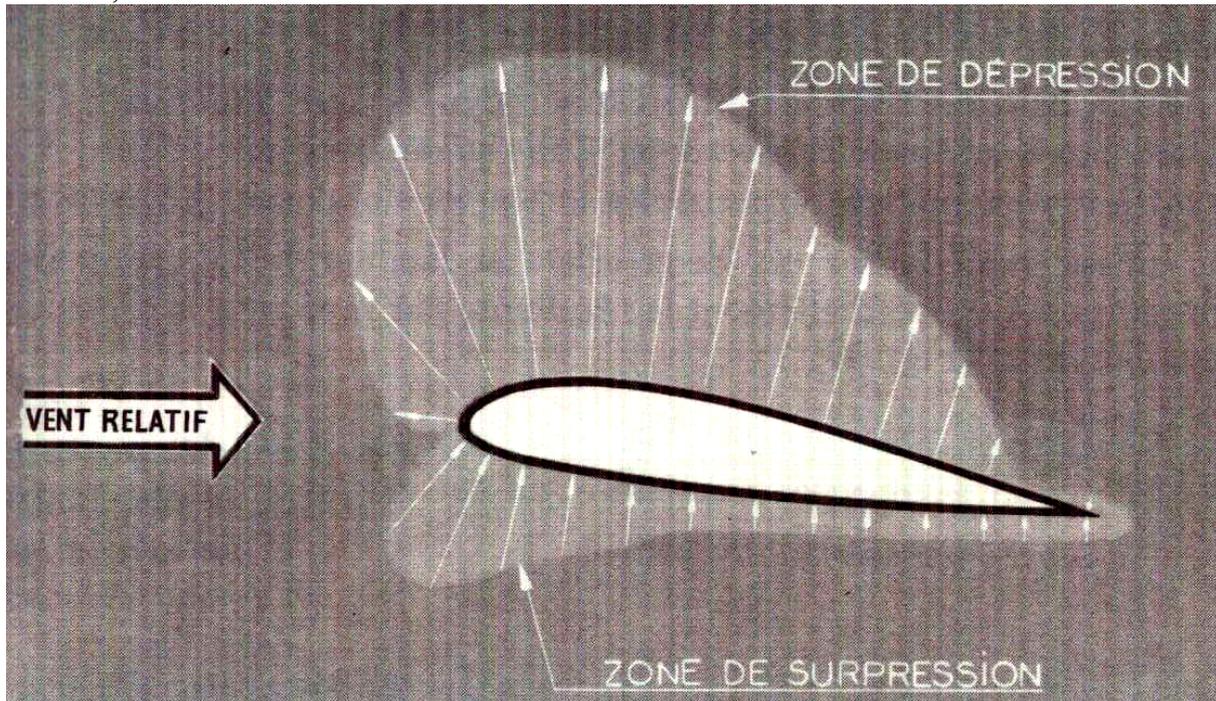
La « Résultante aérodynamique » est définie par la relation suivante :

$$\underline{R} = \rho \cdot S \cdot V^2 \cdot C$$

- ρ densité de l'air
- S Surface de l'aile
- V Vitesse
- C Constante aérodynamique



La résultante aérodynamique est créée par l'effet de surpression et dépression autour de l'aile, comme le montre le schéma suivant.

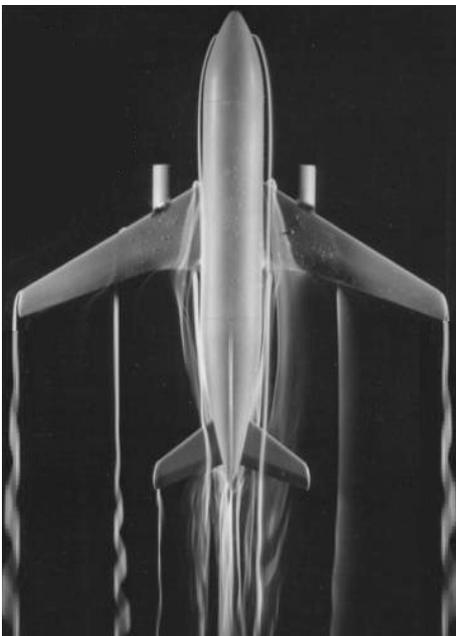


La portance

La portance est la partie utile de la résultante. Dès que celle-ci est égale ou supérieure au poids de l'avion, celui-ci peut se maintenir en équilibre dans l'air. La portance est la combinaison d'une surpression (sur l'intrados) et d'une dépression (sur l'extrados)

$$R_z = \rho \cdot S \cdot V^2 \cdot C_z$$

- ρ densité de l'air
- S Surface de l'aile
- V Vitesse
- Cz coefficient de portance



La traînée

La traînée par contre, est la partie nuisible de cette résultante. Il faut savoir que plus cette traînée sera faible, plus l'avion avancera facilement.

Cette traînée est composée de trois traînées différentes.

Voici la formule de calcul de la traînée

$$\underline{R_x = \rho \cdot S \cdot V^2 \cdot C_x}$$

ρ	densité de l'air
S	Surface de l'aile
V	Vitesse
C_x	coefficient de traînée

Il y a la traînée de profil, la traînée induite et la traînée de forme.

La traînée de profil est due à la couche limite, aux écoulements turbulents et tourbillonnaires sur l'extrados ainsi que les différents frottements de l'air visqueux sur la surface de l'aile.

La traînée induite, elle est le résultat de l'écoulement, en bout d'aile, de la surpression (intrados) vers la dépression (extrados). Cette traînée est d'autant plus grande que différence de pression est grande. Ce déplacement d'air forme alors une traînée tourbillonnaire que l'on voit aux extrémités des ailes, et que l'on appelle « Vortex ».

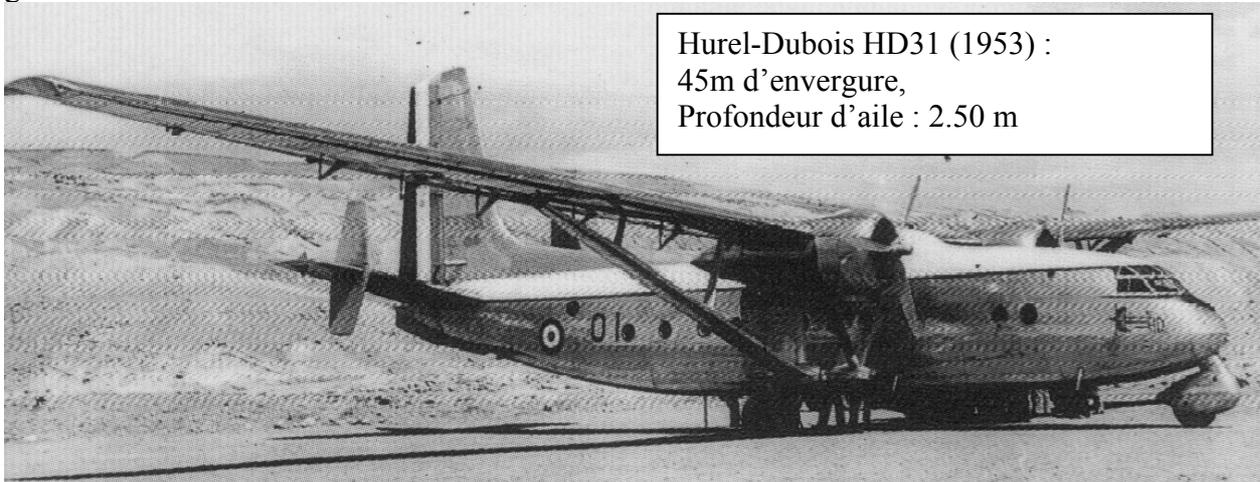


De plus, il existe sur l'extrados, une convergence des filets d'air vers le fuselage. Sur l'intrados, les filets d'air dévient vers l'extérieur de l'aile. Lorsqu'un filet d'air supérieur rencontre un filet d'air inférieur, après le bord de fuite, il se forme là aussi des tourbillons, qui vont se fondre dans les Vortex.

En général, les Vortex absorbent environ 8% de la puissance de l'avion.

Pour tenter de supprimer ces vortex, il existe plusieurs solutions simples que voici.

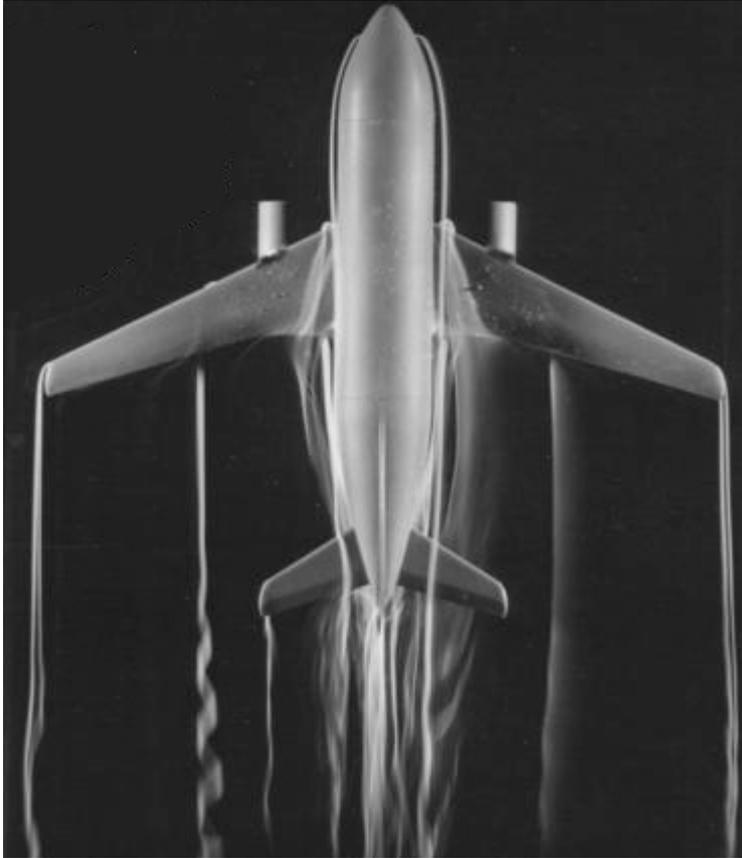
La première solution consiste à avoir des ailes les plus longues possible. En effet, les expériences en soufflerie ont montré que les Vortex diminuaient considérablement avec de grandes ailes.



La deuxième solution consiste à placer deux petites ailettes verticales aux extrémités des ailes, comme le montre les photos suivantes, sur des planeurs.



La deuxième solution permet des améliorations sur la traînée, comme le montre cette photo :



Les Vortex en bout d'aile ont quasi disparus...

mais il reste une traînée qu'il est difficilement supprimable sur un avion de ligne.

Pour indication, la traînée induite forme 10% de la traînée totale pour les meilleurs avions, alors que les moins bons seront à 70%. Ces derniers auront alors un décollage plus long.

La traînée de forme prend en compte des paramètres physiques, visibles tels que la rugosité des ailes et du fuselage, mais aussi la propreté extérieure de l'appareil. Donc, un avion propre aura une traînée moindre qu'un avion sale.

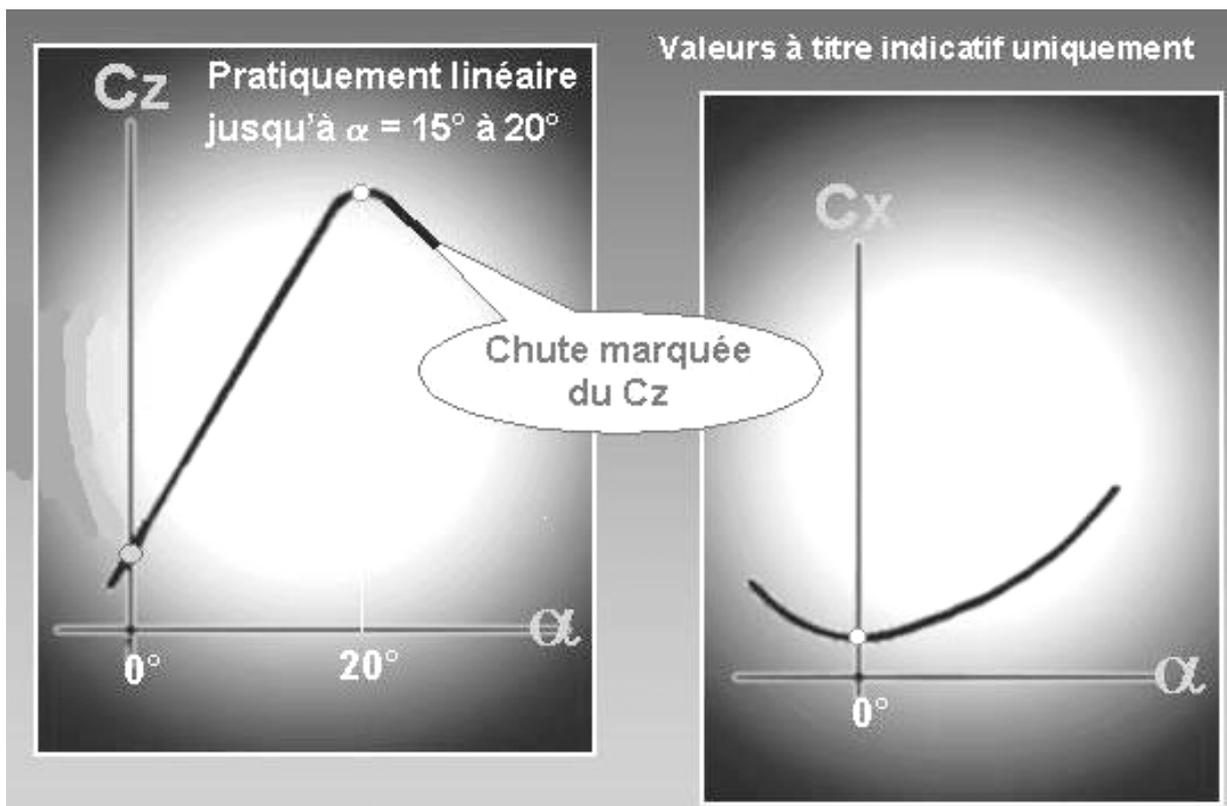
La polaire de l'aile

La « polaire » d'une aile est un graphique caractéristique du profil. De ce graphe, on peut déterminer certaines caractéristiques de l'aile et de l'avion.

La polaire d'une aile est un graphe mettant en relation les coefficients C_z , C_x et i .

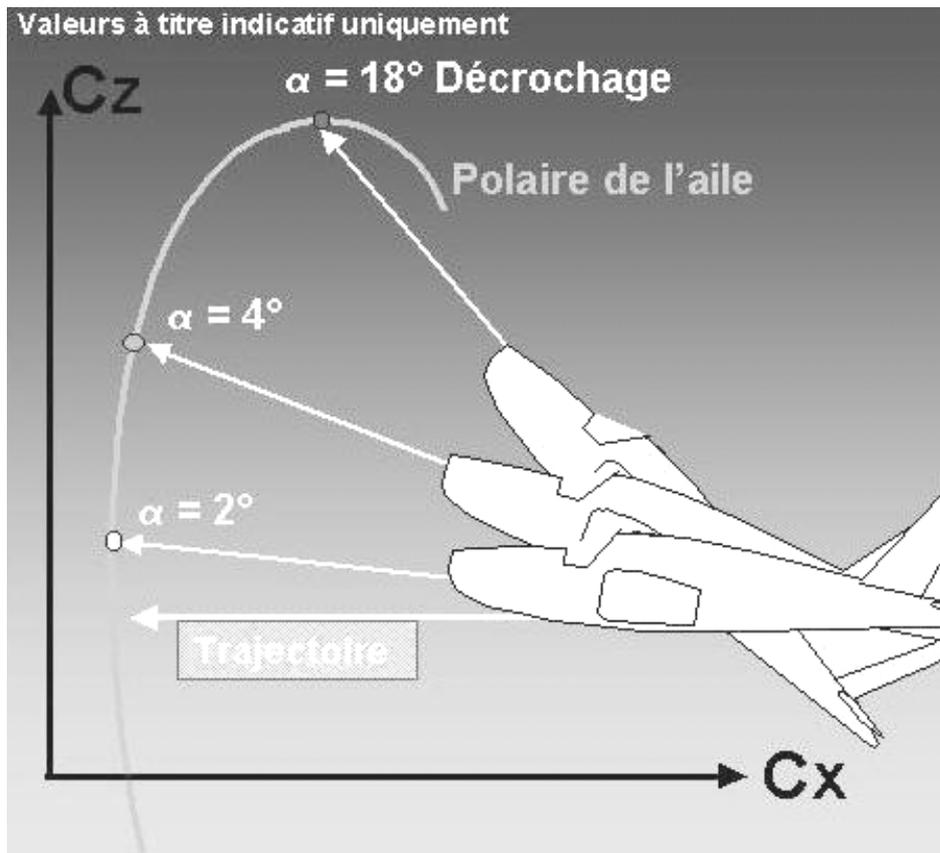
Rappel :

les graphes $C_x(i)$ et $C_z(i)$ sont construits à partir des valeurs des forces R_x (traînée) et R_z (portance) en fonction de l'angle d'incidence i de l'aile (par rapport au vent relatif).

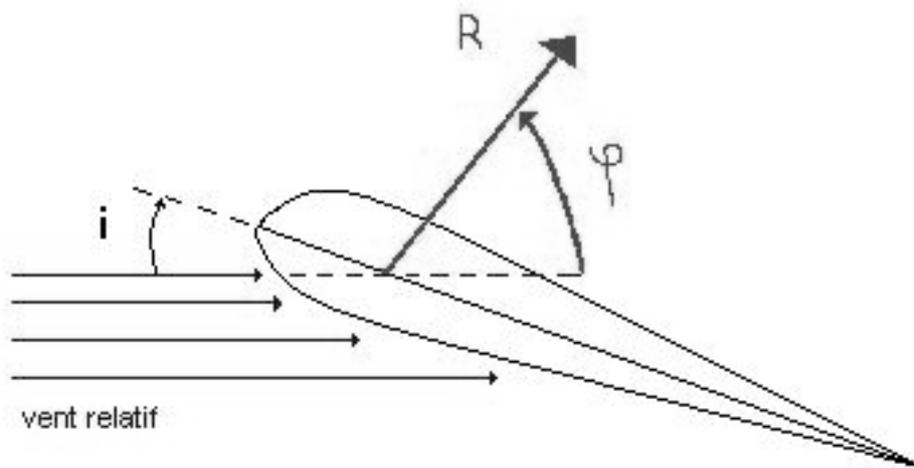


La polaire est une combinaison des deux précédents graphes. On obtient alors une courbe (C_z et C_x en fonction d'un paramètre commun i).

Voici un exemple de polaire

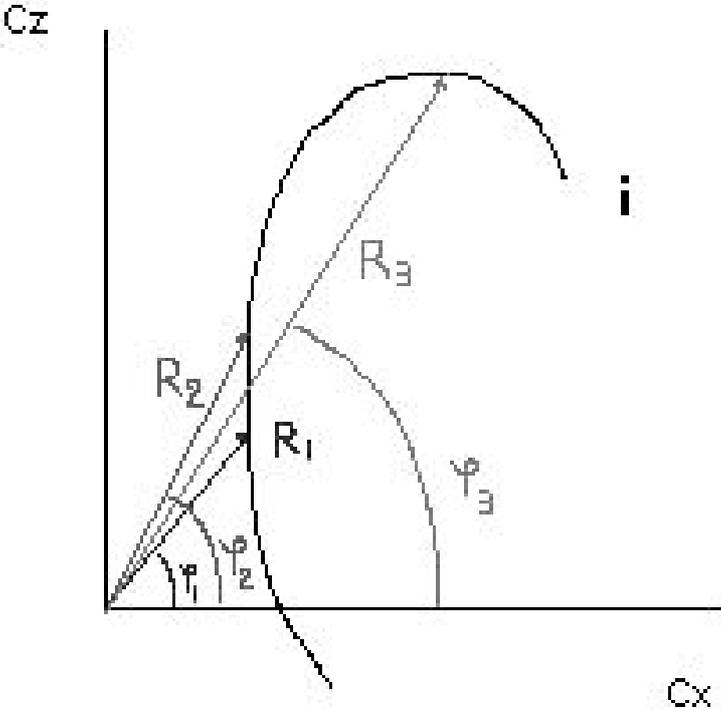


Toute fois, il y a une autre façon d'obtenir la polaire : il nous faut la valeur de la résultante aérodynamique, et son angle d'inclinaison par rapport au vent relatif... le schéma est plus parlant.

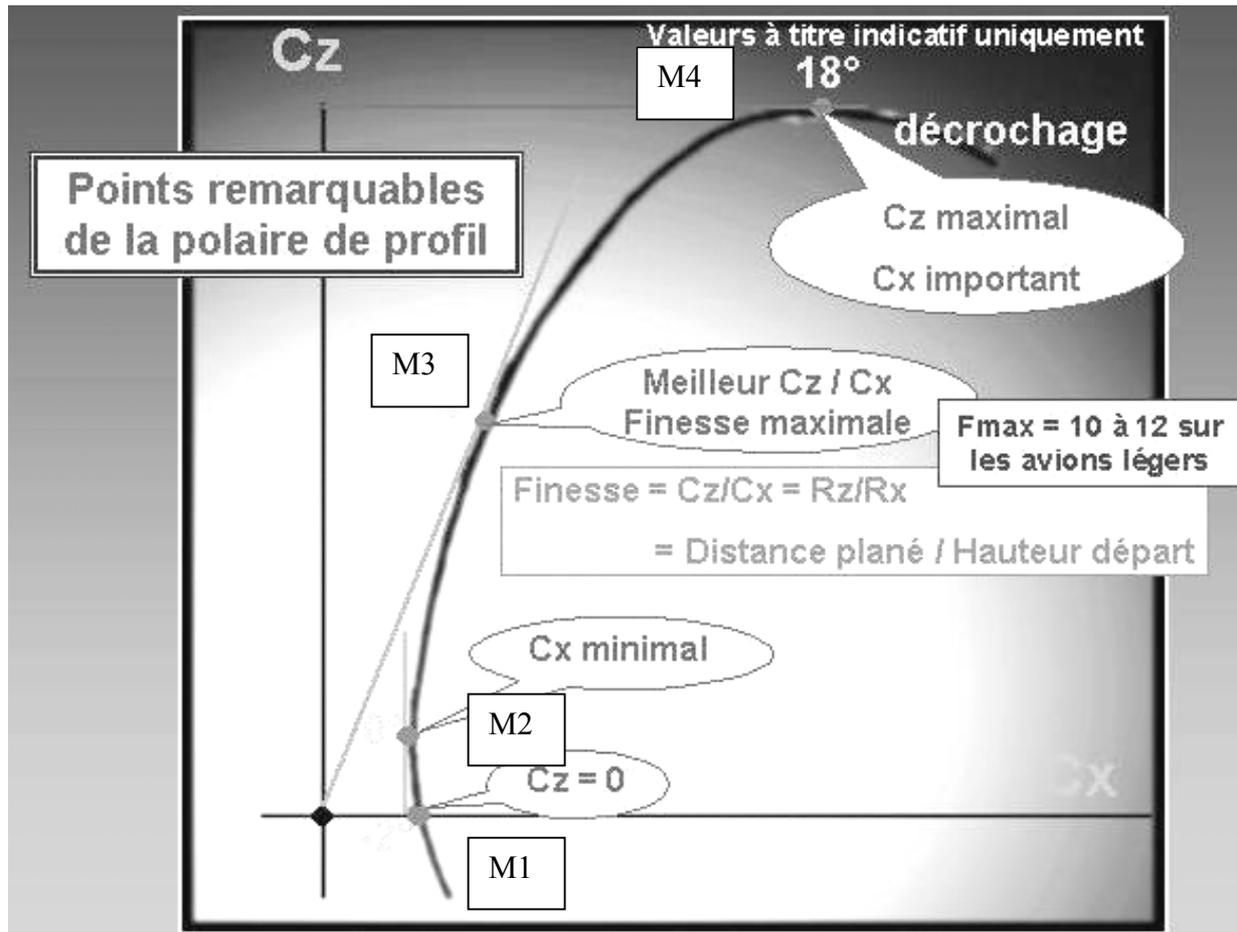


cela donne le graphe suivant :

La courbe « polaire » est la superposition des différentes résultantes sur des axes communs (Cz et Cx)



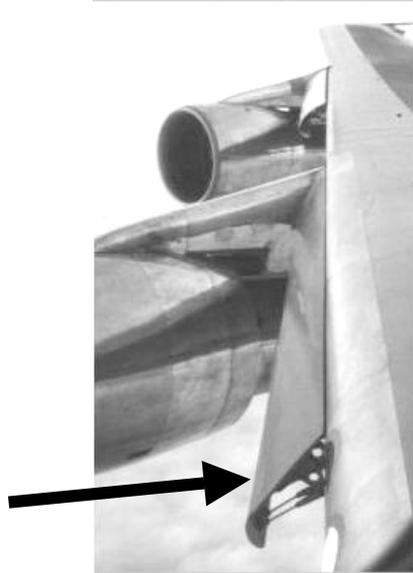
Sur ce graphe, il y a 4 points intéressants pour nous ;



- Le point M1 représente l'angle i où la portance est nulle.
- La tangente verticale nous donne le point M2. en ce point, nous avons l'angle d'incidence où la traînée est minimale.
- La tangente en zéro nous donne le point M3 et l'angle i où la finesse est maximale (meilleur rapport Cz / Cx).
- La tangente horizontale, elle, nous donne le point M4 et l'angle i maximal, celui du décrochage.

Durant de certaines phases de vol, nous avons besoins d'augmenter la portance, comme au décollage et à l'atterrissage. Pour cela, nous utilisons des dispositifs appelés **hypersustentateurs**. Il y a deux sortes de ce dispositif.

Le premier se situe sur le bord d'attaque, et sont appelés les becs.



Le deuxième se situe sur le bord de fuite, et s'appelle les volets.



Dans les deux cas, ils servent à augmenter la surface de l'aile et sa courbure .

Des fentes sont aménagées entre le profil et le dispositif hypersustentateur afin de redonner de l'énergie à l'écoulement de l'air sur l'extrados et à retarder ainsi le décollement de la couche limite. La vitesse de décrochage est diminuée et l'avion vole plus lentement.

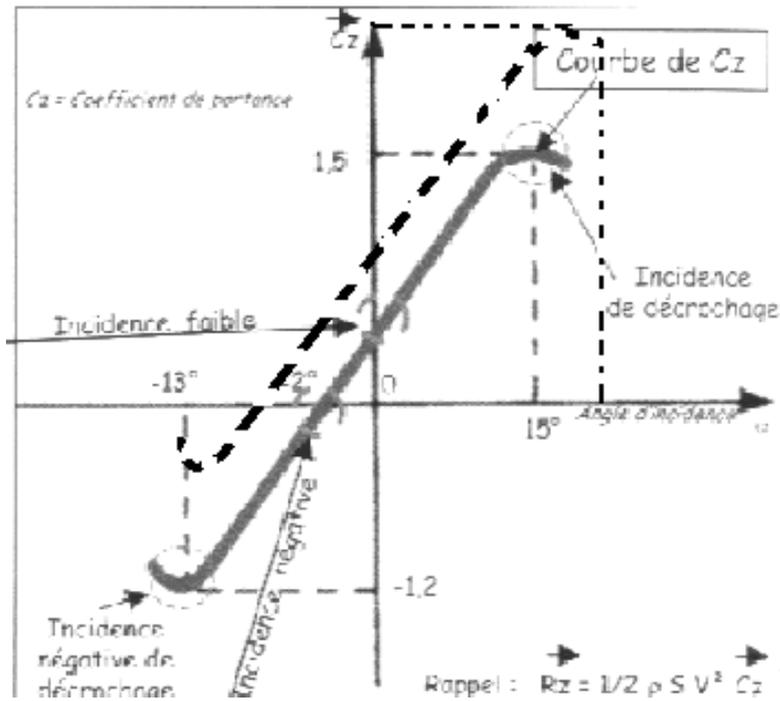
Certains systèmes permettent de diminuer la sustentation, ce sont donc des **hyposustentateurs**, ou des **spoilers**.

Lorsque ces dispositifs sont utilisés, la portance augmente, mais aussi la traînée.

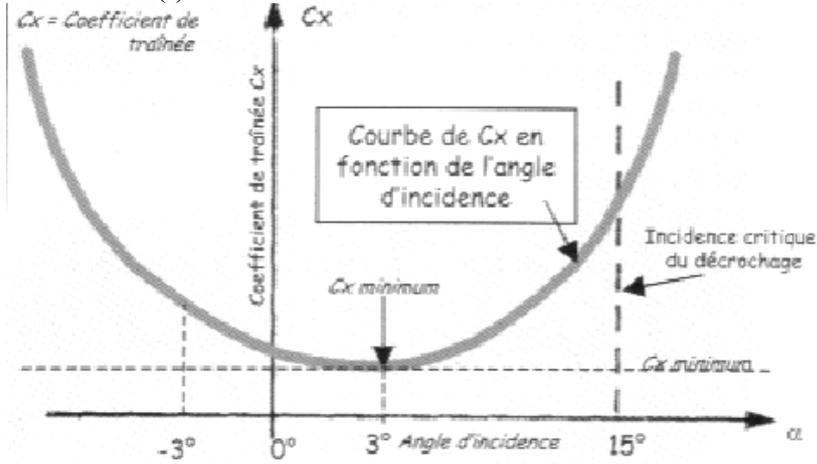
Lorsque ces dispositifs sont rentrés (inactifs), on dit que l'avion se trouve en configuration lisse.

Voyons maintenant l'effet des dispositifs hyper et hyposustentateur sur la courbe de portance et la courbe polaire.

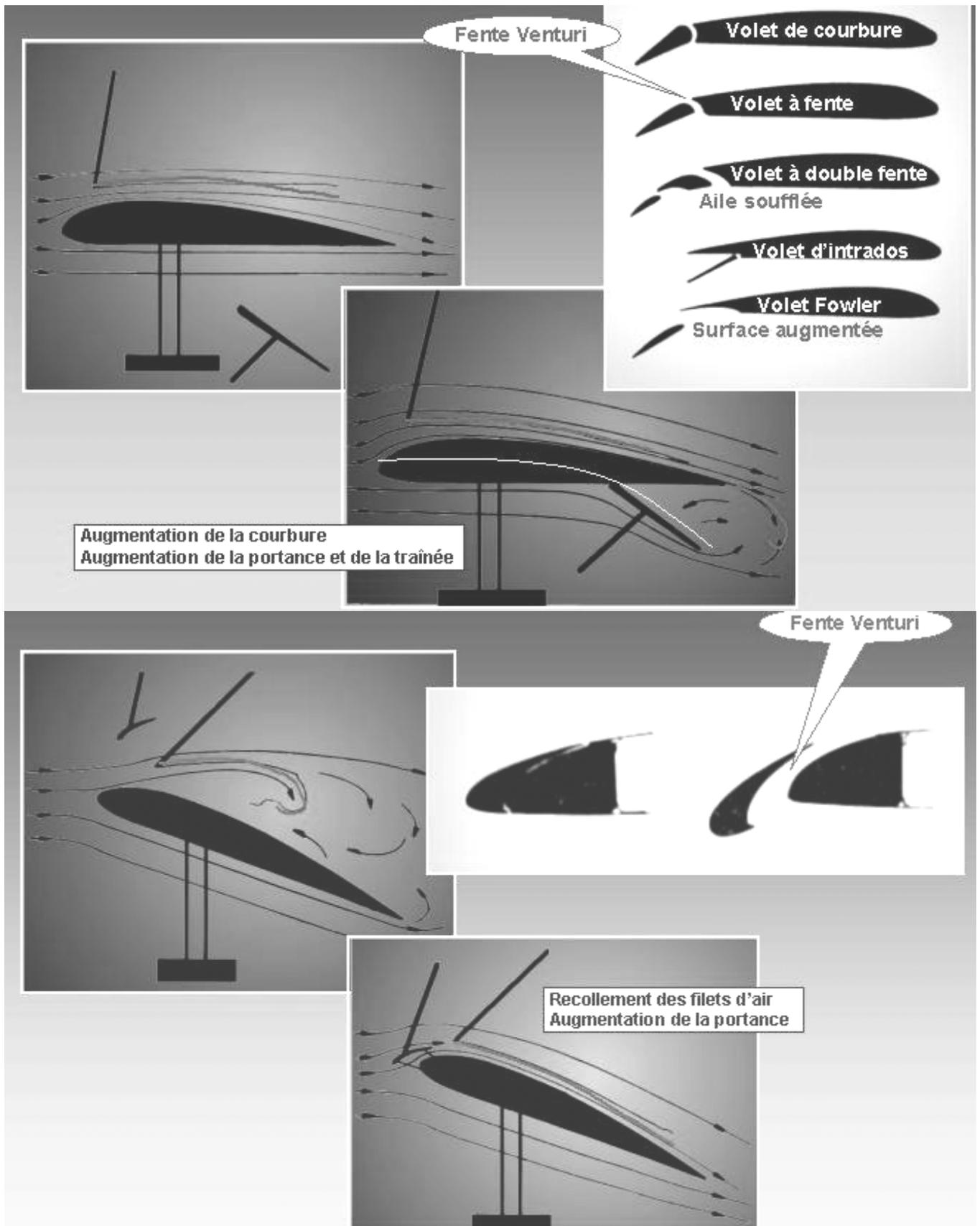
Courbe Cz(i)



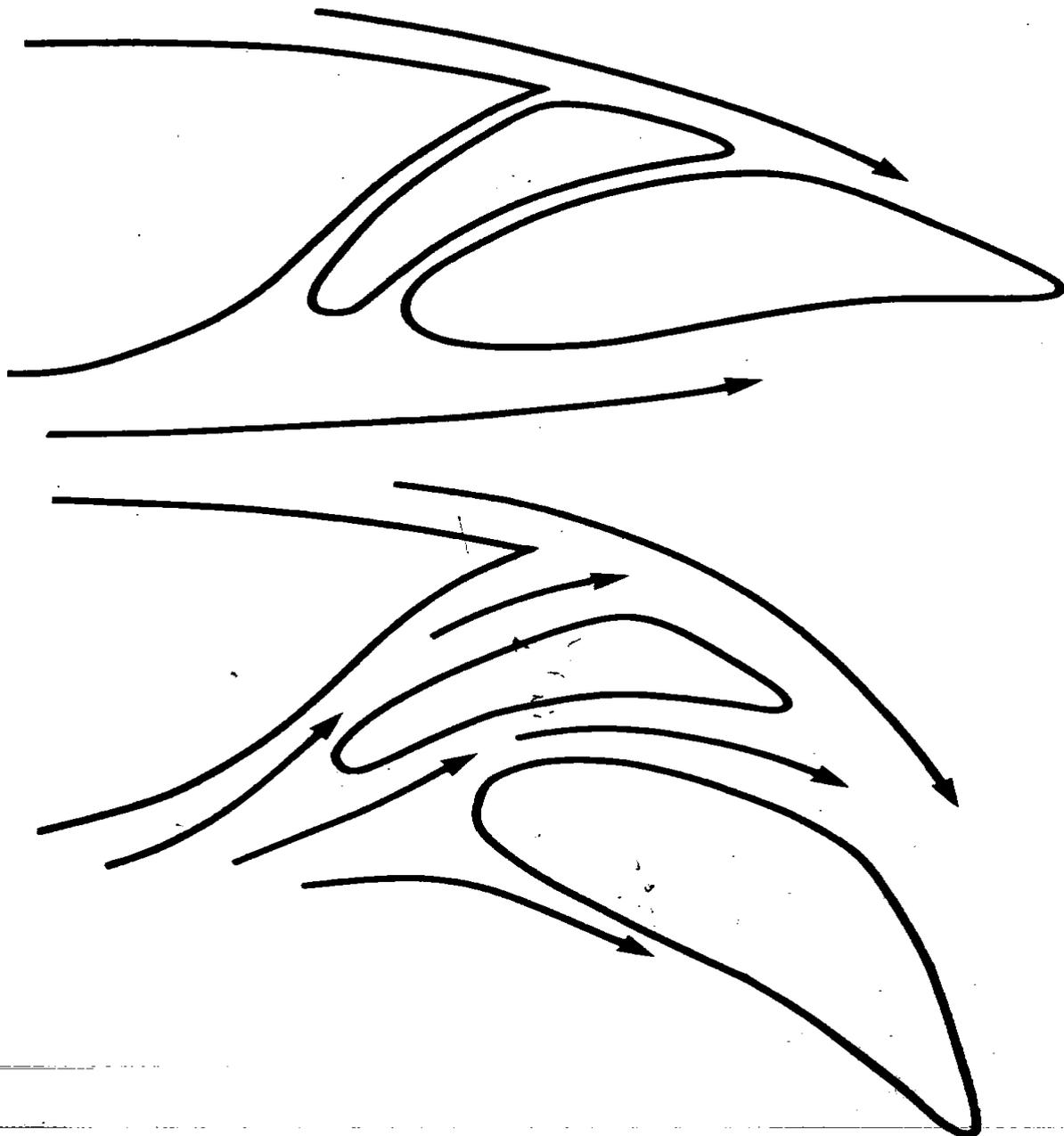
Courbe Cx (i)



Voici maintenant une énumération des différents dispositifs hypersustentateurs utilisés sur les avions actuels.



voici, la représentation de ci qui ceux passe lorsque l'on actionne des volets à doubles fentes.
Les flèches que vous voyez, représentent l'écoulement de l'air autour de l'aile.et des volets.
Par analogie, il se produit la même chose avec les becs, sur le bord d'attaque.

VOLETS A DOUBLE FENTE

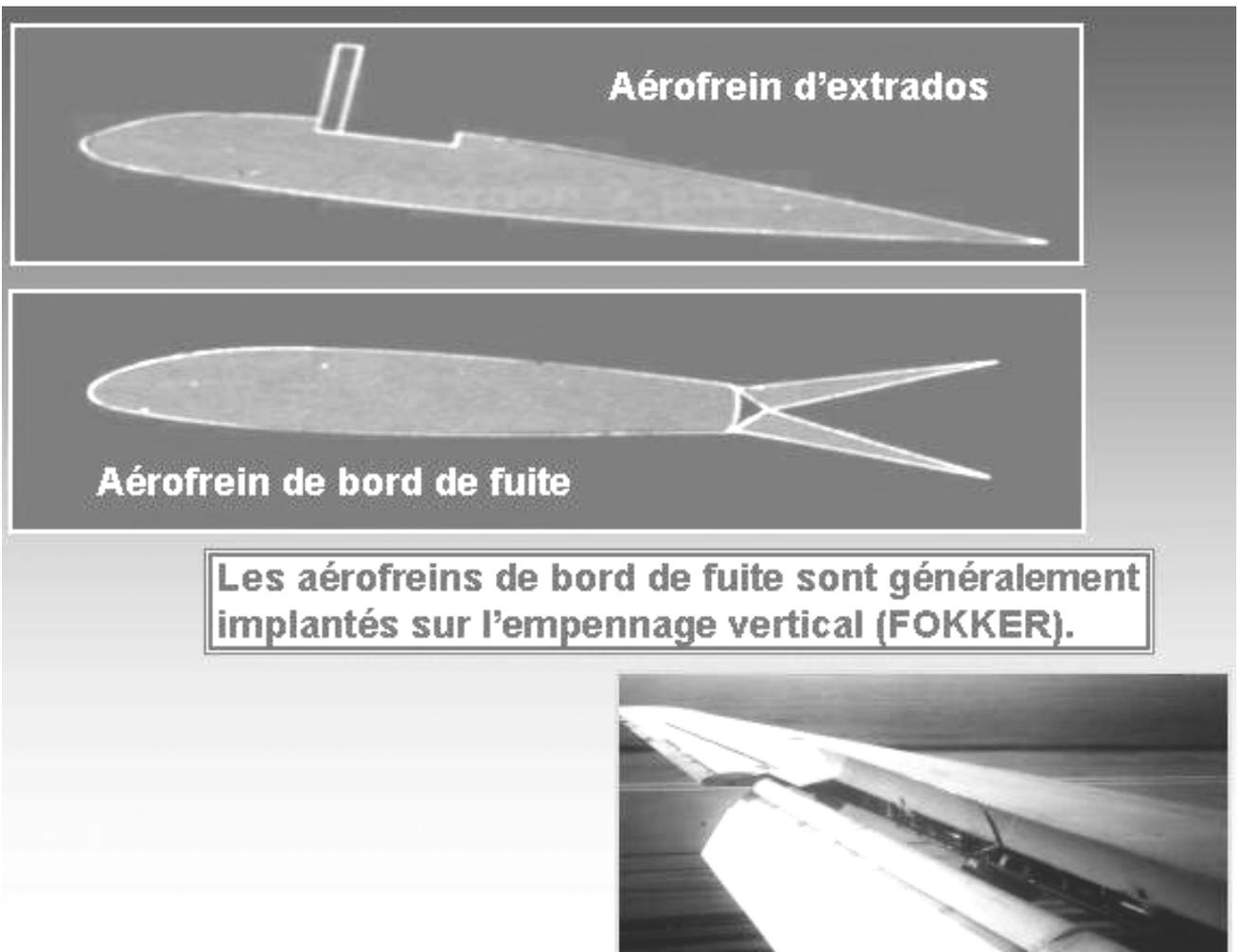
Voici un tableau qui montre les effets des différents systèmes de volets, sur la portance d'un avion.

RÉCAPITULATIF DES EFFETS DES DIFFÉRENTS TYPES DE VOIETS		Augmentation de la portance en %
Profil de base		
Volet simple		50 %
Volet d'intrados		67 %
Volet à fente		52 %
Bec automatique		30 %
Fente avant et volet simple		70 %
Aile Fowler surface augmentée de 30 % environ		90 %
Aile Fowler avec fente avant		95 %

Les aérofreins

Les aérofreins servent à freiner l'avion, pour cela, ils créent une forte traînée, sans produire de portance. Ils sont utilisés sur tous les avions et planeurs, lorsqu'ils se trouvent en fin d'approche (de piste, pour l'atterrissage), et une fois l'avion posé.

Il faut savoir que certains avions de chasses et la navette spatiale américaine utilisent en plus un ou plusieurs parachutes (3 pour la navette)



ESSAIS AERODYNAMIQUES

Les essais aérodynamiques se font en soufflerie avec des maquettes reliées à des instruments de mesure et à des moyens informatiques d'analyse. Il faut tenir compte de l'effet d'échelle entre maquette et avion réel.

Il existe différents types de souffleries, y compris des souffleries supersoniques et des souffleries verticales (essais de vrille).

Erreurs : Détails sur la maquette – Interaction des parois – Effet d'échelle

