



6e JOURNÉES DE L'HYDRODYNAMIQUE

24, 25, 26 février 1997 - Nantes

## Effet du confinement sur le comportement de la couche limite d'une aile tridimensionnelle

M. Callenaere, O. Boulon, J.P. Franc, J.M. Michel

Laboratoire des Écoulements Géophysiques et Industriels, 1025 rue de la Piscine - Domaine Universitaire  
BP 53 - 38041 Grenoble Cedex 9

### Résumé

*L'écoulement autour d'une aile tridimensionnelle est influencé par le confinement. En régime cavitant, la réduction du jeu d'entrefer provoque une avance au développement de la cavitation au sein du tourbillon marginal. En régime subcavitant, la couche limite est influencée par le confinement, surtout au niveau du bout de l'aile. La diminution du jeu d'entrefer favorise l'apparition de la transition à la turbulence. De plus, cette transition s'opère d'abord en bout d'aile pour se propager ensuite vers l'emplanture.*

*Ces tendances peuvent être qualitativement expliquées, dans le cadre de la théorie de la ligne portante, en considérant l'image, à travers la plaque de confinement, de la nappe tourbillonnaire se développant derrière l'aile. La vitesse induite par cette nappe image provoque une augmentation de l'incidence sous laquelle l'écoulement attaque le profil.*

### Summary

*The flow around a three-dimensional foil is affected by the confinement. In cavitating conditions, the decrease of the tip clearance leads to an advance in the inception of tip vortex cavitation. In non-cavitating conditions, the boundary layer is also affected by the confinement, especially near the foil tip. When tip clearance is decreased, transition to turbulence occurs at smaller angles of attack. Moreover, transition takes place first of all at the foil tip and extends towards the foil root, as the angle of attack is increased.*

*Those trends can be explained qualitatively, in the framework of the lifting-line theory, in considering the symmetrical image, relative to the confinement plate, of the vortex sheet which develops at the rear of the foil. The velocity induced by the symmetrical sheet tends to increase the effective angle of attack.*

**NOMENCLATURE**

A	Allongement ( $A = 3,8$ ) $A = 4b/\pi c$	$\alpha$	Incidence (degré)
a	Diamètre du cœur visqueux (mm)	$\alpha_i$	Incidence induite (degré)
b	Envergure (mm)	$\Gamma$	Circulation ( $m^2 \cdot s^{-1}$ )
c	Corde du profil à l'emplanture (mm)	$\Gamma_0$	Circulation totale ( $m^2 \cdot s^{-1}$ )
$C_p$	Coefficient de pression $C_p = 2(p - p_\infty) / \rho U_d^2$	$\nu$	Viscosité cinématique ( $m^2 \cdot s^{-1}$ )
$C_z$	Coefficient de portance $C_z = \frac{F}{\frac{1}{2} \rho U_d^2 \cdot (\pi b c / 8)}$	$\rho$	Densité de l'eau ( $kg \cdot m^{-3}$ )
F	Force exercée sur le profil $F = \rho U_d \int_0^{b/2} \Gamma(z) dz$	$\sigma$	Paramètre de cavitation $\sigma = 2(p_\infty - p_v) / \rho U_d^2$
p	Pression absolue (Pa)	$\sigma_i$	Paramètre de cavitation naissante
$p_v$	Pression de vapeur de l'eau (Pa)		
$p_\infty$	Pression à mi hauteur de la veine (Pa)		
Re	Nombre de Reynolds ( $Re = c U_d / \nu$ )		
$U_d$	Vitesse débitante ( $m \cdot s^{-1}$ )		
$v_i$	Vitesse induite de la nappe tourbillonnaire ( $m \cdot s^{-1}$ )		
$z_p$	Distance entre l'extrémité de l'aile et la plaque (mm)		

**1 INTRODUCTION**

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'Action Concertée Cavitation consacrée à l'étude de la cavitation dans le tourbillon marginal qui prend naissance à l'extrémité des pales d'hélices. Les travaux antérieurs [1] ont permis de caractériser ce tourbillon par deux paramètres principaux : sa circulation et la taille de son cœur visqueux. La circulation augmente progressivement vers l'aval, du fait de l'enroulement de la nappe tourbillonnaire issue du bord de fuite de l'aile, pour atteindre, à quelques cordes de l'extrémité, une valeur limite représentative de la portance globale de l'aile. Quant à la taille du cœur visqueux, elle apparaît corrélée à l'épaisseur des couches limites qui se développent sur l'aile, et donc directement reliée au nombre de Reynolds de l'écoulement.

La présente étude a pour objectif d'analyser comment l'enroulement se trouve modifié par le confinement de l'extrémité de l'aile. Elle est motivée par l'étude des hélices carénées, la pale d'hélice étant ici schématisée par une aile tridimensionnelle et l'effet de carénage étant simulé par une plaque dont la distance à l'extrémité de l'aile est réglable. Deux effets principaux sont attendus : un effet de type visqueux lié à l'interaction possible entre le tourbillon marginal et la couche limite qui se développe sur la plaque de confinement, et un effet purement potentiel qui peut être décrit en considérant l'image du tourbillon réel à travers la plaque. On analyse plus particulièrement l'effet du confinement sur les conditions critiques de cavitation du tourbillon marginal et sur le comportement de la couche limite qui se développe sur l'aile.

**2 MOYENS D'ESSAIS**

Les essais ont été menés sur la veine en charge du tunnel hydrodynamique du Laboratoire de Écoulements Géophysiques et Industriels de l'Institut de Mécanique de Grenoble. Cette veine a pour largeur 175 mm et pour hauteur 280 mm (figure 1). Le profil d'aile utilisé, de section droite de type NACA 16 020 (20% d'épaisseur relative), de forme en plan elliptique, d'allongement 3.8, est placé verticalement. Sa demi envergure,  $b/2$ , est de 180 mm et sa corde à l'emplanture,  $c$ , de 120 mm. Son incidence par rapport au plan vertical médian de la veine varie entre  $-12^\circ$  et  $12^\circ$ . La veine est munie d'une plaque horizontale en plexiglas dont la distance,  $z_p$ , à l'extrémité de l'aile est réglable entre 0 et 80 mm.

La vitesse débitante,  $U_d$ , peut varier entre 3 et 12  $m \cdot s^{-1}$ . Le nombre de Reynolds, basé sur la vitesse débitante et sur la corde du profil,  $Re = U_d c / \nu$ , varie de  $3,6 \cdot 10^5$  à  $1,45 \cdot 10^6$ . Le paramètre de cavitation,  $\sigma$ , peut être abaissé jusqu'à 0,07.