

Les forces de portance

Texte et croquis :
Olivier Caldara

Comme nous l'avons vu dans le n° 330, la conséquence de la loi de conservation de l'énergie est que la pression totale au sein d'une particule d'air en mouvement est constante, ce qui entraîne que la pression statique (mesurable par une sonde perpendiculaire à l'écoulement) et la pression dynamique (mesurable par une sonde face à l'écoulement) varient en sens inverse.

En toute rigueur, cela n'est vrai que si :

1. Il n'y a pas de perte d'énergie, notamment par frottement dû à la viscosité du fluide, entre les différentes couches de vitesse différente, ou entre l'air et une paroi (le fluide est dit non visqueux) ;
2. L'écoulement est "organisé" et non turbulent, notamment lors d'un décollement.

Nous verrons plus tard que ces deux caractéristiques supplémentaires sont à l'origine des forces de traînée.

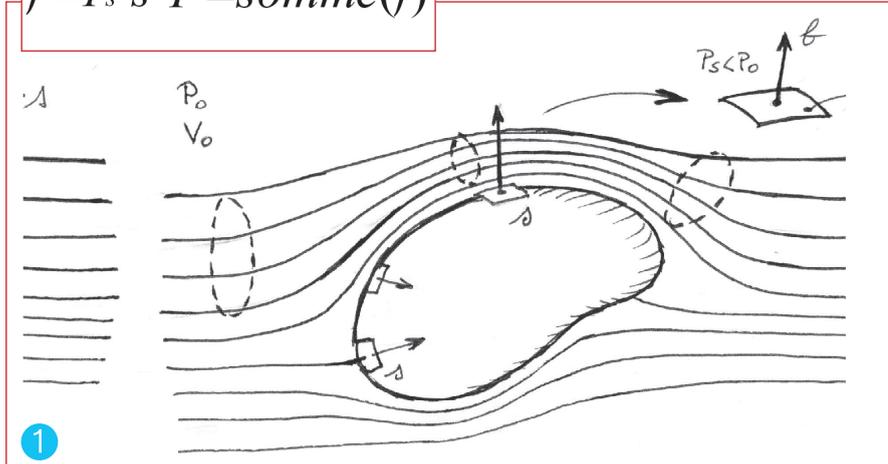
On suppose, dans un premier temps, que l'écoulement est non visqueux et non décollé autour d'un objet quelconque placé au sein d'une masse d'air en mouvement. Cette simplification permet de présenter les principes de création des forces aérodynamiques sur cet objet et, dans un premier temps, la portance. L'analyse est bien évidemment incomplète mais permettra en utilisant les mêmes principes de comprendre par la suite les efforts de traînée.

Dans le cas présent, la force qui s'applique sur cet objet est équivalente à la résultante de l'ensemble des petits éléments de force dus à l'effet de la pression locale sur chaque élément de surface, perpendiculairement à celui-ci (Fig. 1) :

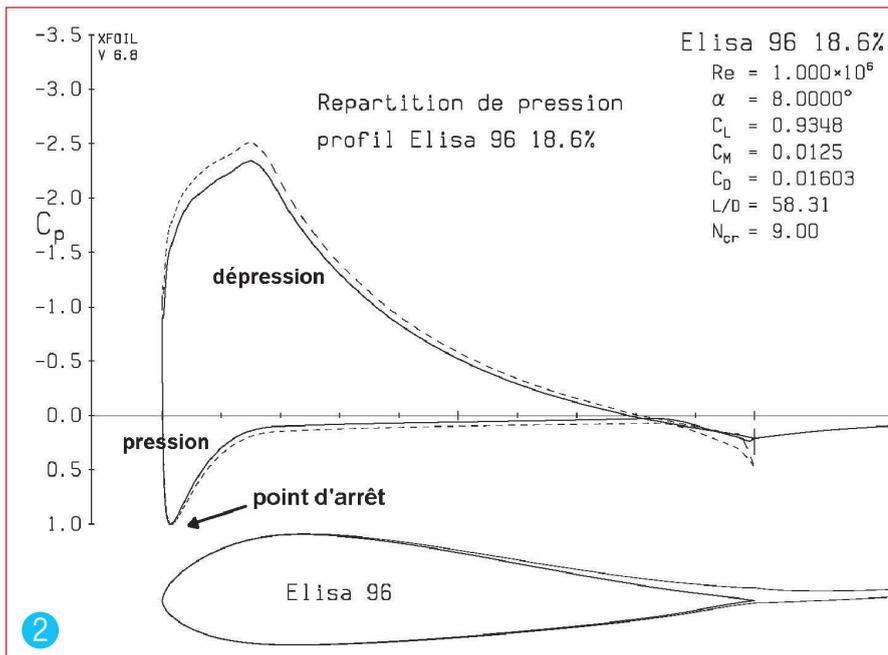
L'écoulement autour de l'objet, à l'origine des vitesses et donc des pressions locales entraînant les efforts, prend une forme particulière dépendant des caractéristiques de l'écoulement initial (vitesse V_0 , pression, température, densité...) et de la forme de l'objet. Cet écoulement est prédictible par des méthodes dépassant le cadre de cette chronique, et se trouve être le siège de variations de vitesse autour de V_0 en tout point de la surface de l'objet.

Dans toutes les zones où la vitesse est

$$f = P_s \cdot s \quad F = \text{somme}(f)$$



1



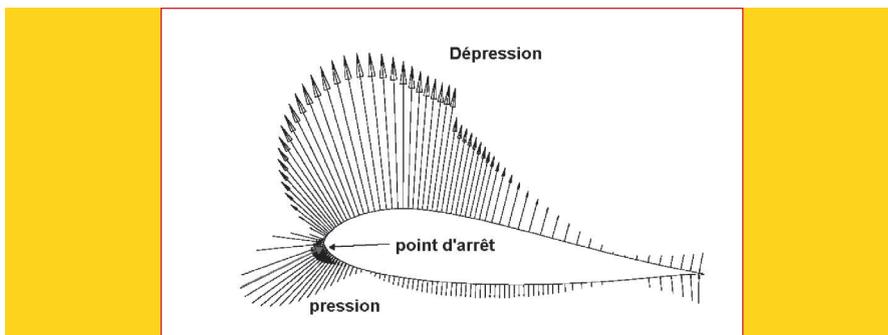
2

inférieure à la vitesse V_0 à grande distance de l'objet, la pression augmente et la force locale est orientée vers l'intérieur de l'objet. C'est le cas notamment de la zone du "point d'arrêt", perpendiculaire à l'écoulement local et où la vitesse est nulle, la pression locale est donc égale à la pression dynamique $\frac{1}{2} \cdot \rho V^2$. Dans toutes les zones où la vitesse est supérieure à la vitesse V_0 , la pression locale diminue et la force locale est orientée vers l'extérieur de l'objet.

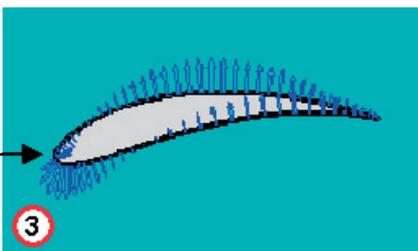
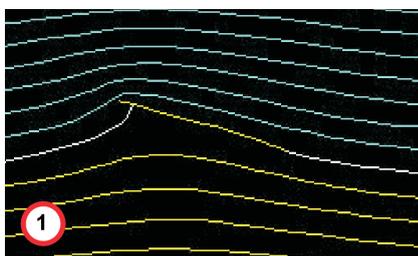
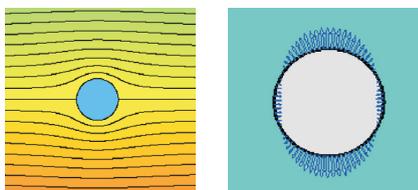
Afin de simplifier la suite, on peut considérer dans un premier temps un objet et un écoulement à 2 dimensions, représentatifs d'une section d'un objet allongé cylindrique, par exemple une aile. Dans ce cas, les efforts sont des efforts "par unité de longueur".

On peut, par exemple, représenter les variations de vitesse ou de pression autour de cette section ou profil, qui permettent de comprendre où sont appliqués les efforts (Fig. 2).





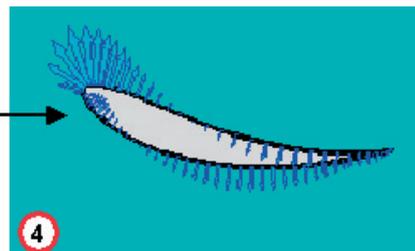
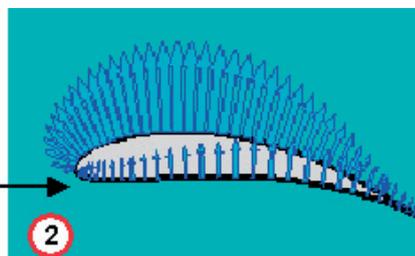
Par convention (mais aussi bien sûr par sens physique...), on appelle "portance" la composante de la résultante orientée perpendiculairement à la direction de l'écoulement. La "traînée" est la composante orientée dans la direction de l'écoulement. Si l'objet est totalement symétrique par rapport à la direction de l'écoulement (par exemple un cylindre, un profil symétrique ou une plaque plane à incidence nulle, etc), la somme et donc la portance sont nulles. Dans le cas où nous nous sommes placés, d'un écoulement non visqueux et non décollé, la traînée aussi est nulle, même dans le cas du cylindre (dommage que cela ne soit jamais vérifié, cela aurait permis d'annuler la traînée de sustentage d'un parapente...):



Si l'objet n'est pas symétrique par rapport à la direction de l'écoulement, la résultante n'est en général pas nulle, mais, toujours dans le cas du fluide non visqueux et non décollé, la traînée reste nulle.

Suivant l'orientation et la forme de l'objet, déterminant les caractéristiques de l'écoulement, la portance est orientée dans un sens ou dans l'autre. Ainsi les quelques exemples suivants :

1. Une plaque plane ou un profil symétrique portent s'ils sont mis en incidence ;
2. Un profil non symétrique porte même à incidence nulle ;
3. Un profil non symétrique procure une portance nulle pour une incidence particulière en général négative ;
4. Un profil non symétrique "à l'envers" peut porter pour peu que l'incidence soit supérieure à cette incidence de portance nulle.



QUANTIFICATION DE LA PORTANCE :

Les premiers expérimentateurs, tel Otto Lilienthal, ont très vite remarqué que la portance était :

1. Proportionnelle à la pression dynamique $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2$;
2. Proportionnelle à la surface de l'aile (donc à la corde si l'on est en 2 dimensions) ;
3. Proportionnelle à l'angle d'incidence α , tant que l'écoulement n'est pas décollé ;

Le troisième point montre que le coefficient de proportionnalité, appelé C_z ou Clift par les Anglo-Saxons, est une fonction linéaire de l'angle d'incidence α . Ainsi, si l'on connaît l'angle de portance nulle α_0 d'un profil, on en connaît le C_z et donc la portance pour toute incidence (inférieure bien sûr à l'incidence de décrochage) :

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot C_z$$

avec

$$C_z = k \cdot (\alpha - \alpha_0)$$

Le coefficient k est appelé pente de portance et caractérise la quantité de portance acquise par degré d'incidence.

Dans le cas d'une aile, le coefficient k dépend de son allongement. Il est d'autant plus élevé que l'allongement est grand, avec une valeur limite lorsque l'allongement est infini (profil à 2 dimensions) :

$$k = \frac{\pi^2}{90} \approx 0.11$$

Nous verrons la prochaine fois comment notre vision un peu idéale d'un fluide non visqueux et non décollé est mise à mal et comment les efforts de traînée s'ajoutent à cet édifice. Dommage, une aile sans traînée avait tout pour plaire...

Quelques adresses avec de belles animations pour mieux comprendre :

- <http://www.grc.nasa.gov/WWW/K-12/airplane/foil2.html> : un superbe petit simulateur
- <http://www.diam.unige.it/~irro> : un site déjà cité, d'où sont tirées quelques illustrations de la présente chronique ...

