

## CHAPITRE 3

3 ECOULEMENTS EXTERNE..... I	
------------------------------	--

### 3 ECOULEMENTS EXTERNE

En général, un corps immergé dans un fluide en écoulement est soumis à des forces et moments externes sur ses surfaces. La terminologie utilisée et les désignations de ces forces sont montrées sur la figure 3.1. L'orientation des axes principaux pour le frottement est dans la direction principale du corps qui est dans la même direction que celle de l'écoulement.

Ces forces externes appliquées et les moments sont généralement fonction des paramètres suivants :

- (a) la géométrie de corps
- (b) l'orientation de corps
- (c) les conditions de l'écoulement.

Les forces et les moments sont généralement exprimés sous une forme adimensionnelle, comme par exemple, la traînée :

$$C_D = \frac{F_D / A}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2} \quad (3.1)$$

Il faut noter que dépendant de problème, il y a trois types d'aire caractéristique :

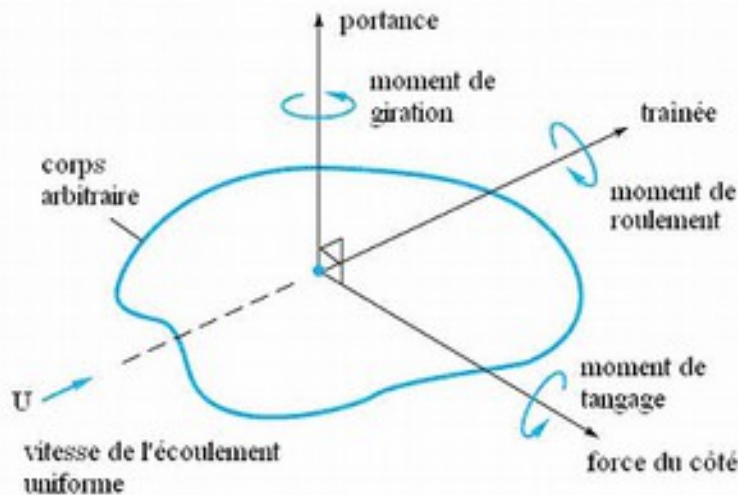


Figure 3.1: Terminologie utilisée pour un corps immergé dans un fluide

- (a) **L'aire frontale**, i.e. la projection de corps : Elle est généralement utilisée pour les corps non aérodynamiques, comme les édifices, véhicules ;
- (b) **L'aire vue de haut**, i.e. la projection sur le plane horizontal : Elle est utilisée pour les corps minces, e.g. les ailes, hydrofoils ;
- (c) **L'aire mouillée** : L'aire totale en contact avec le fluide. Elle est utilisée pour les bateaux, péniches.

En plus de la **traînée de frottement** due à la friction, il y a aussi la **traînée de pression**. La traînée de pression est une conséquence de la distribution de pression sur la surface d'un corps.

Le coefficient combiné de traînée peut être exprimé comme :

$$C_D = C_{D,press} + C_{D,friction}$$

ou

$$C_D = \frac{F_{D,total} / A}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2} = \frac{F_{D,press} / A}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2} + \frac{F_{D,friction} / A}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2}$$

La contribution majeure de chacun dépend de la forme aérodynamique de corps et/ou des conditions de l'écoulement.

Considérons les deux corps montrés à la figure 3.2. L'écoulement autour de profil aérodynamique reste toujours attaché à la surface, sans séparation de l'écoulement. En conséquence, la traînée de pression est faible. Par contre, l'écoulement autour de cylindre, une forme non aérodynamique, sépare de sa surface créant ainsi une région de sillage à basse pression; comme résultat, la traînée de pression devient importante.

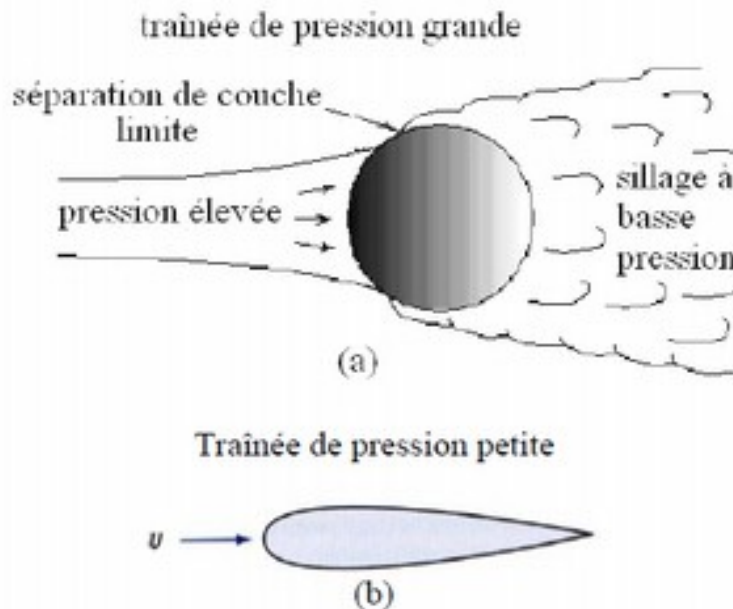


Figure 3.2: (a) Corps non aérodynamique, (b) Corps aérodynamique sans séparation de couche limite

Ce phénomène est illustré à la figure 3.3. Pour un profil mince, i.e.  $t/c = 0$ , toute la traînée est due à friction. Pour un cylindre, i.e.  $t/c = 1$ , la traînée de friction est seulement de 3% tandis que la traînée de pression est de 97%.

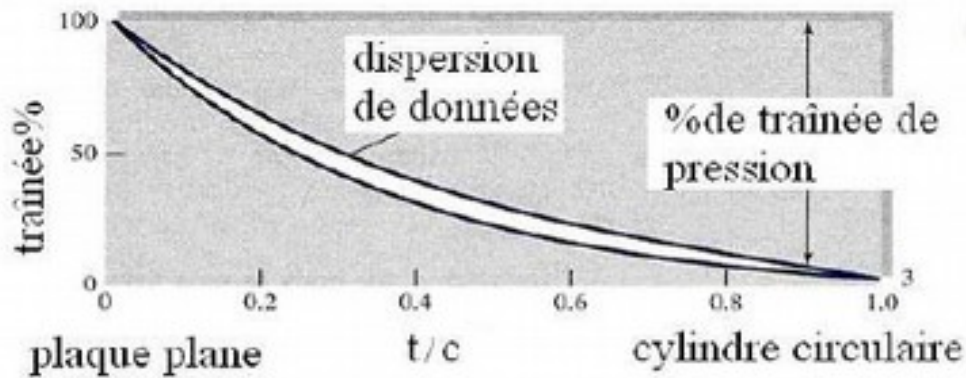


Figure 3.3: Effet de rapport d'épaisseur sur la traînée de pression

Dans le cas de corps non aérodynamiques, la traînée de pression peut être changée en réduisant la grandeur de sillage à basse pression comme illustré à la figure 3.4.

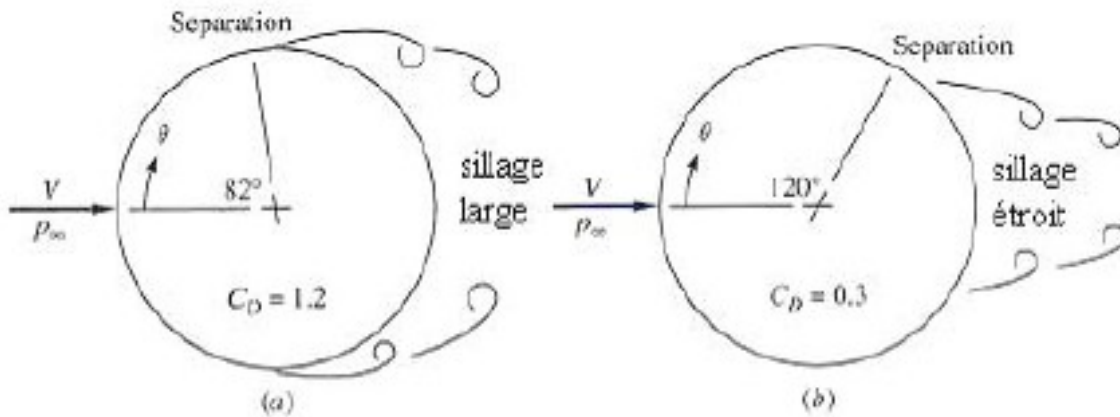


Figure 3.4: Écoulement autour d'un cylindre circulaire (a) séparation laminaire, (b) séparation turbulente

Dans ce cas en utilisant par exemple un fil de déclenchement, on peut modifier le mode de l'écoulement de laminaire à turbulent; ainsi, la séparation de couche limite devient retardée et la région de sillage à basse pression devient plus petite. En effet, pour l'écoulement laminaire la séparation de couche limite est à  $82^\circ$  et  $C_D=1.2$  tandis que dans le cas turbulent, l'angle de séparation est retardé à  $120^\circ$  et  $C_D=0.3$ . Nous voyons que la traînée est diminuée par 4 surtout en diminuant la grandeur de sillage et la traînée de pression, malgré que la traînée de friction peut être augmentée due à l'écoulement turbulent.

La distribution de pression pour l'écoulement laminaire et turbulent est montrée à la figure 3.5. On peut voir que la différence de pression entre avant et arrière est plus grande dans le cas laminaire; donc, la traînée est plus grande.

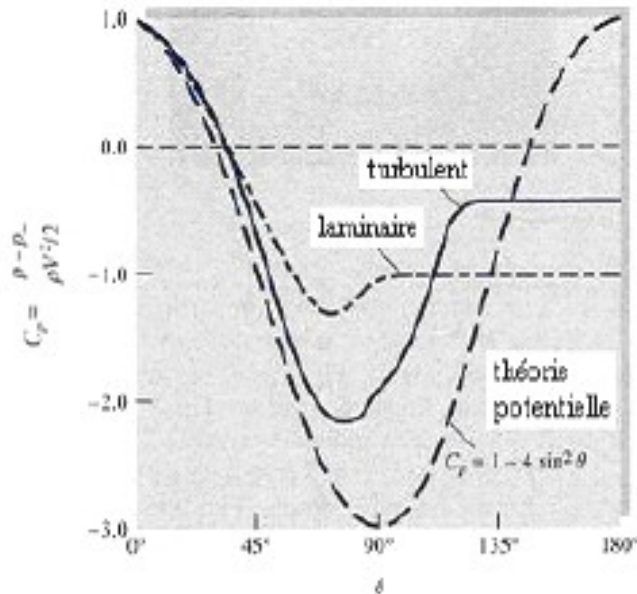


Figure 3.5: Distribution de pression théorique et expérimentale dans un écoulement autour d'un cylindre circulaire

Finalement, l'effet de forme aérodynamique sur la traînée totale est illustré à la figure 3.6. On peut observer que :

- (1) Comme la forme du corps change d'une forme contondante à une forme plus aérodynamique, l'effet de la traînée de pression diminuera.
- (2) La transformation de (a) à (b) et puis de (b) à (c) peut causer une augmentation de traînée de friction mais puisque la traînée dominante est due à la pression, le résultat net est une traînée réduite.

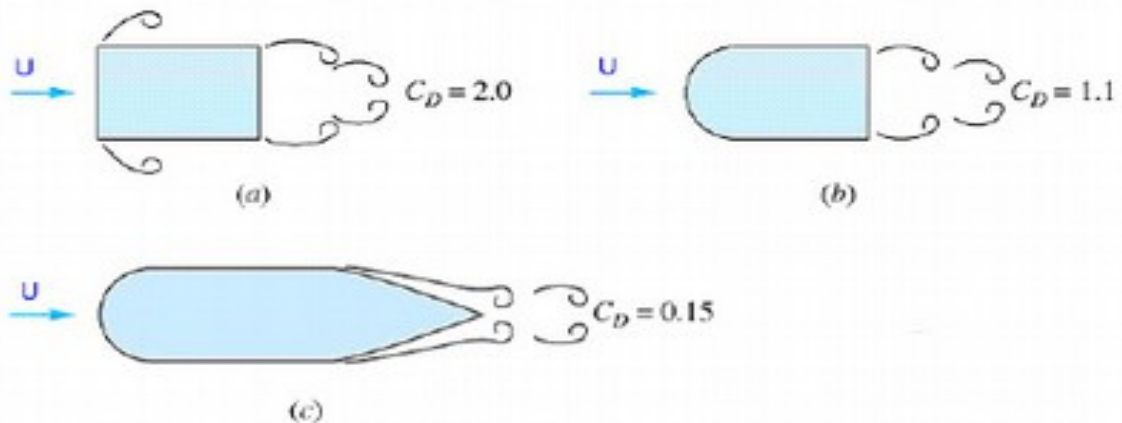













Figure 3.6: Effet de forme aérodynamique sur le coefficient de traînée

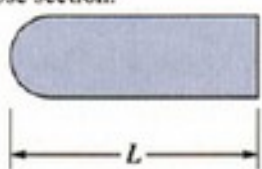

Le tableau 3.1 donne le coefficient  $C_D$  pour les corps à deux dimensions à  $Re > 10^4$ . Dans ce cas, la troisième dimension, perpendiculaire à la page est très longue.

**Remarque** : les corps non aérodynamiques avec point de séparation fixe ont un seul coefficient de  $C_D$  sans tenir compte de nombre de Reynolds, e.g. carré, cylindre, le demi-tube, etc. Les corps aérodynamiques ont usuellement réduction de  $C_D$  pour changement de l'écoulement laminaire à turbulent; ceci est à cause de changement favorable de point de séparation de couche limite, e.g. cylindres elliptiques.





Tableau 3.1: Coefficient de traînée pour les corps à deux dimensions

Shape	$C_D$ based on frontal area	Shape	$C_D$ based on frontal area	Shape	$C_D$ based on frontal area
Square cylinder:	2.1	Half-cylinder:	1.2	Plate:	2.0
					
	1.6		1.7	Thin plate normal to a wall:	1.4
Half tube:	1.2	Equilateral triangle:	1.6		
				Hexagon:	1.0
	2.3		2.0		0.7

Shape	$C_D$ based on frontal area								
Rounded nose section:	$L/H:$	0.5	1.0	2.0	4.0	6.0			
	$C_D:$	1.16	0.90	0.70	0.68	0.64			
Flat nose section:	$L/H:$	0.1	0.4	0.7	1.2	2.0	2.5	3.0	6.0
	$C_D:$	1.9	2.3	2.7	2.1	1.8	1.4	1.3	0.9

Elliptical cylinder:	Laminar	Turbulent
1.1 	1.2	0.3
2.1 	0.6	0.2
4.1 	0.35	0.15
8.1 	0.25	0.1



Le tableau 3.2 montre les  $C_D$  pour les corps de trois dimensions à  $Re > 10^4$ . La troisième dimension perpendiculaire à la page n'est pas longue. La même remarque faite pour les corps de deux dimensions s'applique aussi pour ce cas.

Body	$C_D$ based on frontal area	Body	$C_D$ based on frontal area																					
Cube:	1.07	Cone:	<table border="1"> <tr> <td><math>\theta</math>:</td> <td>10°</td> <td>20°</td> <td>30°</td> <td>40°</td> <td>60°</td> <td>75°</td> <td>90°</td> </tr> <tr> <td><math>C_D</math>:</td> <td>0.30</td> <td>0.40</td> <td>0.55</td> <td>0.55</td> <td>0.80</td> <td>1.05</td> <td>1.15</td> </tr> </table>	$\theta$ :	10°	20°	30°	40°	60°	75°	90°	$C_D$ :	0.30	0.40	0.55	0.55	0.80	1.05	1.15					
$\theta$ :	10°	20°	30°	40°	60°	75°	90°																	
$C_D$ :	0.30	0.40	0.55	0.55	0.80	1.05	1.15																	
	0.81	Short cylinder, laminar flow:	<table border="1"> <tr> <td><math>L/D</math>:</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>40</td> <td><math>\infty</math></td> </tr> <tr> <td><math>C_D</math>:</td> <td>0.64</td> <td>0.68</td> <td>0.72</td> <td>0.74</td> <td>0.82</td> <td>0.91</td> <td>0.98</td> <td>1.20</td> </tr> </table>	$L/D$ :	1	2	3	5	10	20	40	$\infty$	$C_D$ :	0.64	0.68	0.72	0.74	0.82	0.91	0.98	1.20			
$L/D$ :	1	2	3	5	10	20	40	$\infty$																
$C_D$ :	0.64	0.68	0.72	0.74	0.82	0.91	0.98	1.20																
Cup:	1.4	Porous parabolic dish [23]:	<table border="1"> <tr> <td>Porosity:</td> <td>0</td> <td>0.1</td> <td>0.2</td> <td>0.3</td> <td>0.4</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td><math>\leftarrow C_D</math>:</td> <td>1.42</td> <td>1.33</td> <td>1.20</td> <td>1.05</td> <td>0.95</td> <td>0.82</td> </tr> <tr> <td><math>\rightarrow C_D</math>:</td> <td>0.95</td> <td>0.92</td> <td>0.90</td> <td>0.86</td> <td>0.83</td> <td>0.80</td> </tr> </table>	Porosity:	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	$\leftarrow C_D$ :	1.42	1.33	1.20	1.05	0.95	0.82	$\rightarrow C_D$ :	0.95	0.92	0.90	0.86	0.83	0.80
Porosity:	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5																		
$\leftarrow C_D$ :	1.42	1.33	1.20	1.05	0.95	0.82																		
$\rightarrow C_D$ :	0.95	0.92	0.90	0.86	0.83	0.80																		
	0.4	Average person:	$C_D A = 9 \text{ ft}^2$   $C_D A = 1.2 \text{ ft}^2$																					
Disk:	1.17	Pine and spruce trees [24]:	<table border="1"> <tr> <td><math>U</math>, m/s:</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>30</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td><math>C_D</math>:</td> <td><math>1.2 \pm 0.2</math></td> <td><math>1.0 \pm 0.2</math></td> <td><math>0.7 \pm 0.2</math></td> <td><math>0.5 \pm 0.2</math></td> </tr> </table>	$U$ , m/s:	10	20	30	40	$C_D$ :	$1.2 \pm 0.2$	$1.0 \pm 0.2$	$0.7 \pm 0.2$	$0.5 \pm 0.2$											
$U$ , m/s:	10	20	30	40																				
$C_D$ :	$1.2 \pm 0.2$	$1.0 \pm 0.2$	$0.7 \pm 0.2$	$0.5 \pm 0.2$																				
Parachute (Low porosity):	1.2																							

Body	Ratio	$C_D$ based on frontal area	Body	Ratio	$C_D$ based on frontal area
Rectangular plate:			Flat-faced cylinder:		
	$b/h$			$L/d$	
	1	1.18		0.5	1.15
	5	1.2		1	0.90
	10	1.3		2	0.85
	20	1.5		4	0.87
	$\infty$	2.0		8	0.99
Ellipsoid:					
	$L/d$				
	0.75				
	1	0.5			0.2
	2	0.47			0.2
	4	0.27			0.13
	8	0.25			0.1
		0.2			0.08

Tableau 3.2: Coefficient de traînée pour les corps à trois dimensions