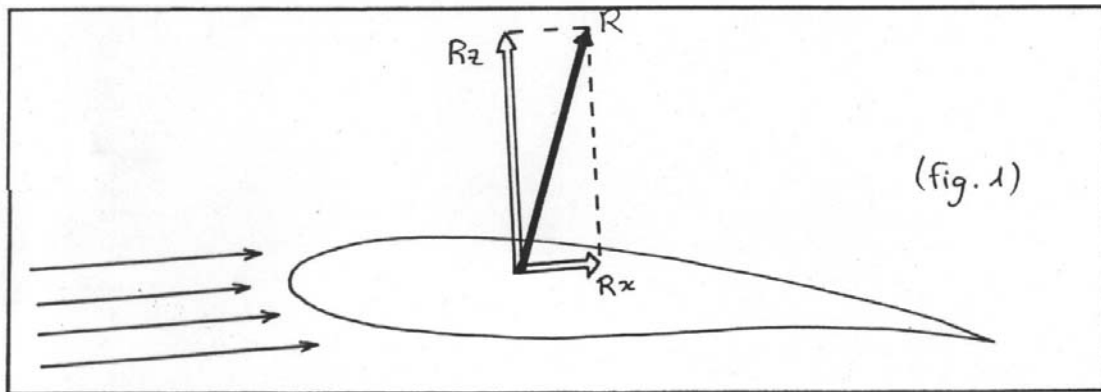


ECOULEMENT

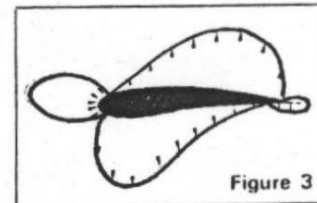
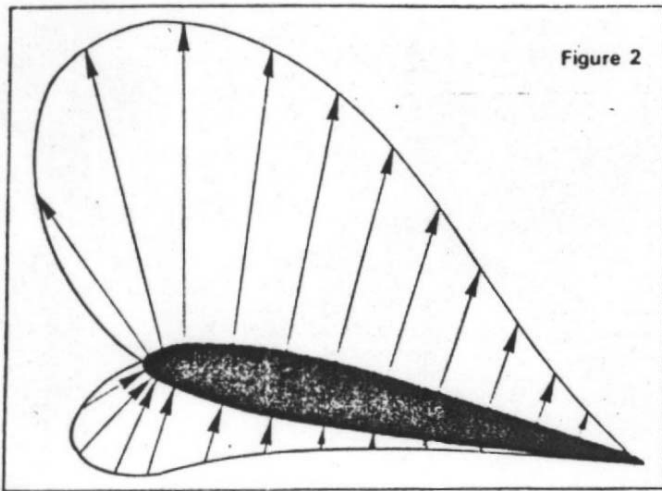
L'effet de l'écoulement autour d'un profil:

Un profil qui a un certain angle d'incidence par rapport au vent relatif subit des forces de surpression à l'intrados et des forces de dépression à l'extrados (en général, car c'est l'opposé en vol dos).

Ces forces se résument globalement en une résultante, qui elle-même peut se décomposer en portance (R_z qui est perpendiculaire au vent relatif) et en traînée (R_x qui est parallèle au vent relatif) (cf Fig.1).



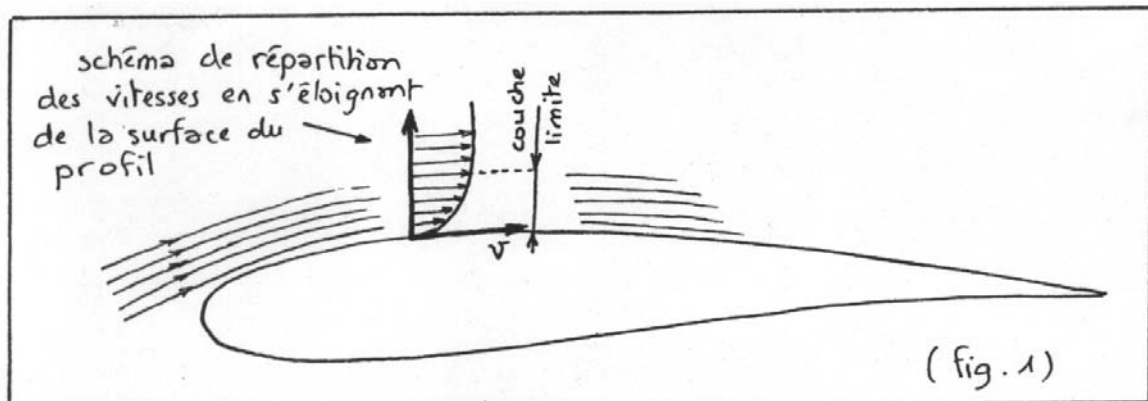
On peut visualiser la répartition et l'intensité des forces de pression sur la (Fig.2) (vol à portance positive) et sur la (Fig.3) (portance nulle : les forces de pression et les forces de dépression s'équilibrent exactement).



Notion de couche limite : Autour d'un profil, l'air en mouvement se comporte comme s'il était constitué par des lames, infiniment minces, superposées.

La première de ces lames, en contact avec la paroi de l'aile reste immobile. Les lames suivantes possèdent des vitesses croissantes les unes par rapport aux autres jusqu'à une lame, qui, comme celles qui se superposent ensuite, est animée de la vitesse de l'écoulement libre.

L'ensemble des lames se déplaçant à des vitesses différentes de celle de l'écoulement libre forme la couche limite (Fig.1).

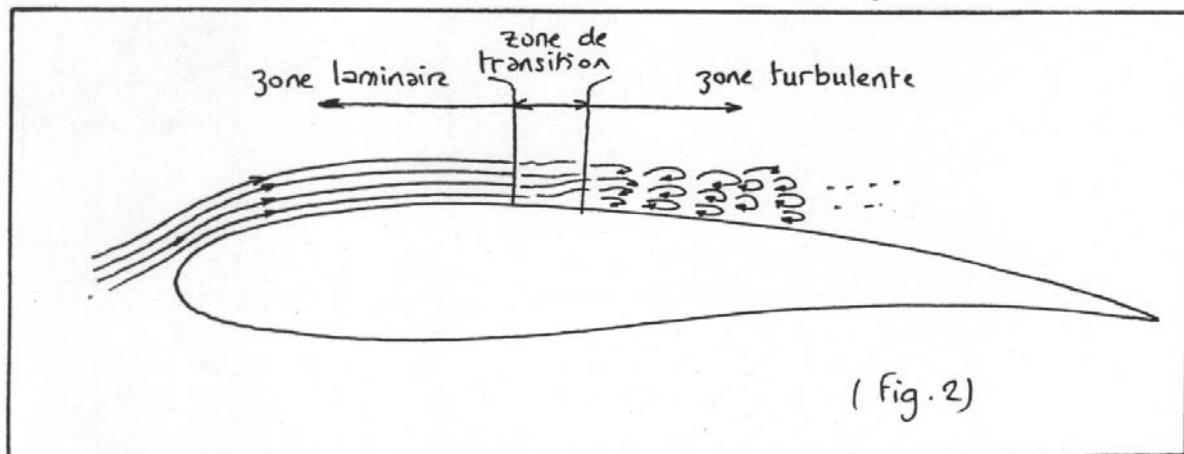


Cette couche limite joue un rôle important car elle conditionne directement la résistance de frottement de l'aile.

Cette couche peut être laminaire (c'est le cas décrit ci-dessus : les filets d'air sont parallèles à la surface de l'aile) ou turbulente (la répartition des vitesses est tout à fait désordonnée; la définition de la couche limite reste valable : c'est encore la zone dans laquelle les vitesses des filets d'air sont différentes de la vitesse de l'air en écoulement libre). (cf Fig.2).

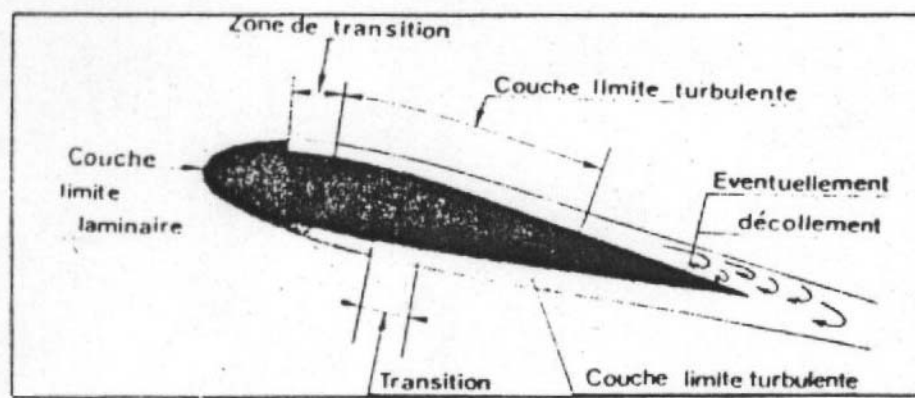
Ce qui se passe pour les planeurs grandeur:

La couche limite commence par être laminaire sur la surface voisine du bord d'attaque puis devient turbulente à partir d'un point appelé point de transition; celui-ci n'ayant pas une position fixe, il est en réalité une zone de transition (cf Fig.2).

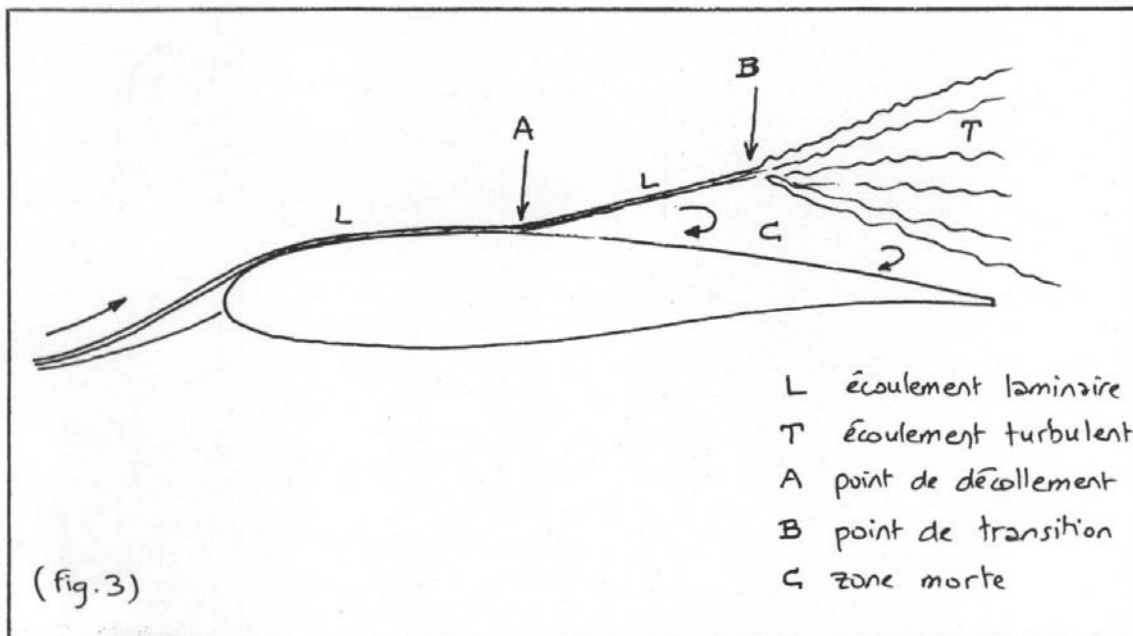


Donc, plus la zone de transition est éloignée du bord d'attaque, plus le profil est laminaire. La laminarité de nos modèles est, sans conteste, beaucoup plus faible que sur les vrais planeurs, c'est pourquoi il est délicat de parler de profils laminaires à notre échelle.

Après la zone de transition, il y a éventuellement décollement de la couche limite (cf Fig.3).



Pour les modèles réduits :



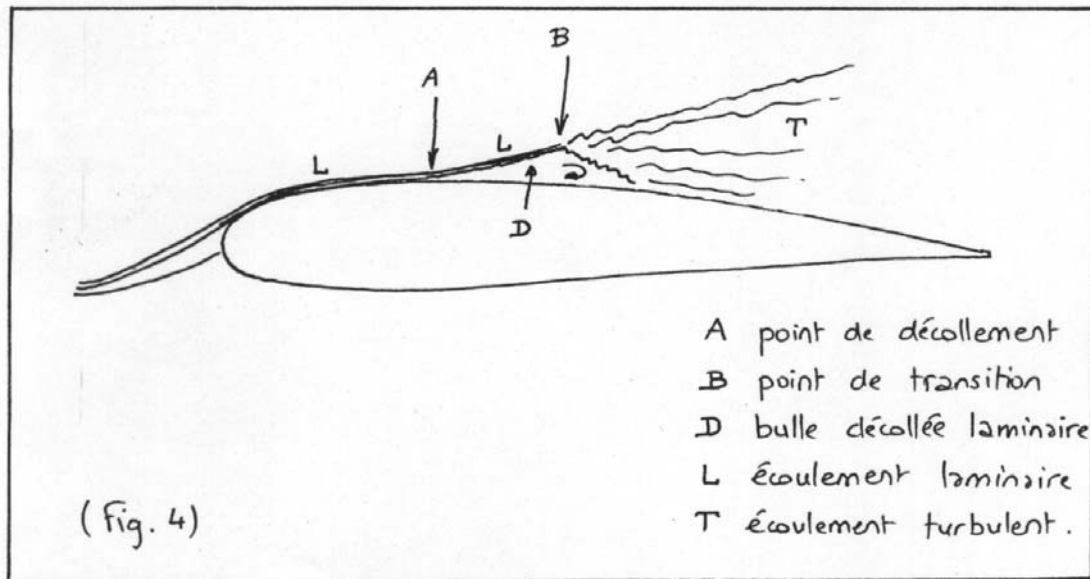
Pour les nombres de Reynolds élevés (supérieurs à 10^6), le changement de couche limite sur le profil entre forme laminaire et turbulente de l'écoulement s'accomplit aux environs du minimum de pression. Pour les petits Re, la couche limite peut ne pas devenir turbulente, elle se décolle laminairement de l'extrados après le minimum de pression. En dessous se forme une zone morte (cf Fig.3).

L'instabilité est plus grande dans la couche limite décollée et conduit plus rapidement à la transition qu'une couche limite adhérente.

La couche limite décollée turbulente s'épaissit très fortement à l'aval et ne peut plus se recoller sur l'extrados. Cet écoulement, à couche limite décollée de l'extrados et à zone morte s'étendant au delà du bord de fuite est dit "écoulement sous critique". Le profil possède alors une portance faible et une traînée importante due au décollement.

Si le nombre de Reynolds s'accroît, le point de transition B de la couche limite décollée se déplace vers l'avant et la lisière de la couche limite décollée turbulente atteint finalement le bord de fuite (cf Fig.4). Il s'ensuit une zone morte fermée, ce que l'on appelle la "bulle décollée laminaire". Le nombre de Reynolds correspondant à cet état est qualifié de Reynolds critique. La traînée du profil est déterminée par la résistance due au frottement des couches limites laminaires et turbulentes et est considérablement plus faible que dans le cas sous critique. La portance est plus élevée.

Si l'on augmente encore le nombre de Reynolds, le point de transition dans la couche limite décollée se déplace encore vers l'avant, la "bulle" devient moins longue, en même temps qu'elle diminue de hauteur, que la couche limite turbulente devient plus fine, la traînée plus faible : le régime est sur-critique.



Si un profil ne trouve emploi qu'avec des nombres de Reynolds sous-critique, on peut obtenir un régime sur-critique par l'emploi de corps perturbateurs (par exemple, un "fil turbulent" sur ou avant le bord d'attaque) En effet, la traînée additionnelle due au corps perturbateur et au coefficient de frottement proportionnellement important à la couche limite turbulente est faible par rapport à la traînée de pression due à la couche limite décollée.

Si on trouve dans le domaine d'utilisation du profil aussi bien des nombres de Reynolds "sous" que "sur-critiques", une adaptation soignée aussi bien de la taille que du positionnement du corps perturbateur est nécessaire. Il faut qu'il soit déterminé de telle sorte qu'il produise un écoulement sur-critique avec les petits Re et qu'il produise une traînée additionnelle aussi faible que possible aux grands Re. Cela peut être obtenu si le corps perturbateur est disposé dans la zone de la "bulle détachée laminaire". La position et la taille exactes du perturbateur ne peuvent être déterminés que par essais.

Comme le nombre de Reynolds critique change également avec l'angle d'incidence, il faut chercher l'effet d'une telle perturbation dans les domaines intéressants d'angles d'incidence, c'est-à-dire il faut chaque fois déterminer un diagramme.

Pourquoi la couche limite se décolle-t-elle?

Sur l'extrados, les particules d'air ont tendance à se décoller car elles sont aspirées par la dépression situées au dessus de l'extrados; tant qu'elles ont une énergie suffisante (une vitesse suffisante), elles restent au voisinage de la paroi, mais lorsque leur énergie cinétique n'est plus suffisante, elles sont aspirées et il y a décollement de la couche limite.

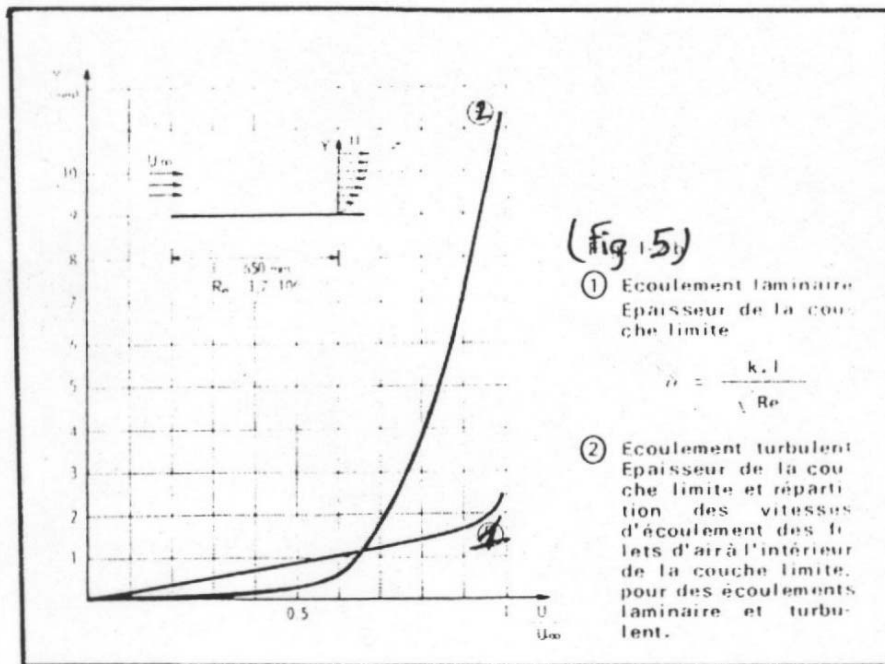
Les particules perdent de l'énergie cinétique essentiellement pour deux raisons:

- Par frottement entre les filets gazeux résultant de la viscosité de l'air.
- à cause des mouvements antagonistes qui viennent de la zone turbulente et qui créent une pression antagoniste qui tend à freiner les particules d'air.

C'est pourquoi les solutions retenues pour retarder le décollement de la couche limite ont en fait pour but de redonner de la vitesse aux particules par exemple en rendant celle-ci turbulente; les particules d'air dans les tourbillons n'ont pas une vitesse régulière et parallèle à la surface de l'aile mais une vitesse tourbillonnaire élevée ce qui leur donne une énergie suffisante pour ne pas être décollées.

C'est pourquoi un déclenchement artificiel de la transition (turbulateurs) peut dans certains cas réduire la traînée totale et accroître la portance, parfois dans des proportions considérables par suite du recul du décollement.

On peut remarquer que la couche limite turbulente est beaucoup plus épaisse que la couche limite laminaire dans des conditions identiques (cf Fig.5). Par conséquent, l'état de surface est beaucoup moins important dans le cas d'un écoulement turbulent.



Remarque: vous avez peut-être entendu dire qu'il ne fallait pas arrondir le bord d'attaque de soucoupes ou autres plaques volantes; le bord d'attaque à angle vifs permet en effet de rendre la couche limite turbulente et d'éviter ainsi son décollement, améliorant ainsi considérablement les performances de la soucoupe.

Tout ceci appliqué à nos modèles ou la polémique des profils "laminaires":

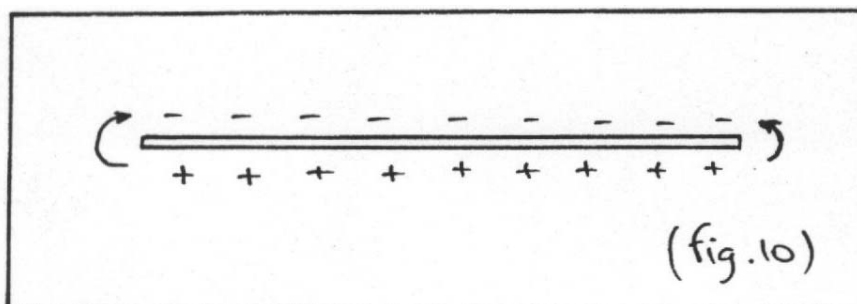
Il y a deux types de profils utilisés en modèle réduit : les profils conçus spécialement pour le modèle réduit et pour ses conditions de vol (Eppler, Ritz...) et les profils issus des planeurs grandeurs (Wortmann, Bertin...). Ces derniers sont conçus pour voler à de grands nombres de Reynolds et pour y être laminaire, et ne conviendrait donc pas à l'utilisation en modèle réduit; pourtant, il semble que ces profils aient un excellent rendement, que l'écoulement soit laminaire ou non.

Pourtant, certains modélistes ne croient pas aux qualités de ces profils; certains préjugés sont dus aux modélistes qui essayèrent des Wortmann trop épais (d'une épaisseur relative de 16 à 20 %) sur des planeurs trop lourds (car ils voulaient conserver une bonne finesse malgré la grande épaisseur des profils) ce qui était une erreur.

L'écoulement autour d'une aile :

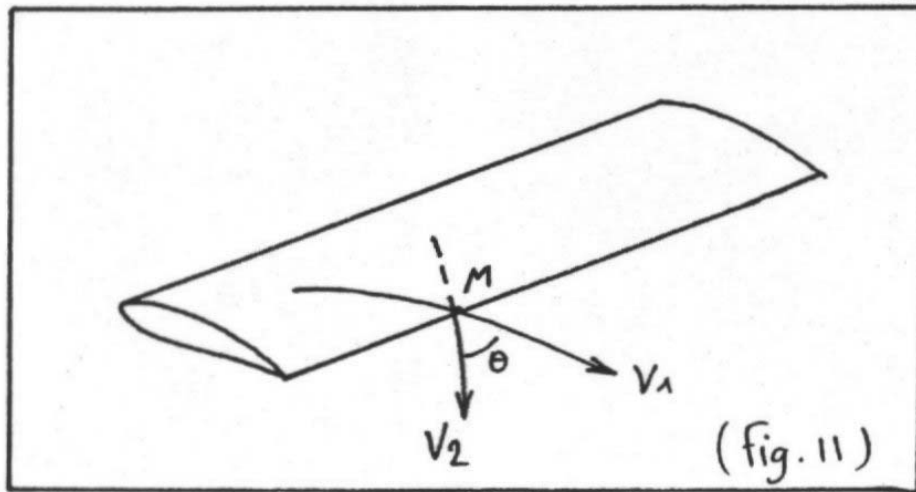
Sur une aile d'envergure infinie, le courant est plan et normal à l'envergure. A une incidence de sustentation positive, les dépressions qui s'établissent sur l'extrados et les surpressions d'intrados sont uniformes sur toute l'envergure.

Par contre, si l'envergure est limitée (c'est bien sûr le cas de tous nos modèles), un courant secondaire se produit à chaque extrémité de l'aile et tend à combler les dépressions d'extrados (cf Fig.10)



De plus, les lignes de courant (les filets d'air) sont déviées : sur l'extrados, ils sont déviés vers le plan de symétrie de l'aile et sur l'intrados, vers les extrémités de l'aile (cf Fig.11).

Au point M du bord de fuite, la vitesse V_1 du filet d'extrados et celle V_2 du filet d'intrados sont dans un même plan passant par le bord de fuite. Mais elles ont dans ce plan des directions différentes.



L'angle θ des vitesses V_1 et V_2 varie avec la position du point M; il est nul dans le plan de symétrie de l'aile.

Les pressions ne sont plus uniforme sur toute l'envergure. La sustentation est maximum dans le plan de symétrie et, en général, tend graduellement vers 0 aux extrémités de l'aile.

On peut considérer que le phénomène prenant place au point M crée en chaque point M un tourbillon élémentaire appelé tourbillon libre.

L'intensité des tourbillons libres n'est pas uniforme sur l'envergure, elle dépend de θ .

Tous ces tourbillons élémentaires tendent à s'enrouler aux extrémités de l'aile donnant naissance à deux tourbillons marginaux (cf Fig.12).

