

Vulgarisation de la physique de la voile en 3 chapitres :

I. Coques

Vitesse limite de coque et planning

Trainée de surface

Trainée de forme

Trainée parasite

II. Quilles et Dérives

Principe de Bernoulli et Portance

Formation des vortex ou trainée induite

Résistance totale coque/quille

III. Voiles

Théorie de base

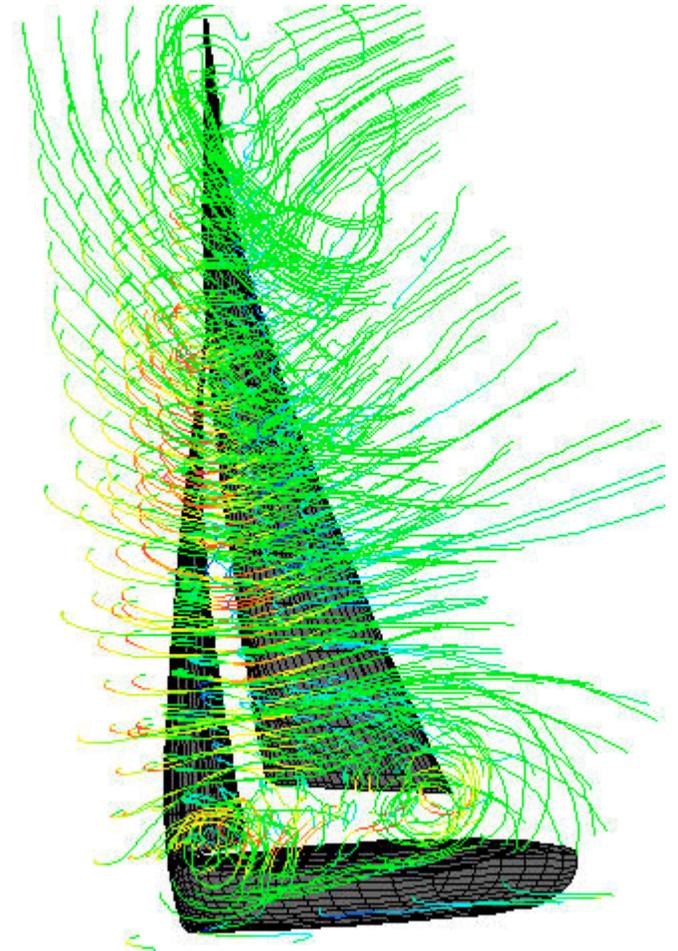
Trainée induite

Turbulences

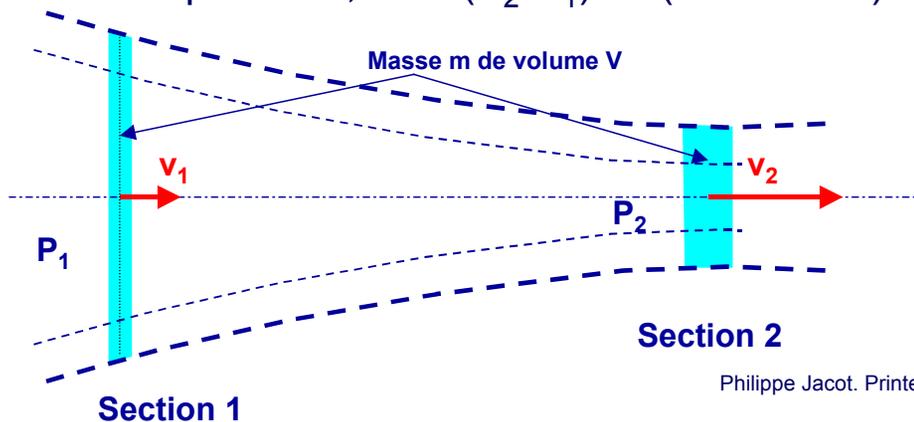
Intéraction GV-Foc

Forme optimale d'une voile en fonction de l'amure

Réglages



- Le théorème de Bernouilli (physicien suisse du 17ème !) est la théorie de base qu'il faut avoir pour comprendre comment une quille, une dérive un safran ou une voile travaille.
- En effet Bernouilli a découvert que la pression d'un fluide diminue lorsque la vitesse de son flux augmente.
- Une démonstration commune de ce phénomène est faite en soufflant en 2 feuilles de papier. Comme vous soufflez en les feuilles, celles-ci se collent ensemble, résultat d'une baisse de pression en les 2 feuilles due à la vitesse accrue de l'air induite par votre souffle.
- Tout cela découle de la loi de la conservation de l'énergie. (rien ne se gagne, rien ne se perd, tout se transforme).
- Soit m , une masse de fluide se déplaçant entre les sections 1 et 2. Comme la section 2 est plus petite que la section 1, la masse de fluide va donc plus vite en 2 que en 1.
- L'énergie cinétique du système augmente donc de $(m(v_2^2 - v_1^2))/2$. Pour compenser cette augmentation d'énergie cinétique, il faut qu'une autre forme d'énergie diminue, soit celle liée à la pression, soit $-(P_2 - P_1) \cdot V$. (V =Volume). Il s'ensuit que:

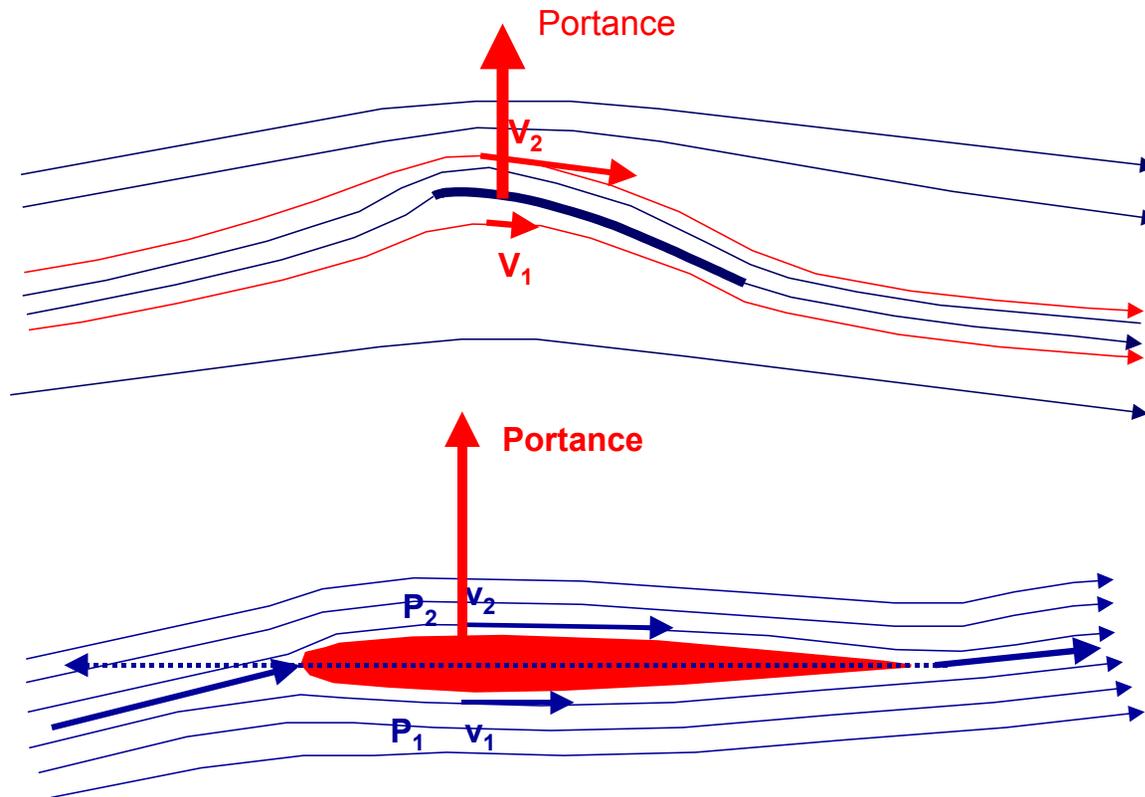


$$\frac{m(v_2^2 - v_1^2)}{2} = -(P_2 - P_1) \cdot V$$

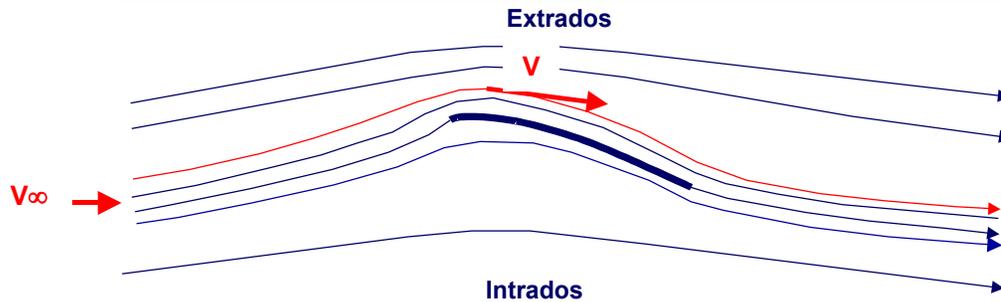
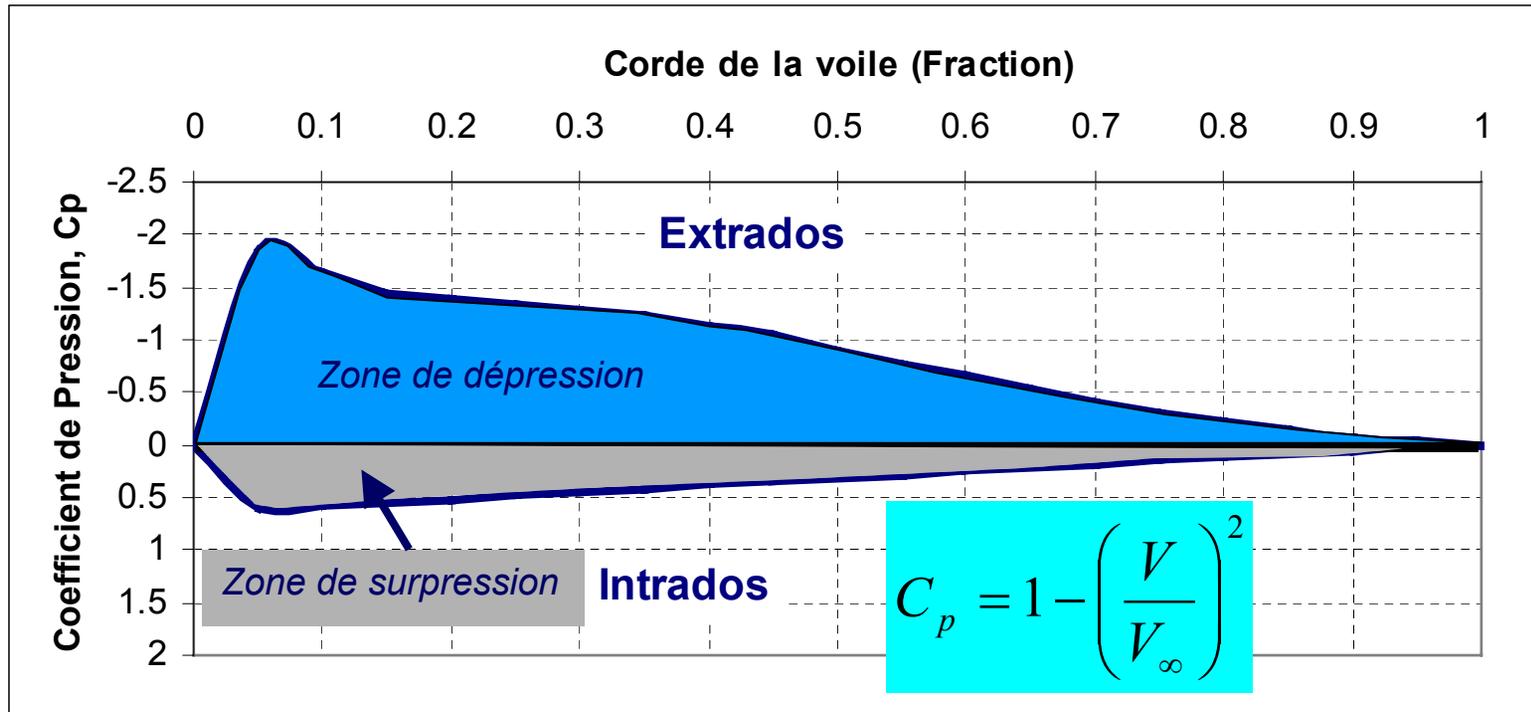
$$m = \rho V$$

$$\frac{\rho}{2} \cdot \Delta v^2 + \Delta P = \text{const}$$

- Comme dans le cas d'une quille, lorsqu'un fluide s'écoule autour d'un profil avec un certain angle d'incidence, les molécules qui passent sur le "dessus" du profil ont un chemin à faire plus long que celles qui passent au "dessous". Elles doivent donc aller plus vite.



Bernouilli: $v_2 > v_1$ \Rightarrow Portance = $(P_1 - P_2) \times$ Surface de la quille
 $P_2 < P_1$



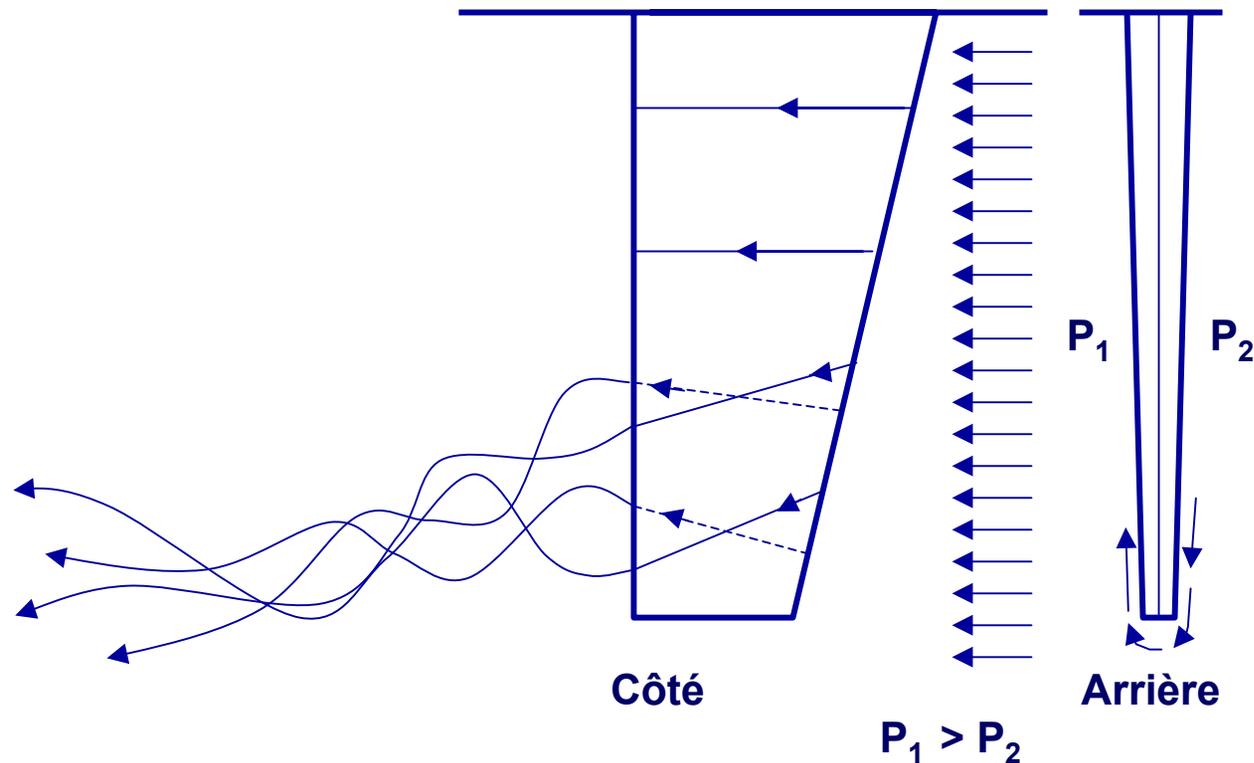
Différence de vitesse typique:

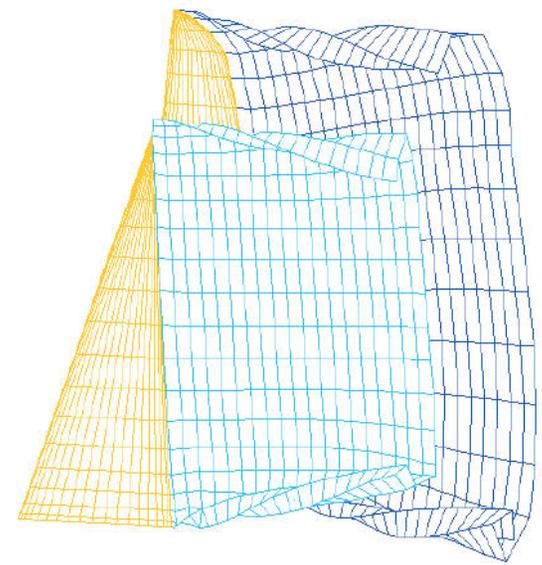
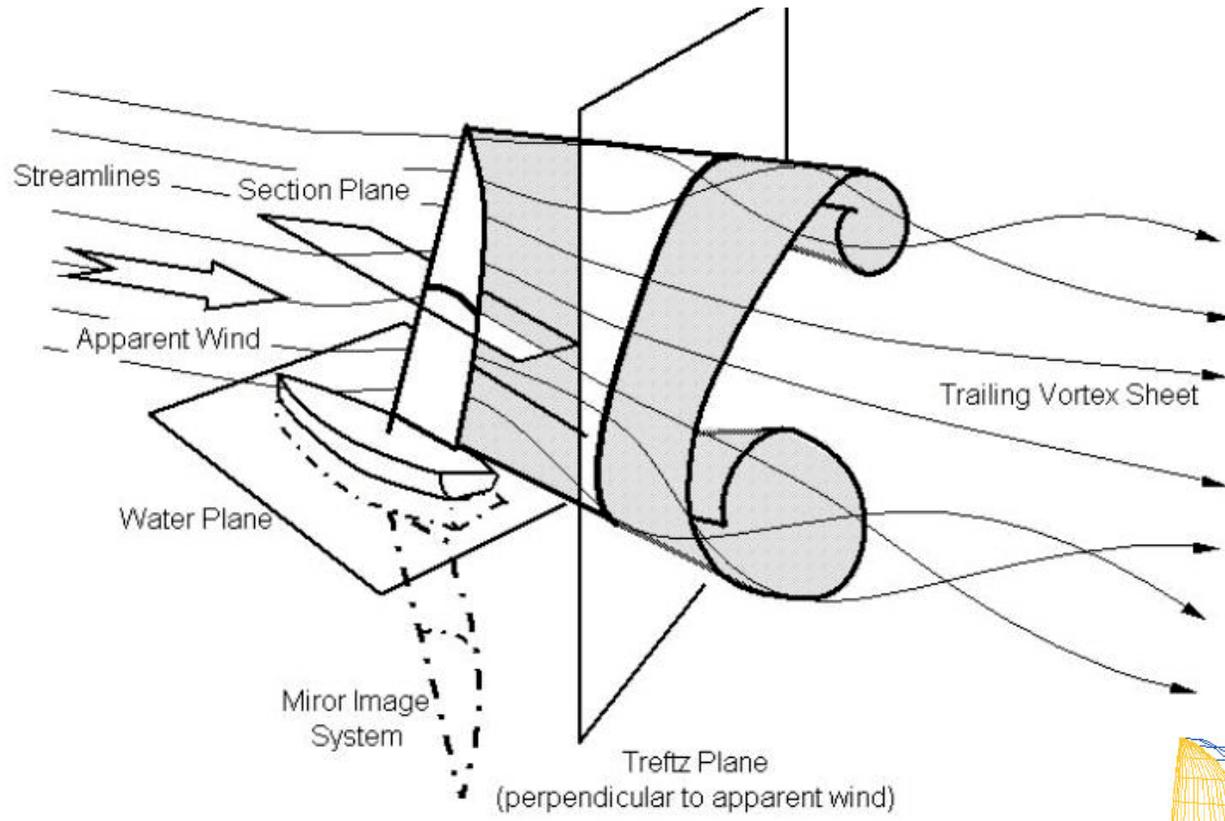
$$C_p = -2 \Rightarrow V/V_\infty = 2$$

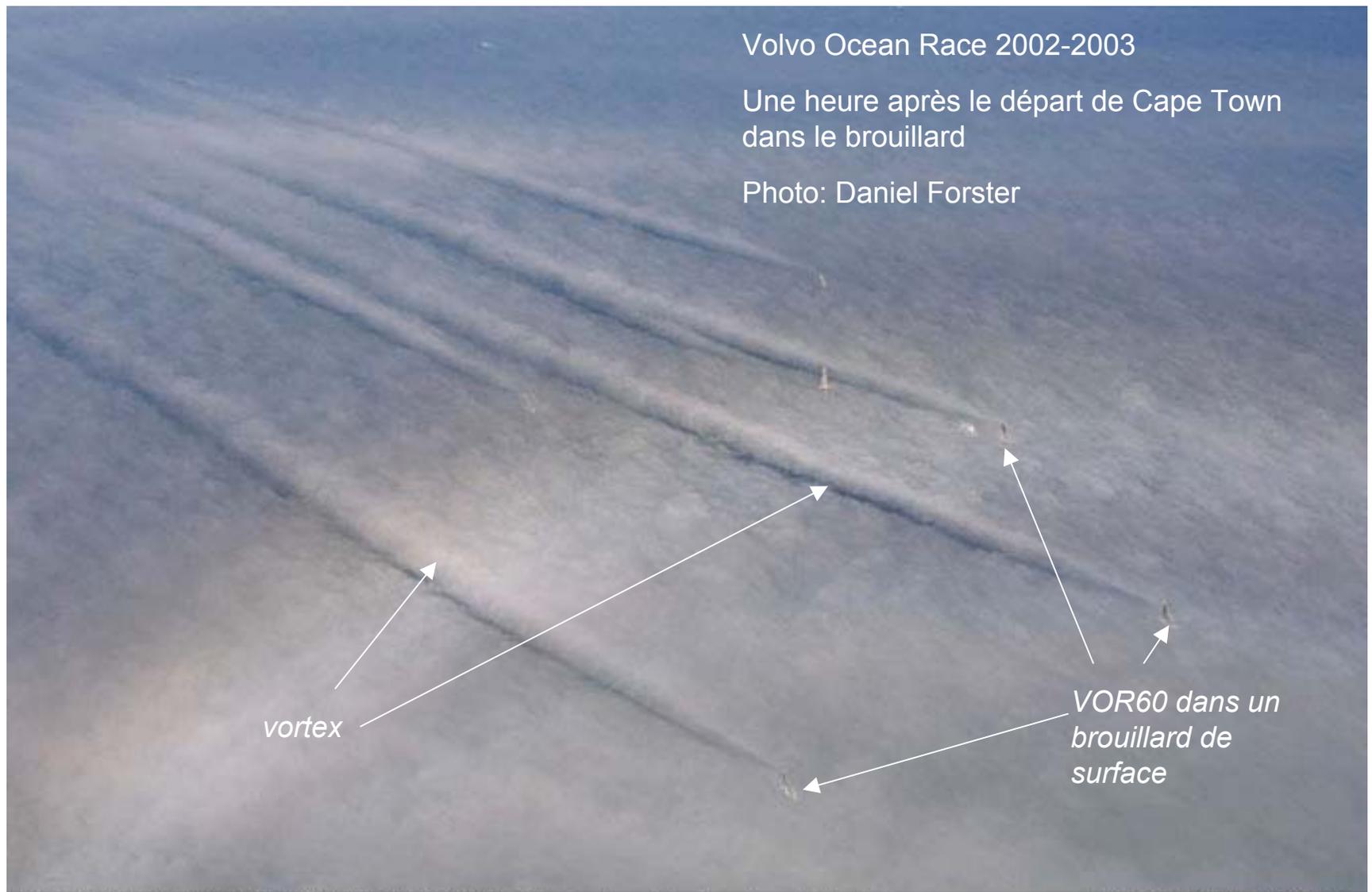
Pression typique sur une voile:

0 - 200 N/m²

- Lorsqu'une quille, une dérive, un safran ou une voile produit de la portance grâce au flux de fluide qui les traverse, il produit également des turbulences sous la forme de **vortex**.
- Lorsque le flux se met en marche autour de la quille (ou de la voile), il produit une différence de pression entre les 2 côtés de la quille, ce qui crée on l'a vu la portance
- Toutefois, en bout de quille, les molécules de fluide qui passent autour du profil vont essayer de compenser cette différence de pression. Elles vont alors fléchir de leur trajectoire et former les fameux vortex lorsqu'elles auront quitté le profil.







Volvo Ocean Race 2002-2003

Une heure après le départ de Cape Town dans le brouillard

Photo: Daniel Forster

vortex

VOR60 dans un
brouillard de
surface

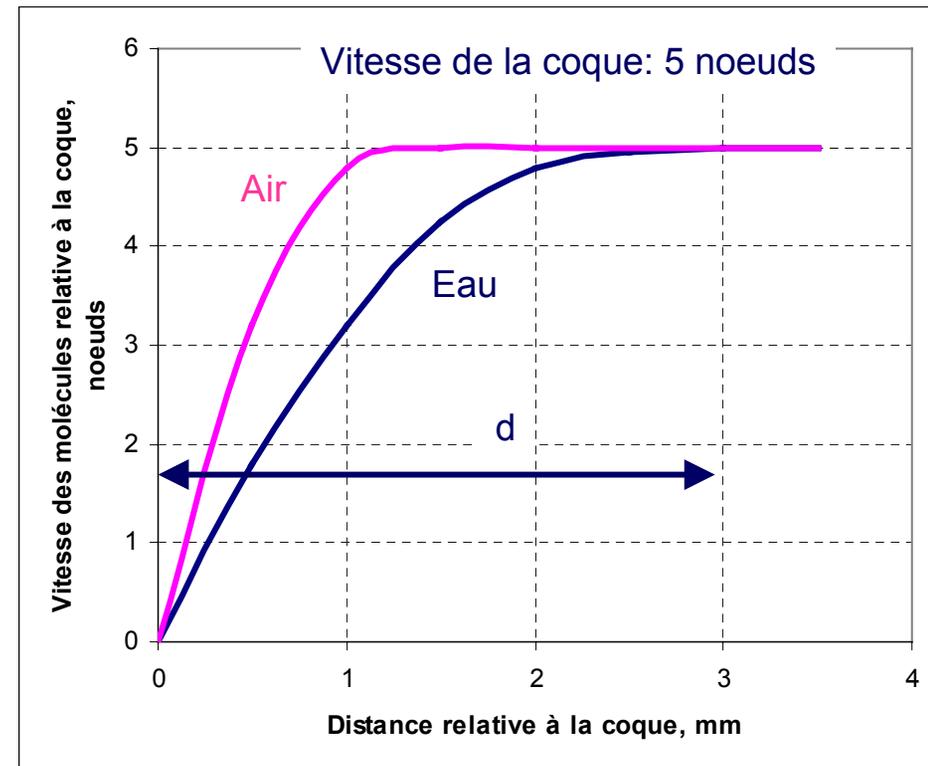
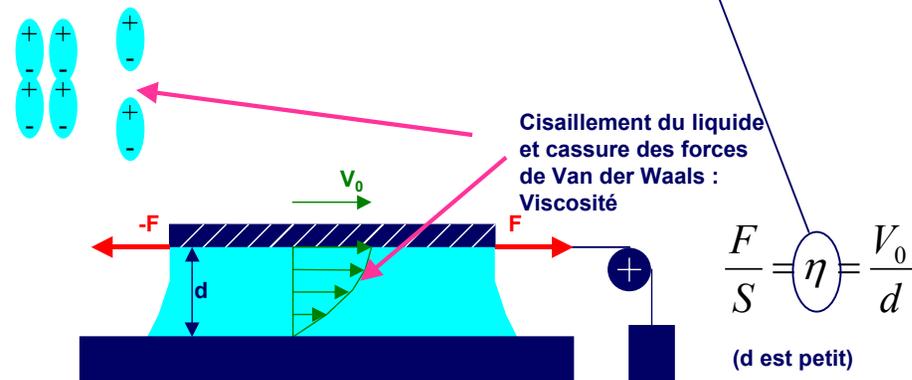
TYCO, TEAM NEWS CORP, ILLBRUCK, DJUICE, AMER SPORTS ONE carving through the fog one hour after the start. Volvo Ocean race. Start of leg two, Cape Town, South Africa. Taken from 2500 feet above sea level

© Daniel Forster / illbruck-Challenge

Ref: Daniel Forster

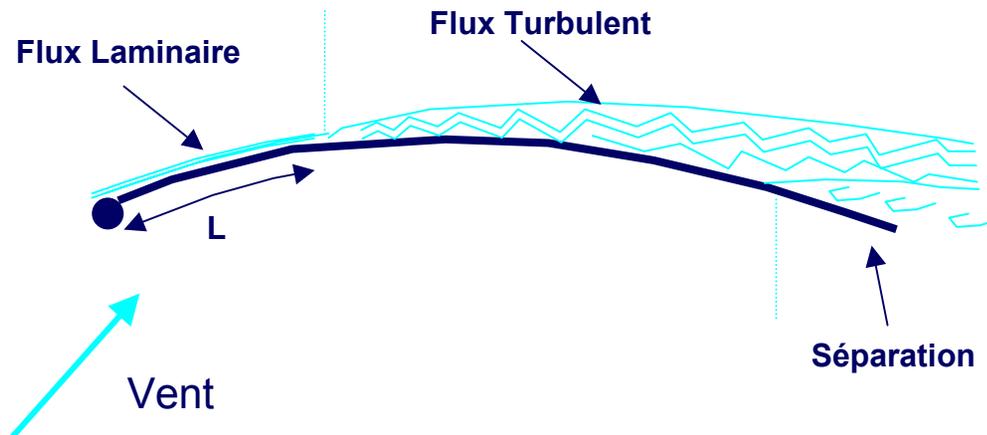
- Trainée de surface la faute à Van der Waals et à la **viscosité**
- Les fluides sont fait de molécules neutres au niveau électrique mais polarisées. Elles se tiennent ensemble grâce aux forces de Van der Waals. La viscosité est une grandeur qui exprime l'amplitude de ces forces qu'il faut briser pour cisailer un liquide (cisaillement moléculaire).

Viscosité de l'eau: 1×10^{-3} Nsec/m²
 Viscosité de l'air: 1.8×10^{-5} Nsec/m²



- Au début l'air s'écoule sans turbulences le long de la voile, c'est à dire de façon laminaire
- Très rapidement, le cisaillement qui travaille entre les différentes couches d'air va induire un mouvement de "twist" de ces couches, ce qui va se traduire par la formation d'un flux turbulent
- Si l'angle d'incidence est trop grand, il peut alors se produire ce qu'on appelle une "séparation" du flux d'air avec la voile.

• Le point où le flux turbulent commence dépend de la vitesse, de la densité et de la viscosité de l'air, comme déterminé par le Physicien anglais Osborne Reynolds au 19ème siècle



- Cet effet a été expliqué et mis en équation par Osborne Reynolds, à la fin du 19ème siècle grâce à une quantité que l'on appelle le Nombre de Reynolds.

$$R = \frac{L \cdot v}{(\eta / \rho)}$$

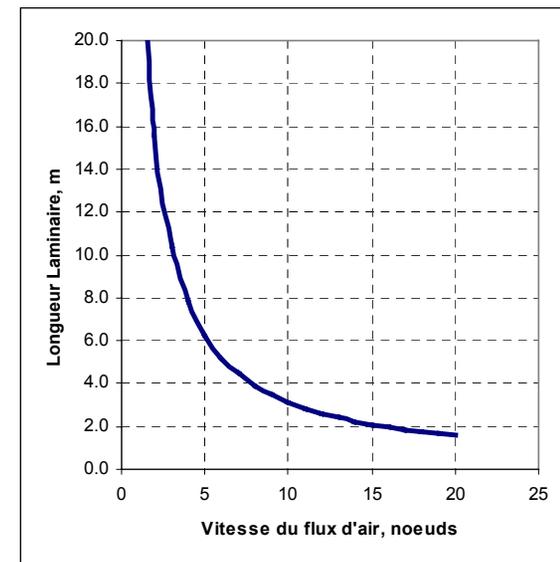
Où L est la distance à laquelle les turbulences apparaissent, v la vitesse de la coque, où η est la viscosité et ρ est la densité du fluide.

- Reynolds a mis en évidence que les turbulences apparaissent invariablement lorsque R est égal à 1 million, soit 10^6 .
- Ceci est vrai pour tous les fluides, y compris l'air
- Pour l'air, η vaut $1.8 \cdot 10^{-5}$ N·sec/m² et ρ vaut 1.2 kg/m³, le nombre de Reynolds devient donc:

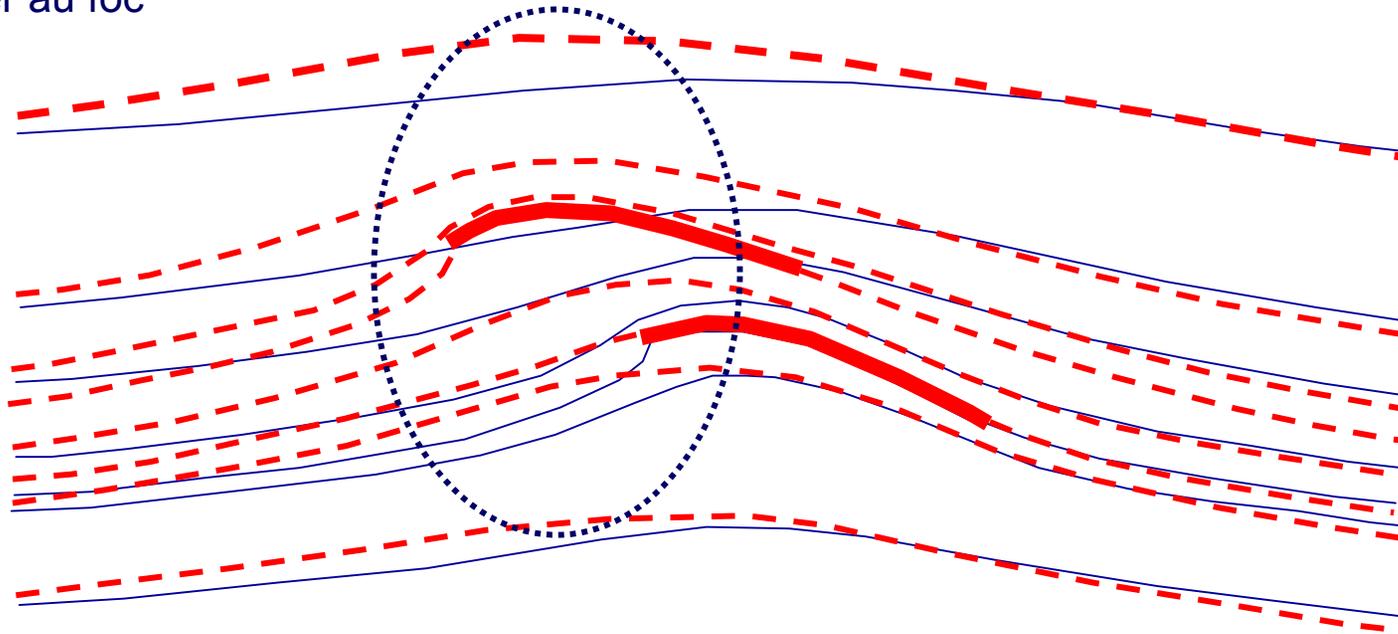
$$R = \frac{L \cdot v}{1.5 \cdot 10^{-5}} = 10^6$$

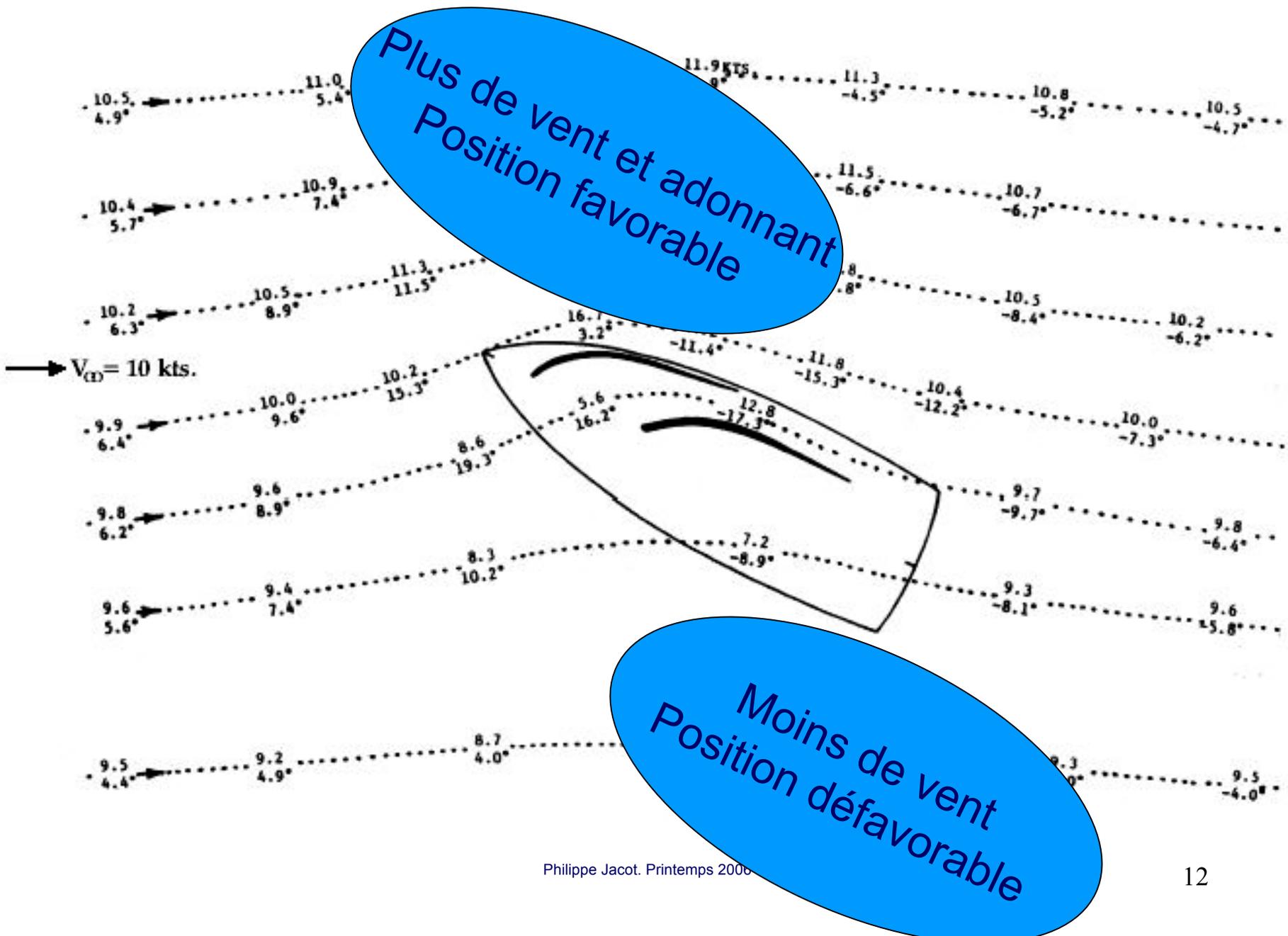
- Les turbulences commencent donc lorsque:

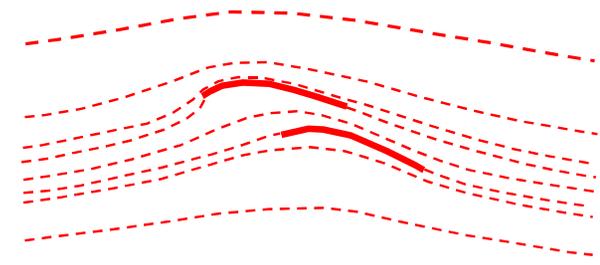
$$L \cdot v = 15$$



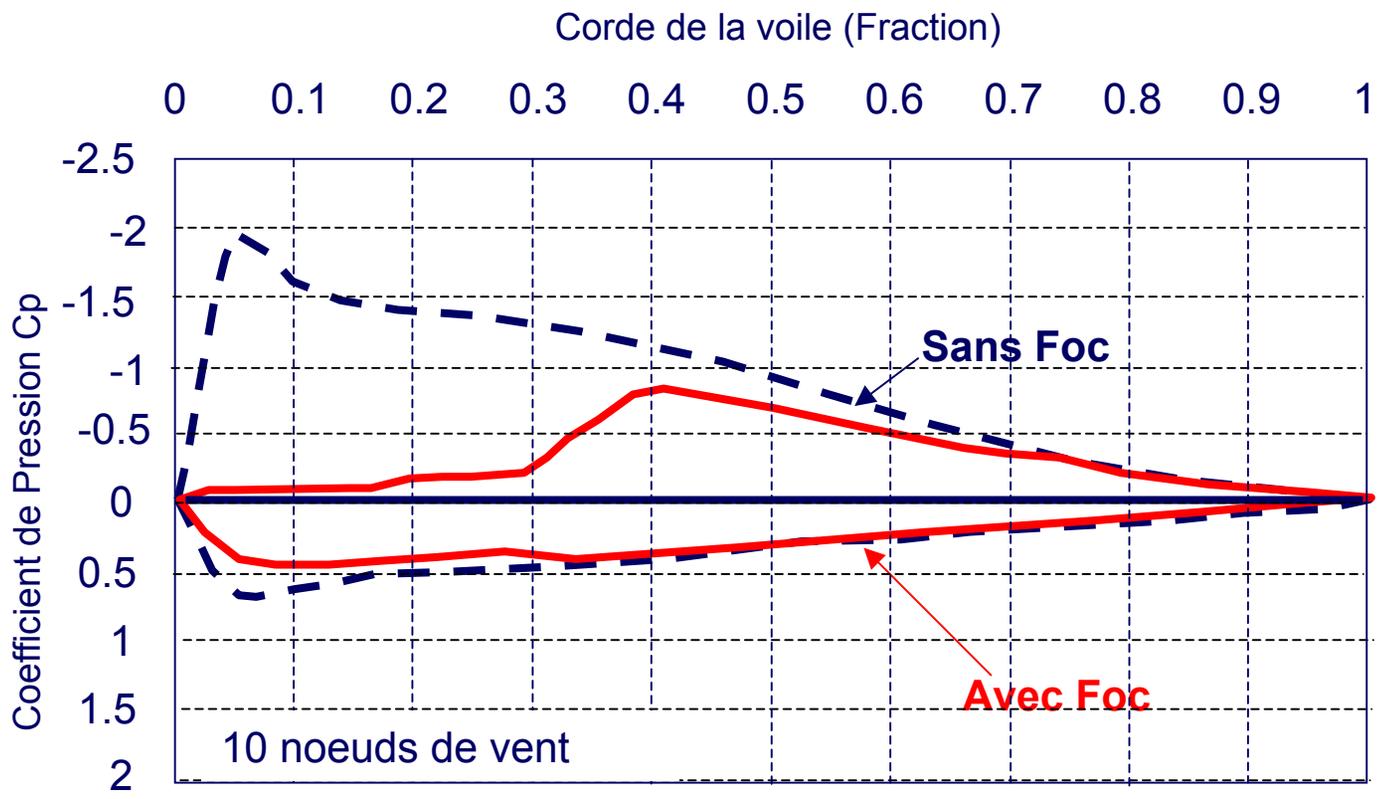
- Il est important de considérer l'ensemble du plan de voilure pour en apprécier les finesses
- Lorsque seule la grand-voile est hissée, elle présente au flux d'air une aile ayant une certaine forme, et le flux tournant autour et génère alors une certaine différence de pression entre l'intrados et l'extrados. Cela donne lieu à une certaine portance.
- Lorsqu'on hisse le foc ou le génois, celui-ci s'ajoute à la grand-voile et présente une aile plus grande et plus compliquée autour de laquelle le flux d'air doit s'adapter.
- Le fait d'avoir 2 voiles oblige le flux à un plus grand déplacement perpendiculaire, ce qui va profiter au foc

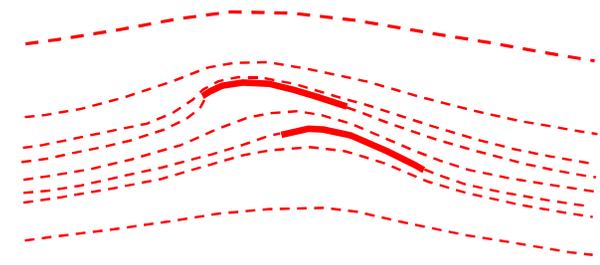






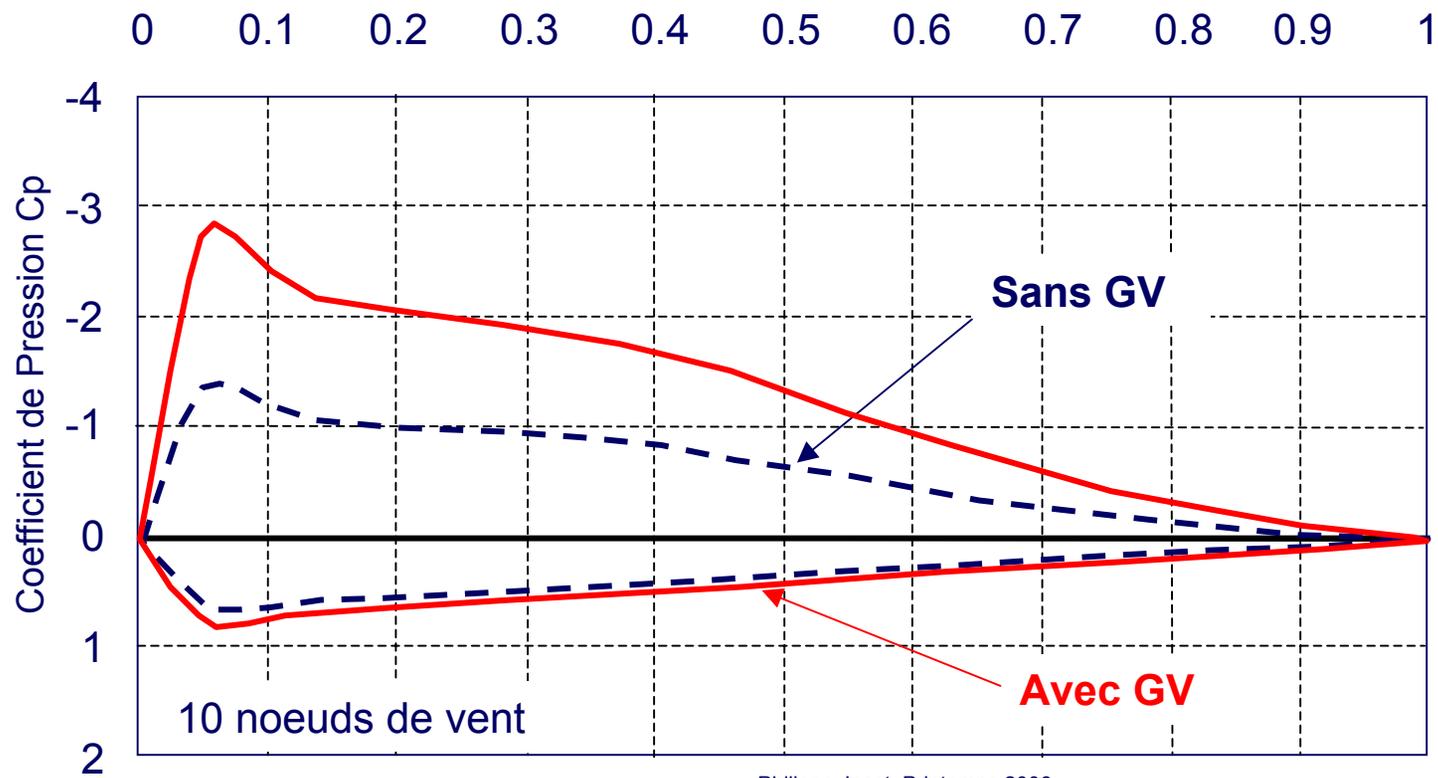
Pression sur la GV



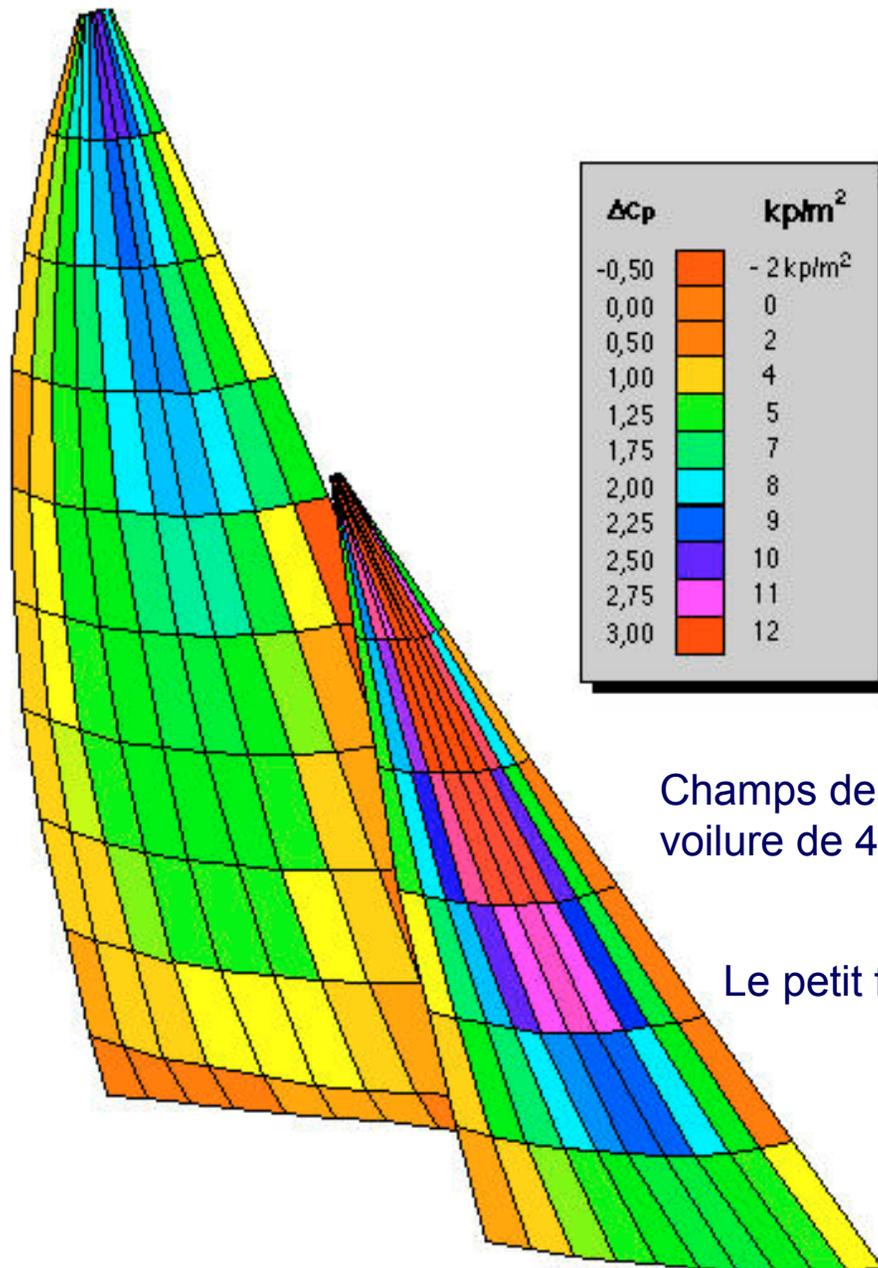


Pression sur le Foc

Corde de la voile (Fraction)



10 noeuds de vent

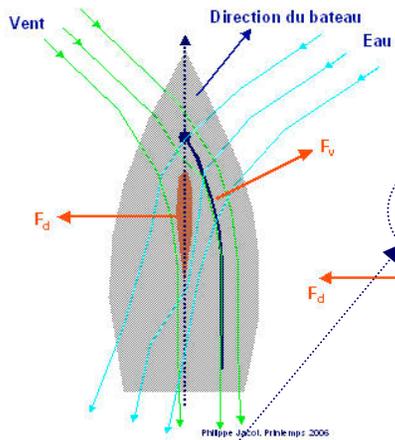


Champs de pression sur un plan de
voilure de 470 - 10 noeuds de vent

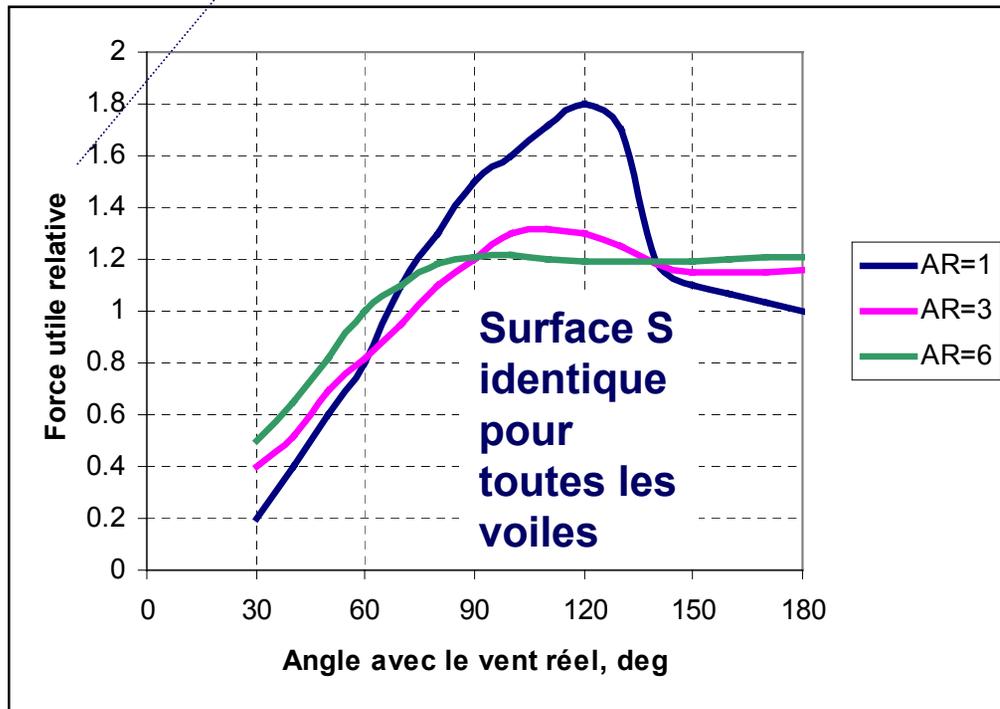
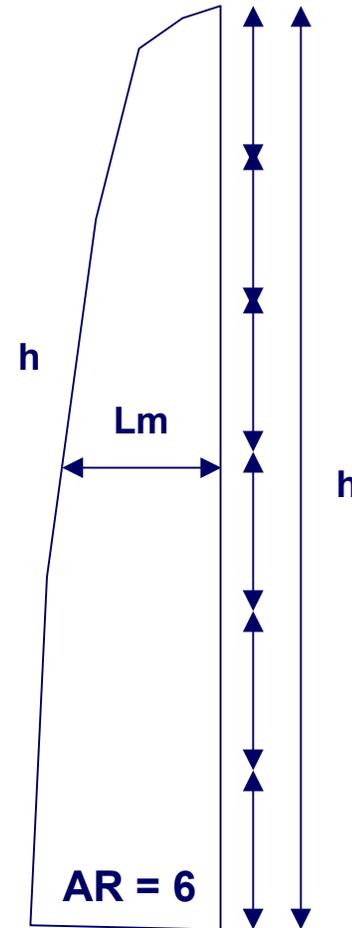
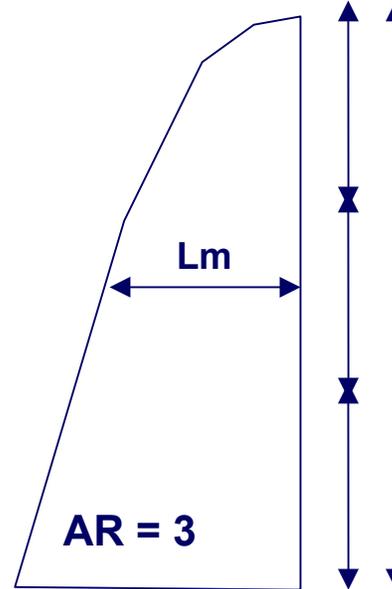
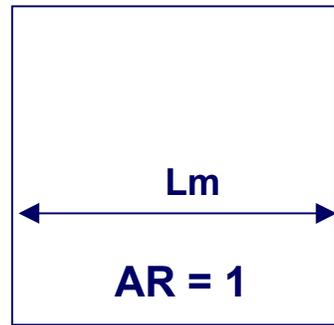
Le petit foc est responsable de plus de
50% de la poussée totale !!

III. Voiles

Forme de voile optimum en fonction de l'allure

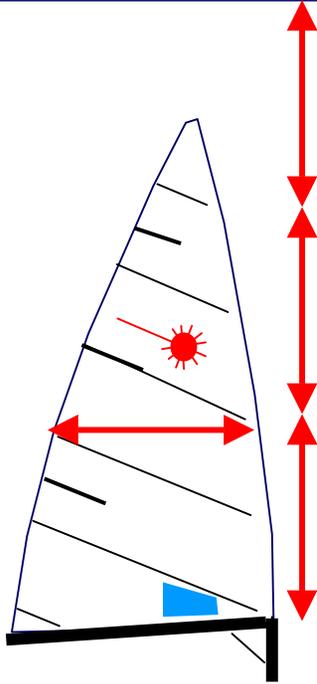


Aspect Ratio = Hauteur / Largeur Moyenne

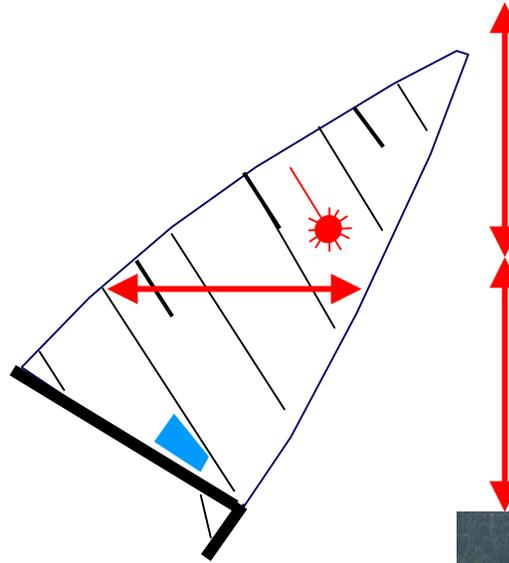


Mettez un spi au portant !!

Faîtes contre-gîter votre laser au portant !!



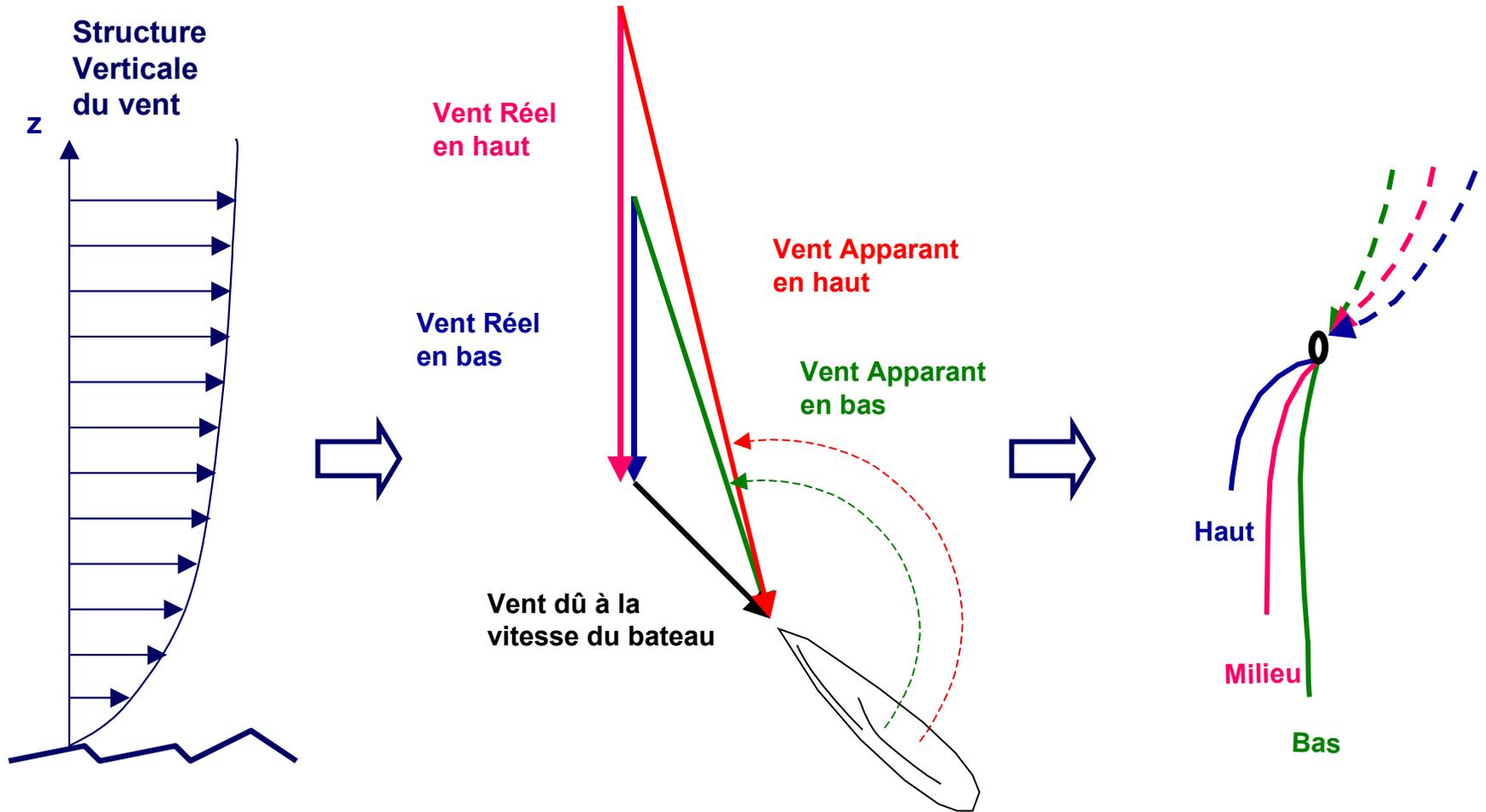
AR = 2.5



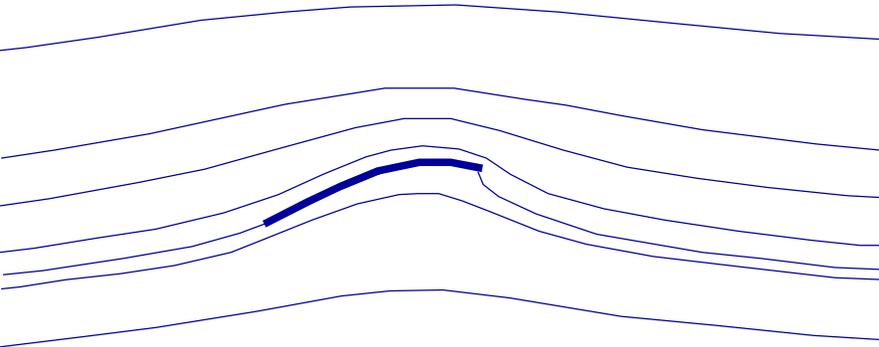
AR < 2

**Faites contre-gîter votre laser au portant !!
(mais quand même pas trop parce que ça
glisse)**

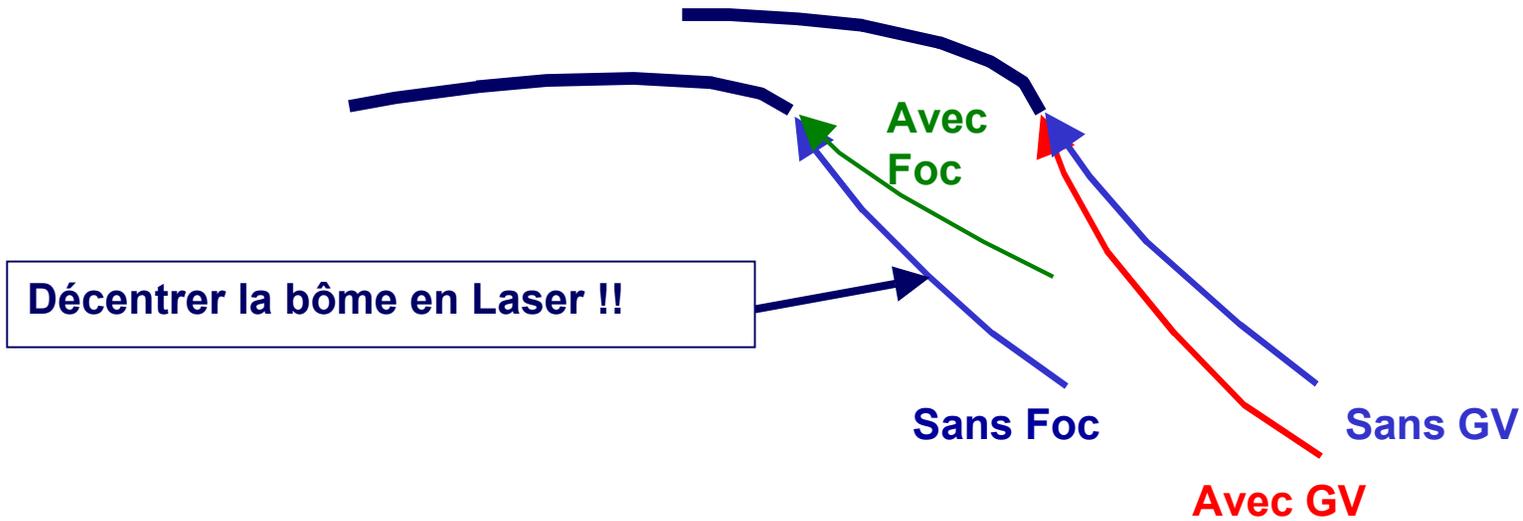
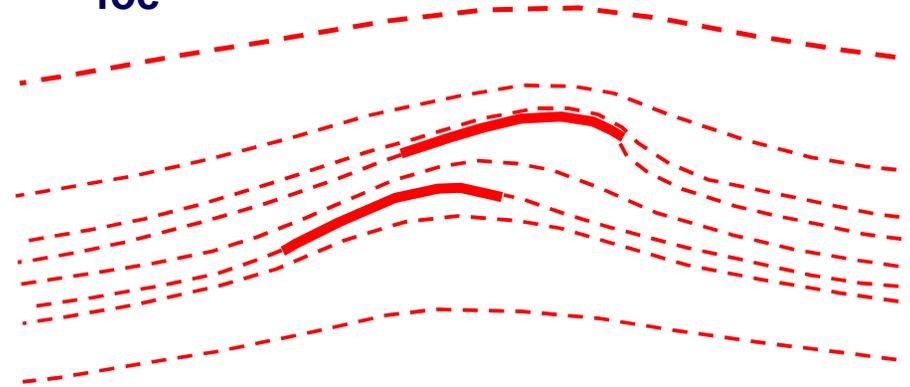


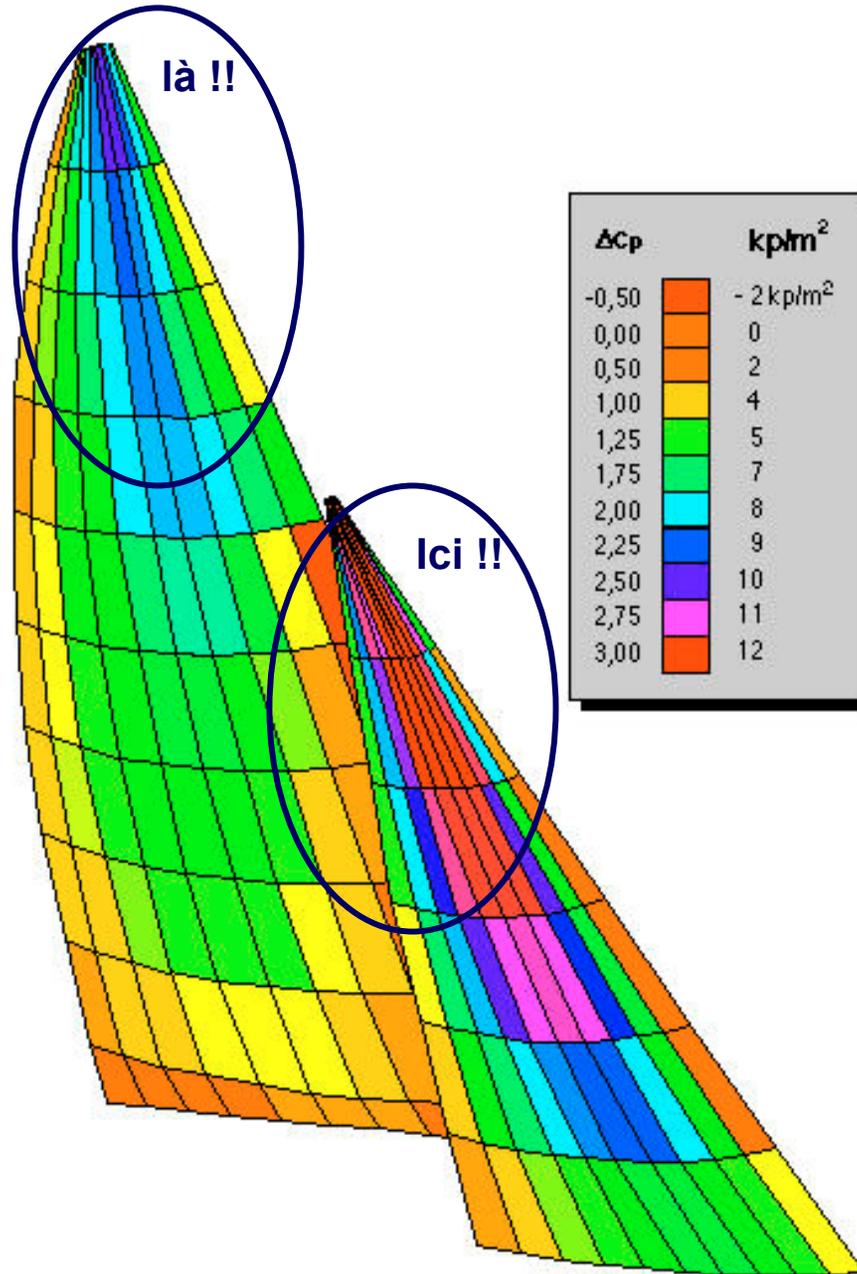


Flux de l'air dans une voile seule



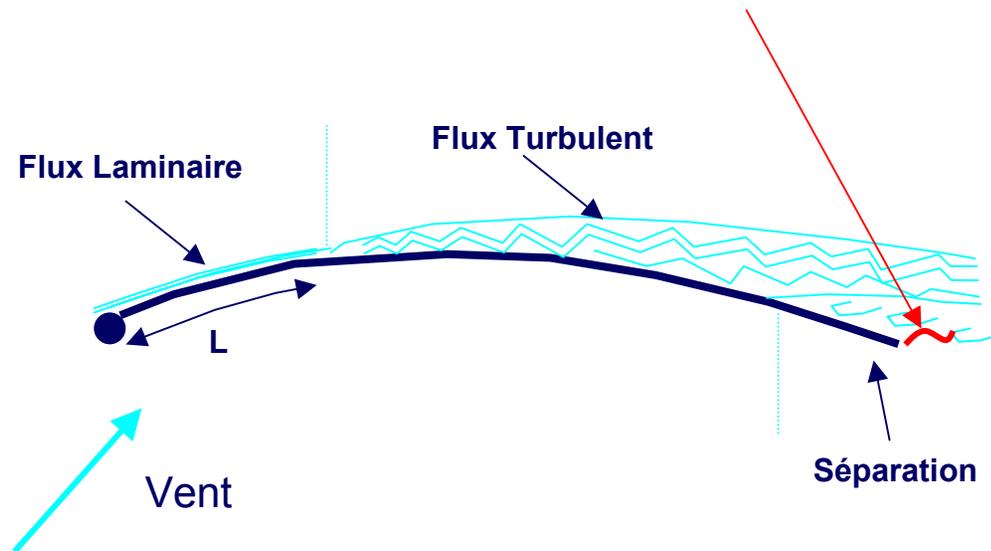
Flux de l'air dans une voile et un foc





Réglage parfait de la voile: à la limite de la séparation juste à l'arrière de la voile

Le penon de chute doit voler environ 30-40% du temps



Merci de votre attention