

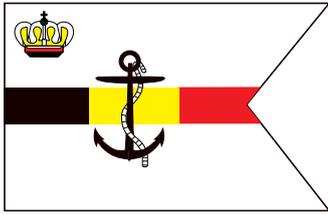
**Fédération Francophone  
du Yachting Belge  
F.F.Y.B.**

# Les brevets Voile légère



Rédaction : travail collectif de la Commission pédagogique Voile regroupant la Fédération Francophone du Yachting Belge et l'ADEPS - Fédération Wallonie-Bruxelles

**Version : Août 2018** - Remplace la version de décembre 2013. Voir le site : [www.ffyb.be](http://www.ffyb.be) rubrique «écoles».



Fédération Francophone  
du Yachting Belge  
F.F.Y.B.

# BREVET A

---

Fascicule 1    **PHYSIQUE  
GENERALE**

---

Rappel    **ELEMENTS  
DE  
MECANIQUE**  
vus en humanités

---

**Remarque :** les matières de ce fascicule ne font pas partie du brevet A, mais y sont appliquées tout le temps.  
Voir le site de la FFYB - «Ecoles».

**SOMMAIRE**

**Chapitre I – LA MATIERE**  
 MEC. 1 : ETAT DE LA MATIERE ..... 4  
 MEC. 2 : STRUCTURE DE LA MATIERE ..... 4

**Chapitre II – LES UNITES PHYSIQUES utiles à notre niveau**  
 MEC. 3 : LONGUEUR : LE METRE : m. .... 4  
 MEC. 4 : SURFACE : LE METRE CARRE : m<sup>2</sup> ..... 4  
 MEC. 5 : VOLUME : LE METRE CUBE : m<sup>3</sup> ..... 4  
 MEC. 6 : LE TEMPS : UNITÉ : LA SECONDE ..... 5  
 MEC. 7 : LES ANGLES : UNITÉ COURANTE : LE DEGRÉ ..... 5  
 MEC. 8 : MASSE : LE KILOGRAMME : kg ..... 5  
 MEC. 9 : LA FORCE : LE NEWTON : N ..... 5  
 MEC. 10 : LA FORCE DE REACTION ..... 6  
 MEC. 11 : LE POIDS D’UN CORPS SUR TERRE ..... 6  
 MEC. 12 : LE CENTRE DE GRAVITE ..... 7  
 MEC. 13 : EQUILIBRE D’UN CORPS SOLIDE ..... 8  
 MEC. 14 : COMPOSITION ET DECOMPOSITION DES FORCES ..... 8  
 MEC. 15 : LES LEVIERS ..... 10  
 MEC. 16 : LE COUPLE DE FORCE ..... 11

**Chapitre III – LES FLUIDES qui nous intéressent : AIR et EAU**  
 MEC. 17 : RAPPEL ET CONSTATATIONS ..... 12

**Chapitre IV – STATIQUE DES FLUIDES**  
**L’EAU :**  
 MEC. 18 : PROPRIETES PARTICULIERES DE L’EAU ..... 12  
 MEC. 19 : POUSSEE D’ARCHIMEDE ..... 12  
 MEC. 20 : LA DENSITE ..... 13  
 MEC. 21 : CORPS FLOTTANT ..... 13  
**LES GAZ**

**Chapitre V – LES FLUIDES : STATIQUE**  
 MEC. 22 : NOTIONS DE PRESSION ..... 14

**Chapitre VI – LES FLUIDES : DYNAMIQUE**  
 MEC. 23 : RAPPELS ET REMARQUES ..... 15  
 MEC. 24 : LE JEU DES PRESSIONS ..... 15  
 MEC. 25 : L’EFFET VENTURI ..... 17  
 MEC. 26 : LES FLUIDES RENCONTRANT UN OBSTACLE ..... 17

**BIBLIOGRAPHIE ..... 20**

## Chapitre I – LA MATIERE

### MEC. 1 : ETAT DE LA MATIERE

Rem : Les corps sont solides, pâteux ou liquides, gazeux.

### MEC. 2 : STRUCTURE DE LA MATIERE.

- Tout corps est constitué de particules (molécules, atomes...) distantes les unes des autres. (Il y a des vides intermoléculaires).
  - **La cohésion** : les molécules s'attirent par une force d'attraction comme l'eau qui «colle» à la paroi du verre, de la vitre. Celle-ci est grande chez les solides, faible chez les liquides et nulle chez les gaz. A l'état gazeux les liaisons intermoléculaires ont disparu, les particules sont libres. Elles se déplacent continuellement, soit entre elles, soit avec les parois limitant le volume occupé par les gaz. Ainsi à la pression atmosphérique à + 25° C, chaque molécule d'azote subit 10 milliards de collisions par seconde. Ces chocs sont à l'origine de la pression exercée par le gaz sur les parois. Plus la température est élevée et plus les molécules de gaz sont rapides.
  - **La force de répulsion** : les molécules sont animées de mouvements rapides, elles s'entrechoquent, ricochent les unes contre les autres et ainsi se repoussent.
- Il y a donc **deux forces antagonistes, opposées**, qui agissent sur les molécules : la force de cohésion et la force de répulsion.
  - Dans un liquide, ces deux forces s'équilibrent et les molécules «glissent» les unes sur les autres.
  - Dans un gaz, les molécules sont fort agitées et la force de répulsions dépasse la cohésion.
  - Dans un solide il y a très peu de chocs et c'est la cohésion qui domine.
    - La molécule est la plus petite partie du corps dont elle possède toujours les propriétés
    - Elle est elle-même composée d'atomes.
    - Qui sont eux-mêmes constitués de particules électriques, etc...

## Chapitre II – LES UNITES PHYSIQUES utiles à notre niveau

**Remarque** : Les unités M.K.S., toujours utilisées à notre niveau (les balances indiquent toujours le poids en kilo) sont remplacées par les unités S.I. : Système International.

- Il y a une grande variété de grandeurs : longueur, volume, poids, temps...

- Nous utilisons le système basé sur le mètre : le système métrique et des grandeurs SI : mètre, kilogramme, seconde.

### MEC. 3 : LONGUEUR : LE METRE : m.

- Multiples : décimètre 10 m, hectomètre 100 m, kilomètre 1000 m...
- Sous-multiples : décimètre 0.1 m ou 1/10 m, centimètre 0.01 m ou 1/100, millimètre 0.001 m ou 1/1000 m...
  - Longueur de flottaison, largeur, dimensions des voiles, du mât, des haubans, drisses, écoutes...
  - Distance...
- **Exception : En navigation marine (en mer) ou aérienne une distance est exprimée en mille nautique ou nautique:**
  - Il mesure : 1852 mètres (basé sur la minute d'arc de l'équateur ou d'arc de méridien : 40.000.000 m. : 360° : 60 min. = 1852 mètres.)
  - sur les cours d'eau intérieurs on utilise le kilomètre.

### MEC. 4 : SURFACE : LE METRE CARRE : m<sup>2</sup>

- Sous-multiples : décimètre carré, centimètre carré, millimètre carré....
- Surfaces mouillée de la coque, du plan antidérive, surface des voiles...

### MEC. 5 : VOLUME : LE METRE CUBE : m<sup>3</sup>

- Sous-multiples : le décimètre-cube (contenant un litre), le centilitre (contenant 10 cc), le centimètre-cube ou cm<sup>3</sup> ou cc (contenant un millilitre).
  - Ces symboles sont visibles sur beaucoup de verres (20, 25, 33 cl), bouteilles ....
- Dans les mélanges de produits (résine, mélange 2 temps)... ou en cuisine : des décilitres, cm<sup>3</sup>, ...
- Le volume de carène de M. Archimède, homme de principe.

**MEC. 6 : LE TEMPS : unité : la seconde.**

- Multiples : 60 sec. (ou 60'') = 1 minute et 60 minutes (ou 60') = 1 heure.  
La vitesse est la distance que pourrait couvrir le mobile s'il se

déplace pendant la durée de l'unité utilisée, sinon il s'agit de vitesse instantanée: km/heure, m/sec, mille nautique/heure = nœud...

**MEC. 7 : LES ANGLES : unité courante : le degré**

Le degré (°) est le 1/360<sup>me</sup> de tour. Le ¼ de tour mesure 90° (angle droit).

Par extension on parle de degré sur l'arc de cercle ou la circonférence (méridiens et équateur).

Utilisé dans la navigation ; l'aérodynamique, l'aérostatique, l'hydrodynamique et l'hydrostatique, les angles d'attaque de la voile au vent, les angles de dérives...

- la rose des vents fait 360 ° -  
le N : 0° ou 360° / E : 90° / S : 180° / W : 270°.
 

○ Le Nord = 000	Le Nord-est = 045
○ L'Est = 090	Le Sud-Est = 135
○ Le Sud = 180	Le Sud-Ouest = 225
○ L'Ouest = 270	Le Nord-Ouest = 315

**MEC. 8 : MASSE : LE KILOGRAMME : kg**

- La masse d'un objet mesure simplement la quantité de matière contenue dans cet objet, c'est-à-dire la masse des particules qui le constituent (molécules, atomes...)
- Cette quantité de matière sera toujours la même, quel que soit l'endroit où se situe l'objet dans l'univers : dans l'eau, sur terre, dans le vide, sur la lune...
  - Primitivement, il y a 2 siècles, la référence était 1 litre d'eau à 4° = 1 kilogramme.
  - Toutes les quantités de matière étaient comparées à cet éton au moyen d'une balance.
  - Depuis 1889 il s'agit de la masse d'un cylindre en platine iridié de 39,17 cm de diamètre et 39,17 cm de haut.
- Une propriété des masses : elles s'attirent en fonction de leurs grandeurs et en fonction inverse du carré de la distance.

La terre est une masse énorme et attire toutes les petites masses qui, elles aussi, «attirent» la terre. (L'action se fait sentir aussi vis-à-vis de la lune et des astres et aussi de la lune et du soleil vis-à-vis des océans : les marées, etc...)

- En clair : plus les masses sont grandes, plus elles s'attirent mutuellement, mais si la distance qui les sépare double, la force diminue de 4x (2<sup>2</sup>), triple diminue de 9 (3<sup>2</sup>), quadruple de 16 (4<sup>2</sup>), etc...
- Une formule résume ce phénomène :
- $f$  (pour force) =  $k \times m1 \times m2 / d^2$
- Où  $f$  représente la force d'attraction,  $m1$  et  $m2$  représentent la masse respective des 2 corps et  $d^2$  le carré de la distance qui les sépare.

**MEC. 9 : LA FORCE : LE NEWTON : N (Mathématicien et physicien anglais (1642 - 1727)**

- **REM. : Les propriétés des forces : on voit leurs effets mais on ne sait pas les matérialiser.**
- Sans exercer une force :  
L'objet est inerte s'il ne subit aucune variation de sa vitesse ; il se déplace donc avec un Mouvement Rectiligne Uniforme.  
*Attention de ne pas confondre inertie et équilibre des forces qui agissent.*
  - Un voilier prend son départ, voile gonflée, il **accélère** un moment **puis reste à vitesse constante** : équilibre entre la force motrice et la force de frein due à l'eau sur la carène, à l'arrivée à quai, on choque la voile, l'effet de la force motrice s'arrête et on ralentit : décélération ou accélération négative jusqu'à s'arrêter par le frein de la coque... si on estime bien.
  - Sans exercer une force nous ne pourrions pas tirer une mise à l'eau, soulever un dériveur sur la mise à l'eau, border une écoute, tirer ou pousser une barre, utiliser notre moteur auxiliaire : la pagaie. .

- Et beaucoup d'autres exemples : vélo, moto, voiture et tout autre mobile...
- Elles sont capables de :
  - Déformer les objets (dégâts : collision entre bateaux).
  - D'accélérer ou ralentir (accélération négative) un mobile, la chute des corps, le déplacement des véhicules.
  - De changer la direction des mobiles (gîte, safran, volant, guidon).
- La valeur de la force est égale au produit de la masse : du corps (m) et de l'accélération qu'elle lui donne.
- Une force qui accélère une masse de 1 kg de 1m/s chaque seconde (1m/s<sup>2</sup>) à une intensité de 1 Newton.

$f = m \times a$  Newton(s)

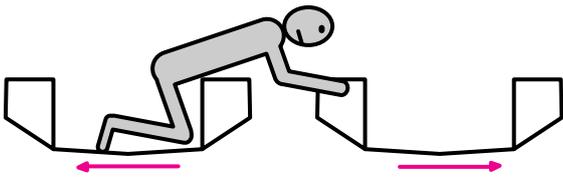
- Autres caractéristiques de la force : elle est représentable par des vecteurs.
  - La direction : l'axe.

- Le sens : la flèche. (2 sens sur une même direction)
- Le point d'application : qui peut être le centre de gravité.
- L'intensité : la longueur.

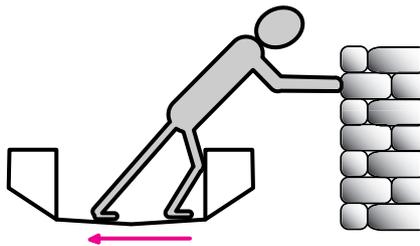
- **Une force qui pousse sur une surface détermine une pression.** (Voir la dynamique des fluides).

### MEC. 10 : LA FORCE DE REACTION

- A chaque force agissante, apparaît une contre force : la réaction.
  - Le pompier qui doit réagir contre l'effet de sa lance.
  - Les avions à réaction, les fusées.
  - Vous repoussez un bateau, vous vous éloignez aussi.



- Vous vous repoussez du quai : il ne bougera pas comme le bateau dans l'exemple précédent, toute votre énergie se reportera sur l'éloignement de votre bateau. (Attention aux mains).



**Quand une force (action) agit sur un corps qui reste au repos: elle est équilibrée par une autre force de même grandeur, de même direction et de sens contraire : la réaction.**

**Un corps qui n'est soumis à l'action d'aucune force est au repos ou est animé d'un mouvement rectiligne uniforme.**

**A ce moment les actions de la force motrice et de sa réaction s'annulent.**

- (fig.) : un individu sur le sol : son poids est la force d'action, la poussée du sol est la réaction,
- se repousser entre deux bateaux : ils partent dans les directions opposées,
- se repousser du quai : le bateau s'éloigne suite à la force de réaction.

- Ses caractéristiques par rapport à la force de l'action :
  - Même direction.
  - **A sens inverse.**
  - Même intensité.
  - Application au centre de gravité.

#### « ATTENTION : CONFUSION DE LANGUAGE »

- Dans le langage courant on utilise un même terme «kilogramme» pour parler de la masse, ce qui est correct, ou du poids, ce qui est moins correct car ce sont deux grandeurs différentes.
- Antérieurement on parlait de kilogramme-masse pour la masse et de kilogramme-force pour le poids. Mais dans le langage courant cela se résumait à «kilo» pour mesurer le poids d'une marchandise.
- Il s'agit évidemment d'une confusion.

### MEC. 11 : LE POIDS d'un corps sur terre : est la force qui donne une accélération de 9.81 m/sec par seconde à une masse de 1 kilogramme.

- **RAPPEL :**
  - Une masse de 1 kilogramme sur la terre a toujours la même masse de 1 kilogramme ailleurs dans l'univers : la lune, dans l'eau... ; puisque qu'elle est toujours formée par la même quantité de matière.
- Cette masse d'un kilogramme sur terre est soumise à la pesanteur donne une augmentation de la vitesse de 9,81 m/sec à chaque seconde (9,81 m/sec<sup>2</sup>).
  - Si  $f = m \times a$  newton(s) est la formule de la force, dans le cas du poids :  $P = m \times g$  newton(s).
  - Si  $m = 1$  kilogramme et  $g = 9,81$  m/sec<sup>2</sup> : la masse aura un poids de 9.81 newtons ou 10 newtons en arrondissant. Ainsi, 1 Newton représente le poids d'une masse de 102 grammes.
    - Sur la Lune : la masse de 1 kilogramme est soumise à une attraction 6 fois moindre donc le poids sera 6 fois plus petit. (Voir les Dupont et Dupond de Hergé dans

«On a marché sur la Lune» ainsi que les déplacements des astronautes par bonds successifs du style «kangourou»). 1 kg sur la lune pèse environ 1,64 N.

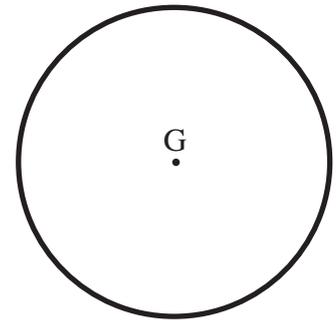
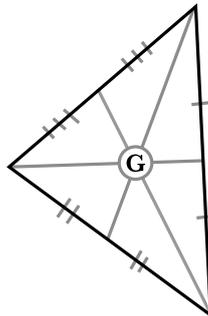
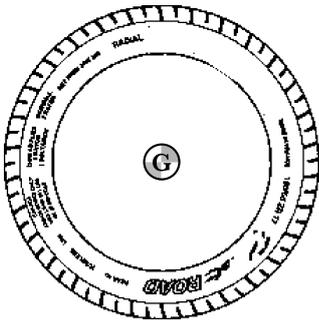


- Dans l'eau : la masse est toujours la même, toujours soumise à g, le poids est toujours inchangé MAIS la poussée hydrostatique (la poussée d'Archimède) intervient de bas en haut, diminuant ainsi le poids senti. (Voir la mécanique des fluides).

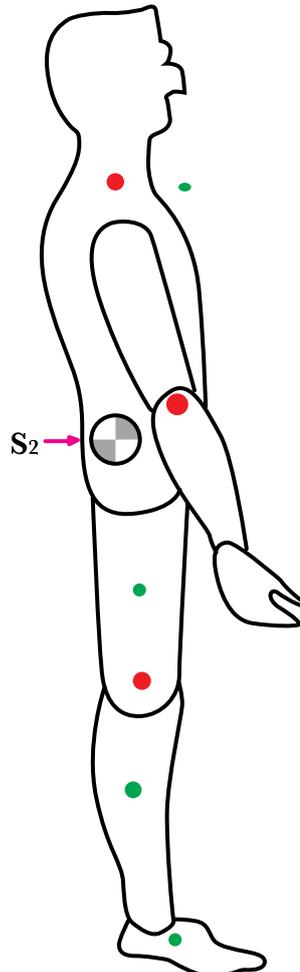
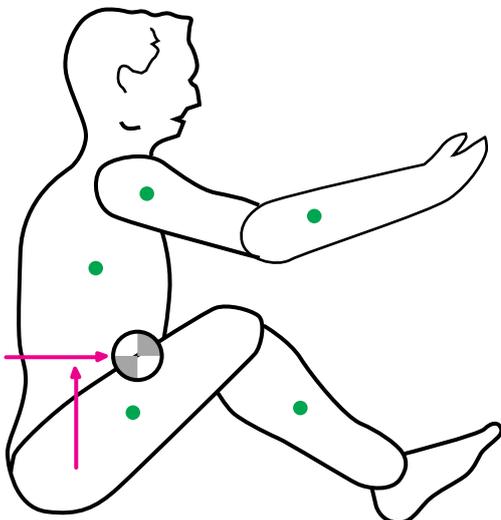
- Le poids d'un corps est la force avec laquelle la terre attire ce corps.
- L'unité de poids est le newton. (1 newton est le poids de 100 «grammes»)
  - Pour info comique : langage courant et physique : «à force d'être puriste».
  - On fait ses courses et beaucoup de marchandises sont pesées. La balance indique le prix par kilo en réalité ce devrait être en newtons.
  - Maintenant : demandez chez l'épicier du coin «100 newtons de «pommes de terre» et observez son attitude...

- Quand on fera son marché sur la Lune, je crois bien que les prix au poids de ces marchandises seront revus!
- Les dynamomètres sont les appareils de mesure des forces.
- Le poids est une force qui se caractérise par :
  - Son point d'application : les centres de gravité de la terre et de l'objet.
  - Sa direction dans ce cas **la verticale du lieu**.
  - Son sens est celui qui va du sol vers le centre de la Terre.
  - Sa grandeur ou intensité est donnée par un dynamomètre.

**MEC. 12 : LE CENTRE DE GRAVITE : point d'application de la pesanteur**



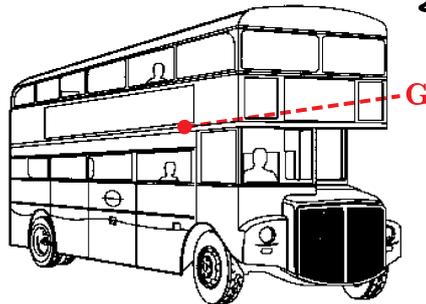
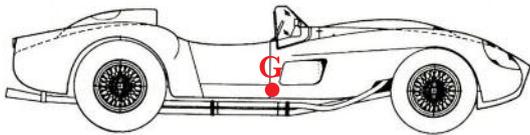
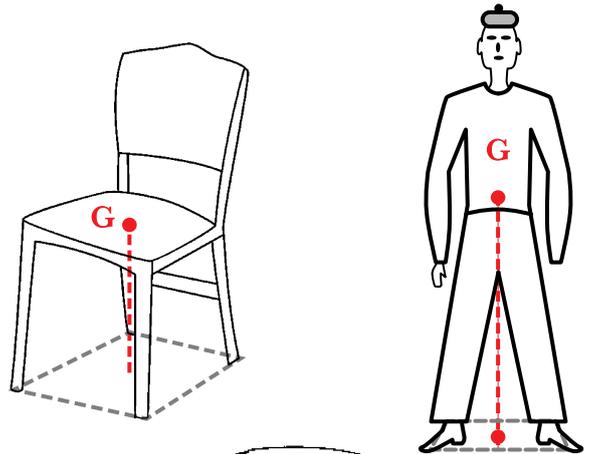
- Toutes ces forces s'appliquent aux centres de gravité des corps.
- Détermination du centre de gravité :
- ATTENTION : Un centre de gravité n'est pas nécessairement un point matériel : croissant, boomerang, volume creux (bateau, cabine, ballon...)
- Si c'est une plaque de forme variable :
  - la suspendre à partir de 2 endroits d'où on trace les verticales
  - l'intersection est le Centre de Gravité,
  - vérification : suspendre par un 3<sup>me</sup> point : les lignes doivent coïncider.



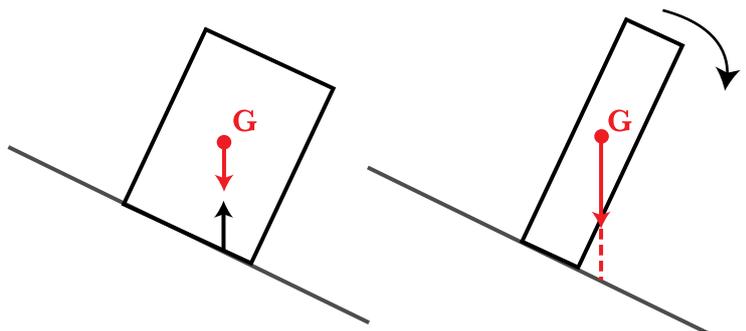
- Une couronne ou un pneu :
  - le centre immatériel.
- Un cercle :
  - le centre.
- Un triangle :
  - l'intersection des médianes.
- Un quadrilatère (rectangle, losange, trapèze),
  - l'intersection des médianes,
- Le centre de gravité d'un volume :
  - le centre de gravité : du bateau : symbole **G**, point par lequel il faut le gruter, pour un dériveur : un peu plus haut que le puits de dérive... dans le «vide».
  - du volume de carène : symbole **C**, centre de gravité du «trou» qu'il fait dans l'eau (le déplacement).
- Un milieu hétérogène (fig.): voir le **G** de l'ensemble à partir des **G** particuliers : l'être humain, l'équipage, le bateau...et carène liquide ! (Voir plus loin : La physique appliquée au bateau).

**MEC. 13 : EQUILIBRE D'UN CORPS SOLIDE**

- Equilibre stable : un poids suspendu à une ficelle fixée... :
  - Le **G** est en dessous du point de fixation (le plus bas possible).
  - Si on modifie la position de l'objet, il revient à sa position initiale.
- Equilibre indifférent : une roue, un rotor, une balance, une hélice... :
  - Le **G** et le point de fixation sont confondus.
  - Si on modifie la position de l'objet il reste dans sa nouvelle position.

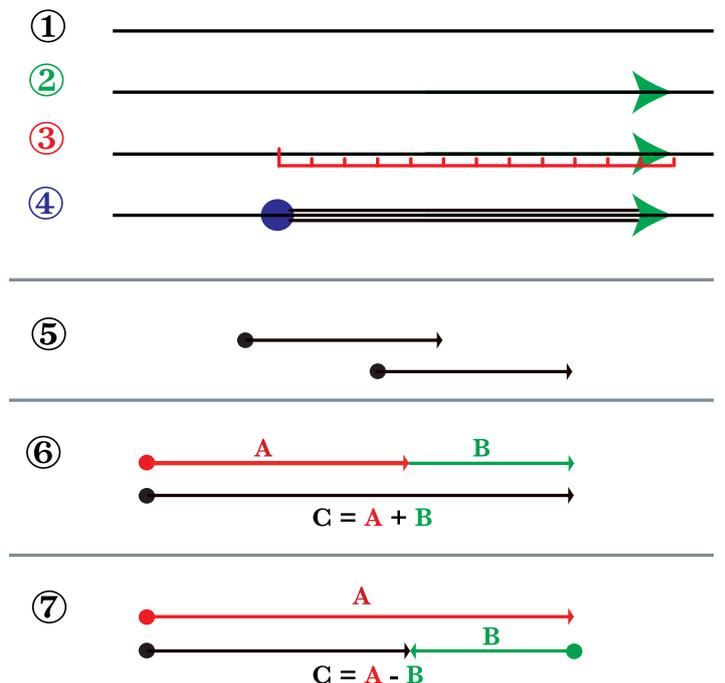


- Equilibre instable : une canne sur la main, un acrobate sur la tête d'un collègue... :
  - Le **G** est au-dessus du point d'appui.
  - Si on modifie la position, l'objet s'éloigne de plus en plus de sa position initiale à moins qu'on déplace le point d'appui pour «récupérer» le déséquilibre.
- Equilibre d'un corps sur un plan fixe :
  - Un corps placé sur un plan est en équilibre si la verticale passant par son centre de gravité perce sa base d'appui au sol.
  - Plus le centre de gravité est bas, plus il est stable.



**MEC. 14 : COMPOSITION ET DECOMPOSITION DES FORCES**

- Le vecteur force.
  - Un vecteur est une flèche qui représente une force, un déplacement, une vitesse.
  - Il est caractérisé par :
    - La direction : l'orientation, l'axe du déplacement. ①
    - Le sens : vers où le déplacement se dirige. ②
    - L'intensité : la grandeur de la vitesse, la force, du déplacement. ③
    - Le point d'application : endroit où la force s'exerce. ④
- Opérations sur les vecteurs.
  - Deux vecteurs sont égaux s'ils ont une même direction, un même sens, une même intensité ; le point d'application peut être différent. ⑤
  - La somme de deux vecteurs de même direction qui sont placés l'un à la suite de l'autre est un vecteur qui part de l'origine du premier et qui arrive à l'extrémité du second. ⑥
  - La différence entre deux vecteurs c'est la somme du premier avec l'opposé du second de même direction. ⑦

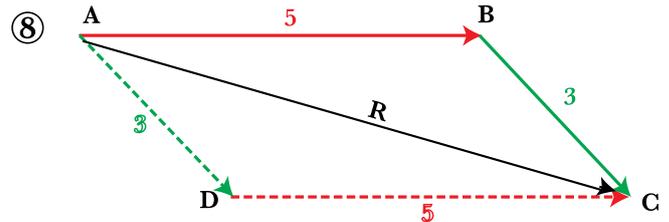


- Un vecteur opposé à un autre à la même intensité, la même direction mais le sens opposé. La somme des deux vecteurs opposés est le vecteur 0.

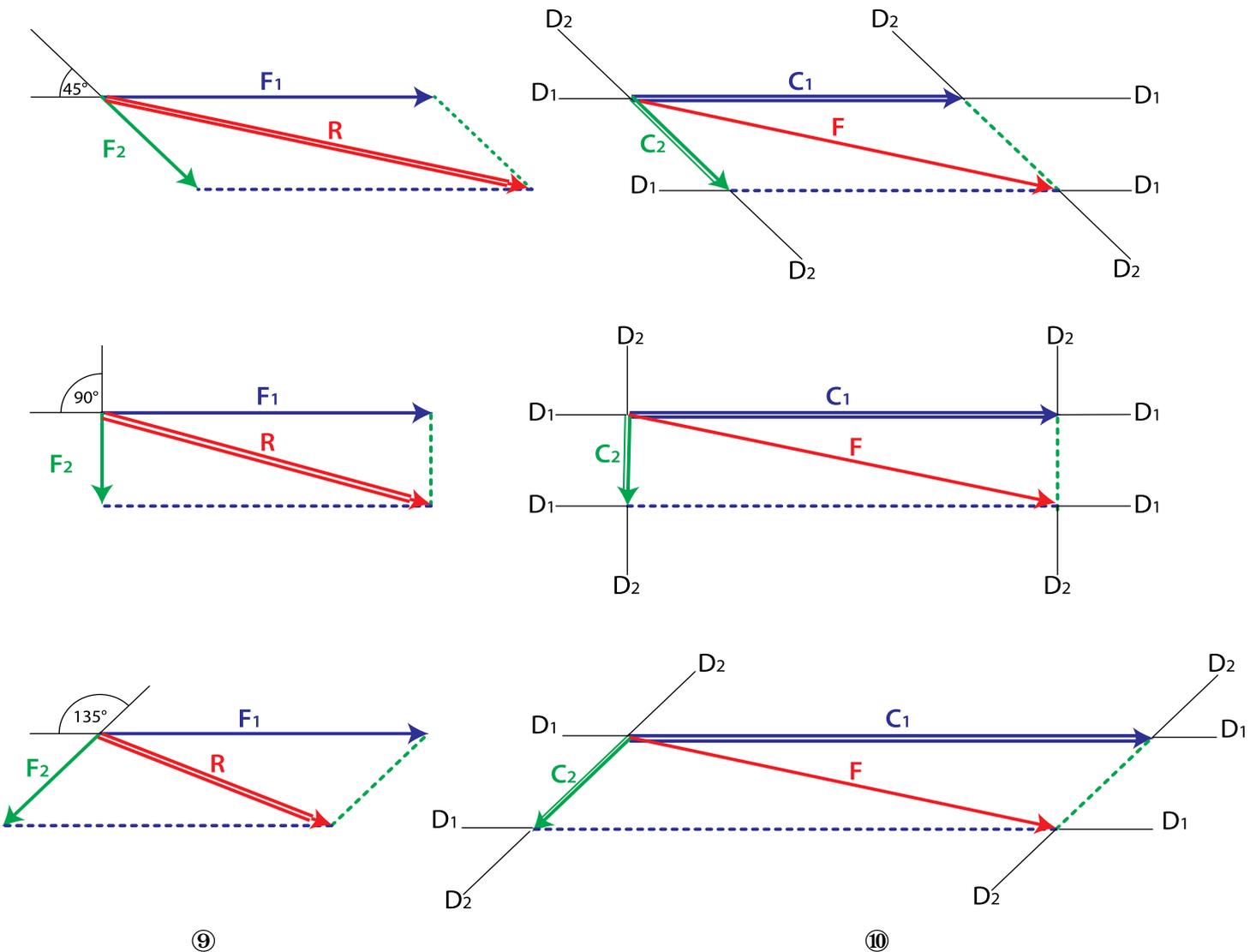
● Règle générale.

- La somme de deux est un vecteur qui a comme origine l'origine du premier et comme extrémité l'extrémité du second (antérieurement appelé «parallélogramme des forces»). Les vecteurs de même direction seront un cas particulier. La somme des vecteurs est comme la somme des nombres:  $3 + 5 = 5 + 3!$
- Dans le parallélogramme représenté on peut distinguer deux types de mouvements :
  - un déplacement parallèle à AB et DC
  - un autre parallèle à AD et BC.
- Quand un solide est situé au point A, l'ordre du parcours AB puis BC ou AD et DC n'a aucune influence sur le ré-

sultat final (AC): quel que soit l'ordre des mouvements : le solide arrivera au point C. ⑧



- Composition et décomposition des vecteurs. (voir fig.)
  - On peut faire glisser une force sur sa ligne d'action.
  - On peut composer 2 forces pour connaître la résultante. ⑨
  - On peut décomposer une force en deux autres : dès que les directions sont choisies, **il suffit d'appliquer la règle du parallélogramme.** ⑩



COMPOSITION :

- d'une RESULTANTE R1
- entre 2 FORCES F1 + F2

Pour les voileux :

(exp. : détermination du vent apparent)

Pour les curieux : voir les relations de Chasles.

DECOMPOSITION en 2 directions au choix :

- d'une Force F1
- en 2 COMPOSANTES C1 + C2

Pour les voileux :

(exp. : détermination des composantes de dérive et d'avancement)

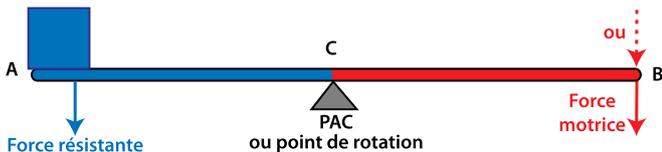
**MEC. 15 : LES LEVIERS**

«Donnez-moi un point d'appui et je soulèverai la terre»  
(Phrase prêtée à Archimède, l'homme du «Principe»).

● Observation : on utilise très souvent des leviers et sur un petit dériveur, il y en a beaucoup d'exemples :

- La brouette, la pagaie, les avirons, la barre du dériveur, la bôme, une mise à l'eau, le hâle-bas et le hâle-haut, la pelle, la bêche, un diable, un pied de biche, une tenaille, une agrafeuse, une pince à sucre, le squelette des vertébrés...

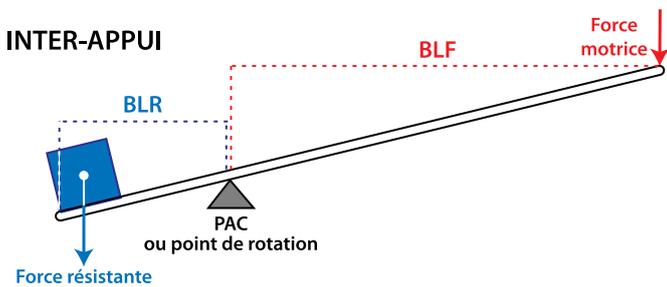
● Composition d'un levier :



- Une barre,
- Une force résistante,
- Une force motrice,
- Un point d'appui.
- Les bras de levier.
  - La distance entre les forces et le point d'appui s'appelle «bras de levier».
  - Il y a un bras de levier résistant entre la force résistante et le point d'appui.
  - De même, le bras de levier entre la force motrice et le point d'appui s'appelle bras moteur.

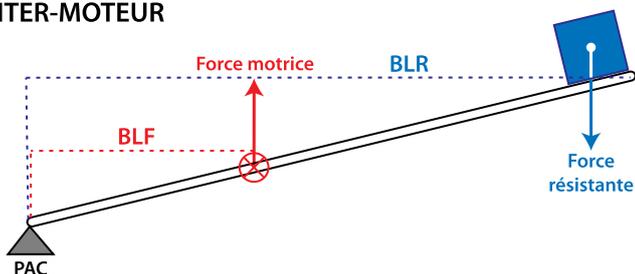
● Les 3 variétés : déterminées par le rôle du point central :

- Dans les exemples précédents on peut classer les leviers en trois catégories :
  - L'inter-appui :
    - le point d'appui est situé entre les deux forces : motrice et résistante qui s'appliquent aux deux extrémités.
      - Exemples : la pelle, la bêche, le diable, le pied de biche, la tenaille...



• L'inter-moteur :

**INTER-MOTEUR**

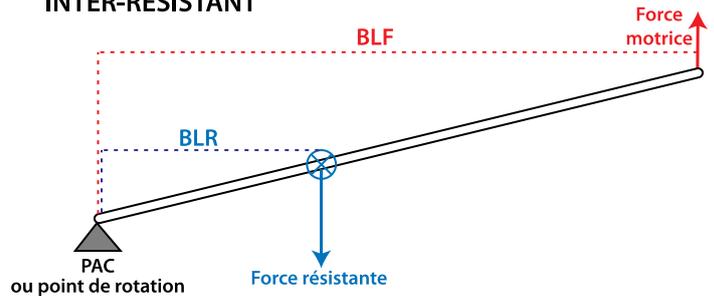


○ le point où s'applique la force motrice, est situé entre la force résistante et l'appui qui sont placés aux deux extrémités.

- Exemples : la bôme et le tangon avec le hâle-bas, la balancine du tangon de spi, la grande-écoute venant de la barre d'écoute, la pagaie, l'aviron, l'agrafeuse, la pince à sucre, la pince pour enlever les échardes...

• L'inter-résistant :

**INTER-RÉSISTANT**



○ Le point où s'applique la force résistante est situé entre le point d'appui et la force motrice situés aux deux extrémités.

- Exemples : les mises à l'eau et remorques, la grande écoute fixée à l'extrémité de la bôme, la balancine de bôme, perforatrice, le casse-noix, la rame, la godille.

● Explication physique : voir figure :

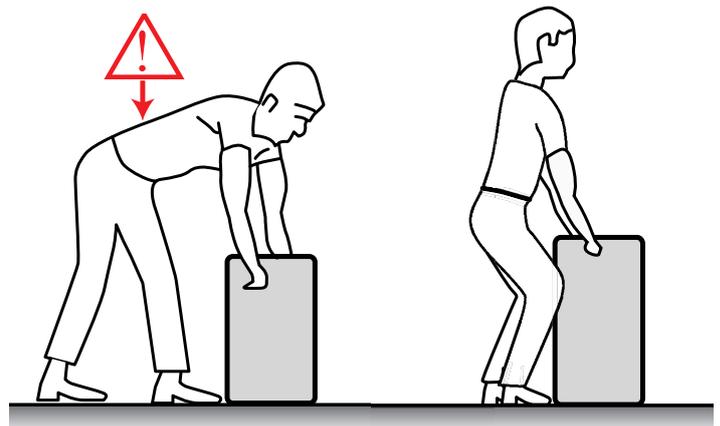
- Le point d'appui se représente par PA,
- La force motrice se représente par FM,
- Le bras de levier-moteur, entre FM et PA : BLM
- La force résistante se représente par FR,
- Le bras de levier résistant : BLR.

● On déduit que :

- Le produit de la Force Résistante multiplié par son bras de levier est égal au produit de la Force Motrice multiplié par son bras de levier.

$$FM \text{ (en N)} \times BM \text{ (en m)} = FR \text{ (en N)} \times BR \text{ (en m)}$$

- En fonction de l'effort prévu il faudra utiliser une des trois variétés.
- Exemple : **Ménagez votre dos :**



- Si un chariot de mise à l'eau (inter-résistant) est trop lourd, il suffit de reculer la coque de manière à placer le G «mise à l'eau et coque» légèrement en avant des roues qui sont le point d'appui.
  - Attention : si le G commun est derrière les roues (inter-appui), coque est trop vers l'arrière, le G passe derrière les roues et le bateau se cabre.

- Un palan est constitué de deux moufles ; on en trouve une grande variété sur les différents types de bateaux : hâle-bas, grande écoute...
- Le treuil :
  - Le treuil est un cylindre, mû par une manivelle, sur lequel est enroulé un câble. Plus la manivelle est grande et plus le cylindre a un petit diamètre moins l'effort est intense. On en trouve au-dessus des puits d'eau, sur les voiliers : le winch avec sa manivelle, sur les gros navires pour la manœuvre des ancres, filets...

**LA POULIE, LA MOUFLE, LE TREUIL.** (Pour mémoire)

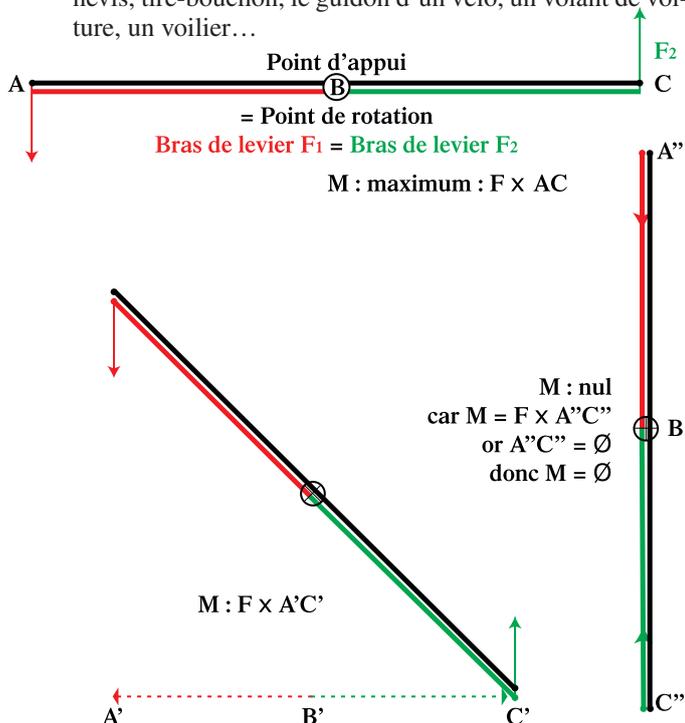
- La Poulie :
  - Avec une poulie on ne gagne pas en force mais on peut modifier la direction de la force motrice ou de résistance.
  - La moufle permet de réaliser une économie de force mais on allonge le chemin parcouru par le cordage.

Ces machines mécaniques simples peuvent vaincre une force résistante en déployant une force motrice moindre que la résistance. Cependant, plus elles lui font gagner de force, plus elles l'obligent à allonger le chemin parcouru.

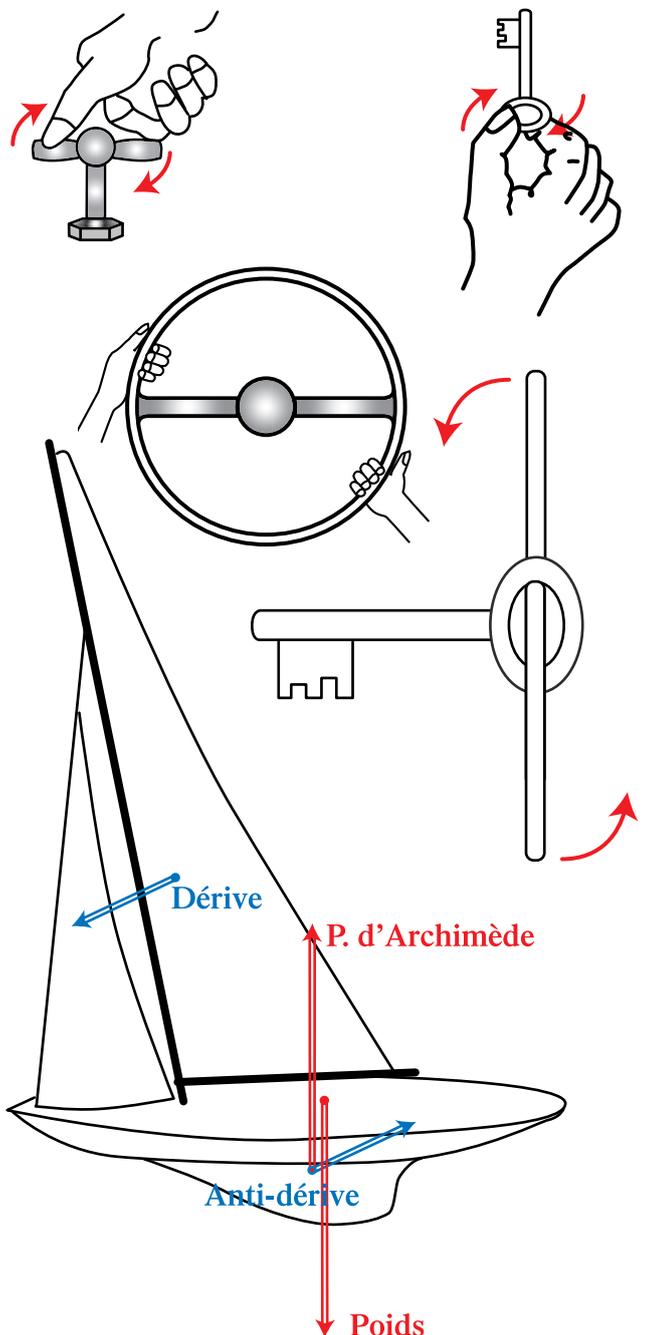
**MEC. 16 : LE COUPLE DE FORCE**

«Qui dit couple dit rotation»

- Un couple de force est un ensemble de deux forces de même direction, de même intensité, de sens contraires, appliquées à un même corps et dont les droites-supports (voir fig.) sont distinctes.
- Si le corps est libre, l'application d'un couple confère un mouvement de rotation du corps autour d'un axe perpendiculaire au plan déterminé par les deux forces.
  - Un couple entre en action quand nous utilisons un tournevis, tire-bouchon, le guidon d'un vélo, un volant de voiture, un voilier...



- Le moment du couple ( $M$ )
  - est le produit de la mesure de l'intensité commune des forces par la mesure de la distance des deux forces. (voir fig.)
  - au fur et à mesure de la rotation : les deux forces se placent sur un même axe, la distance devient nulle : le couple aussi.
  - plus le moment d'un couple est élevé, plus grand est l'effet de rotation. (voir gîte, pédalier, démonte-pneu, clé plate...)



## Chapitre III – LES FLUIDES qui nous intéressent : AIR et EAU

### MEC. 17 : RAPPEL ET CONSTATATIONS

Voir les § 1 et 2.

## Chapitre IV – STATIQUE DES FLUIDES

### L'EAU :

#### MEC. 18 : PROPRIETES PARTICULIERES DE L'EAU

- A petite échelle, la surface libre d'un liquide est plane et horizontale.
- Tension superficielle. Pour mémoire dans ce §.
  - Des insectes sont capables de marcher sur l'eau.
  - Dans une assiette remplie d'eau, vous pouvez faire tenir une petite aiguille à la surface.
  - Si vous versez une goutte de détergent : elle coule.
  - Le détergent a supprimé cette tension superficielle qui se comporte comme un film.
- La couche limite. Pour mémoire dans ce §.
  - Dans un fluide les filets de liquide glissent les uns sur les autres.
  - Un filet, qui touche une surface, peut s'arrêter alors que les voisins ont une vitesse progressivement semblable à la vitesse des filets extérieurs.
  - C'est la couche de fluide en contact avec la coque qui colle littéralement à la coque.
  - Plus on s'éloigne, moins les molécules sont entraînées par la coque.
  - Cette couche limite entraînée par la coque est un poids mort qui déforme le profil de la coque.
  - Elle est fonction de l'état de surface de la coque : moules, algues, la viscosité même si elle est petite, l'état de la peinture...
- La coque écarte l'eau pour se faire un passage. Cela crée une résistance, une force de frein. (Le cas est différent dans le surf.)

#### MEC. 19 : POUSSEE D'ARCHIMEDE : -287 // -212 mathématicien et physicien grec

- Constatations :
  - Lorsqu'on prend un bain, nous sentons que notre poids a diminué, lorsque nous sortons du bain c'est l'inverse il nous semble être plus lourd.
  - Un morceau de bois, un bouchon que nous enfonçons dans l'eau remontent en surface et flottent.
  - Faisons la même expérience avec un morceau de fer : il coule MAIS si on le dépose sur du mercure : il y flotte.
  - La masse hors de l'eau et dans l'eau reste la même donc le poids reste le même hors de l'eau ou dans l'eau.
- La Poussée d'Archimède
  - Il faut admettre qu'une force orientée de bas vers le haut agit sur tout le corps.
  - Que cette force peut même être plus grande que le poids du corps immergé.
  - Cette force est appelée poussée d'Archimède.
  - L'expérience avec le fer nous indique que la poussée d'Archimède apparaît quel que soit le fluide.
- Mesure de la poussée d'Archimède.
  - Expérience :
    - On remplit un vase à ras, avec de l'eau, ce vase est placé dans un récipient vide.
    - On immerge un corps qui ne flotte pas, dont on connaît le poids, dans le vase, l'eau déborde et est récoltée dans le récipient. Son volume est égal au volume du corps immergé.
  - On pèse dans le vase le corps immergé qui est devenu plus léger.
  - On pèse le volume du liquide récupéré dans le récipient.
  - Ce poids représente le poids du volume d'eau déplacé par le corps.
  - Ce poids ajouté au poids du corps dans l'eau est égale au poids total du corps.
- Conclusion :
  - On peut dire que la poussée subie par un corps immergé est égale en grandeur au poids du volume d'eau déplacé par ce corps.

#### LOI ou PRINCIPE D'ARCHIMEDE

- « **Tout corps plongé dans un fluide en équilibre subit, de la part de ce fluide une poussée verticale, orientée de bas en haut, égale en grandeur au poids du volume du fluide déplacé** ».

- Cela reste vrai pour une immersion dans un gaz : montgolfières par exemple)

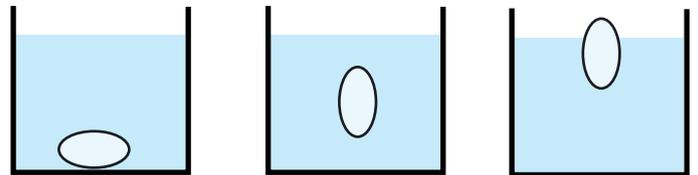
REMARQUE :

- Le centre de poussée hydrostatique **C** (centre de gravité du volume déplacé) et le centre de gravité **G** du corps ne sont confondus que si le corps immergés est homogène. (Une seule matière).
- Dans le cas d'un corps hétérogènes et de même forme, le centre de poussée ne change pas, mais le centre de gravité **G** se rapproche de la partie la plus lourde, ou se retrouve dans celle-ci.

**MEC. 20 : LA DENSITE**

- Définition :
  - C'est le rapport du poids du volume du corps au poids du même volume d'eau. Aussi bien pour les solides, les liquides et les gaz.
  - Exemple : alcool : 0.8, essence : 0.9, eau pure : 1.0, eau de mer : 1.025, mercure : 13.6, aluminium : 2.7, plomb : 11.3, air : 0,0012...
- Conséquence de la loi d'Archimède.
  - Si on immerge un corps homogène, il est soumis à deux forces de même direction mais de sens opposé :
    - il s'agit du poids du corps appliqué à son centre de gravité
    - et de la poussée d'Archimède appliquée aussi au centre de gravité du volume déplacé.
      - 1<sup>er</sup> cas : Le poids du corps est plus grand que la poussée qu'il subit. Sa densité est plus grande que celle du fluide. Son poids l'entraîne vers le bas.
      - 2<sup>me</sup> cas : Le poids du corps et la poussée ont la même valeur. Le corps et le fluide ont la même densité. Le corps immergé se trouve en état d'équilibre «entre deux eaux».
      - 3<sup>me</sup> cas : Le poids du corps est plus petit que la poussée : le corps est moins dense que le fluide, il remonte en surface et s'y stabilise quand le poids du volume de liquide qu'il déplace est égal à son poids (cfr. le morceau de fer dans le mercure).

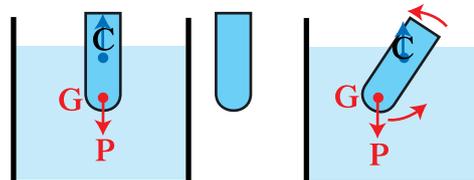
- Expérience :
  - Prendre un œuf frais,
  - Le placer dans l'eau contenue dans un récipient, il coule car il est frais, il n'y a pas de gaz à l'intérieur.
  - Ajoutons du sel, nous réalisons une solution. Lorsque le sel ne se dissout plus, la solution est saturée.
  - Nous voyons l'œuf remonter lentement.
  - La densité de l'eau est devenue supérieure à celle de l'œuf, par le sel dissous et la poussée d'Archimède est supérieure au poids de l'œuf.



- Une application :
  - La densité de l'eau varie avec sa t°, elle est la plus élevée à 4° centigrade et son degré de salinité : plus elle est salée, plus sa densité grandit.
  - Les navires comportent des échelles de mesure sur les flancs, à l'étrave et sur l'arrière pour vérifier l'assiette mais aussi l'enfoncement du navire et ainsi la charge transportée.

**MEC. 21 : CORPS FLOTTANT**

- Lorsqu'un corps flottant est en équilibre, la grandeur de son poids est égale à celle du poids du liquide déplacé.
  - Les exemples :
    - Le corps humain est légèrement plus dense que l'eau il a donc besoin de faire des mouvements qui crée des forces qui l'aident à rester en surface
    - Il endosse une bouée de 50, 100 newtons dans les écoles de voile où une surveillance existe, de 150 N pour les moniteurs ou 225 N pour les professionnels ayant un équipement plus lourd.
    - Les plongeurs se lestent de pains de plomb dont le poids varient en fonction du lieu de plongée :



Zélande, carrière, Mer Méditerranée...ne parlons pas de la Mer Morte.

- Les sous-marins peuvent modifier leur poids en remplissant ou vidant les ballasts.
- Dans le cas des corps flottants, le centre de gravité du solide (point d'application du poids) et le centre de poussée (point d'application de la poussée) se trouvent sur une même verticale.
  - S'il en était autrement, le poids et la poussée détermineraient un couple et sous l'effet de ce couple, le solide effectuerait un mouvement de rotation jusqu'au moment où ces deux points se trouveraient sur une même verticale. (Retournement d'un iceberg qui fond).

## LES GAZ

- Comme dans les liquides :  
Pression = force/surface. (Newton / m<sup>2</sup> = Pascal)
  - La pression exercée par un gaz en équilibre sur chaque face d'une surface est normale (perpendiculaire) à cette surface.
  - Les gaz sont, à température constante :
    - compressibles : le volume diminue mais la pression augmente (pompe de vélo).
    - expansibles : le volume augmente mais la pression diminue (une bouteille d'éther ouverte dans un local : la vapeur se répand très vite partout et de façon homogène).

### LOI DE BOYLE ET MARIOTTE :

(Boyle Robert : Eire 1627-1691 // Mariotte Edme 1620-1684)

- A t° constante, le produit de la mesure de la pression par la mesure du volume d'une masse gazeuse est une constante.

• **P × V = CONSTANTE ;**

- Le principe d'Archimède est aussi applicable aux gaz (ballons dirigeables gonflés à l'hélium, à l'hydrogène hyper-dangereux, les montgolfières à l'air chaud...)

## Chapitre V – LES FLUIDES : STATIQUE

### MEC. 22 : NOTIONS DE PRESSION

**Une force qui s'applique sur une surface détermine une pression de formule : P= F/S.**

Unité : le Pascal (Pa) = 1 newton / m<sup>2</sup> -

Cette unité est très petite (rappelons que le N est le poids de 102 g aussi utilise-t-on souvent l'hectopascal : HPa.

- Constatations
  - Lorsqu'on change l'orientation d'une petite surface (capsule barométrique) plongée dans un liquide, sans modifier la profondeur, à laquelle elle se trouve, la poussée qu'elle supporte ne varie pas.
    - **Idem pour un gaz** : l'air par temps stable: un baromètre déplacé à la même altitude, sur un même isobare indique toujours la même pression atmosphérique.
  - Lorsqu'on enfonce de plus en plus une petite surface dans un liquide, l'intensité de la poussée supportée par cette surface grandit constamment.
    - Les plongeurs connaissent : environ 1000 HPa par 10 mètres qui entraîne la nécessité d'égaliser les pressions sur le tympan.
    - **Idem pour le gaz** et l'atmosphère en particulier : la pression atmosphérique est réduite de moitié à 5500 mètres d'altitude.
      - Lorsqu'on monte en un endroit : ascenseur, une forte côte... la pression diminue et il faut parfois équilibrer (faire un bâillement) et l'inverse si on descend.

● Conclusion :

- La poussée exercée **par un fluide** sur une paroi d'un volume AGIT PERPENDICULAIREMENT à cette paroi.

○ Volume clos :

- Une surpression intérieure ou une dépression extérieure font éclater, exploser.
- Une surpression extérieure ou une dépression intérieure font implorer, écrasent.

○ Volume ouvert par un orifice, ou un plan, etc....

- La pression en augmentation ou diminution agit sur l'intérieur et l'extérieur et s'équilibre.

● La pression en un point **d'un fluide en équilibre** est égale au produit du poids volumique du fluide par la distance verticale du point à la surface du fluide. (Hauteur d'eau, hauteur de l'atmosphère).

● Dans un fluide en équilibre, les surfaces d'égale pression sont des plans horizontaux.

### PRINCIPE DE PASCAL

Blaise PASCAL - Philosophe français, mathématicien et physicien travaillant sur la mécanique des fluides -1623/1662.

● **Un fluide transmet intégralement (avec la même intensité) et dans tous les sens, tout accroissement de pression qu'il subit.**

● Pression statique – Pression dynamique

● Voir Dynamique des fluides.

## Chapitre VI – LES FLUIDES : DYNAMIQUE

### MEC. 23 : RAPPELS ET REMARQUES

- Les fluides sont constitués de petites particules de masses diverses.
  - Par exemple :
    - 1 litre d'eau a une masse de 1 kg tandis que 1 litre d'air a une masse de 0,0012 kg.
    - Pour un même volume l'eau est 833 fois plus massive et donc 833 fois plus lourde.
- Comme elles sont en mouvement, ces particules ont une certaine énergie qui est proportionnelle à leurs masses mais aussi au carré de la vitesse de déplacement, le tout divisé par deux.

• En résumé :  $E = mV^2/2$ .

- Cela veut dire que cette énergie double si sa masse double, quadruple si la vitesse double et ainsi de suite.

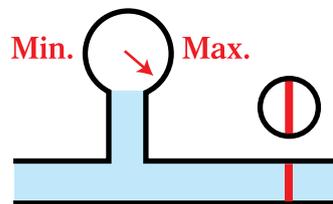
- Vu la différence de la masse de l'air et de l'eau, on peut supposer qu'un flux d'eau aura plus de force qu'un flux d'air, dans les mêmes conditions de vitesse.
  - Cela explique les petites dimensions des dérives, safrans, le rôle des foils qui permettent de soulever le bateau, le planning...
- Comme la bille de billard qui touche une autre qui part tandis que la première s'arrête, le jet d'eau sortant de la lance d'arrosage qui permet de nettoyer le sol, la vague qui vous bascule lorsqu'elle se retourne à proximité de la plage, les dégâts provoqués par les tempêtes, etc... : ces particules cèdent leur énergie à l'obstacle qu'elles rencontrent.
- Elles exercent une poussée sur une surface, elles créent donc une pression.

### MEC. 24 : LE JEU DES PRESSIONS

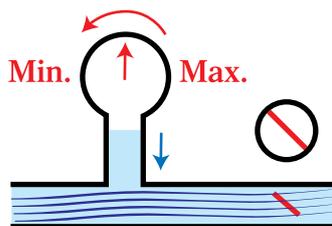
#### ● Observations :

- Un tuyau amenant de l'eau, sur lequel est branché un manomètre indiquant la pression dans ce tuyau. Celui-ci se termine par un robinet suivi d'un morceau de tuyau souple.

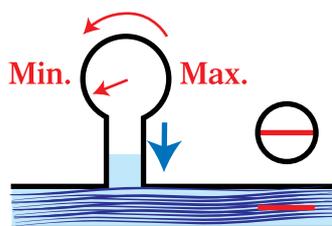
- Le robinet fermé, la pression indiquée au manomètre est statique car il n'y a pas d'écoulement.



- Lorsqu'on ouvre ce robinet, la pression statique diminue, l'eau prend de la vitesse, le jet est de plus en plus fort, si vous mettez votre main à la sortie, vous sentez la pression (A ne jamais faire avec des jets puissants d'engins de nettoyage !)

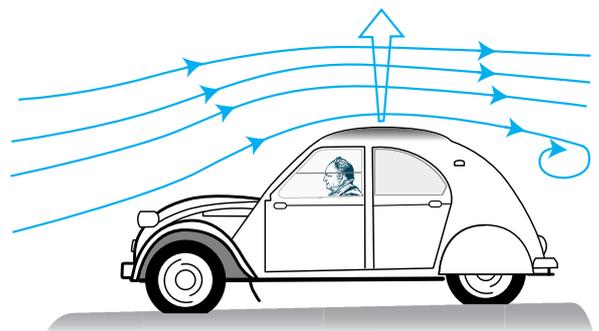


- On ferme le robinet progressivement : le jet diminue, la pression augmente et revient à la valeur initiale lorsque l'eau ne coule plus.



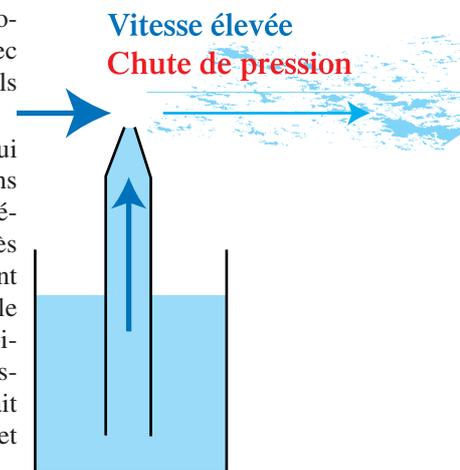
- La puissance des lances d'incendie qui engendrent de grandes pressions dynamiques crée une réaction nécessitant souvent deux pompiers pour contrer cette force (réaction).

- Le toit de la 2 CV qui se soulève quand elle roule « vite », comme s'il y avait trop de pression à l'intérieur (*impossible*) ou une dépression à l'extérieur.



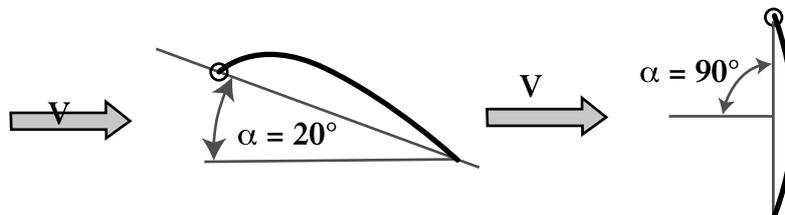
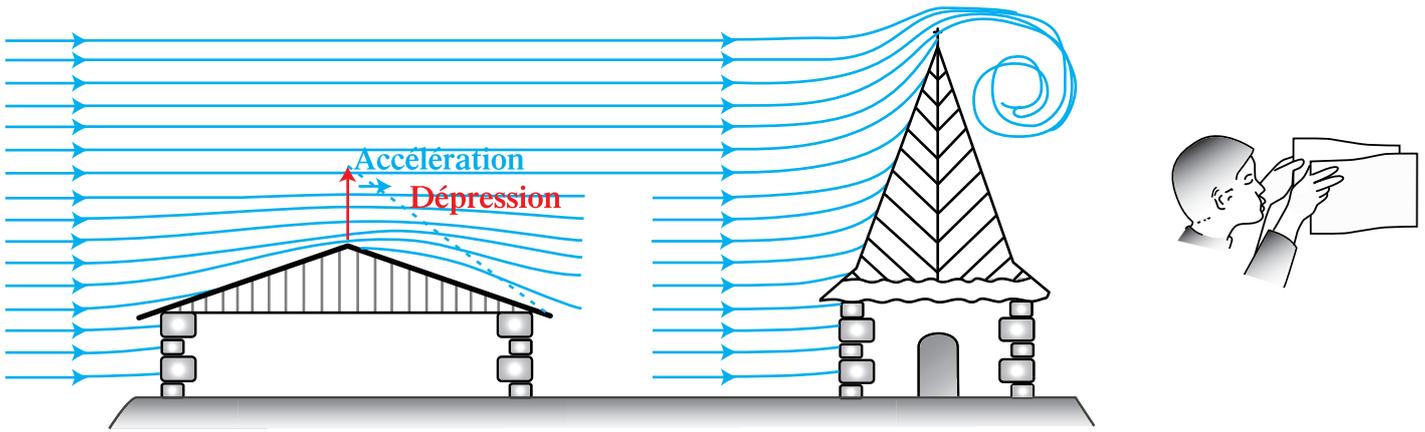
- Le pouce et l'index, proches, sous le robinet qui coule avec un jet transparent ils se rapprochent.

- Le vaporisateur qui souffle un gaz dans un tube dont l'extrémité se situe près d'un tube plongeant dans un liquide : le liquide monte, aspirer par une dépression, et se fait pulvériser par le jet d'air.

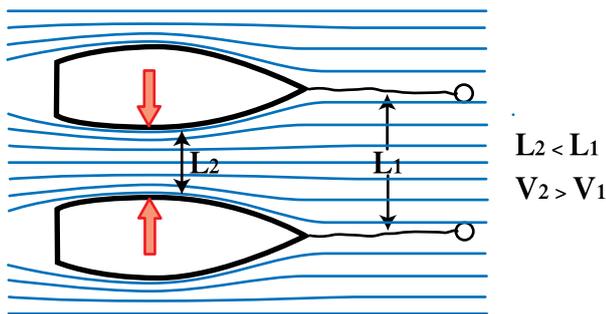


- Le carburateur d'un moteur, s'il en est équipé.

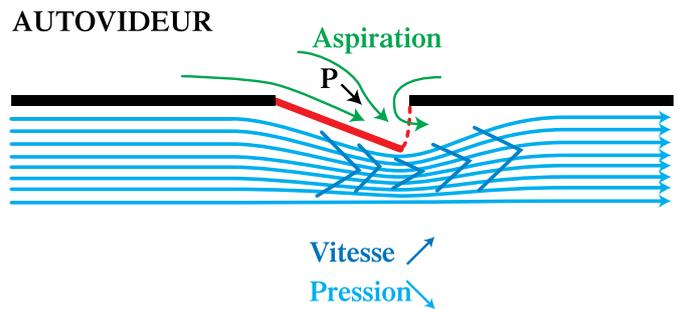
- Lors d'une tempête, le toit peu pentu d'une maison qui se soulève et s'envole alors que le clocher voisin ne subit aucun dommage.
- Les feuilles tenues horizontalement près des lèvres qui, lorsqu'on souffle, se rapprochent.



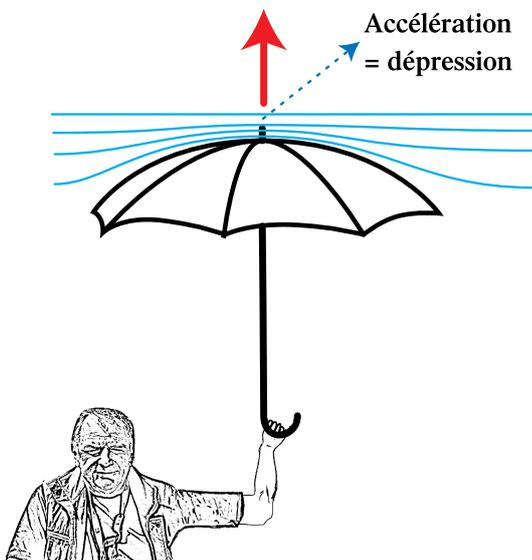
- Lorsqu'on navigue très près à côté d'un bateau, les coques sont aspirées l'une vers l'autre.



- L'auto-videur



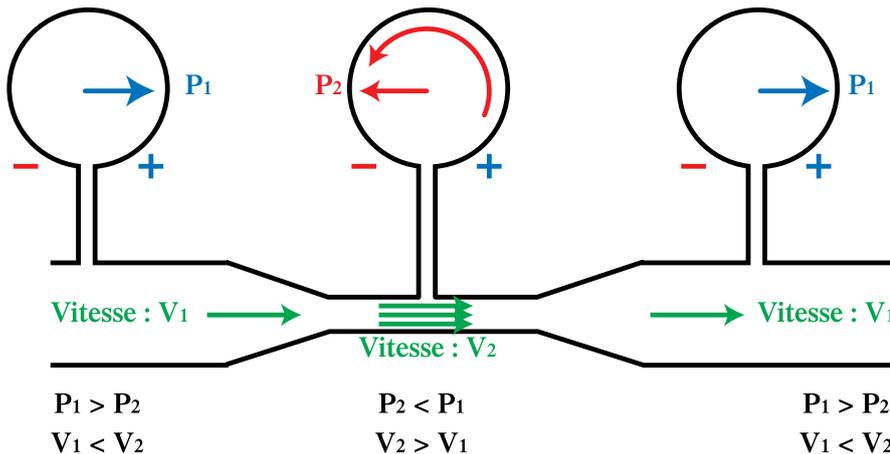
- Le parapluie qui a tendance à monter... ou à se retourner en fonction de son incidence par rapport au vent.



- En gare, l'aspiration vers le train qui passe rapidement a été la cause de nombreux accidents : ne pas se mettre au ras du quai.
- Les dépassements à vitesse élevée avec peu de différence de vitesse et un petit écart sont redoutés des motards et ressentis des autres véhicules plus lourds.
- Etc, etc...
- Tout se passe comme si le flux du fluide qui se déplace, crée une diminution de pression, dépression, par rapport à la pression du milieu d'autant plus forte que la vitesse est élevée!

**MEC. 25 : L'EFFET VENTURI (Giovanni Battista : 1746-1822)**

- Le tube de Venturi :
  - Un tube en trois sections : comme deux entonnoirs qui sont collés par la petite extrémité.
  - La première section et la troisième ont un même diamètre.
  - La section centrale est plus étroite.
  - Chaque section porte un manomètre qui mesure la pression interne dans le conduit
  - Le tube est parcouru par un fluide.



- Dans le cas du cours d'eau si on crée un rétrécissement (qui n'a jamais fait des barrages lors d'un pique-nique), le volume d'eau qui arrive de l'amont est le même que celui qui part vers l'aval du barrage.
- Si on l'empêche, l'eau passera par-dessus, en contournant et en débordant sur les berges et éventuellement créer des inondations, en cassant le barrage, en accélérant sa vitesse.
- Dans le cas d'un élargissement, le débit ne diminue pas, il est constant, le volume est constant et la vitesse diminue. (L'eau de la lance qui s'étale sur une surface n'a plus du tout la même vitesse, le courant des fleuves dans les deltas...)
- Dans le cas du tube Venturi, le fluide ne peut que suivre le conduit.
- Comme le débit en amont et aval est le même il ne peut qu'accélérer dans le rétrécissement.

**LE THEOREME DE BERNOULLI**  
(Daniel – Groningen 1700 - Bâle 1782)

**La pression dynamique + la pression statique est une constante.**

- Observations.
  - Lors du débit du fluide (eau ou gaz) on observe les faits suivants :
    - Une même pression dans les première et troisième sections
    - Par contre elle est plus basse dans la section étroite.
  - Le débit est le volume du fluide qui s'écoule pendant un temps donné dans un conduit, tuyau, rivière ; il est mesuré en «Volume par durée» (litre/minute,  $m^3/sec...$ )
    - Ce débit est fonction de la vitesse de déplacement et de la section du conduit : le diamètre pour un tuyau ou la profondeur fois la largeur du fleuve.

En résumé :

LA PRESSION STATIQUE

- Comme vu précédemment : c'est la pression qui règne en un lieu donné : pression atmosphérique (hauteur de la colonne d'air), hydrostatique (hauteur de la colonne d'eau) ou une poussée sur une surface sans autre effet.

LA PRESSION DYNAMIQUE : aérodynamique ou hydrodynamique.

- **A une accélération du fluide, correspond une diminution de pression**, dépression, aspiration ou pression négative (par rapport à la pression régnant dans le fluide).
- **A un ralentissement du fluide correspond une augmentation de pression**, surpression, pression positive (même remarque que pour la pression négative) ou poussée.

**MEC. 26 : LES FLUIDES RENCONTRANT UN OBSTACLE**

Remarque : Gustave Eiffel, ingénieur français, pionnier de l'architecture du fer : (Dijon 1832 - Paris 1923). Il a, entre autre, réalisé le viaduc de Garabit : 564 m. de long et 122 m. de haut en 1882-1884 (Cantal), l'ossature de la statue de la liberté en 1886, la tour Eiffel : 1887-1889 pour l'exposition de Paris, etc...

Il a fait des études sur l'écoulement des fluides, les pressions et dépressions sur des surfaces planes, courbes, des ailes d'avion, des hélices. Il a publié de nombreux rapports de 1907 à 1915 et à nouveau après la guerre. Il travaillait avec des mobiles, des chutes de la tour Eiffel, pour avoir un courant d'air constant.

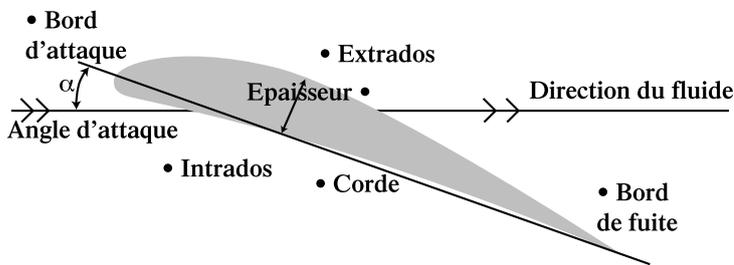
Comme la météorologie n'était pas toujours valable, il utilisa une soufflerie construite d'après ses plans.

Pour mesurer les pressions il utilisait des manomètres à eau. (Voir

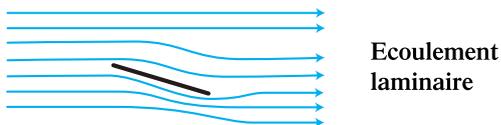
dessin) Les surfaces étaient trouées et chaque trou rebouché avec une vis à tête plate. On enlevait la vis pour appliquer l'extrémité du manomètre pour mesurer la différence de hauteur... et ainsi de suite.

- L'obstacle.
  - L'obstacle perturbe l'écoulement du fluide : un arbre, un panneau de direction, une voile, une aile d'avion, d'oiseaux, l'eau...
  - Il a des caractéristiques physiques variables à l'infini : formes, dimensions, texture...
  - Dans ce paragraphe on utilisera une surface ayant un profil d'aile.
  - Dans le fascicule de la «Théorie de la voile» on appliquera les observations à la voile, à la carène et ses appendices.

- Terminologie : voir dessin.
  - Le profil : terme général : voile, aile, dérive, safran, hélice, carène...
  - L'intrados : c'est la face concave, «creuse», qui reçoit le flux «directement».
  - L'extrados : c'est la face convexe, «arrondie», derrière l'intrados, qui ne reçoit pas le flux directement.
  - Bord d'attaque : c'est la partie antérieure du profil qui reçoit le fluide en premier, c'est le «nez» de l'aile, le guindant de la voile, la partie antérieure de la dérive, du safran...
  - Bord de fuite : c'est la partie postérieure du profil, la chute de la voile, la partie arrière des dérive, safran, carène, des œuvres vives....
  - L'épaisseur : la distance entre l'extrados et l'intrados.
  - La corde : la droite joignant le bord d'attaque et le bord de fuite.
  - L'angle d'attaque : l'angle donné par la direction du fluide et la corde du profil.



- Les types d'écoulements :
  - Laminaire : Si l'angle d'attaque du profil est presque dans l'axe d'écoulement du fluide (moins de 25°):
    - Celui-ci suit les formes du profil que ce soit l'intrados ou l'extrados.
    - Les particules composant les filets du fluide qui sont séparées au bord d'attaque, se retrouvent au bord de fuite ensemble sans perturbations.
    - Le débit du fluide avant la séparation est égal au débit après le passage du profil.



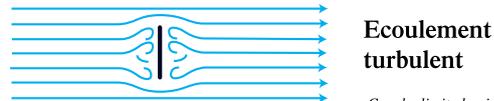
Écoulement laminaire



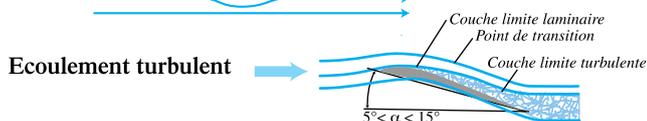
Écoulement laminaire

- Turbulent : Si l'angle d'attaque est trop grand (de 25 à 90°), les particules se séparent dans le désordre et ne sont plus ordonnées en filets après le passage du profil.

- Les filets de fluide sont rompus et des turbulences apparaissent au bord de fuite.

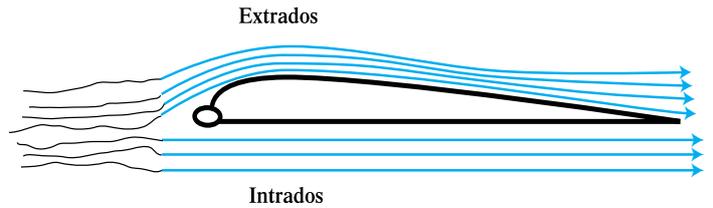


Écoulement turbulent



Écoulement turbulent

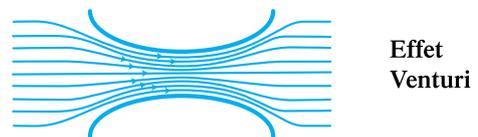
- Le fonctionnement du profil.



- L'angle d'attaque est faible : il faut un angle d'attaque minimum de 2° à 25° : l'écoulement est laminaire.

- Côté EXTRADOS :

- Les débits du fluide avant le passage du profil et après sont égaux.
- Le trajet du côté convexe est légèrement plus long que le trajet des filets un peu plus éloigné qui ne subissent pas l'effet du profil.
- Cela occasionne une accélération du flux entre le profil et les filets plus éloignés (Effet Venturi).



Effet Venturi

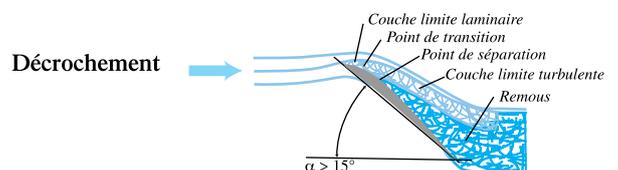
- Cette accélération du flux sur l'extrados provoque la création de mini-dépressions sur toute sa surface et perpendiculaires à celle-ci.
- Ces mini-dépressions s'additionnent pour donner une pression négative, dépression ou aspiration globale appliquée au centre géométrique du profil.

*Quand la pression dynamique augmente, la pression statique diminue*

- Côté INTRADOS :

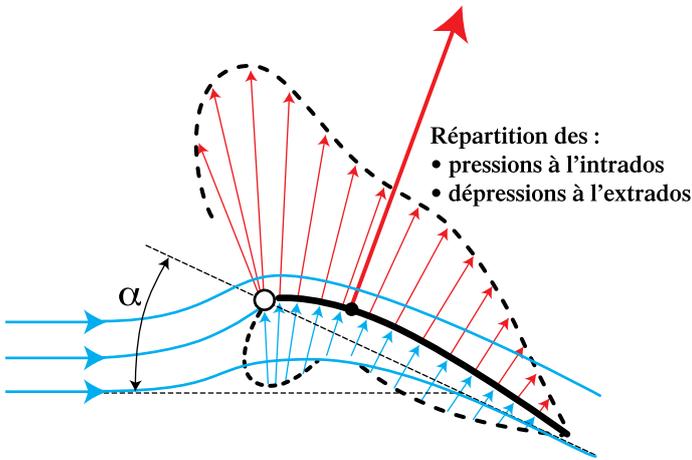
- Comme pour l'extrados : les débits avant et après le passage sont égaux.
- Le fluide vient s'appuyer sur le profil, face concave, les filets de fluide se rapprochent, le trajet est légèrement plus court que du côté extrados.
- Cela occasionne un ralentissement du flux et ainsi de mini-surpressions sur tout le profil.
- Ces mini-surpressions s'additionnent pour donner une pression positive, surpression ou compression, appliquées au centre géométrique.

*Quand la pression dynamique diminue : la pression statique augmente*



Détachement

- Bilan :
  - La «surpression» sur l'intrados et la «dépression» sur l'extrados s'additionnent pour donner une poussée globale appliquée au centre géométrique du profil, perpendiculaire à la corde du profil.



- L'angle d'attaque est supérieur de  $25^\circ$  à  $90^\circ$  : écoulement turbulent.

- extrados
  - Le trajet côté extrados est fortement allongé.
  - L'accélération du fluide n'est plus suffisante pour rester en régime laminaire.
- Intrados
  - La forme concave du profil augmente la friction, la compression.
  - La vitesse diminue très fort.
- Bilan
  - Il y a rupture entre le débit du flux côté extrados et celui côté intrados.
  - C'est «l'anarchie» des particules du fluide.
  - Le profil décroche avec apparition de tourbillons.
- Cas de l'angle d'attaque à  $90^\circ$  : perpendiculaire à l'écoulement du fluide ;
  - L'intrados qui reçoit le fluide : celui-ci éclate en exerçant une poussée.
  - L'extrados, face arrière : c'est le royaume des tourbillons.

## BIBLIOGRAPHIE

- *Les cours utilisés actuellement dans les humanités supérieures, orientation «sciences» suffisent amplement.*
- *On retrouvera également beaucoup d'explications de ces notions dans les ouvrages plus généraux traitant la physique appliquée aux voiliers. Voir bibliographie fin des fascicules 3 et 4.*
- **Ouvrages utilisés :**
  - Jacquart et Migeotte - tomes II et III - Sciences et lettres - Lg 1967.
  - Autres : Prof. Legrand - Mécanique des fluides incompressibles - ULg.
  - Internet : de nombreux sites de niveaux très différents, présentent des démonstrations, des schémas animés, etc... sur les thèmes qui nous intéressent :
    - [www.laphysique.net](http://www.laphysique.net)
    - [www.profni.com](http://www.profni.com)
    - [www.physiquefree.fr](http://www.physiquefree.fr)
    - [www.cours-voile.fr](http://www.cours-voile.fr)
    - etc... (Bonne navigation!)



Fédération Francophone  
du Yachting Belge  
F.F.Y.B.

# BREVET A

---

## Fascicule 2 **TERMINOLOGIE** (cfr Memento)

---

**Les matières faisant partie du brevet A sont reprises dans le memento «Enseignement de la voile» - Plan général - Version 2013 disponible sur le site de la FFYB, rubrique «Ecoles». Dans ce fascicule elles sont «marquées» d'une ligne verticale en marge. La ligne discontinue ne fait pas partie du Brevet A, elle détermine des explications plus «poussées».**



## SOMMAIRE

Chapitre I - LA COQUE .....	24
Chapitre II - LE BATEAU ET LE GREEMENT .....	24
Chapitre III - LES PIECES PRINCIPALES (texte).....	25
LES PIECES PRINCIPALES (dessins).....	26
Chapitre IV - LE GOUVERNAIL .....	27
Chapitre V - LE MAT, LA BOME .....	28
Chapitre VI - DESCRIPTION DE L'OPTIMIST .....	29
Chapitre VII - LE GREEMENT DORMANT.....	30
Chapitre VIII - LE GREEMENT COURANT .....	31
Chapitre IX - L'ACCASTILLAGE .....	32
Chapitre X - LES VOILES .....	33
Chapitre XI - LES ACTIONS.....	34
Chapitre XII - QUELQUES DERIVEURS.....	35
+ LES DIFFERENTS TYPES DE VOILURES.....	35
 TYPES DE DERIVEURS LEGERS .....	 37
SERIES OLYMPIQUES .....	37
BIBLIOGRAPHIE.....	37

La terminologie de ce cours a été adaptée plusieurs fois suite à la simplification de nos dériveurs – Cependant les termes utilisés pour les pièces diverses : l'accastillage, les actions, les manœuvres portent le même nom sur tous les autres bateaux.

Vous trouverez fin du fascicule 4 : «Pratique de la voile» une liste de livres traitant de la technique de la voile, de la manœuvre, de la manutention du matériel sur d'autres types de bateaux de longueurs et déplacements différents.

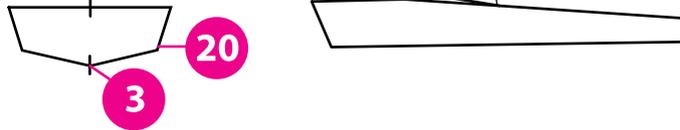
## Chapitre I - La coque

### 1.1. Les différents types de coques : 6

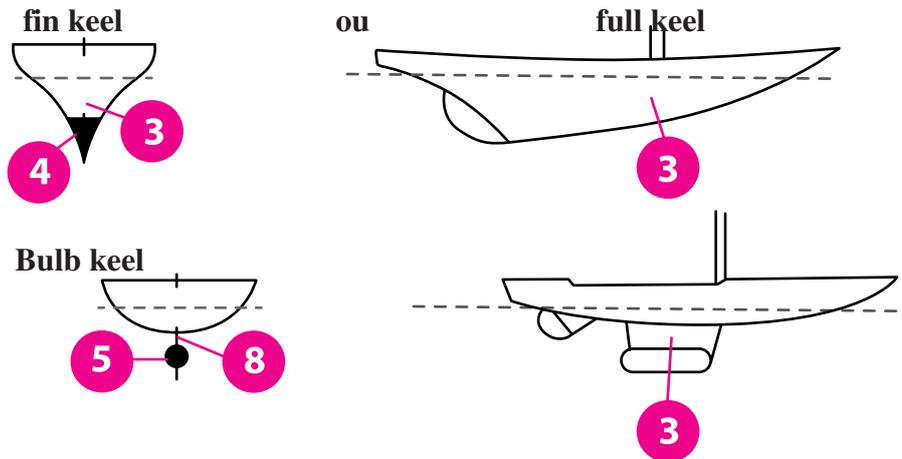
- en forme : ex. Laser, 420...



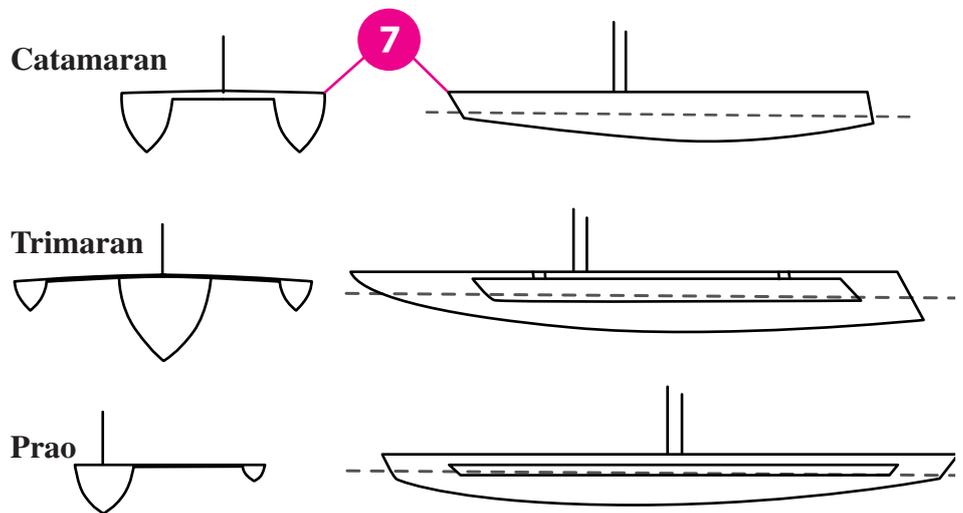
- à bouchains : fireball,  
à bouchains vifs: Vaurien, Caravelle en bois...



- à quille :



- Les multicoques :



## Chapitre II - Le bateau et le gréement.

**Coque :**

**01 - en forme :**

arrondi de la coque entre le flanc et le fond,

**02 - à bouchain :**

angle formé entre le flanc et le fond, il peut être légèrement arrondi ou très marqué: on parle de bouchain vif, indispensable sur les coques non développables,

**03 - la quille :**

pièce maîtresse d'un bateau qui va de l'avant (brion) à l'arrière (étambot) sur laquelle les autres parties (couples) se fixent. Elle peut être lestée,

**04 - à quille finn-keel :**

plaque de métal placée sous la quille,

**05 - à bulb-keel :**

finn-keel ayant une masse en forme de saumon à sa partie basse,

**06 - monocoque :**

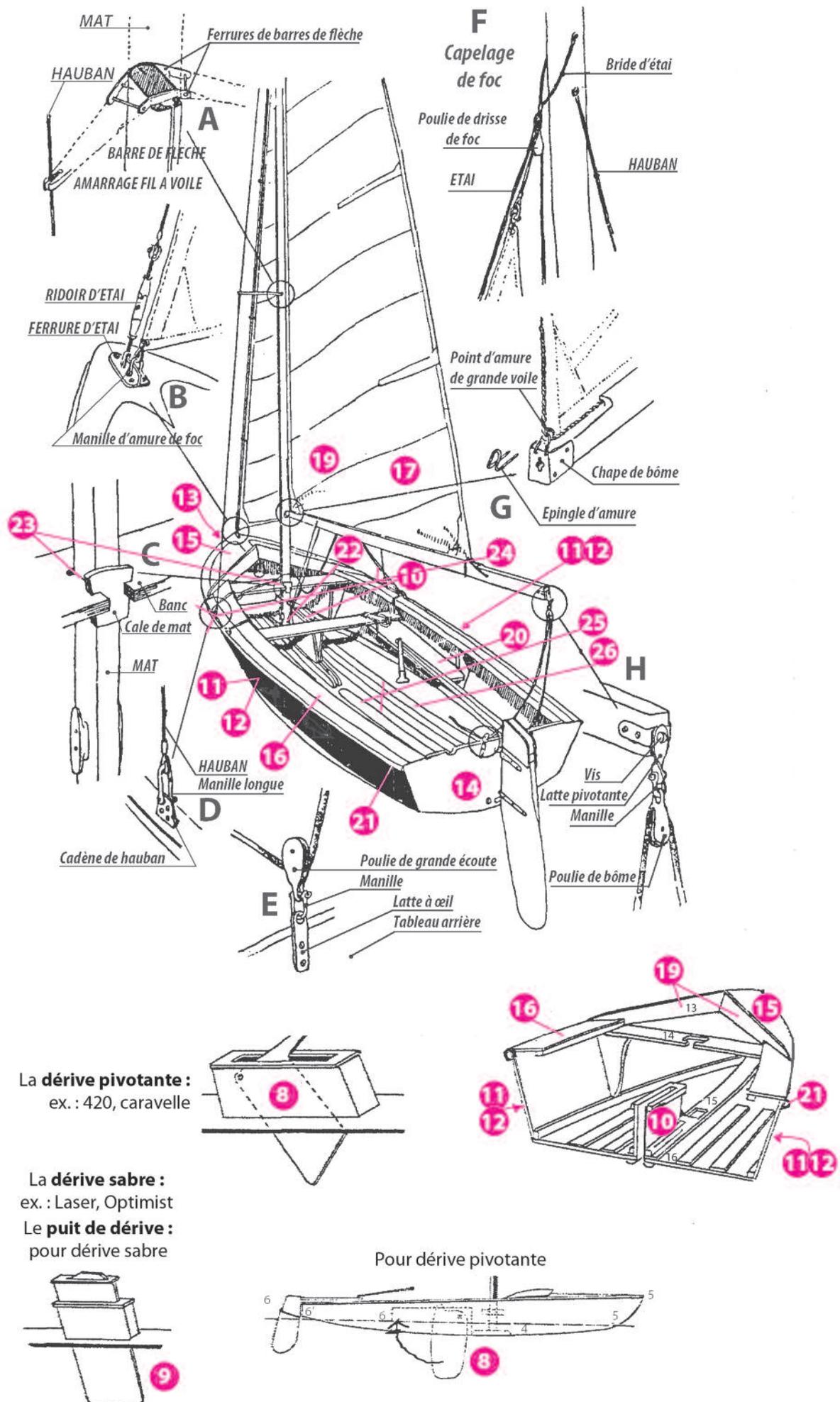
bateau composé d'une seule coque,

**07 - multicoque :**

le catamaran : formé de 2 coques, le trimaran : une coque centrale et deux flotteurs latéraux, (le prao : une seule coque et un seul flotteur)

## Chapitre III - Les pièces principales

- 08 - dérive pivotante :** (appendice plat) plate et mobile qui s'enfonce sous l'eau en pivotant autour d'un axe destinée à s'opposer à la dérive du bateau, (attention au terme dérive qui désigne le matériel, l'angle entre le cap et la route du bateau qui dérive, « glisse » latéralement poussé par le vent, le courant...)
- 09 - dérive sabre :** pièce de bois qui s'enfonce ou se retire du puits de dérive comme un sabre de son fourreau,
- 10 - puits de dérive :** caisson posé verticalement au milieu du bateau ouvert en dessous et parfois au dessus,
- 11 - bordé :** ensemble du revêtement étanche, extérieur de la coque : les flancs et le pont, le bordé hors de l'eau constitue les œuvres mortes, le bordé sous l'eau constitue les œuvres vives ou bordé de carène. Le bordé est posé sur les membrures, le bordé de pont est posé sur les barrots ou baux.
- 12 - bordé bâbord et bordé tribord,**
- 13 - étrave :** pièce avant, pointue et reliée à la quille par la pièce de brion (idem proue) et marrotte (proue coupée) pour les caravelles-bois, fireball, cadet...
- 14 - tableau (arrière) :** plateau d'une seule pièce terminant l'arrière du bateau,
- 15 - pont :** bordé recouvrant horizontalement l'avant d'une coque,
- 16 - plat-bord ou passe-avant) :** prolongement du pont latéralement sur les flancs,
- 17 - cockpit :** place du bateau où l'on se trouve en plein air pour naviguer,
- 18 - hiloire :** planche verticale placée à l'intérieur du plat-bord entourant le cockpit empêchant les embruns et l'eau de « trop » rentrer,
- 19 - brise-lame :** hiloire plus élevé à la fin du pont avant pour défléchir l'eau vers l'extérieur,
- 20 - bancs :** pièce de renfort pouvant servir de siège à l'équipage,
- 21 - liston :** ceinture extérieure du pont et des plats-bords servant de pare-choc et de couvre-joint étanche à la liaison coque-pont,
- 22 - emplanture :** pièce dans la contre-quille dans laquelle se place le pied de mât,
- 23 - étambrai :** trou dans le pont ou un banc transversal permettant le passage du mât,
- 24 - maître-bau :** la plus grande largeur de la coque,
- 25 - fond :** partie inférieure de la coque,
- 26 - plancher :** surface plane mise au fond du cockpit, renforcé de lattes longitudinales,
- 27 - flottabilité :** volume d'air enfermé dans un récipient, des boudins, des substances chimiques (mousse à cellules fermées)... qui flottent. Elles doivent empêcher le bateau de couler s'il chavire.



La **dérive pivotante** :  
ex. : 420, caravelle

La **dérive sabre** :  
ex. : Laser, Optimist  
Le **puits de dérives** :  
pour dérives sabre

Pour dérives pivotante

## Chapitre IV - Le gouvernail

**Le stick :** tige pivotante sur une articulation de stick permettant le contrôle de la barre. Il peut être télescopique.



**La barre franche :** pièce permettant d'orienter directement le gouvernail.

**La tête de gouvernail :** consolidation supérieure du safran.

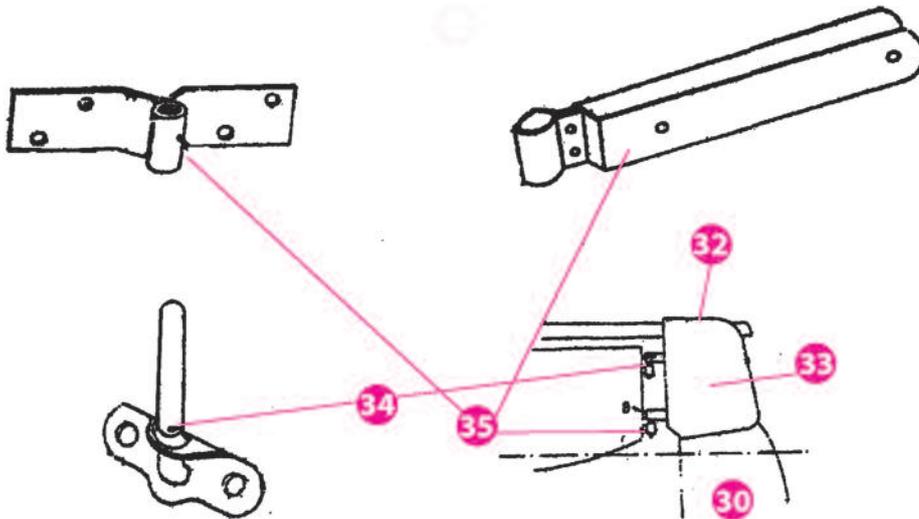
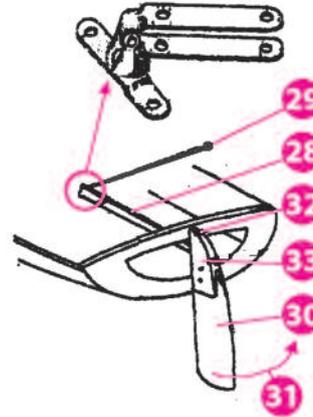
**Le safran :** partie active du gouvernail.

**Le safran mobile :** safran coulissant entre les deux joues de la tête du gouvernail. Ex. : 470, 420.

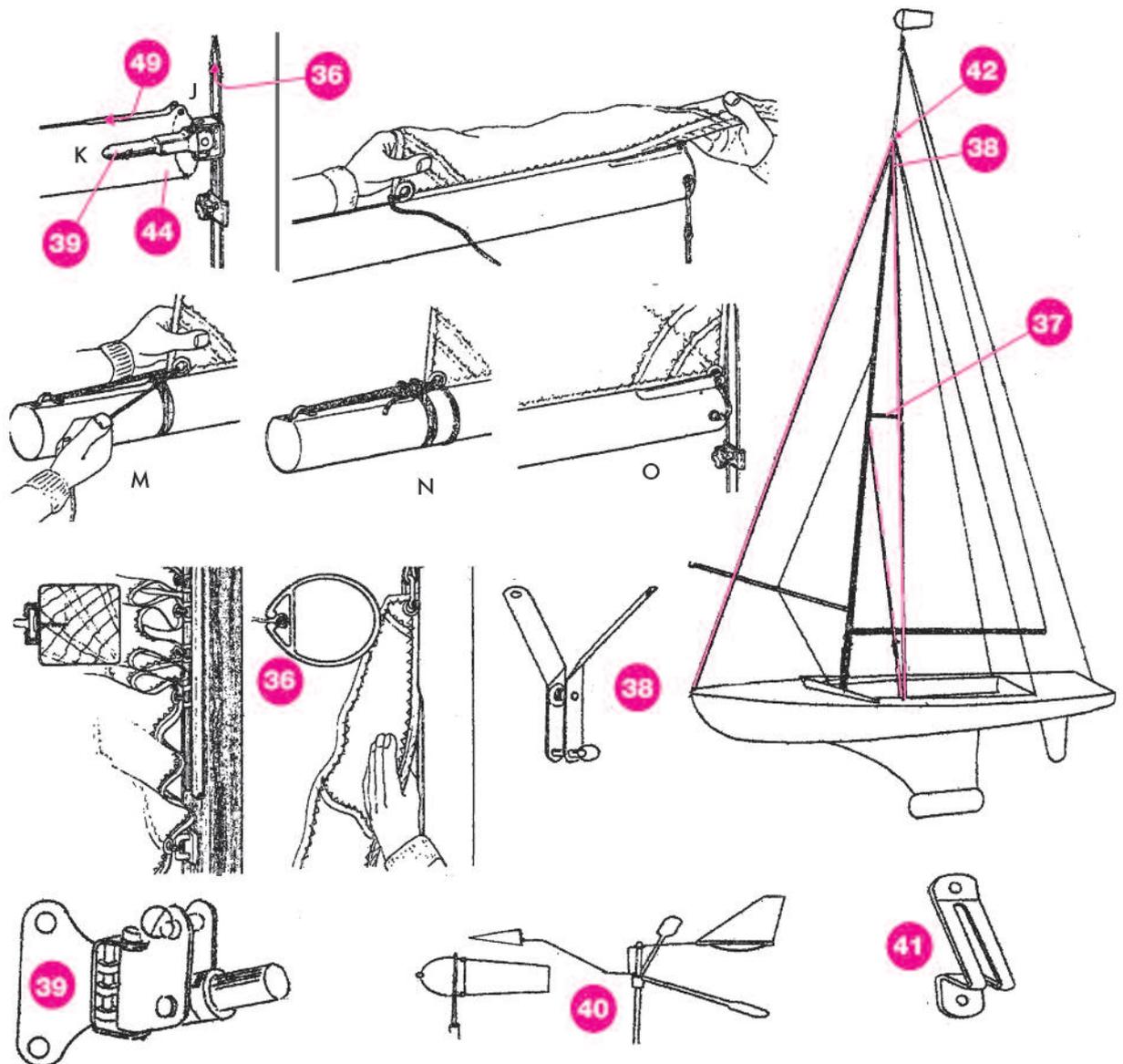
**Le safran fixe :** tête et safran sont en une seule pièce.

**Le femelot :** partie femelle servant d'articulation pour le safran.

**L'aiguillot :** partie mâle qui s'adapte sur le femelot.



- 28 - barre franche :** pièce de bois d'une seule pièce tenue en main par le barreur et fixée aux joues du safran,
- 29 - stick :** pièce articulée sur la barre facilitant l'action du barreur (rappel, etc...)
- 30 - safran fixe :** partie plane du gouvernail agissant sous l'eau,
- 31 - safran mobile :** idem mais peut être relevé pour la manipulation du bateau,
- 32 - tête de gouvernail :** partie supérieure du gouvernail,
- 33 - joues :** consolidation en bois ou métal au dessus du safran et qui reçoit la barre,
- 34 - aiguillots :** tige en métal supportant le gouvernail et attachée au tableau arrière et/ou les joues,
- 35 - femelot :** ferrure avec œillet, fixée sur les joues et/ou le tableau arrière dans laquelle vient se glisser l'aiguillot,

Chapitre V - **Le mat - la bôme****Le mât :**

- 36 - chemin de ralingue :** évidement : gorge (engoujure) dans le mât dans laquelle glisse la ralingue d'envergure (voir 74), cordage cousu sur le bord d'attaque de la voile,
- 37 - barres de flèche :** petites pièces de bois ou de métal écartant transversalement et horizontalement les galhaubans pour qu'ils « travaillent » mieux,
- 38 - capelage :** point d'ancrage dans le mât de l'étai et des haubans (galhaubans et bas-haubans), le capelage de l'étai peut servir de point de fixation du réa de la drisse de foc,
- 39 - vît de mulet :** articulation (à la cardan) de la bôme sur le mât,
- 40 - girouette :** petit drapeau porté en tête de mât ou sous le vît de mulet sur les cat-boats, indiquant la direction du vent (autres techniques: les penons à l'intrados, l'extrados et la chute des voiles, les faveurs dans les haubans.)
- 41 - hook :** système de blocage de la grand-voile en tête de mât,
- 42 - réa :** roulette folle de la poulie : ici sur laquelle passe la drisse de grand-voile,

**La bôme :**

- 43 - chemin de ralingue :** évidement : gorge (engoujure) dans la bôme dans laquelle glisse la ralingue de bordure de la grand-voile (voir 74),
- 44 - femelot de vît de mulet :** pièce métallique en bout de bôme dans laquelle vient se ficher l'axe articulé fixé sur le mât,
- 45 - mâchoire :** bout de bôme en forme d'Y qui vient s'emboîter sur le mât (cfr Optimist),
- 46 - livarde :** espar en bois servant à établir une voile aurique (cfr Optimist) en diagonale partant de la jonction bôme-mât vers l'angle opposé de la voile, « le sommet » de la voile,

## Chapitre VI - Description de l'Optimist

Longueur : 2,30 m

Largeur : 1,15 m

Poids minimum de la coque : 35 kg

Surface maximum de voile : 3,60 m<sup>2</sup> (tenir compte pour toutes ces mesures des tolérances jauges)

Architecte : Clark MILLS (USA)

SCHEMA DESCRIPTIF : éléments de nomenclature :

1 Point de livarde

2 Envergure

3 Girouette

4 Point de drisse

5 Voile

6 Guindant

7 Mât

8 Livarde

9 Laize

10 Garcette

11 Œillet

12 Point d'amure

13 Mâchoire de bôme

14 Marotte

15 Etambrai

16 Banc de mât

17 Emplanture de mât

18 Bout de remorquage

19 Bordé

20 Liston

21 Puits de dérive

22 Dérive

23 Sangles de rappel

24 Tableau arrière

25 Barre

26 Safran

27 Ferrures de safran (Aiguillot, Femelot)

28 Hâle-bas

29 Taquet

30 Caisson

31 Sandow de dérive

32 Stick

33 Ecoute de voile

34 Poulie

35 Bordure

36 Bôme

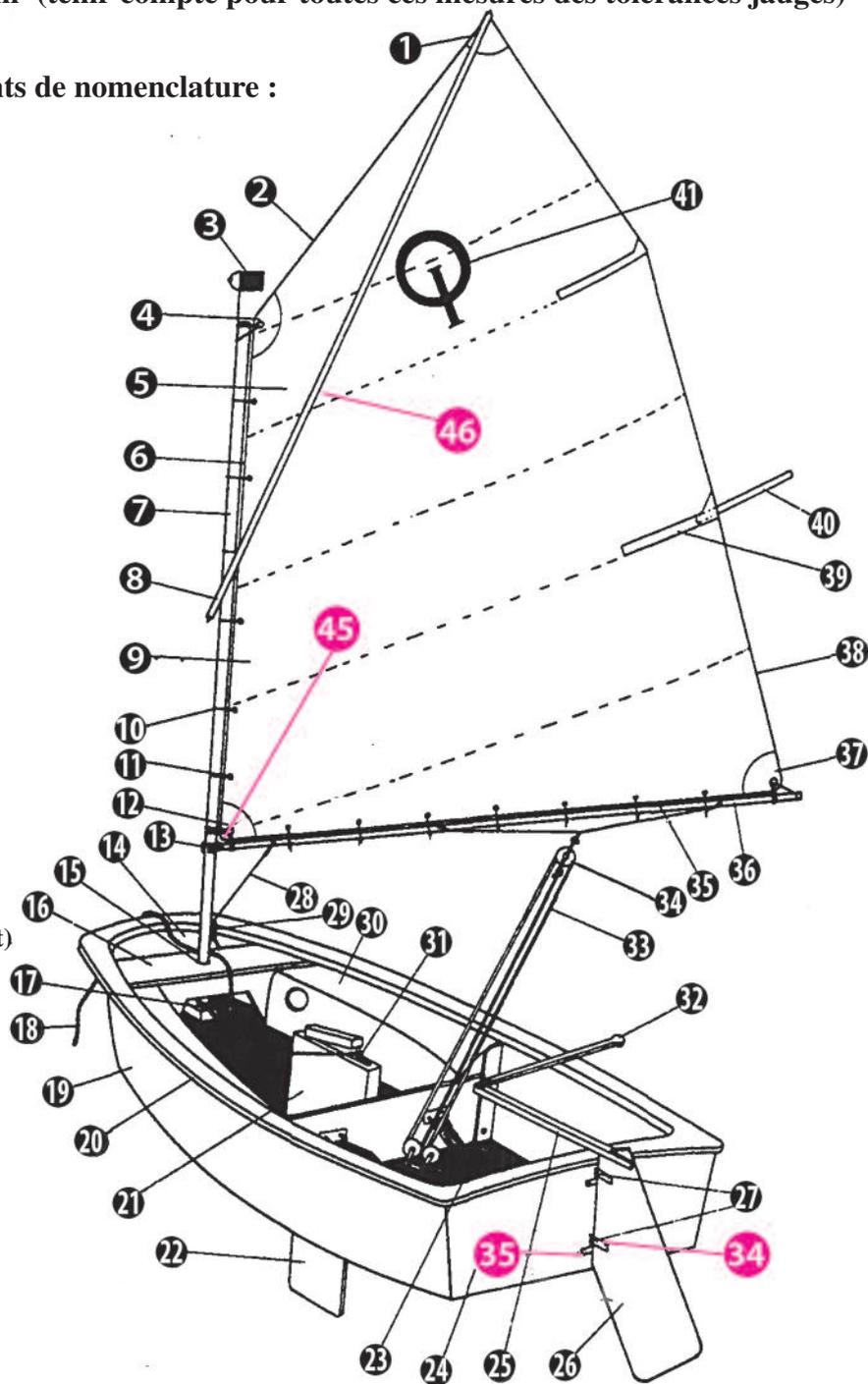
37 Point d'écoute

38 Chute

39 Gousset de latte

40 Latte

41 Insigne



**34 - aiguillot :**

tige en métal supportant le gouvernail et attachée au tableau arrière et/ou les joues,

**35 - femelot :**

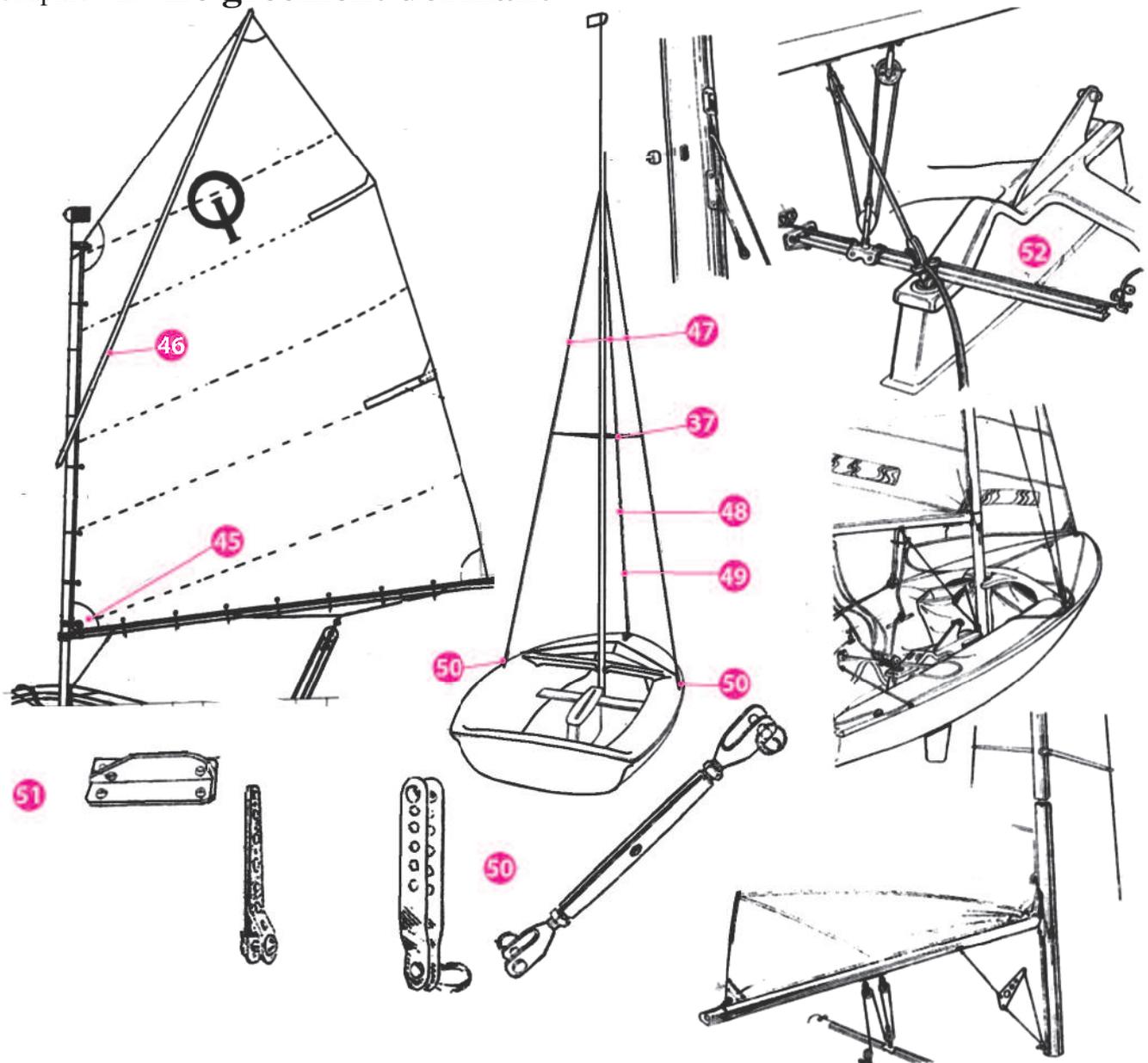
ferrure avec œillet, fixée sur les joues et/ou le tableau arrière dans laquelle vient se glisser l'aiguillot,

**45 - mâchoire :**

bout de bôme en forme d'Y qui vient s'emboîter sur le mât (cfr Optimist),

**46 - livarde :**

espar en bois servant à établir une voile aurique (cfr Optimist) en diagonale partant de la jonction bôme-mât vers l'angle opposé de la voile, « le sommet » de la voile,

Chapitre VII - **Le gréement dormant****Le gréement dormant (à définir) :****47 - hauban :**

au sens général : « les haubans d'un mât » désignent les manœuvres dormantes étayant le mât par triangulation soit latéralement : les bas-haubans se frappent directement sur le mât au point de capelage, les galhaubans passent par les barres de flèches avant de se frapper sur le capelage, soit longitudinalement : l'étai qui est un hauban (terme général) qui soutient le mât vers l'avant, il est fixé sur le pont et le capelage, il peut servir de guide pour les mousquetons, les andaillots de foc, le pataras qui soutient le mât vers l'arrière,

**48/49 - draille :**

REM. : actuellement les focs sont grésés avec un câble métallique (j'ai toujours appelé ça la draille) dans la partie antérieure (l'envergure, je préfère « guindant », l'envergure a trop de significations et peu utilisé dans ce sens; dans ce cas, l'envergure est la longueur du guindant) ; ceci favorise le rendement de la voile par un bord d'attaque très tendu ; ce câble joue aussi le rôle d'un vrai étai qui soutient fortement le mât en cours de navigation; au repos le câble de soutien du mât est plus fin et distendu ainsi que tout le haubanage, ce serait un étai de repos,

**50 - ridoir :**

tendeur servant à raidir une manœuvre dormante (étai, hauban...) sous forme de latte perforée type « meccano », tendeur à deux filets opposés, garcette montée en palan....,

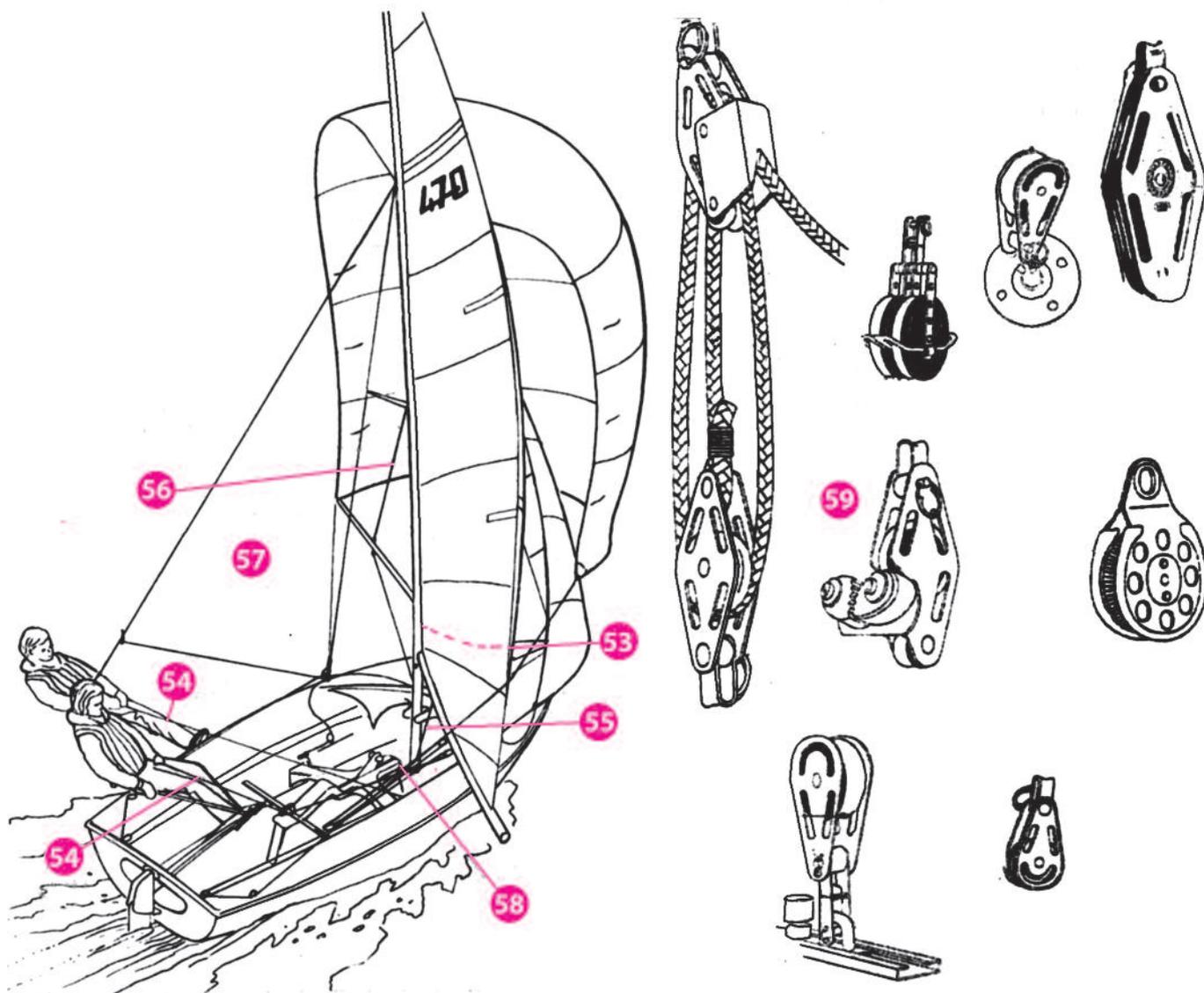
**51 - cadène :**

pièce métallique fixée sur la coque servant à frapper le ridoir,

**52 - barre d'écoute :**

rail, tube... transversal placé au milieu, derrière le cockpit ou sur le dessus du tableau arrière, sur lequel coulisse la poulie de plancher, elle est souvent remplacée, aujourd'hui, par une patte d'oie (Laser, Vaurien, 420).

## Chapitre VIII - Le gréement courant

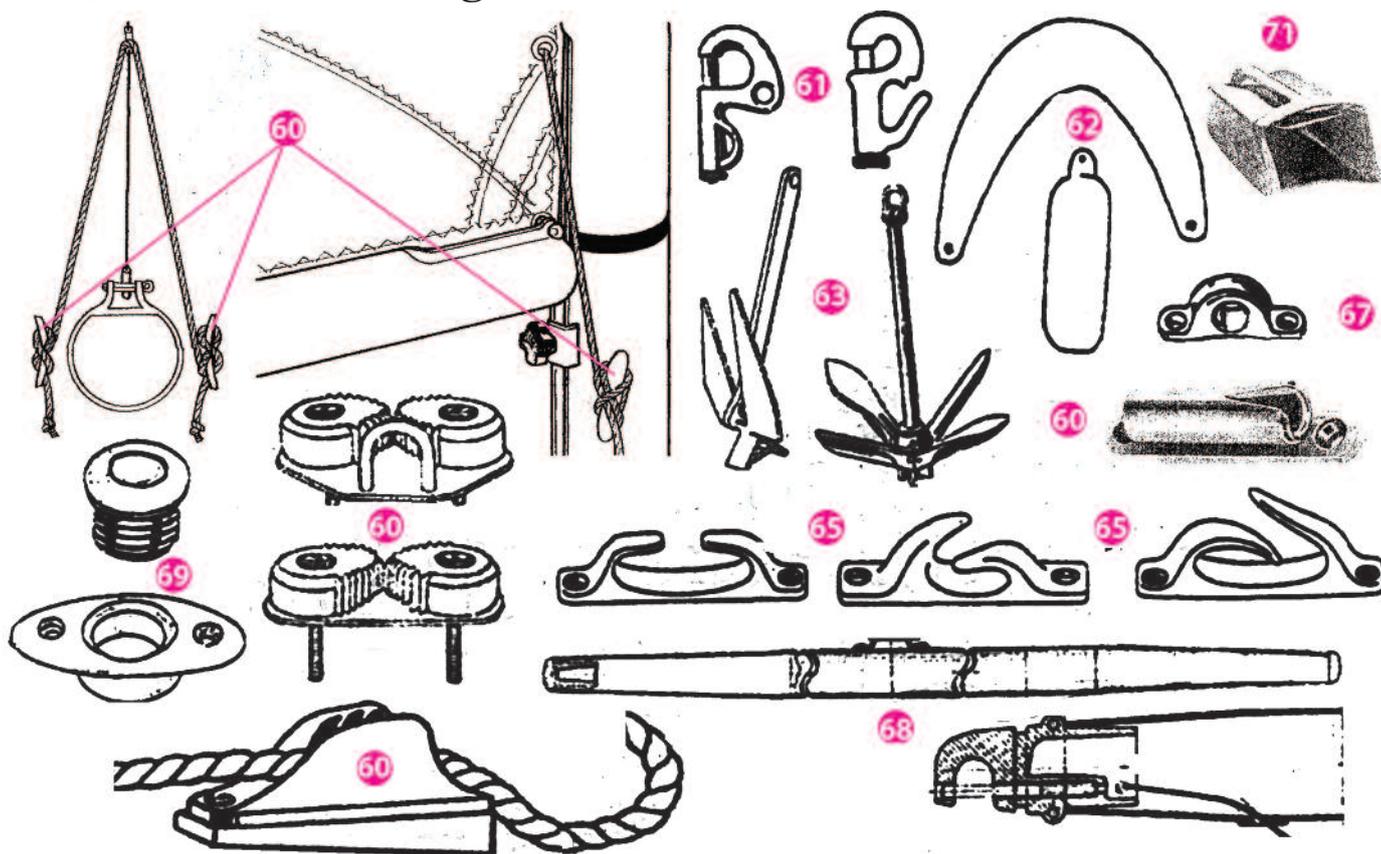


### Le gréement courant :

- 53 - drisse :** manœuvre courante servant à hisser les voiles ; souvent constituée d'une partie textile (moitié) et d'une métallique souple 19 fils, l'itague, qui est frappée sur la voile ; attention à l'usure avec apparition de « gendarmes » fils cassés, constituant les torons qui écorchent la peau,
- 54 - écoute :** cordage servant à régler l'angle de la voile avec le vent agissant,
- 55 - hâle-bas :** cordage ou palan placé entre la bôme et le pied de mât servant à régler l'angle entre la bôme et le mât. Il permet donc un réglage de la chute de GV,
- 56 - balancine :** manœuvre permettant de soutenir un tangon en navigation, une bôme au repos (gréer la drisse de grand-voile en balancine),
- 57 - trapèze :** câble métallique frappé au capelage et à la ceinture de l'équipier au rappel,
- 58 - le palan de dérive :** cordage permettant de régler la position d'une dérive pivotante,

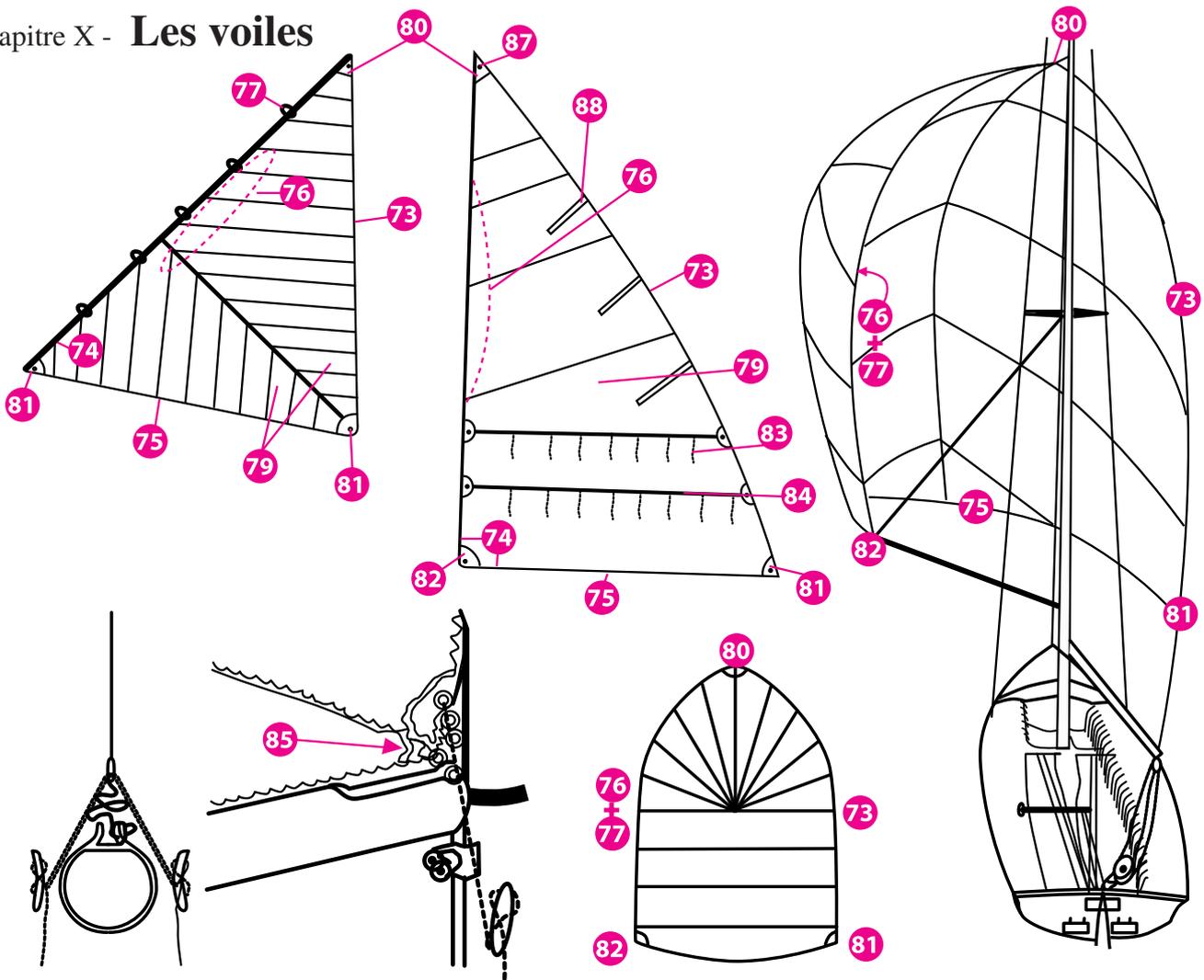
### L'accastillage :

- 59 - poulie :** appareil qui permet de changer la direction de traction d'une manœuvre courante qui coulisse sur une molette à gorge appelée réa ; le réa tient dans une cage,

Chapitre IX - **L'accastillage****L'accastillage :**

- 60 - taquet :** pièce en T permettant de frapper un cordage au moyen du nœud de taquet ; un tube échancre dans lequel passe le cordage à frapper ou tube ouvert avec rainure : le clams (traduction anglaise de taquet ! Pourquoi pas «sifflet» ?
- 61 - mousqueton :** en réalité porte-mousqueton : système d'attache rapide, à crochet, à piston...
- 62 - défense ou pare-battage :** tout corps destiné à amortir les chocs sur les flancs d'un bateau à quai ou à couple d'un autre,
- 63 - ancre :** sert à fixer le bateau sur le fond ; il en existe divers modèles ayant chacun des caractéristiques légèrement différentes,
- 64 - amarre :** cordage permettant de fixer le bateau à quai, à une bouée ; généralement à l'avant il peut y en avoir à l'arrière et latéralement : les gardes montantes et descendantes ; le terme «aus-sière» est souvent utilisé, une bosse est très courte et sert à libérer du guindeau une amarre tendue (souquée) pour la tourner au taquet; on s'en sert aussi sur la chaîne d'ancre pour pouvoir la mollir et éviter les bruits (perturbations du sommeil),
- 65 - chaumard :** sorte d'anneau brisé servant de guide à un cordage : amarre, bosse d'ancre, etc, ici «bosse» est correctement utilisé,
- 66 - pagaie :** aviron léger s'utilisant en faisant face (et non de dos comme les rames) permettant de manœuvrer le bateau sans vent ; la godille est une grande rame qui s'appuie sur le tableau arrière et sert vraiment de moteur auxiliaire par petit temps ; godiller est une technique spéciale,
- 67 - filoir :** conduit au travers duquel passe une écoute pour la réorienter,
- 68 - tangon :** espar soutenu par une balancine, fixé au mât par une extrémité, l'autre au point d'écoute d'un foc, spi... Sert à écarter le point d'écoute de l'axe du bateau et la voile gonflée sur un bord,
- 69 - nable :** trou de vidange des caissons étanches, au tableau arrière ; ces trous sont bouchés par les bouchons de nable en cours de navigation,
- 70 - sangle de rappel :** sangles placées longitudinalement permettant de passer le cou-de-pied en dessous pour faire un rappel efficace,
- 71 - écope :** petit seau permettant d'évacuer l'eau du bateau,
- 72 - estrope :** petit bout de cordage en boucle permettant de fixer des espars, voiles, etc....,

Chapitre X - **Les voiles**



- 73 - chute :** bord arrière de la voile,  
**74 - ralingue :** cordage cousu le long des côtés latéraux de la voile permettant de l'engager dans le chemin de ralingue du mât, de la bôme, du pic...,  
**75 - bordure :** bord de la voile du côté de la bôme,  
**76 - guindant :** bord antérieur des voiles, le long du mât ou de la draille de foc, synonyme de «bord d'attaque», partie du mât de l'étambrai au capelage,  
**77 - espars :** toutes les pièces de bois ou de métal de forme allongée qui servent à établir les voiles comme le mât, la bôme, le tangon, le bout dehors (ou boute hors) les vergues...,  
**78 - fenêtre :** partie de laize inférieure transparente,  
**79 - laize :** bande de tissu cousue composant la voile,  
**80 - point de drisse :** le point où l'on attache la drisse à la têtère, servant à hisser la voile,  
**81 - point d'écoute :** point à l'extrémité arrière de la voile et de la bôme servant à fixer l'écoute de foc ou de grand-voile,  
**82 - point d'amure :** point où l'on fixe l'angle inférieur avant de la voile au mât ou sur la bôme,  
**83 - garcette :** cordage de faible diamètre. La garcette de ris sert à rassembler le surplus de toile amené à la prise de ris,  
**84 - bande de ris :** renfort rectiligne de la voile, parallèle à la bôme et comprenant de petites garcettes permettant de ferler une partie de la voile sur le bôme et ainsi de diminuer sa surface «prendre un ris»,  
**85 - cunningham :** cordage ou palan qui permet de régler la tension sur le guindant et faire varier la position et l'amplitude du creux,  
**87 - andailot :** anneau ou autre moyen de fixation du foc sur sa draille,  
**87 - têtère :** pièce triangulaire à l'extrémité supérieure d'une voile triangulaire (bermudienne) sur laquelle on frappe la drisse de grand-voile,  
**88 - gousset ou fourreau de latte :** poche dans la chute destinée à recevoir une latte,  
**89 - spinnaker :** le bras ou retenue de tangon est le cordage au vent qui gère la position du tangon et donc du point d'amure du spi, le cordage sous le vent est l'écoute de spi; chacun des deux cordages prend alternativement ces noms suivant qu'il est au vent ou sous le vent

## Chapitre XI - **Les actions**

Elles seront expliquées dans la partie « Pratique de la voile » de ce cours mais font partie de la terminologie. (Pour comprendre ces actions complémentaires le barreur est assis dos au vent) :

- **éтарquer** : raidir une manœuvre à bloc (drisse),
- **relâcher** : donner du mou à la manœuvre,
- **larguer** : laisser aller, relâcher, détacher un cordage,
- **border** : réduire l'angle voile-axe du bateau en raidissant l'écoute, l'action contraire serait «déborder» en choquant l'écoute !!!
- **choquer** : diminuer la raideur d'une écoute en la relâchant comme besoin (pas spécialement !!!) border-choquer, raidir-mollir,
- **lofer** : gouverner de manière à se rapprocher du lit du vent,
- **abattre** : gouverner de manière à s'éloigner du lit du vent [choquer les écoutes],
- **mollir** : donner du mou à un cordage. Se dit aussi lorsque le vent diminue d'intensité,
- **forcir** : lorsque le vent augmente d'intensité,
- **déborder** : «éloigner du bordé». Augmenter l'angle voile-axe, repousser du quai, d'une autre coque,
- **enfourner** : trop chargé à l'avant, le bateau enfonce son étrave dans l'eau et freine,
- **traîner de l'eau** : trop chargé à l'arrière le bateau s'enfonce de l'arrière et freine,
- **capeler** : beaucoup de sens dont enfiler son gilet de sauvetage,
- **empanner** : lors du virement vent arrière, la voile balaie d'un bord sur l'autre,
- **embraquer** : border la voile rapidement, «en grand» (avec de grands mouvements) et correctement,
- **mauvaise panne** : au vent arrière on continue à abattre et le vent risque de prendre la voile à contre provoquant un empannage accidentel pouvant être dangereux pour les têtes et les haubans...,
- **empannage chinois** : lors d'un empannage : par manque de hâle-bas la bôme passe sur l'autre bord, jamais ni vu ni vécu, par contre, la bôme peut mâter et/ou passer violemment sur l'autre bord. Les conséquences peuvent être un départ au lof sur l'autre amure, le bris du hauban sous le vent, bris de la bôme ou les deux,
- **virement vent arrière** : synonyme de empanner,

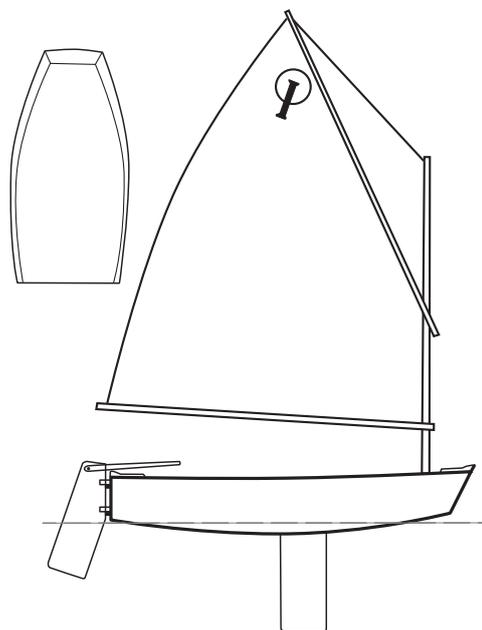
**Voir en PRATIQUE VOILE.**

**420 : 4,20 m**



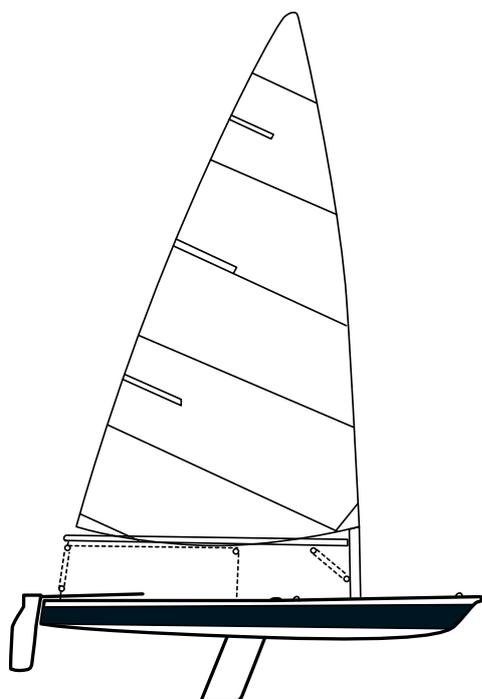
Plan : Serge Maury en 1958. En polyester.  
 Largeur : 1,63 m - Poids : 100 kgs.  
 Surface de voile : 10,25 m<sup>2</sup>.

**OPTIMIST : 2,30 m**



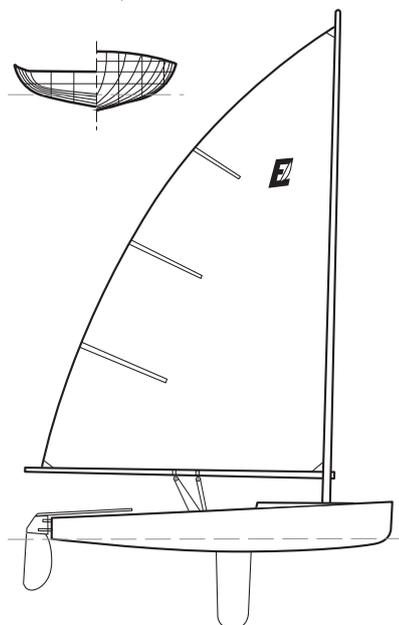
Plan : Clark Mills en 1947.  
 Largeur : 1,2 m - Longueur : 2,30 m -  
 Poids : 33 à 37 kgs. - Surface de voile : 3,5 m<sup>2</sup>.

**LASER : 4,23 m**



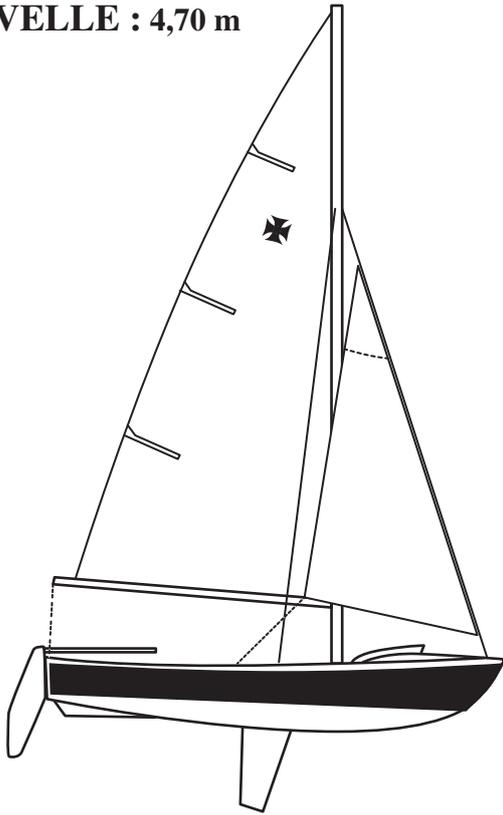
En polyester.  
 Largeur : 1,37 m - Poids : 57 kgs.  
 Surface de voile : 7,05 m<sup>2</sup> (standard)  
 5,70 m<sup>2</sup> (Voile Radial) - 4,70 m<sup>2</sup> (Avec Top adapté)

**EUROPE : 3,35 m**



1929 - USA - Bateau à restriction : longueur et voilures sont fixés, pas le reste - 1962 : Aloïs Roland (Belge) en fait un monotype adopté par l'IYRU. Il devient le Moth-Europe maintenant l'«Europe» :  
 Largeur : 1,38 m - Longueur : 3,35 m -  
 Voilure : 7 m<sup>2</sup>. - Poids : 45 kg (441 N.)

**CARAVELLE : 4,70 m**



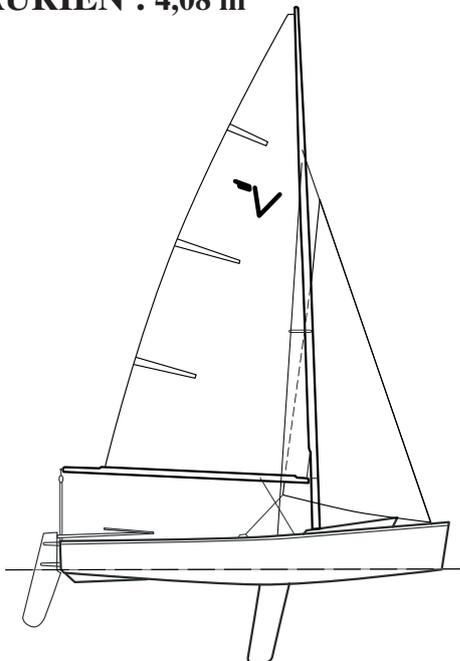
Plan : Jean-Jacques HERBULOT. En polyester ou bois.  
 Largeur : 1,85 m - Poids : 230 kgs.  
 Surface de voile : 12,70 m<sup>2</sup>.

**470 : 4,70 m**



Plan : André Cornu en 1964. En polyester.  
 Largeur : 1,68 m - Poids : 118 kgs.  
 Surface de voile : 12,70 m<sup>2</sup>.

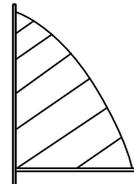
**VAURIEN : 4,08 m**



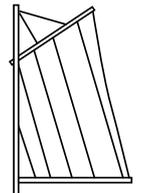
Architecte : Jean-Jacques Herbulot. 1952.  
 Longueur : 4,08 m. - Largeur : 1,48 m. - Voilure :  
 GV + F : 5,6 + 2,5 m<sup>2</sup>. Poids : 95 kg (950 N.)  
 A été modifié ces dernières années : voile à corne :  
 +3,8 m<sup>2</sup>, de dérive et moins de poids : 73 kg = 71 N.

**Les différents types de voiles**

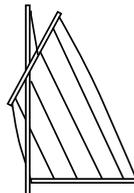
- Marconi ou bermudienne.  
 Ex. lase, 420, 320...



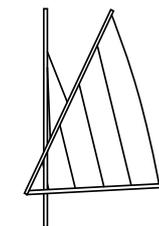
- Voilure Aurique



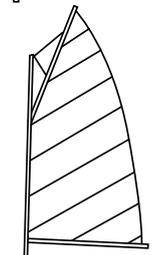
- Voilure au tiers (portée au tiers supérieur du mât)



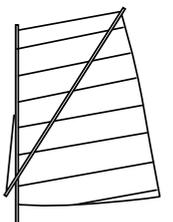
- Voilure houari  
 - simple  
 - militaire (mirror)



- Voilure latine



- Voilure à livarde  
 Ex. : Optimist



## Types de dériveurs légers :

- cat-boat,                    une seule grand'voile
- sloop,                      une grand'voile et un foc
- séries nationales :
  - Spirou,
  - Optimist,
  - Cadet,
  - Vaurien,
  - 420
  - Laser std, radial, 4.7
  - 470
  - Yole OK
  - Finn
  - .....

## Séries olympiques :

- Dériveur léger en solitaire, **hommes** (*Men's One Person Dinghy*) : **Laser**
- Dériveur léger en solitaire, **femmes** (*Women's One Person Dinghy*) : **Laser Radial**
- Dériveur lourd en solitaire, **hommes** [*Men's One Person Dinghy (heavy)*] : **Finn**
- Dériveur en **double, hommes** (*Men's Two Person Dinghy*) : **470**
- Dériveur en **double, femmes** (*Women's Two Person Dinghy*) : **470**
- **Skiff** en **double, hommes** (*Men's Skiff*) : **49er**
- **Skiff** en **double, femmes** (*Women's skiff*) : **49er FX** (Mackay FX, 49er avec un gréement FX)
- **Catamaran** en **double, mixte** (*Mixed Two Person Multihull*) : **Nacra 17**

## Bibliographie :

Pour les cpnnaisseurs, curieux :

- Dictionnaire de la Mer de Jean Merrien - Lafont (*Pièce devenue très rare*)
- Dictionnaire Gruss de mareie - Emom - (Editions maritimes et d'Outre-Mer)
- Dictionnaire de la mer & navigation - Gianni Cazzaroli - Denoël
- Dictionnaire de la voile - Michel Barberousse - Seuil
- Dictionnaire de la marine à voile (1875) - Bonnefoux et Paris - La Courtille - (Reproduction)
- De la quille à la pomme de mâ - Capt. Paasch - Editions Logos
- Les catalogues d'accastillage des différentes marques : on mes trouve sur le net ou, version papier, dans les magasins spécialisés en yachting.





Fédération Francophone  
du Yachting Belge  
F.F.Y.B.

# BREVET A

---

## Fascicule 3    **THEORIE DE LA VOILE**

---

**Les matières faisant partie du brevet A sont reprises dans le memento «Enseignement de la voile» - Plan général - Version 2013 disponible sur le site de la FFYB, rubrique «Ecoles». Dans ce fascicule elles sont «marquées» d'une ligne verticale en marge. La ligne discontinue ne fait pas partie du Brevet A, elle détermine des explications plus «poussées».**



## SOMMAIRE

<b>Chapitre I – LES ORIGINES DU VENT</b>	
TV 1 : L' AIR .....	42
TV 2 : FORMATIONS DES MASSES D' AIR .....	42
TV 3 : DEPRESSIONS - ANTICYCLONES - PERTURBATIONS .....	42
TV 4 : LA DIRECTION ET LA VITESSE DES VENTS DANS UNE PERTURBATION .....	44
TV 5 : SYMBIOSE DU VENT ET DE L'EAU .....	47
 <b>Chapitre II – LE VENT REEL ET SES COMPOSANTES</b>	
TV 6 : REPRESENTATION DU VENT REEL .....	50
TV 7 : LE VENT DE VITESSE : (VV) .....	52
TV 8 : LE VENT APPARENT : (VA) .....	52
TV 9 : LES VARIATIONS DU VENT APPARENT .....	52
 <b>Chapitre III – AERODYNAMIQUE</b>	
TV 10 : BREF RAPPEL DES PARAGRAPHS MEC. 22-23-24-25 et 26 du memento de physique générale .....	55
TV 11 : LES ECOULEMENTS DE L' AIR AUTOUR DE LA VOILE PROFIL CREUX. ....	56
TV 12 : REPARTITION DES PRESSIONS .....	58
TV 13 : LE CENTRE VELIQUE .....	59
TV 14 : LA FORCE VELIQUE : FV. Diagramme polaire .....	60
 <b>Chapitre IV – HYDROSTATIQUE</b>	
TV 15 : LA FLOTTABILITE .....	63
TV 16 : ASSIETTE ET STABILITE .....	64
 <b>Chapitre V – HYDRODYNAMIQUE</b>	
TV 17 : LES RESISTANCES A L' AVANCEMENT. (MEC 23 à 26) .....	67
TV 18 : LA FORCE ANTIDERIVE .....	73
 <b>Chapitre VI – COMBINAISONS DES FORCES AERIENNES ET HYDRAULIQUES</b>	
TV 19 : LES MOUVEMENTS D'UNE COQUE - Pierre Gutelle : Architecture d'un voilier – Théorie) .....	74
TV 20 : Les forces. Symboles sur le récapitulatif .....	75
TV 21 : Les forces statiques. (Voir TV 11 et suivants) : des nouveaux symboles (cfr Marchaj) .....	75
TV 22 : ACTIONS DE CES FORCES PAR RAPPORTS AUX AXES .....	76
 <b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	 77

## 1<sup>re</sup> partie – LES ORIGINES DU VENT

**Remarque : Le complément de matière vu aux paragraphes TV 1 à TV 6 ne fait pas partie du brevet A.**

**Exceptions : de points rappelés dans les autres sections : TV et PV.**

En espérant que des lecteurs seront intéressés et voudront aller plus loin.

### Chapitre I – LA FORMATION DES VENTS SYNOPTIQUES

#### TV 1 : L'AIR

##### RAPPEL

- L'air est un fluide gazeux, ses constituants glissent entre eux, dans les conditions de température et de pression régnant à la surface du globe terrestre.
- **Sa constitution**
  - Il est composé de particules pondéreuses diverses : atomes d'oxygène (21 %), atomes d'azote (78 %) et 1 % de divers gaz en très petite concentration.
  - Sa masse est de 1,2 gramme pour 1 litre ou 1,2 kilogramme pour 1 m<sup>3</sup>.
  - Sa masse est de 1.2 kg/m<sup>3</sup>.  
Son poids,  $f = m.g$  est de 11.8 N/m<sup>3</sup>.
  - La pression atmosphérique est le poids de la colonne d'air à la surface du sol ; sa moyenne est de 101.325 Pa ou 1013,25 HPA.
  - L'eau peut aussi être présente, sous forme liquide, gazeuse (visible ou non) et solide suivant les conditions de température ou de pression.

#### TV 2 : FORMATIONS DES MASSES D'AIR

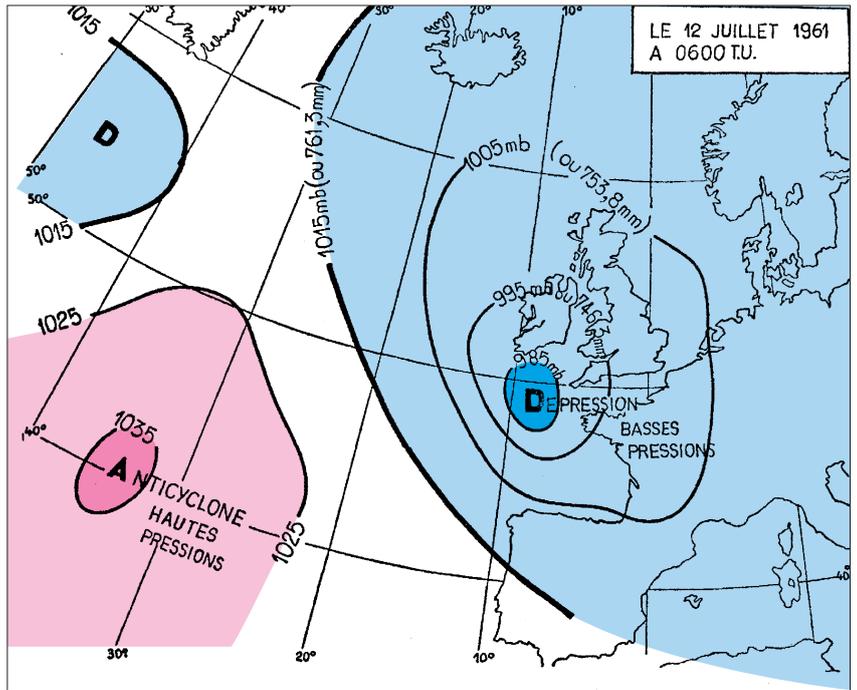
- Les masses d'air dépendent principalement de la latitude :
  - chaudes :
    - **les régions équatoriales sont très chaudes** car les rayons y tombent verticalement ou presque, chauffent le sol qui transmet à son tour la chaleur à l'air.
    - **formation d'une énorme masse d'air chaud, plus légère, qui monte à très haute altitude.**
  - froides :
    - au fur et à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur, le rayonnement devient de plus en plus oblique et même rasant aux pôles couvrant une plus grande surface qu'à l'équateur pour la même énergie émise.
    - de plus la calotte glaciaire est blanche et renvoie une partie des rayons infrarouges.
- Projeter le rayon d'une torche sur un mur ; la zone éclairée sera ronde et lumineuse ; si vous inclinez le rayon : la zone devient «ovale», plus grande et perd de son intensité.
- La même «quantité» de lumière se répartit sur une plus grande surface.
- **Formation d'une énorme masse d'air polaire**, plus lourde, qui s'éloigne du pôle à plus basse altitude et descend vers les zones équatoriales.
- Elles peuvent également se créer dans des zones plus petites, elles dépendent aussi des saisons, de la couverture nuageuse, de la nature du sol, de sa charge en vapeur d'eau...

#### TV 3 : DEPRESSIONS - ANTICYCLONES - PERTURBATIONS

- **Dépressions (fig.) :**
  - L'air chauffé par le sol devient plus léger et s'élève en créant un appel d'air à la base, c'est-à-dire une zone de basse pression appelée «dépression».
  - Ces dépressions sont inférieures à 1013 hectopascals, indiquées sur les cartes par des cercles, portant au centre un L comme Low : bas ou D comme Dépression.
  - Ces masses seront constituées d'air sec, humide, ou chargées parfois de particules (sable...), suivant la région où elles se sont formées.
    - Si l'air est humide, la vapeur d'eau peut se condenser en nuages si la température diminue fort.

● **Hautes Pressions ou anticyclones (fig.) :**

- L'air chaud est remplacé par de l'air plus frais plus lourd venant de l'extérieur, aspiré par l'appel d'air, créant une zone de surpression ou haute pression appelée anticyclone.
- Ces **Hautes Pressions** sont supérieures à **1013 hectopascals**, elles sont représentées par des cercles portant à l'intérieur la lettre **H** comme **High** : haut ou **A** comme **Anticyclone**.
  - On peut comparer la dépression à une grande excavation qui peut s'étendre sur plusieurs milliers de kilomètres et plus ou moins profonde.
  - L'anticyclone, au contraire peut être comparé à une colline ou une montagne plus ou moins élevée qui peut aussi s'étendre sur plusieurs milliers de kilomètres.
  - Elles peuvent être proches ou éloignées.
  - Si une pluie vient à tomber : l'eau dévalera vers la vallée ou l'excavation d'autant plus vite que les pentes sont raides : le sommet et le fond proches.
- **Représentation des pressions sur une carte : les isobares :** courbe représentant une même pression réduite au niveau de la mer.
- **Analogie terrestre :** les cartes terrestres de randonnée «ex-militaire» portent des séries de lignes : les courbes de niveau qui représentent un même niveau, une même altitude. Si on les parcourt on se déplace à l'horizontale. Elles portent un nombre qui donne l'altitude : «la cote». Si on pouvait couper un lieu géographique horizontalement, la découpe représenterait un même niveau.
  - **Entre chaque courbe, il y a une différence de hauteur; plus les courbes se rapprochent, plus la pente est raide.**
  - Un terril, sera représenté par une succession de cercles



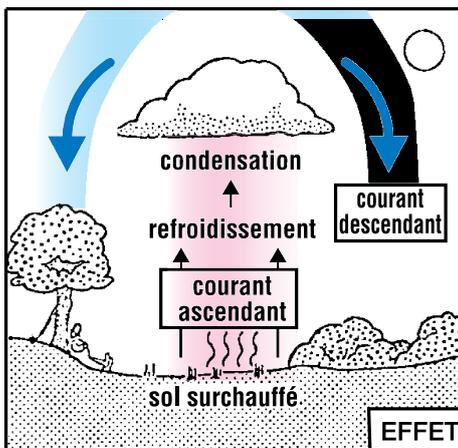
concentriques, de même une cuvette. La cote de niveau la plus basse se trouvera un centre de la cuvette sur le petit cercle intérieur et la plus haute au centre du terril dans le petit cercle indiquant le sommet.

○ **En météorologie :**

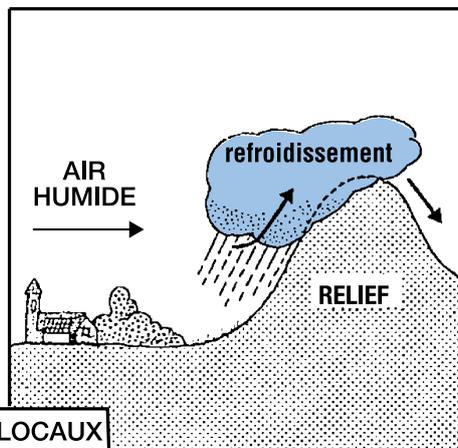
- Dans l'analogie, le terril représente l'anticyclone et la cuvette la dépression.
- Les courbes de niveau deviennent des isobares.
- La dépression et l'anticyclone sont représentés par ces isobares : lignes très sinueuses qui portent leur valeur en hectopascals ou en millibars : 1 hectopascal = 1 millibar.
- En lisant la valeur de 2 isobares on sait situer le direction vers les basses et les hautes pressions.

● **Déplacement de l'air dans une perturbation :**

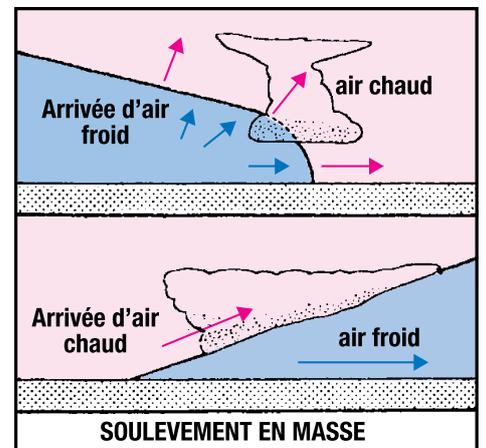
**3 TYPES DE SOULÈVEMENTS CLASSIQUES D'UNE MASSE D'AIR ENTRAÎNANT UN REFROIDISSEMENT PAR «DÉTENTE»**



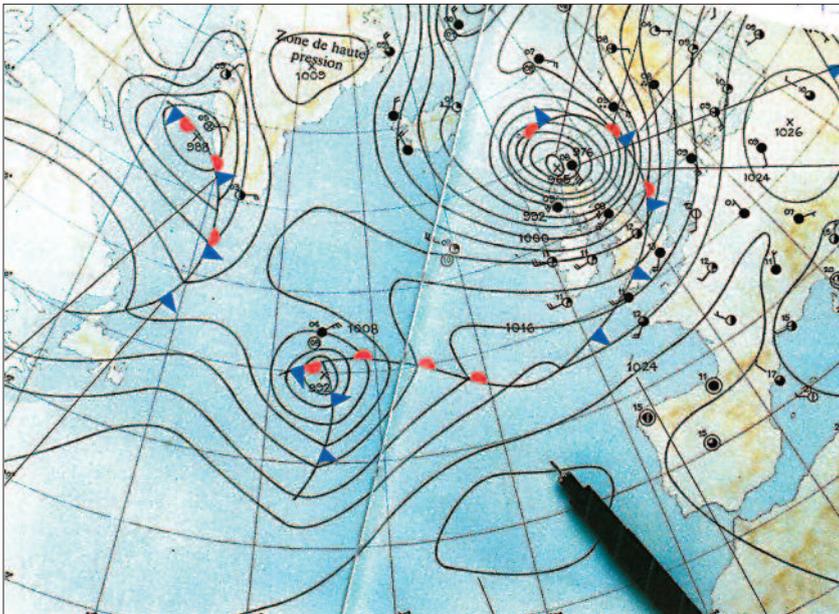
1. - **Soulèvement par convection THERMIQUE :** ce phénomène est typique en été, il apparaît surtout en cours d'après-midi lorsque le sol est bien chauffé par le soleil.



2. - **Soulèvement par un RELIEF :** la masse d'air perd une grande partie de son humidité sur le versant «au vent» de la montagne (Voir effet de foehn).



3. - **Soulèvement quand deux masses d'air de températures différentes se rencontrent : FRONTS.** Dans les deux cas, l'air chaud plus léger est rejeté en altitude.



- La pression de 1013 est souvent tracée en ligne plus grasse.
- Comme pour les courbes de niveau : plus les isobares sont proches, plus le vent sera fort.

● **Perturbations :**

- ensemble de phénomènes atmosphériques : vents, nuages, pluie accompagnant la rencontre de deux masses d'air différentes.
- Ces masses homogènes se déplacent, se rencontrent mais ne se mélangent pas, elles sont en conflits permanents.
  - Si vous versez un liquide froid dans un chaud : lait glacé dans café ou thé (pour la transparence) le lait ne se mélangera pas et descendra au fond de la tasse.
  - Il faudra mélanger activement pour supprimer la différence de température.

**TV4 : LA DIRECTION ET LA VITESSE DES VENTS DANS UNE PERTURBATION**

● Déplacement de l'air dans une perturbation : (fig.)

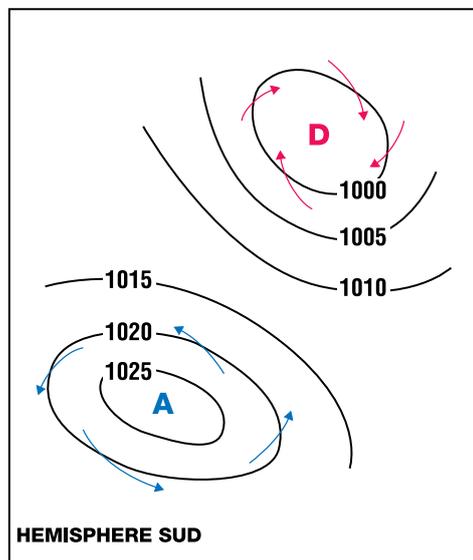
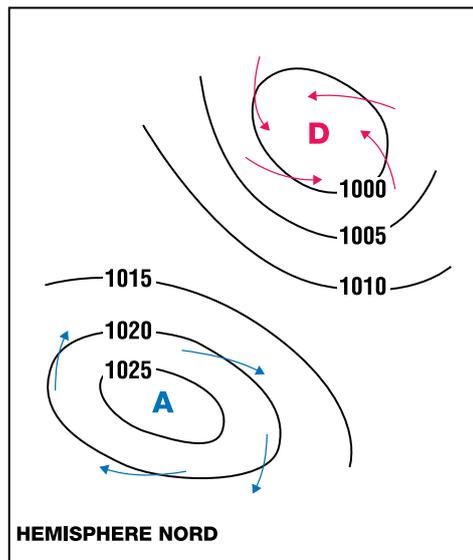
- La masse d'air devrait se déplacer, en ligne droite, du centre de la haute pression vers le centre de la dépression et la combler rapidement.
- Mais la terre tourne et sa rotation développe une force qui dévie le vent vers la droite de sa trajectoire dans l'hémisphère nord. (Et l'inverse dans l'hémisphère sud – C'est la force de Coriolis).

○ **Anticyclone (dans l'hémisphère Nord) :**

- le vent quitte l'anticyclone,
- est dévié vers la droite de sa trajectoire,
- en s'éloignant petit à petit en tournant dans le sens des aiguilles d'une montre,
- de l'intérieur vers l'extérieur,
- du sommet vers la base.

○ **Dépression :**

- le vent qui vient combler la dépression, n'y entre pas en ligne droite,
- il est dévié vers sa droite,



- il tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre en se rapprochant du centre et en comblant la dépression.

● **Direction du vent météorologique ou synoptique**

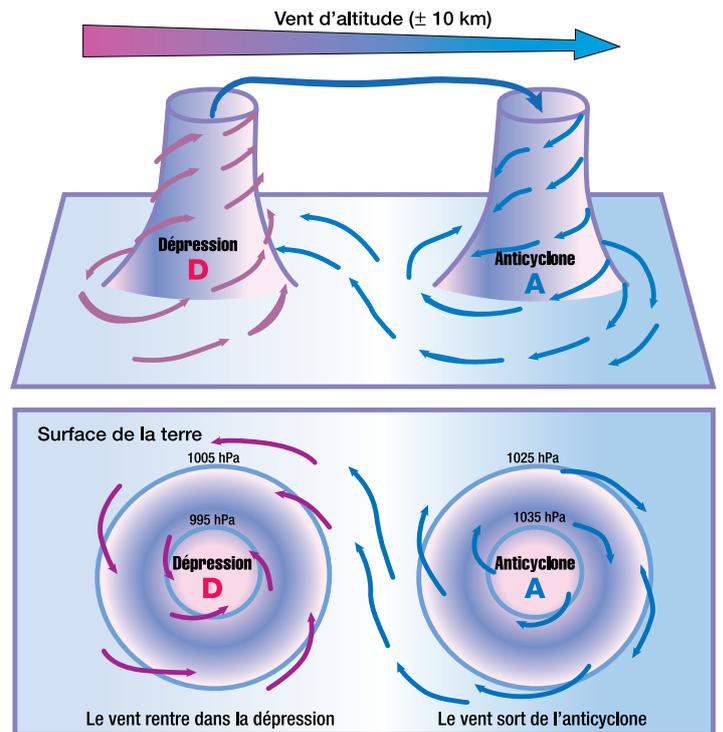
- La direction est toujours annoncée par sa provenance : on parle de vent du N : vient du nord, de SW : vient du Sud-Ouest, etc...
- La flèche qui le représente indique la direction vers où il souffle, il arrive qu'il n'y ait pas de flèche notamment sur certains fichier grib, les barbules d'intensité, dans ce cas, indiquent l'origine du vent et donc la direction.
- On peut la déterminer de manière simple, une girouette dotée ou non d'un compas, une faveur flottant au vent, les voiles non bordées, les pavillons, les rides sur l'eau, la sensation sur le visage...
- La direction sera fonction de l'interaction entre les centres de HP et BP :
  - de leurs positions l'un par rapport à l'autre : HP à l'W de BP donne un vent du N mais HP à l'E de BP donne un vent du S.
  - de même pour toutes les autres directions
  - de la résultante de l'influence de plusieurs zones de BP et de HP qui se perturbent mutuellement : «Perturbation complexe» disent les météorologues.

● **Vitesse du vent météorologique ou synoptique.**

- Mesure.
  - Un anémomètre, souvent groupé avec une girouette. Il en existe plusieurs modèles dont la petite roue horizontale avec des cupules, une hélice...
  - Avec l'habitude on finit par déterminer, avec une très bonne approximation, la vitesse du vent en regardant les rides sur l'eau, en écoutant le bruit des pavillons, des voiles, des haubans, en ressentant les effets sur le visage...
- Unité de mesure :
  - Le kilomètre parcouru par heure (km/h),
  - le mètre parcouru par seconde (m/sec.). Unité légale, facile à traduire pour un marin puisque  $m/s = 2N$ .
  - le mille nautique (1852 m) par heure : le nœud. (Utilisé également par l'aviation),
  - les degrés de l'échelle de BEAUFORT. (Voir Technique Voile) (Sir Francis Beaufort - 1774/ 1851 - Amiral anglais qui créa une échelle (en 1806) qui associe l'état de la mer et la vitesse du vent de 0 à 12.

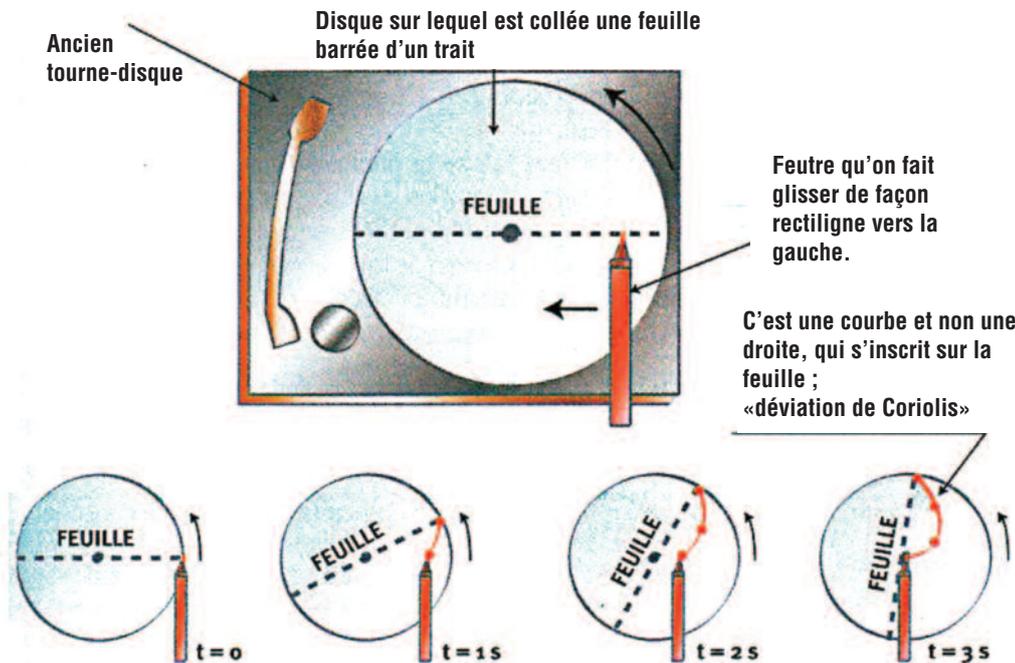
● **Origine :**

- la différence des pressions entre l'anticyclone et la dépression,
  - plus elle est élevée, plus le vent forcé,
- la distance des centres de HP et BP
  - plus elle est courte, plus le vent est fort.



- Il existe une corrélation entre la différence de la pression et la distance des deux centres, qui donne la vitesse et la direction.

**Démonstration expérimentale de la déviation de Coriolis**

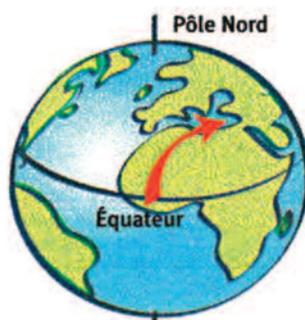


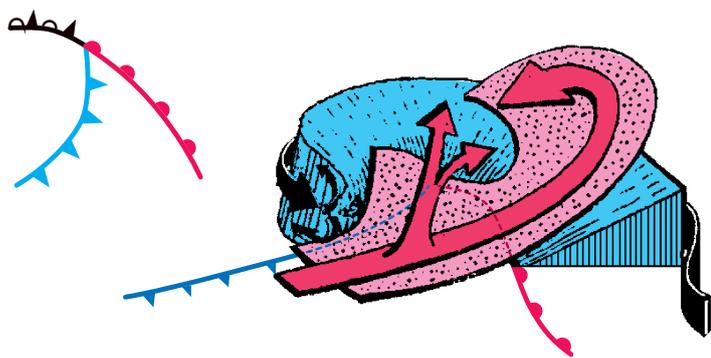
*Vous déplacez la pointe du feutre suivant une ligne droite, mais c'est une courbe qui s'inscrit sur la feuille.*

*La trajectoire est déviée vers la droite.*

*On reproduit expérimentalement la déviation, à cause de son inertie, d'un missile ou d'une masse d'air qui se dirigerait de l'équateur vers le pôle nord.*

Un missile envoyé vers le pôle Nord est dévié à droite par la force de Coriolis





- Loi de Buys-Ballot (Hollande 1817-1890) :
- Dans notre hémisphère : si on se met face au vent réel : la HP (sens horlogique) se trouve à gauche et la BP (sens anti-horaire) à droite.
- Conséquences des vents :
  - Ces déséquilibres créent des brassages, des déplacements d'air.
  - Les vents diminuent le contraste entre les masses d'air qui se rencontrent, en les mélangeant.
  - Cette action se fait avec l'aide des courants marins.
  - Les températures se redistribuent à hauteur des zones tempérées.
- On estime qu'en l'absence de ces échanges de chaleur, les zones équatoriales seraient plus chaudes qu'actuellement de 20° et les zones polaires plus froides de 50°. (J.L. Vallée – Nathan).
- En gros, 50% du transfert thermique se fait sous deux formes : l'air chaud tropical et la vapeur d'eau qu'il contient. En se condensant au contact d'air plus frais, elle participe au refroidissement de la masse qui l'hébergeait.

- Les 50 autres % sont transportés par les courants marins chauds ou froids.
- Ces perturbations que nous subissons sont souvent formées par des dépressions qui naissent sur la côte Est des Etats-Unis (golfe du Mexique, Floride) et traversent l'atlantique pour y rencontrer des masses froides à notre latitude.
- vents : la brise de mer, la brise de terre, brise de lac (basée sur le retard de réchauffement ou le refroidissement de la terre plus rapide que celui de l'eau), le Mistral, le ponant, la Tramontane, la Bise..... toujours formés par la présence d'une confrontation des masses d'air de températures différentes, entre le chaud et le froid, la présence d'humidité ou non..., la dépression et l'anticyclone.

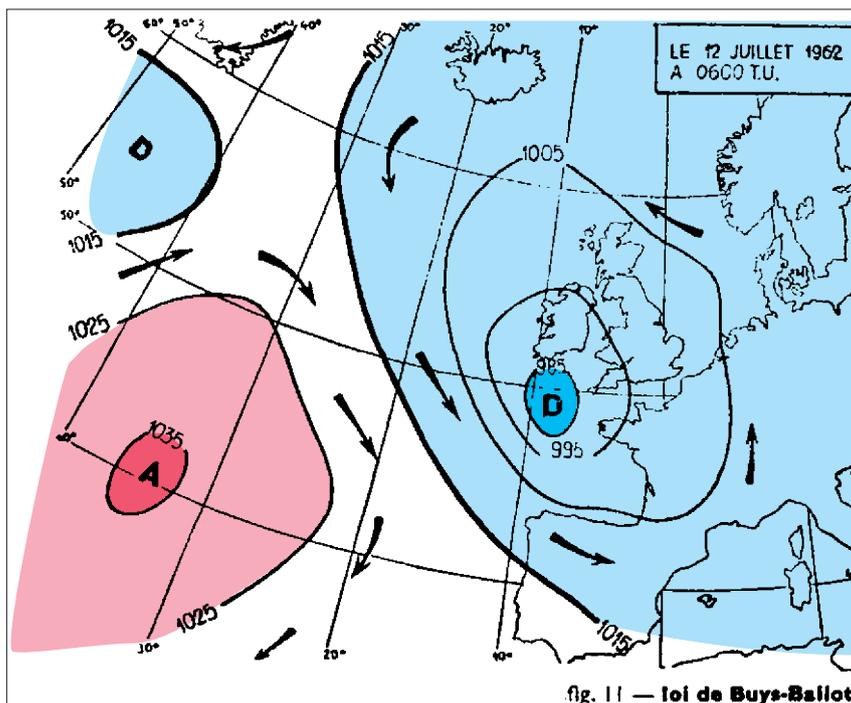


fig. 11 — loi de Buys-Ballot

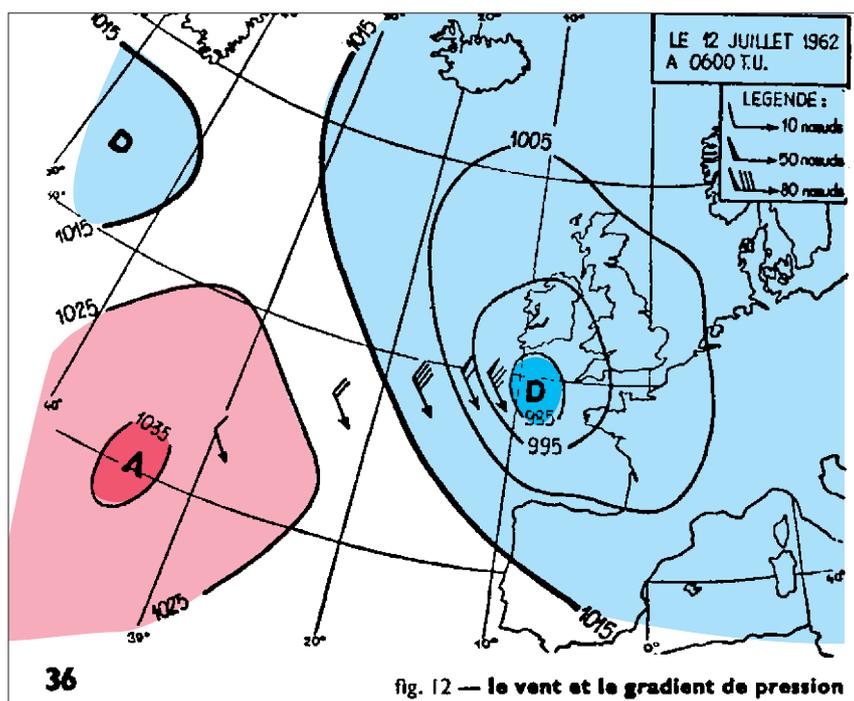


fig. 12 — le vent et le gradient de pression

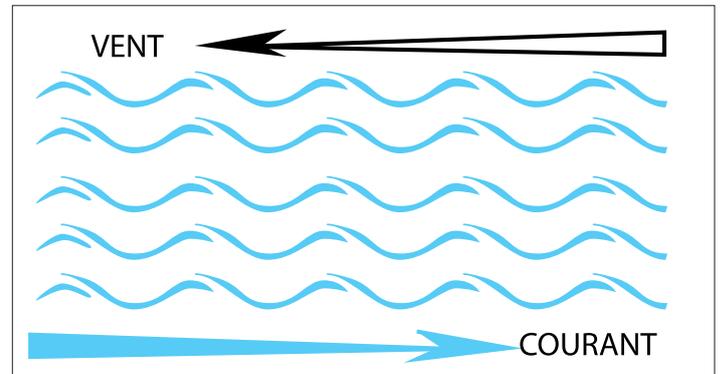
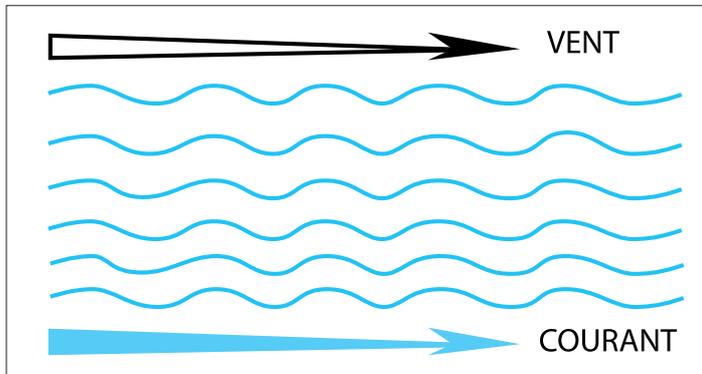
- D'autres types de dépressions dangereuses existent et fonctionnent de la même manière : elles sont très localisées, avec des vents beaucoup plus forts : des trombes et des tornades qu'on rencontre chez nous, des tempêtes tropicales, cyclones et ouragans qui naissent en zone équatoriale humides.

Les bulletins météorologiques sont devenus très clairs, bien expliqués avec l'aide d'images satellites animées qui matérialisent mieux les phénomènes de création des zones de basse-pression et des zones de haute-pression, l'écoulement de l'air, ce brassage énorme des masses d'air et la naissance du vent synoptique qui nous intéressent fortement, ainsi que l'évolution à court terme.

**TV5 : SYMBIOSE DU VENT ET DE L'EAU**

● **Variations locales du vent :**

- En un même lieu, la vitesse du vent varie avec la hauteur : elle est moins grande au ras de l'eau qu'à 10 mètres de haut. (Provoqué par le frottement de l'air sur l'eau – Important pour la coupe, le vrillage et le réglage des voiles). On estime qu'à 100 mètres d'altitude, le vent ne subit plus l'effet de la terre ou de la mer.

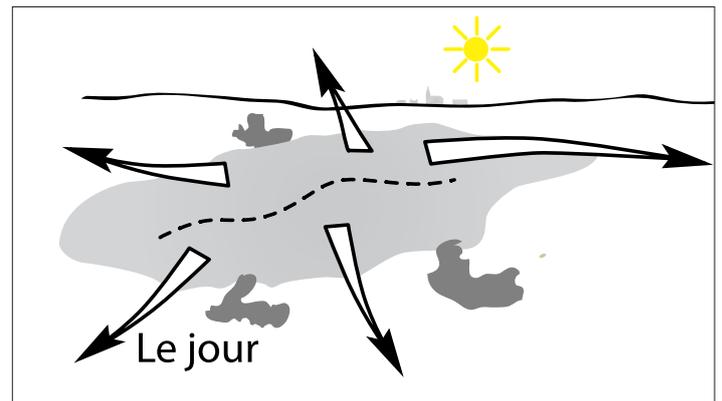
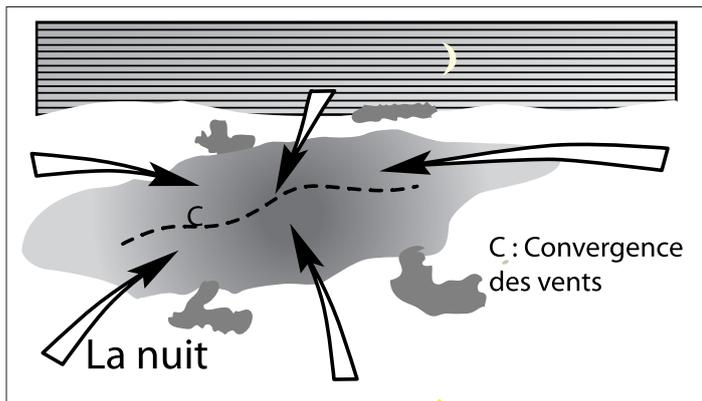


l'eau s'appelle le «fetch». La hauteur des vagues sera fonction de la surface de la zone d'action, de la force du vent, de la durée de l'action, de la profondeur et d'un éventuel courant dans le sens du vent ou à contre.

- La mer devient plus dure et dangereuse si le fond se relève et qu'un courant contraire au vent existe.
- L'échelle de Beaufort part de la vitesse du vent, l'échelle de

- La position du soleil qui glisse vers la droite (lui est fixe, c'est la terre qui tourne d'W en E) et le vent qui le suit.

- Douglas indique la hauteur des vagues en fonction du vent.
- Sur nos plans d'eau, les rides, les vagues et les petits moutons donnent des renseignements sur la force du vent.



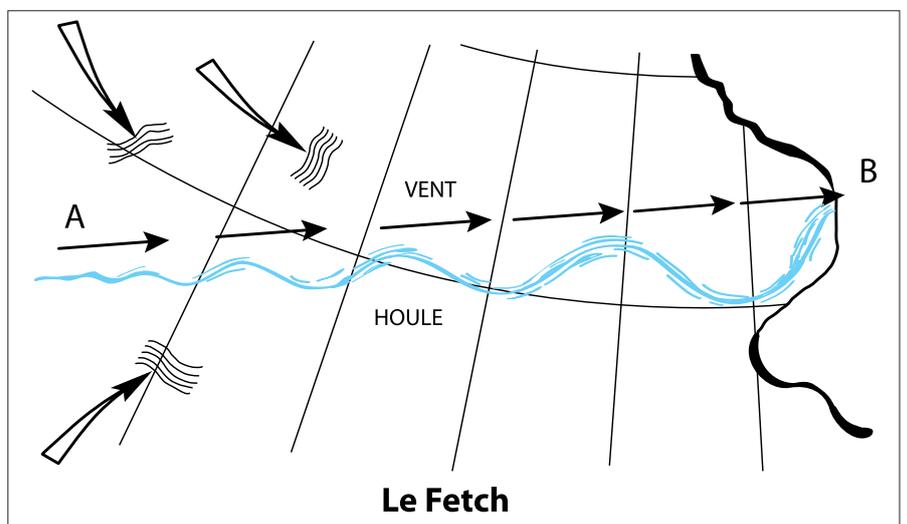
● **la configuration du plan d'eau,**

- son orientation, dans l'axe ou travers au vent,
- son voisinage en relief ou non, effet «Venturi» dans les rétrécissements, vent rabattant...
- le passage de nuages, qui modifient la force et l'orientation du vent en quelques instants, (attention aux cumulus en colonne avec une tête d'enclume (cumulonimbus) en fin d'une journée chaude... Ils sont de mini-dépressions puissantes avec des vents antihoraires).

Ces changements peuvent être très rapides !

● **Influence sur l'eau :**

- Le vent transmet son énergie à l'eau et des ondes se forment. Le mécanisme de la formation des ondes de surface a été analysé par H. LAMPS (Cambridge 1932). Pour information : la distance d'action du vent sur



## Echelle de Beaufort

Chiffre Beaufort	Vitesse du vent moyen		Terme descriptif du vent		Etat de la mer	
	nœuds	km/h				
<b>0</b>	0 - 1	0 - 1	Calme	La fumée s'élève verticalement.	Calme	Comme un miroir.
<b>1</b>	1 - 3	1 - 5	Très légère brise	La direction du vent est révélée par l'entraînement de la fumée, mais non par les girouettes.	Calme	Quelques rides.
<b>2</b>	4 - 6	6 - 11	Légère brise	Les feuilles frémissent.	Belle	Vaguelettes ne déferlant pas.
<b>3</b>	7 - 10	12 - 19	Petite brise	Feuilles et petites branches constamment agitées.	Peu agitée	Les moutons apparaissent.
<b>4</b>	11 - 16	20 - 28	Jolie brise	Le vent soulève la poussière.	Agitée	Petites vagues, nombreux moutons.
<b>5</b>	17 - 21	29 - 38	Bonne brise	Les arbustes en feuilles commencent à se balancer.	Assez forte	Vagues modérées, moutons, embruns.
<b>6</b>	22 - 27	39 - 49	Vent frais	Les grandes branches sont agitées : les fils télégraphiques font entendre un sifflement.	Forte	Lames, crête d'écume blanche : embruns.
<b>7</b>	28 - 33	50 - 61	Grand frais	Les arbres sont agités en entier.	Très forte	Lames déferlantes, traînées d'écume.
<b>8</b>	34 - 40	62 - 74	Coup de vent	Le vent casse les rameaux.	Grosse	Tourbillons d'écume à la crête de lames, traînées d'écume.
<b>9</b>	41 - 47	75 - 88	Fort coup de vent	Le vent occasionne de légers dommages aux habitations.	Très grosse à énorme	Lames grosses à énormes. Visibilité réduite par les embruns.
<b>10</b>	48 - 55	89 - 102	Tempête	Rare à l'intérieur des terres : arbres déracinés ; importants dommages aux habitations.		
<b>11</b>	56 - 63	103 - 117	Violente tempête	Très rarement observé : s'accompagne de ravages étendus.		
<b>12</b>	64 et plus	118 et plus	Ouragan			

## Echelle de Beaufort

Force Beaufort	Terme descriptif	Vitesse moyenne du vent			Vagues hauteur probable en mètres (°)	Effets sur la mer	
		en nœuds	en m/s	en km/h		au large	près des côtes
<b>0</b>	Calmé	< 1	0 - 0,2	< 1	—	La mer est comme un miroir.	Calmé.
<b>1</b>	Très légère brise	1 - 3	0,3 - 1,5	1 - 5	0,1 (0,1)	Il se forme des rides ressemblant à des écailles de poisson, mais sans aucune écume.	Les barques de pêche ont juste un peu d'erre.
<b>2</b>	Légère brise	4 - 6	1,6 - 3,3	6 - 11	0,2 (0,3)	Vaguelette, courtes encore, mais plus accusées ; leurs crêtes ont une apparence vitreuse, mais elle ne déferlent pas.	Le vent gonfle la voilure des barques qui filent environ de 1 à 2 nœuds.
<b>3</b>	Petite brise	7 - 10	3,4 - 5,4	12 - 19	0,6 (1)	Très petites vagues : les crêtes commencent à déferler ; écume d'aspect vitreux ; parfois quelques moutons épars.	Les barques commencent à gîter et filent de 3 à 4 nœuds.
<b>4</b>	Jolie brise	11 - 16	5,5 - 7,9	20 - 28	1 (1,5)	Petites vagues devenant plus longues ; moutons franchement nombreux.	Jolie brise efficace ; les barques portent toute leur toile et prennent une bonne gîte.
<b>5</b>	Bonne brise	17 - 21	8,0 - 10,7	29 - 38	2 (2,5)	Vagues modérées prenant une forme plus nettement allongées ; naissance de nombreux moutons (éventuellement des embruns).	Les barques diminuent leur voilure.
<b>6</b>	Vent frais	22 - 27	10,8 - 13,8	39 - 49	3 (4)	Des lames commencent à se former ; les crêtes d'écume blanche sont partout plus étendues (habituellement quelques embruns).	Les barques prennent deux ris à la grande voile ; la pêche exige des précautions.
<b>7</b>	Grand frais	28 - 33	13,9 - 17,1	50 - 61	4 (5,5)	La mer grossit, l'écume blanche qui provient des lames déferlantes commence à être soufflée en traînées qui s'orientent dans le lit du vent.	Les barques restent au port ; celles qui sont en mer gagnent leur mouillage.
<b>8</b>	Coup de vent	24 - 40	17,2 - 20,7	62 - 74	5,5 (7,5)	Lames de hauteur moyenne et plus allongées ; du bord supérieur de leurs crêtes commencent à se détacher des tourbillons d'embruns ; l'écume est soufflée en très nettes traînées orientées dans le lit du vent.	Toutes les barques rallient le port s'il est proche.
<b>9</b>	Fort coup de vent	41 - 47	20,8 - 24,4	75 - 88	7 (10)	Grosse lames, épaisses traînées d'écume dans le lit du vent ; les crêtes des lames commencent à vaciller, s'écrouler et déferler en rouleaux ; les embruns peuvent réduire la visibilité.	
<b>10</b>	Tempête	48 - 55	24,5 - 28,4	89 - 102	9 (12,5)	Très grosses lames à longues crêtes en panache ; l'écume produite s'agglomère en larges bancs et est soufflée dans le lit du vent en épaisses traînées blanches ; dans son ensemble, la surface des eaux semble blanche ; le déferlement en rouleaux devient intense et brutal ; la visibilité est réduite.	
<b>11</b>	Violente tempête	56 - 63	28,5 - 32,6	103 - 117	11,5 (16)	Lames exceptionnellement hautes (les navires de petit et moyen tonnage peuvent par instants être perdus de vue) ; la mer est complètement recouverte de bancs d'écume blanche allongés dans la direction du vent ; partout le bord des crêtes des lames est soufflé et donne de la mousse ; la visibilité est réduite.	
<b>12 à 17</b>	Ouragan	> 64	> 32,7	> 118	> 14 (—)	L'air est plein d'écume et d'embruns ; la mer est entièrement blanche du fait des bancs d'écume dérivante ; la visibilité est très fortement réduite.	

# MATIÈRES FAISANT PARTIE DU BREVET A

## 2<sup>me</sup> partie – ORIGINES DU VENT

### Chapitre II – LE VENT REEL ET SES COMPOSANTES

#### TV 6 : REPRESENTATION DU VENT REEL - APPRENDRE A L'ESTIMER

Le vent réel est celui relevé par un objet immobile par rapport au sol ou à l'eau .

● **La direction du vent :** (*Rappel : cfr TV2*).

- La direction du vent est toujours indiquée par sa provenance en citant les points cardinaux ou les degrés : vent du Nord (au 360) : il vient du Nord, du SW (au 225), de l'E., etc...
- Une girouette dotée ou non d'un compas, les voiles non bordées, les pavillons, les rides sur l'eau, la sensation sur le visage....
- Dans l'hémisphère Nord : l'air sort de l'anticyclone en tournant à droite, le sens horlogique et va combler la dépression voisine (parfois à des milliers de km !!!) en tournant vers la gauche, le sens anti-horaire. (*voir TV2*).
- Pour un individu, face au vent : la dépression se trouve à droite et l'anticyclone à gauche. (Buys-Ballot).

● **La vitesse du vent :** (*Rappel : cfr TV2*)

- Un anémomètre, souvent groupé avec une girouette. Il en existe plusieurs modèles dont la petite roue horizontale avec des cupules, une hélice, ....
  - Avec l'habitude on finit par déterminer, avec une très bonne approximation, la vitesse du vent en regardant les rides sur l'eau, en écoutant le bruit des pavillons, des voiles, des haubans, en ressentant les effets sur le visage...

○ Unité de mesure :

- Le kilomètre parcouru par heure (km/h),
  - le mètre parcouru par seconde (m/sec.), unité légale, facile à traduire pour un marin puisque  $m/s=2N$ .
  - **le mile nautique (1852 m.) par heure : le nœud.** (Utilisé également par l'aviation),
  - les degrés de l'échelle de BEAUFORT . (Sir Francis Beaufort - 1774/ 1851 - Amiral anglais qui créa une échelle en 1806 qui associe l'état de la mer et la vitesse du vent de 0 à 12).
- La Représentation vectorielle : (*Rappel cfr memento Physique Générale MEC 14*)
- Par un vecteur placé « comme une girouette en tête de mât),
    - ayant une direction : l'axe du vent météorologique,
    - un sens : celui du vent, le point d'application du vecteur placé sur le mât (comme la girouette placée en tête de mât) et la flèche indiquant la direction du vent, il arrive qu'il n'y ait pas de flèche, les barbules d'intensité, dans ce cas, indiquent l'origine du vent et donc la direction.
    - une grandeur : définie par une par une échelle établissant une correspondance entre la longueur du vecteur et l'intensité qu'il représente.

Chiffre «S»	Signification	Hauteur moyenne des vagues (les + grosses) en mètres
<b>0</b>	calme (sans ride, mer d'huile)	0,00 à 0,10
<b>1</b>	calme (ridée)	0,00 à 0,10
<b>2</b>	belle (vaguelettes)	0,10 à 0,50
<b>3</b>	peu agitée	0,50 à 1,25
<b>4</b>	agitée	1,25 à 2,50
<b>5</b>	forte	2,50 à 4
<b>6</b>	très forte	4 à 6
<b>7</b>	grosse	6 à 9
<b>8</b>	très grosse	9 à 14
<b>9</b>	énorme	+ de 14 m

Tableau de conversion des mètres par seconde en kilomètres par heure et nœuds					
Mètres par seconde	Kilomètres par heure	Nœuds	Mètres par seconde	Kilomètres par heure	Nœuds
1	3,6	2	16	57,6	31,1
2	7,2	3,9	17	61,2	33,0
3	10,8	5,8	18	64,8	35,0
4	14,4	7,8	19	68,4	36,9
5	18,0	9,7	20	72,0	38,8
6	21,6	11,7	21	75,6	40,8
7	25,2	13,6	22	79,2	42,7
8	28,8	15,6	23	82,8	44,7
9	32,4	17,4	24	86,4	46,6
10	36,0	19,4	25	90,0	48,6
11	39,6	21,4	26	93,6	50,6
12	43,2	23,3	27	97,2	52,4
13	46,8	25,2	28	100,8	54,4
14	50,4	27,2	29	104,4	56,3
15	54,0	29,1	30	108,0	58,3

**Remarque :** le nœud est égal à : 1 mille marin à l'heure, soit 1.852 mètres à l'heure, soit sensiblement 0,5 mètre par seconde.

## Echelle de Beaufort

Force	Sur terre	Sur mer	Moyenne des hauteurs des vagues (sur 1.000)	Sur les bateaux en promenade ou en croisière	Force	Sur terre	Sur mer	Moyenne des hauteurs des vagues (sur 1.000)	Sur les bateaux en promenade ou en croisière
<b>0</b>	Les fumées montent à la verticale.	Mer plate, sans rides, comme un miroir.	0	Idéal pour les bateaux à moteur.	<b>6</b>	Tous les arbres s'agitent, les fils télégraphiques sifflent violemment.	Grandes vagues avec de l'écume sous les crêtes. Quelques embruns.	3 m	Sauf les grosses vedettes, les bateaux à moteur doivent être à l'abri. Sur les petits dériveurs on navigue avec la grand voile arisée. Sur les petits croiseurs on porte la grand voile à 2 ris et le foc n° 2. Sur les gros bateaux, la grand voile est arisée et les focs réduits.
<b>1</b>	Les feuilles des arbres s'agitent.	Légères rides sans crête.	0,1 m	Les voiliers commencent à se déhaler.					
<b>2</b>	Les pavillons se déploient.	Vaguelettes avec des crêtes vitreuses, la mer se fonce.	0,2 m	Les dinghies à moteur cognent dans le clapot, sur les petits cruiseurs les mouvements sont encore agréables, sur les dériveurs les équipiers sont assis au vent. Les voiliers de croisière portent toute leur voilure avec les génois légers.					
<b>3</b>	Les longues branches commencent à bouger.	Petites vagues avec crêtes déferlantes. Apparition de quelques moutons.	0,6 m	Les dinghies à moteur réduisent leur vitesse. Sur les dériveurs les équipiers commencent à faire du rappel. Les génois légers sont remplacés par de plus lourds.	<b>7</b>	Les arbres sont fortement agités.	Les crêtes brisent, les embruns volent dans l'air en formant des traînées.	4 m	Les grosses vedettes se mettent à la cape, si elles n'ont pu s'abriter. Les dériveurs sont sous grand voile seule arisée ou foc seul. Les gros bateaux font route sous grand voile à 3 ris et tourmentin.
					<b>8</b>	Des branches d'arbres sont arrachées, les volets claquent, des petites branches et des objets légers sont emportés.	Les crêtes sont transformées en rouleaux, de longues mèches d'écume sont arrachées par le vent.	5,5 m	Seuls les gros voiliers peuvent encore tenir la mer, mais la plupart sont à la cape ou en fuite.
<b>4</b>	Les peupliers commencent à bouger, la poussière vole.	Les vagues s'allongent, les moutons sont plus nombreux.	1 m	Les dinghies à moteur doivent rentrer. Les mouvements sur les petits cruiseurs commencent à être désagréables. Sur les dériveurs les équipiers font le maximum de rappel, ils sont au trapèze. Sur les croiseurs on change les génois contre les focs et on prend un ris.	<b>9 et 10</b>	Les cheminées sont abattues, les petits arbres sont déracinés les toitures peuvent être endommagées.	Les vagues sont de plus en plus fortes, déferlent partout, la visibilité est réduite par les embruns qui emplissent l'air. L'écume se forme en grands bancs dans le lit du vent.	7 à 9 m	Il devient dangereux de tenir la mer. Les gros paquebots se mettent à la cape ou en fuite.
					<b>11 et 12</b>	Les arbres sont arrachés, les toitures emportées. Les digues sont défoncées par des raz-de-marée. Dans les ports les bateaux arrachent leurs amarres.	La mer est toute blanche, les bancs d'écume dérivent dans le vent. Les navires petits et moyens disparaissent par moment derrière les vagues. La visibilité est très réduite.	11 à 14 m	Les grands bateaux peuvent subir des avaries dans leurs superstructures.

● Le Mile Marin : 1852 mètres (La marine utilise aussi le terme «nautique»).

○ Les grands cercles, appelés **méridiens**, passent par les deux pôles, mesurent toujours 40.000 km au contraire des **parallèles** dont la longueur diminue au fur et à mesure qu'ils s'éloignent de l'équateur... et vice versa.

○ Valeur :

- 360° mesurent 40.000 km.
- 1° d'arc mesure 40.000 : 360° = 111.111 km.
- Comme 1° = 60' (minutes).
- 1' d'arc mesure 111.111 : 60 : 1851,85... 1852 mètres.

○ (Pour information :

- le Nautical Mile anglais : 1853,184 :
- le Nautical Mile (US) 1853,249 m.)

○ La vitesse d'un mobile qui se déplace d'un mile marin par heure a une vitesse de 1 nœud... ou de 1,852 km/h. (Voir les correspondances dans les tableaux).

### TV 7 : LE VENT DE VITESSE : (VV)

- Quand il n'y a pas de vent réel : c'est le mobile qui se déplace dans l'air et ses particules ; il se crée un vent artificiel.
  - Caractéristiques du vent de vitesse en dehors d'un vent météorologique :
    - Il vient toujours de la direction opposée au déplacement
  - La représentation sur le voilier :
    - Les conditions :
      - pas de vent réel,
      - bateau se déplaçant par traction, à la pagaille, go-dille,...
- Le point d'application au mât, centre vélique (MEC 12).
  - La direction dans l'axe de la route du bateau.
  - Le sens à l'inverse du déplacement.
  - La grandeur égale à la vitesse, définie par la même échelle que celle du vent réel (VR).

### TV 8 : LE VENT APPARENT : (VA)

- C'est le vent qui est le moteur du voilier, qui agit sur les voiles, indiqué par la girouette du bord, les penons...
- C'est le vent résultant de la composition du vent réel et du vent de vitesse.
- On le détermine en utilisant la méthode du parallélogramme des forces. (memento MEC 14).
- Le VA varie en direction et en force en fonction des variations des VR et VV.

### TV 9 : LES VARIATIONS DU VENT APPARENT.

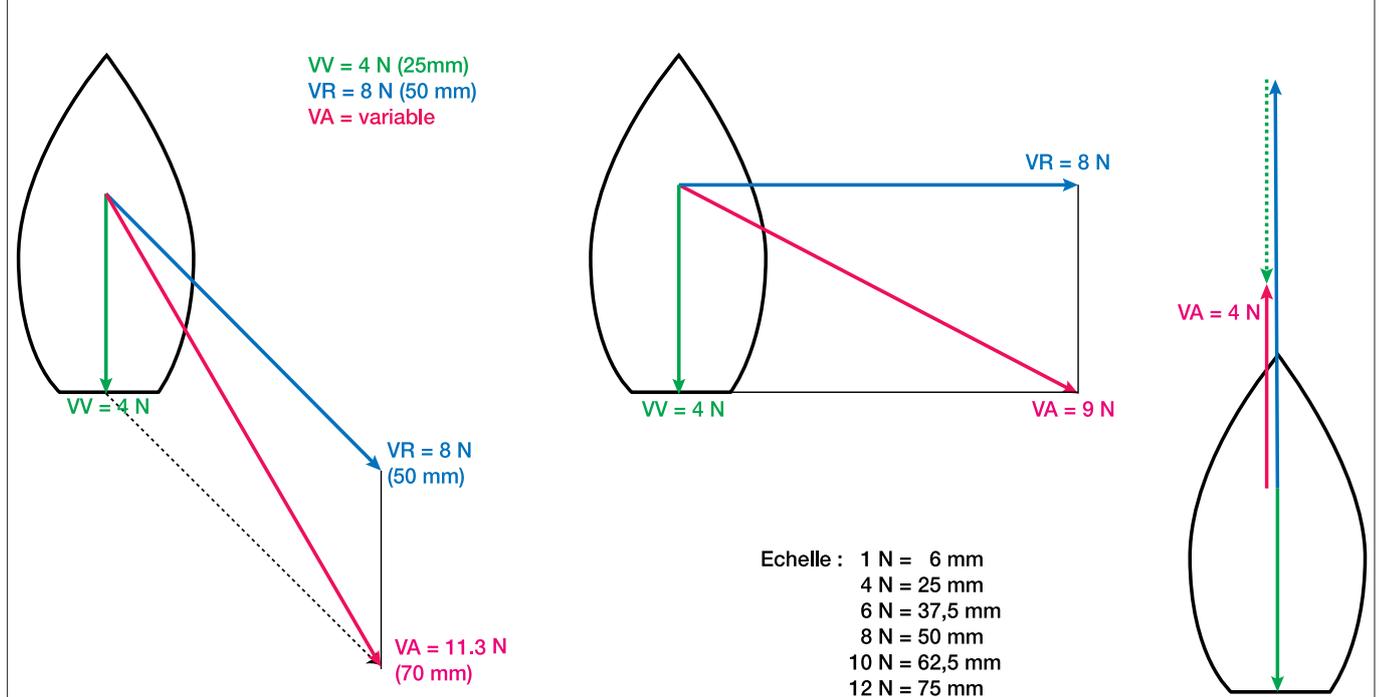
Ces situations sont imaginées pour découvrir le rôle de chaque force active en séparant les influences relationnelles entre elles.

● **Cas fictif N° 1 : A différentes allures. (VR et VV constants.)**

- L'échelle : VR = 50mm (8 nœuds); VV = 25mm.(4 nœuds)

- Observation :
  - Le VA diminue rapidement du Près au Travers.
  - Au-delà du Travers, la diminution est moins rapide
  - Concernant le vent debout, cela ne nous concerne pas à moins d'être tracté ou pour culer.
- En exercice :
  - Faites la même chose mais Tribord Amures. (TBA)

**Cas fictif N° 1: Variation du VA en fonction de l'allure**

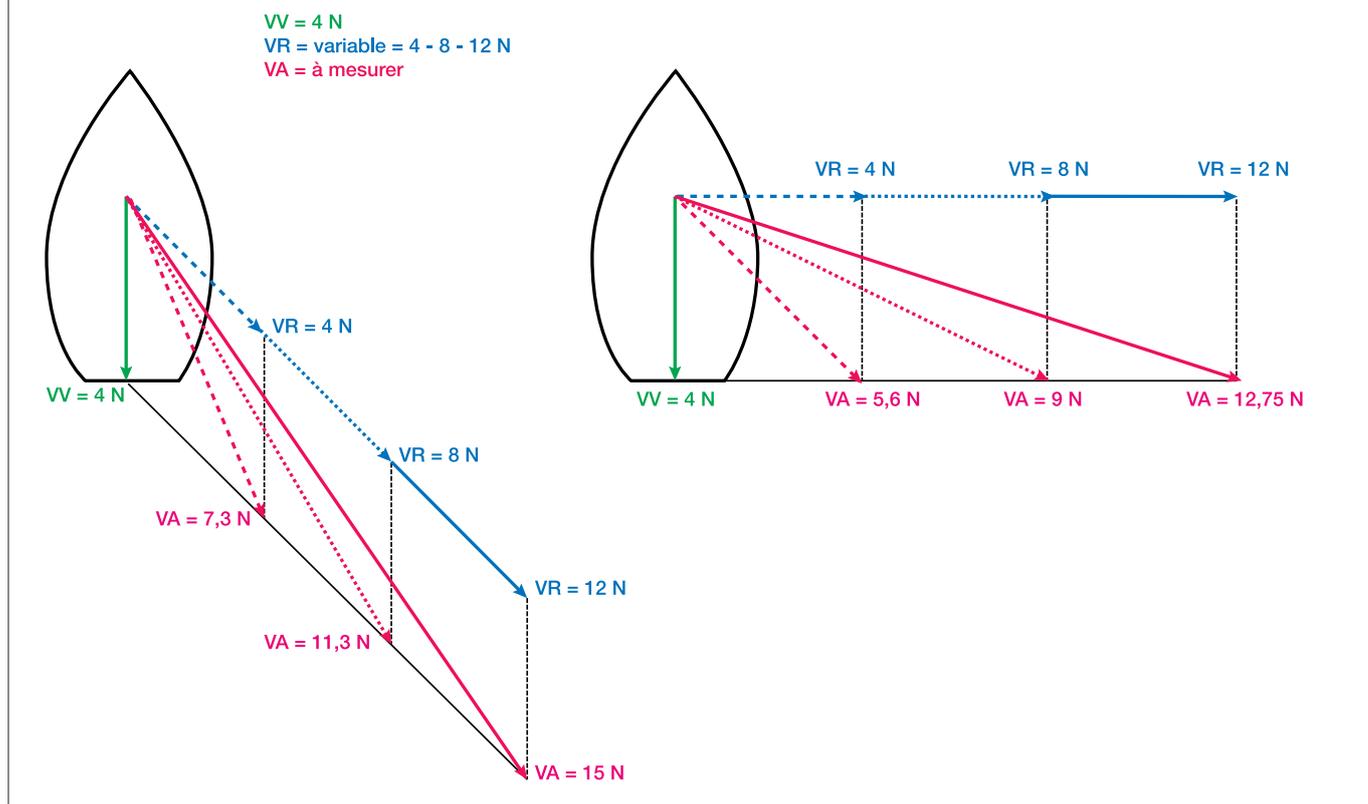


- On dessine la composition du vent apparent (VA), somme du VR et du VV dans les allures suivantes :

- I. Bout au vent, tracté par un moteur au moteur
- II. Bâbord (BBA) Amures au près (45°)
- III. Idem au travers (90°)
- IV. Idem au grand large (75°)
- V. Idem vent arrière

● **Cas fictif N° 2 – VR varie en accélérant ou en ralentissant, VV est constant.**

**Cas fictif N° 2 : Variation du VA en fonction du VR**



○ Observations :

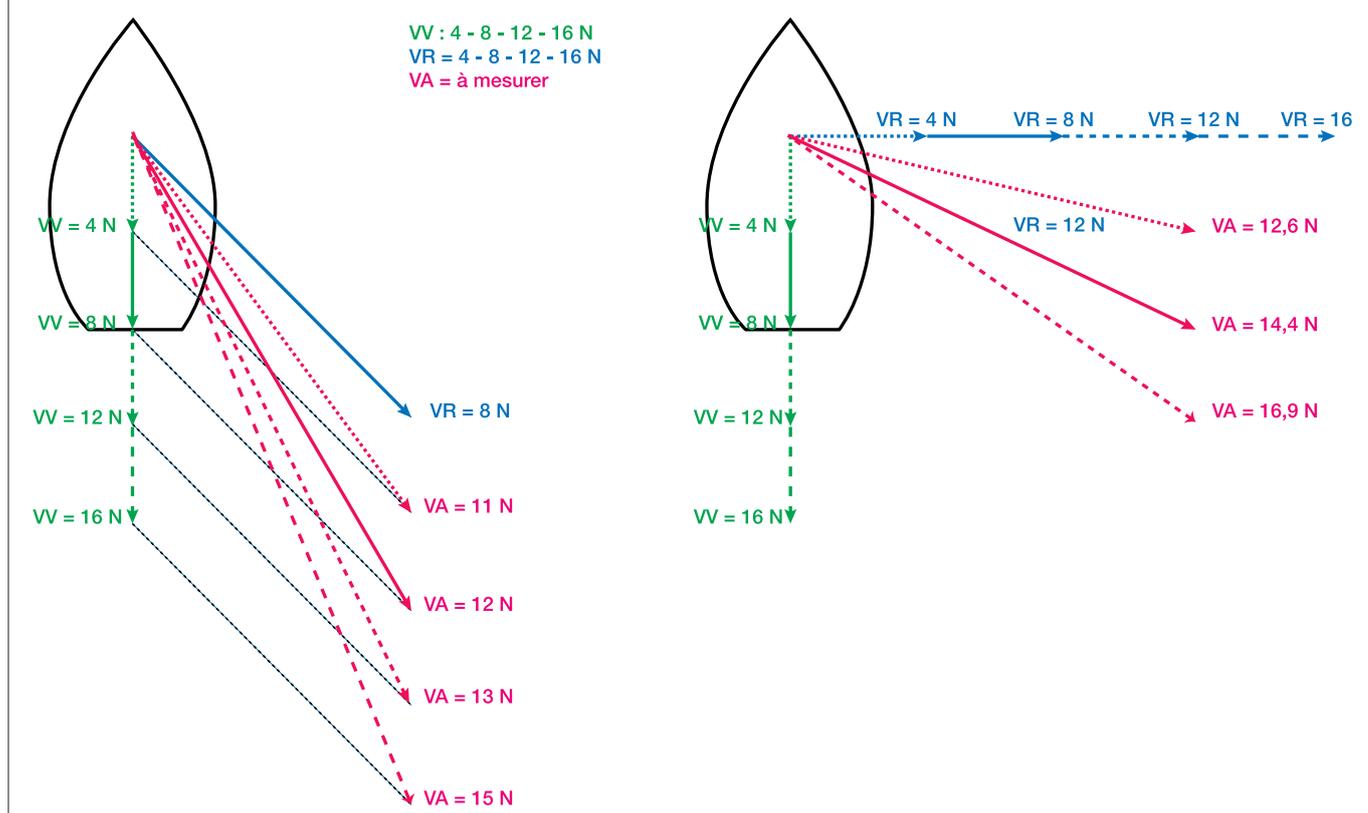
- I - Si VR augmente, VA augmente et adonne.
- Action : lofer ou garder le cap, choquer et accélérer
- II- Si VR diminue, VA diminue et refuse.
- Action : abattre ou border si c'est possible

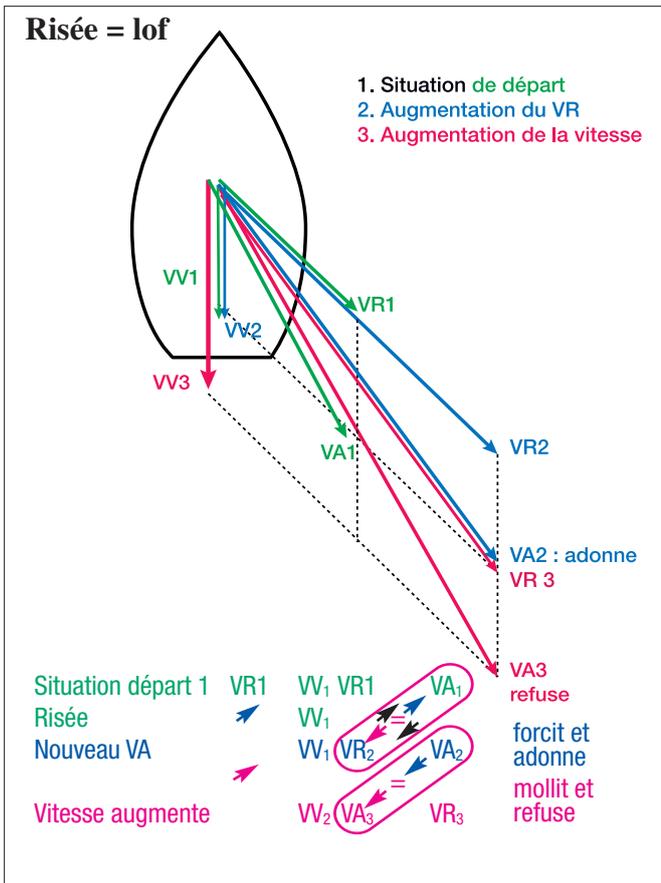
● Cas fictif N° 3 – VV varie en augmentant ou en diminuant, VR est constant

○ Observations :

- Si VV augmente, VA augmente et refuse.
- Action : abattre ou border si c'est possible.

**Cas fictif N° 3 : Variation du VA en fonction du VV**





Cas des multicoques et autres bateaux rapides sous foils, à fond plat et planant facilement, planches, etc...

- Ces bateaux ont des voiles très rigides et naviguent presque toujours au près tant la **VV** est grande.
- Si **VV** diminue, **VR** diminue et adonne.
- Action : lofer ou garder le même cap et choquer

● **Cas réel : la risée et la suite** : le lof dans la risée ou l'abattée dans la chute du vent

- **Rem. 1** : C'est «au Près» que les modifications sont les plus pointues car on se trouve à la «lisière» de l'angle mort ce qui n'est pas le cas au vent de travers.
- **Rem. 2** : Une risée aux allures portantes se « négocie » autrement. (Voir TC : technique voile.)
- **Rem. 3** : La risée peut provoquer un coup de gîte qui sera beaucoup plus actif pour faire partir le bateau au lof que l'effet du vent dans les voiles, exemple : le départ au lof sous spi. (Voir l'hydrodynamique).

● **Chronologie de la risée au près.**

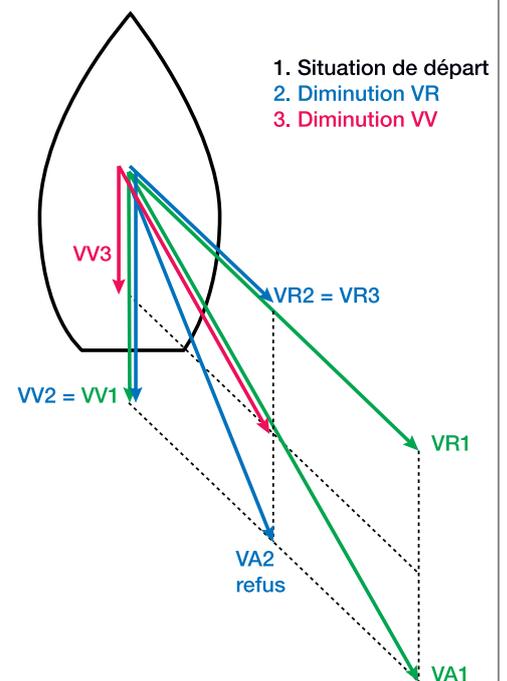
- Le bateau est au près, correctement tenu,
  - Le vent monte : **VR** augmente, le bateau n'accélère pas immédiatement du fait de son inertie (cas n°3 : **VR** augmente, **VV** constant.)
  - **VA** adonne et augmente.
  - Le barreur peut lofer sans modifier les réglages s'il veut gagner au vent ou garder le même cap, choquer et dans ce cas gagner en vitesse.
  - La risée se maintient : le bateau accélère, **VV** augmente (cas n° 2, **VR** constant).

- **VA** refuse
- Le barreur doit abattre s'il avait opté pour remonter au vent, ou border si c'est possible : il a gardé le même cap dans la risée ou qu'il n'est pas à la limite de l'angle mort.
- La risée mollit : Abattée dans une accalmie :
- **VR** diminue, la **VV** se maintient un court instant par l'inertie (cas n° 3) :
- **VA** diminue, refuse
- Le barreur abat ou/et borde.
- **VV** diminue, le **VR** est revenu à sa vitesse initiale (cas n° 2).
- **VA** adonne
- Il faut border ou abattre suivant l'option prise dans la risée.
- On revient aux réglages utilisés avant la risée.

**Attention AUX AUTRES REPRESENTATIONS des vecteurs.**

- Il existe une autre représentation vectorielle utilisée dans d'autres pays dont la France :
- Le vecteur est semblable à celui de la méthode précédente mais c'est la fin du vecteur, l'extrémité avec la flèche, qui se situe «au vent» du mât et vient s'y appuyer.
- Il ne s'agit que de conventions.
- Les deux méthodes donneront toujours les mêmes résultats !!!
- Des confusions entre les deux méthodes sont constatées chez des candidats qui font du «copier-coller mental».
- Faites l'expérience : comparez les deux méthodes dans différents cas vus dans ce fascicule.

**Abattée dans une accalmie**

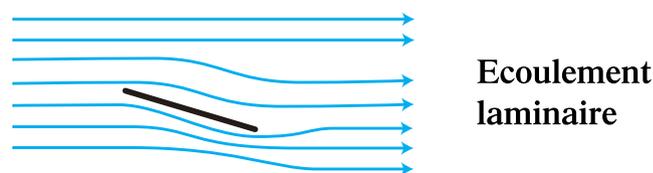
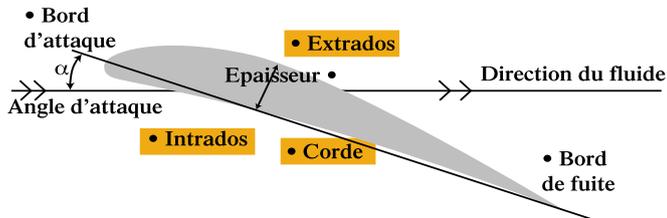


## Chapitre III – EFFETS DU VENT SUR LES VOILES

### TV 10 : BREF RAPPEL DES PARAGRAPHES MEC. 22-23-24-25 et 26 du memento de physique générale

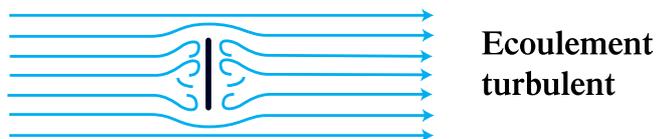
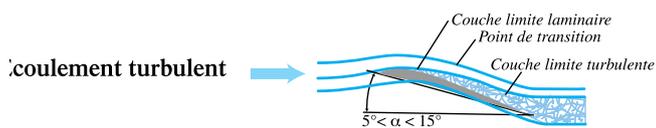
#### ● Fluide.

- L'eau (masse : 1000 kg le m<sup>3</sup> et l'air (masse : 1.2 gr/m<sup>3</sup>) sont des fluides constitués de particules.
- Comme le sable fin, elles coulent en glissant les unes sur les autres ou en lignes, en filets en formant un courant, un flux.



#### ● Ecoulement laminaire :

- Les particules contre une paroi ne bougent pas ou presque pas à cause du frottement et de l'attraction moléculaire.
- Les voisines, vers le courant glissent de plus en plus vite jusqu'à prendre la même vitesse les unes et les autres,



#### ● Ecoulement turbulent :

- Si la différence de vitesse entre deux filets de fluide est trop grande : des tourbillons apparaissent.

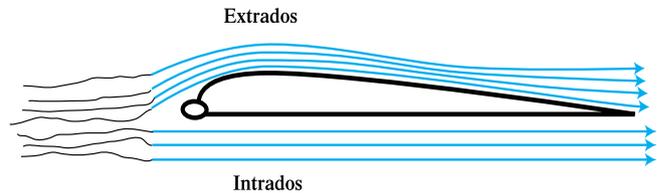
#### ● « Aile » :

- C'est une plaque en matières diverses, dures ou souples... ayant une forme caractéristique. Une voile, une aile, les appendices sous l'eau sont des ailes.
- Un profil est une section d'une aile. Les profils de la voile sont variables depuis le bas vers le haut aussi bien en orientation vis-à-vis du flux qu'en forme générale (creux, position du creux...)
- Placée dans le courant d'un fluide, elle présente des effets dynamiques : c'est le domaine des branches de la physique: dynamique des fluides (l'aérodynamique et de l'hydrodynamique).

#### ● Forme d'aile.

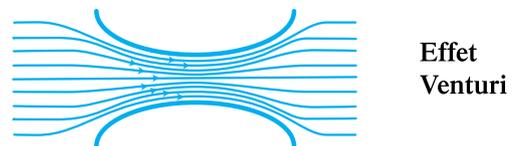
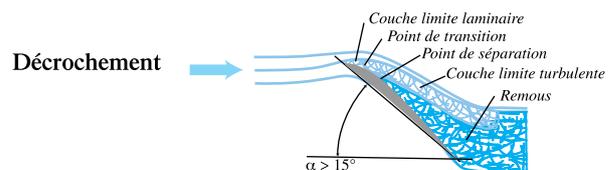
L'aile peut être biconvexe (dérive, safran, par exemple) ou plan convexe (aile d'avion) ou concave-convexe (voiles).

- **Intrados** : face de l'aile qui reçoit le flux du fluide. Il est concave au vent des voiles.



- **Extrados** : face située derrière l'intrados qui ne reçoit pas le flux en direct. Il est convexe sous le vent de la voile.

- Un intrados concave offre plus de résistance au flux qu'un intrados convexe.
- Les applications se trouvent partout : les carénages, les profils des avions, des voitures, des mobiles rapides, des mâts, du safran, de la dérive, du sous-marin...)



- **Bord d'attaque** : partie antérieure du profil : le guindant pour la voile.
- **Bord de fuite** : partie postérieure de l'aile où se rejoignent les flux d'intra et d'extrados : la chute pour la voile.
- **Epaisseur** : dans le cas d'une voile : c'est le rapport entre la flèche et la corde qui s'appelle le creux. (en %).
- **Corde** : la corde varie du haut en bas de chaque profil la bôme matérialise la corde du profil bas.
- **Angle d'attaque** : l'angle donné par la direction du flux et la corde du profil. Très important.

#### ● Trois angles importants (Chéret)

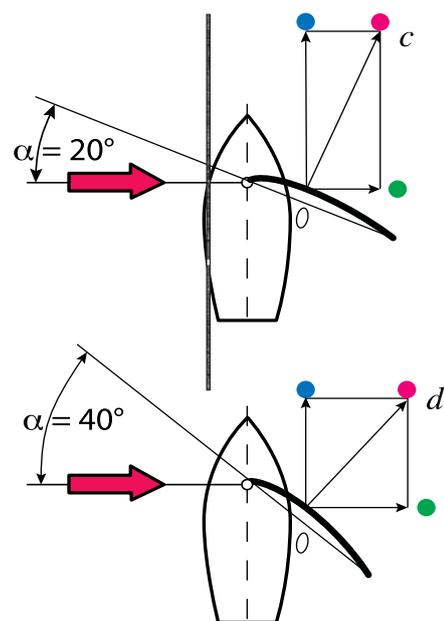
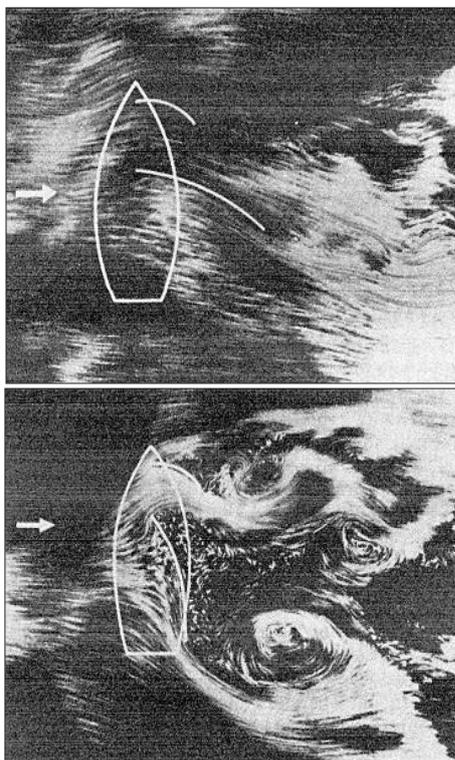
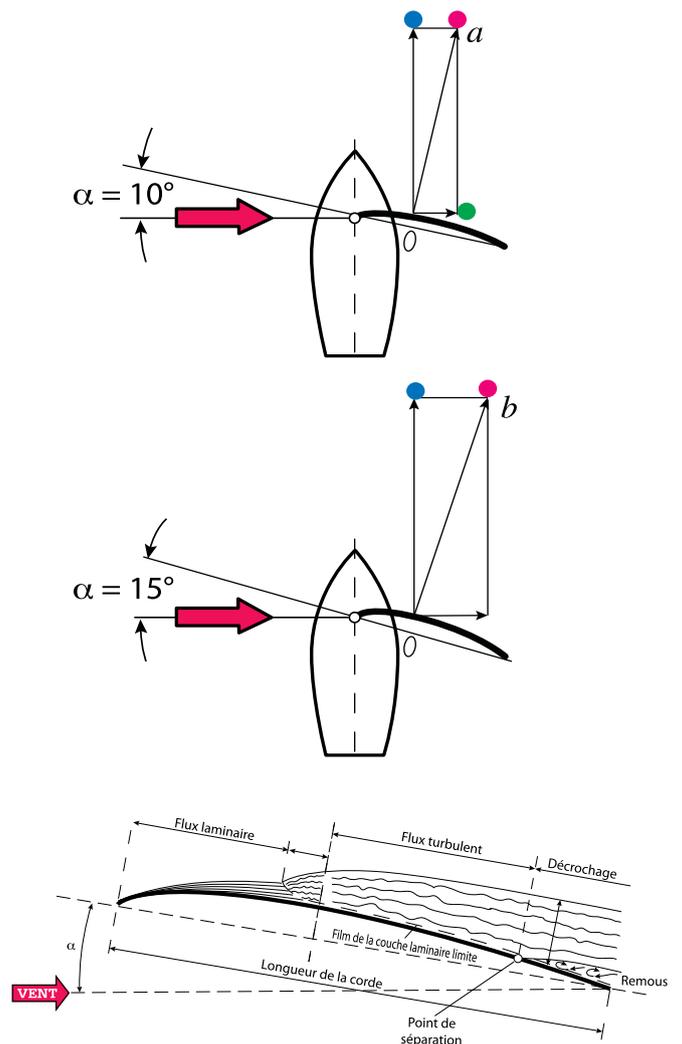
- **L'angle «voile-vent»** : le «braquage» : orientation de l'ensemble de la voile par rapport à l'écoulement général. Plus on braque une voile plus elle se présente comme un obstacle à l'écoulement et plus le flux passant du côté convexe accélère. (Voir angle d'ouverture ci-dessous).
- **L'angle «voile-axe bateau»** : angle d'ouverture ou de fermeture formé entre la corde du profil et l'axe du bateau. Comme une porte on l'ouvre ou on le ferme (C).
- **L'angle «vent-axe bateau»**.

**TV 11. : LES ECOULEMENTS DE L'AIR AUTOUR DE LA VOILE : PROFIL CREUX**

- **Braquage = 0°.**
  - La voile est dans l'axe du vent comme la girouette.
  - Le flux se divise en deux et passe de part et d'autre de la voile en petits tourbillons, la voile bat, «en ralingue», comme les drapeaux.
    - Cette situation use la voile, «casse» les fibres du tissu et le vieillit. A éviter trop longtemps en fonction de la force du vent.
  - Effets :
    - Le bateau cule, la manœuvre est parfois nécessaire mais il faut bien tenir la barre en main et prévoir où on veut aller en restant maître de la direction prise et non par le bateau. (*Voir technique voile*).
    - Il faut faire attention aux mouvements désordonnés des écoute, du point d'écoute du foc, de la bôme...
- **Braquage : 0° à ± 20°.**
  - Au fur et à mesure qu'on borde, la voile se gonfle en commençant par la chute, puis bat de moins en moins vers le guindant : elle se «remplit» progressivement.
  - Un signe existe pour indiquer qu'elle est presque bien réglée :
    - elle ne faseye plus,
    - une «poche» de vent «à contre», due à l'effet du vent qui contourne le mât, apparaît le long de ce mât à hauteur du creux le plus important de la voile.
- **Braquage entre ± 20° et 35°.**

**Ecoulement laminaire**

  - Comme dans le cas précédent : le flux est divisé en deux :

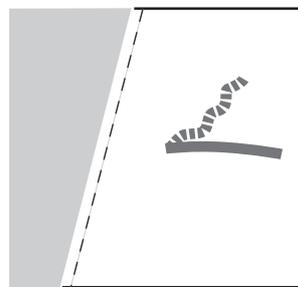
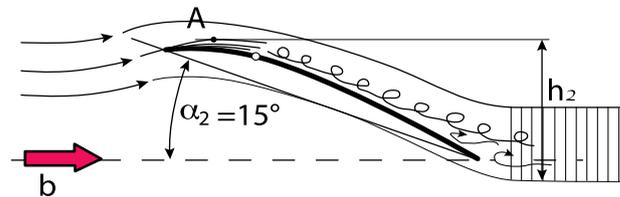
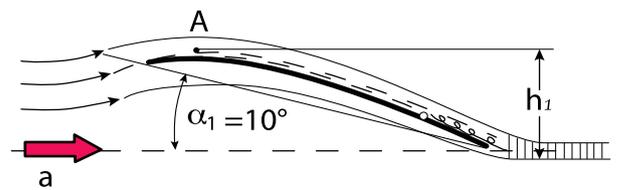
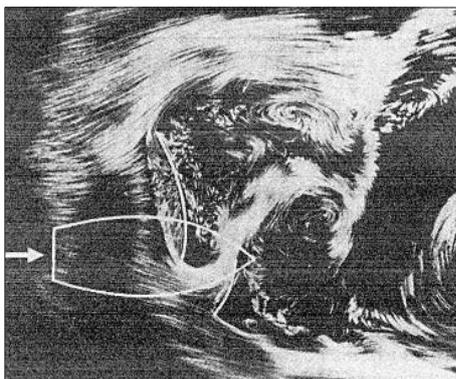


- Une partie passe côté intrados y est dévié en s'appuyant et frottant le tissu en suivant le creux de la voile, il se comprime légèrement et ralentit en créant une pression (Bernoulli).
- L'autre partie passe côté extrados, par inertie elle s'éloigne de la face convexe en créant une légère dépression. Le chemin étant plus long elle accélère pour retrouver le flux à la chute de la voile en créant une forte dépression (Bernoulli).
- Les effets se conjuguent et créent une série de mini pression au vent et dépression sous le vent, réparties sur la toile dans un rapport de 1/3 à 2/5.
- Le volume d'air avant la séparation de la voile et égal au volume après cette séparation. C'est à dire que le volume qui passe du côté intrados est le même que celui qui passe sous l'extrados : il n'y a pas de différence.
- Le régime est laminaire. Les écoulements commencent à «turbuler» en fonction de la finesse de l'aile au-delà de  $\pm 25^\circ$ . Il convient de surveiller les penons.

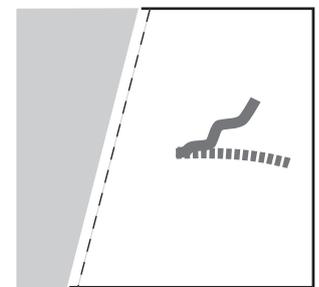
● **Braquage supérieur à  $\pm 35^\circ$ .**

**Ecoulement turbulent.**

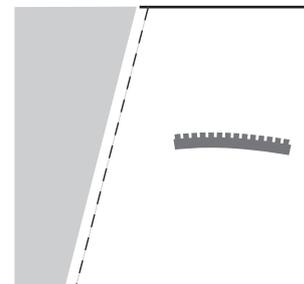
- Le flux se divise toujours en deux
  - Côté intrados : le flux «attaque» avec une plus grande incidence, la faible surpression existe toujours et le ralentissement aussi. Une pression légèrement plus élevée que dans le cas précédent se développe.
  - Côté extrados : le flux ayant une plus grande incidence, s'éloigne plus sous la toile, il ne sait pas accélérer suffisamment pour augmenter le débit de l'air et amener le volume d'air à la chute de la voile pour que l'équilibre soit maintenu.
  - Ce déséquilibre crée un appel d'air et l'air environnant vient combler le vide dans le désordre créant des tourbillons ou des turbulences, la voile décroche, un planeur dans ces conditions, tombe. Il n'a plus de portance suffisante.
  - Lorsque vous donnez un coup de pagaie rapide, vous créez le même phénomène et vous pouvez voir les tourbillons.
  - A un confluent (Jonction de 2 cours d'eau), on peut y voir des tourbillons si les vitesses des courants sont différentes. Les exemples foisonnent.



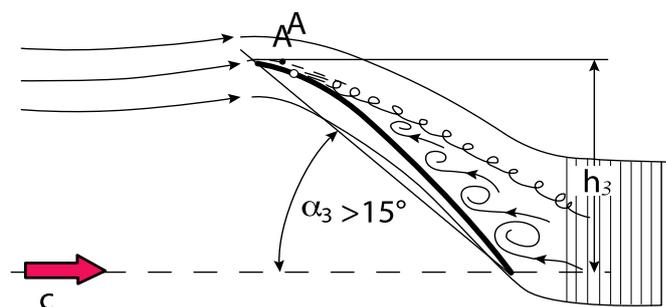
Doit lofer ou filer l'écoute



Doit abattre ou border



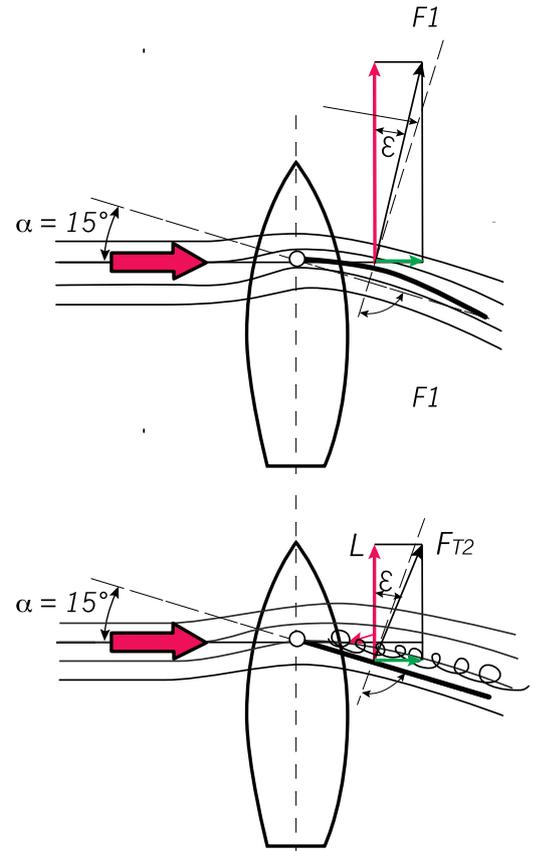
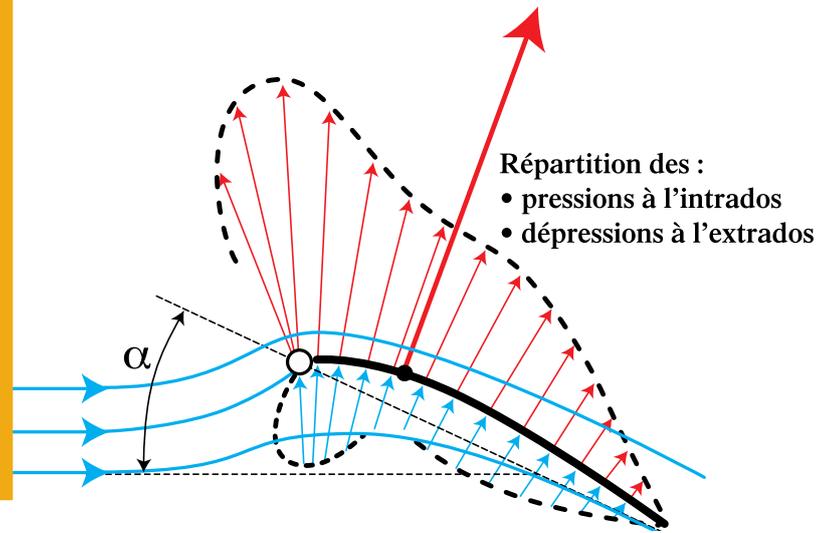
Bon réglage 0



**TV 12 : REPARTITION DES PRESSIONS.**

**Remarque :** attention de ne pas confondre :

- *Force vélique* : composante de toutes les forces de surpression et de dépression relatives qui s'exercent sur une voile.
- *Portance* : composante de la force vélique perpendiculaire à l'écoulement général et à la traînée (force de sustentation par l'aile d'avion).
- *Traînée* : composante de la force vélique. Force qui tente d'entraîner le corps immergé dans le sens de l'écoulement général. Composante de frein.

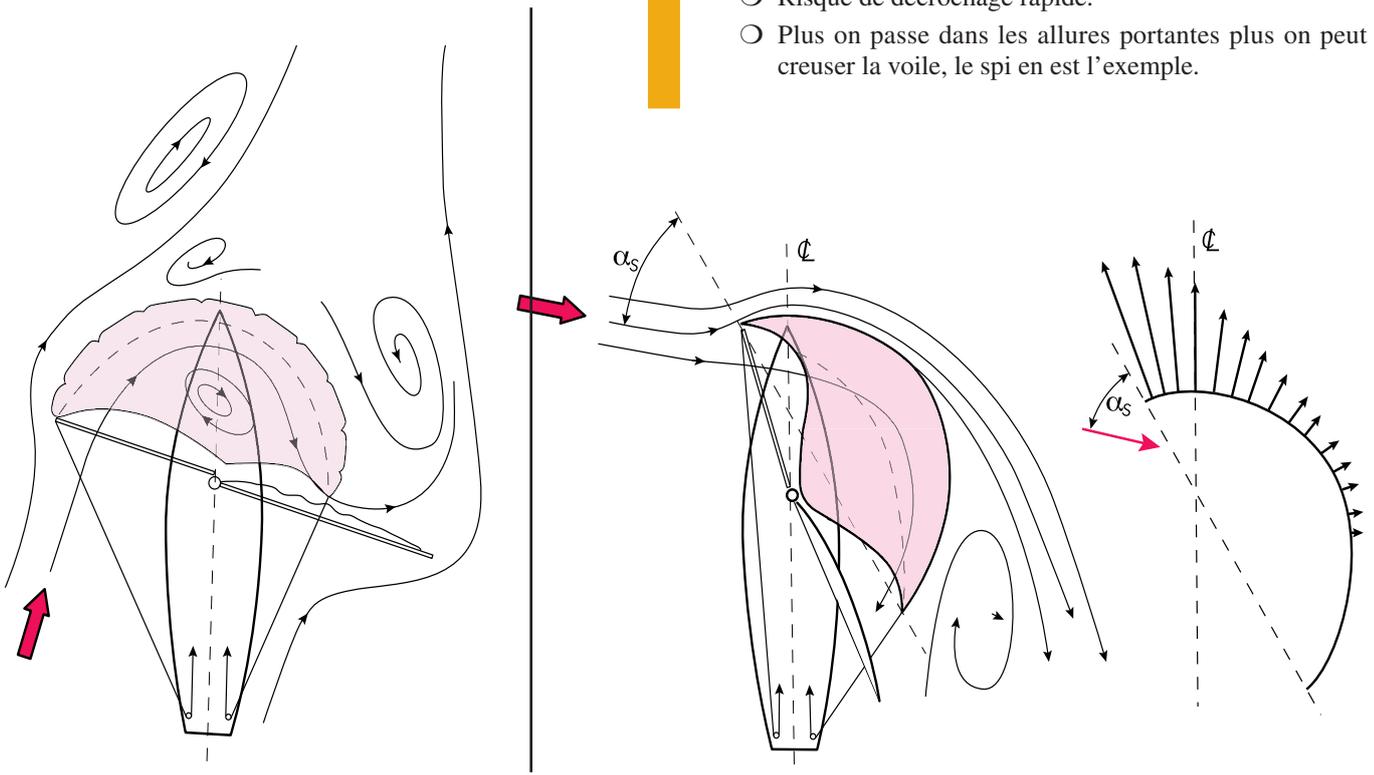


● **Caractéristiques voile plate.**

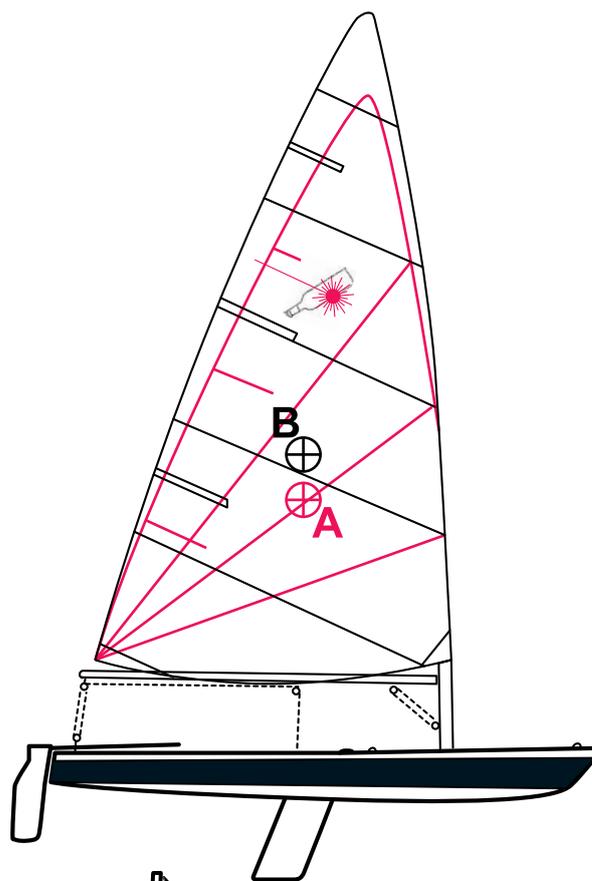
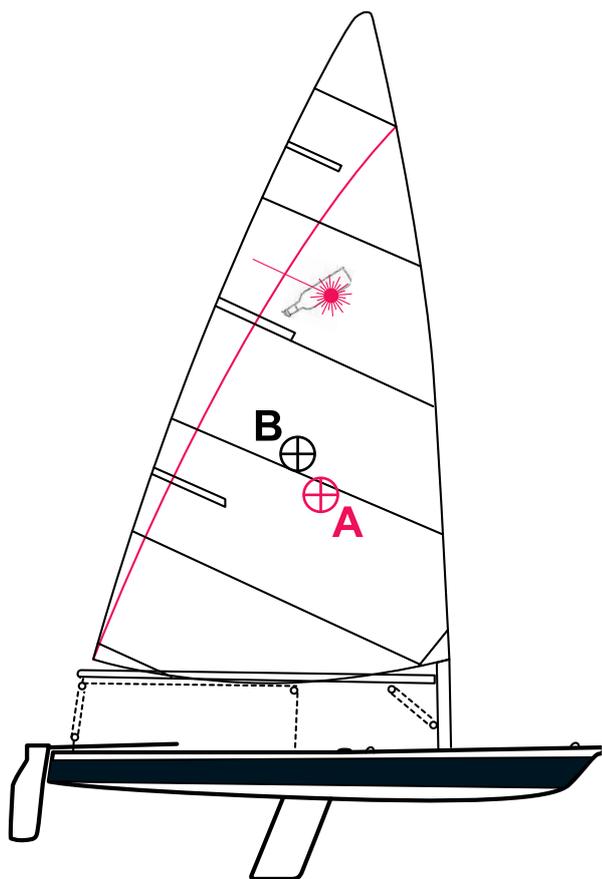
- Près serré plus accessible au détriment de la vitesse.
- Voile moins puissante. Utile pour la limite de la surpuissante.

● **Caractéristiques voile creuse.**

- Moins bon près car le creux empêche un petit angle Voile-Vent du fait du creux le long du guindant.
- Voile puissante d'autant plus que le creux est profond.
- Risque de décrochage rapide.
- Plus on passe dans les allures portantes plus on peut creuser la voile, le spi en est l'exemple.



**TV 13 : LE CENTRE VELIQUE : CV**



● Une voile :

○ Le centre vélique se situe à l'intersection des médianes, segment de droite qui joint un sommet au milieu du côté opposé, d'une voile triangulaire ou des diagonales d'une voile trapézoïdales. (Son centre de géométrique et également de gravité).

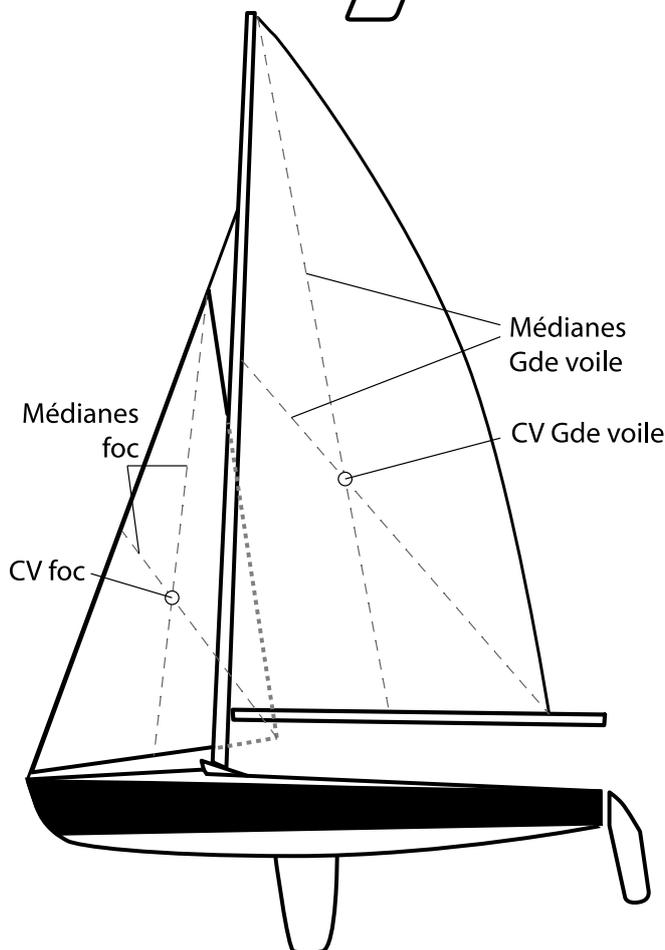
- Comme le centre de gravité il n'est pas nécessairement situé sur la ou les voiles.
- Le vrai centre vélique se trouvera dans la zone du centre théorique car on peut modifier la forme de la voile et ainsi modifier la vitesse des filets d'air et ainsi des pressions et dépressions.

● Deux voiles dont le foc mesure 2 m<sup>2</sup> et la grande voile 8 m<sup>2</sup>.

- 1 - On détermine le centre vélique de chaque voile.
- 2 - On trace une droite joignant les centres : le futur centre vélique se trouvera sur cette droite en un point.
- Si les voiles sont égales, sans recouvrement, il sera au milieu de la droite joignant les 2 CV.
- Si les voiles sont de surfaces différentes, il sera plus proche de la voile la plus grande.

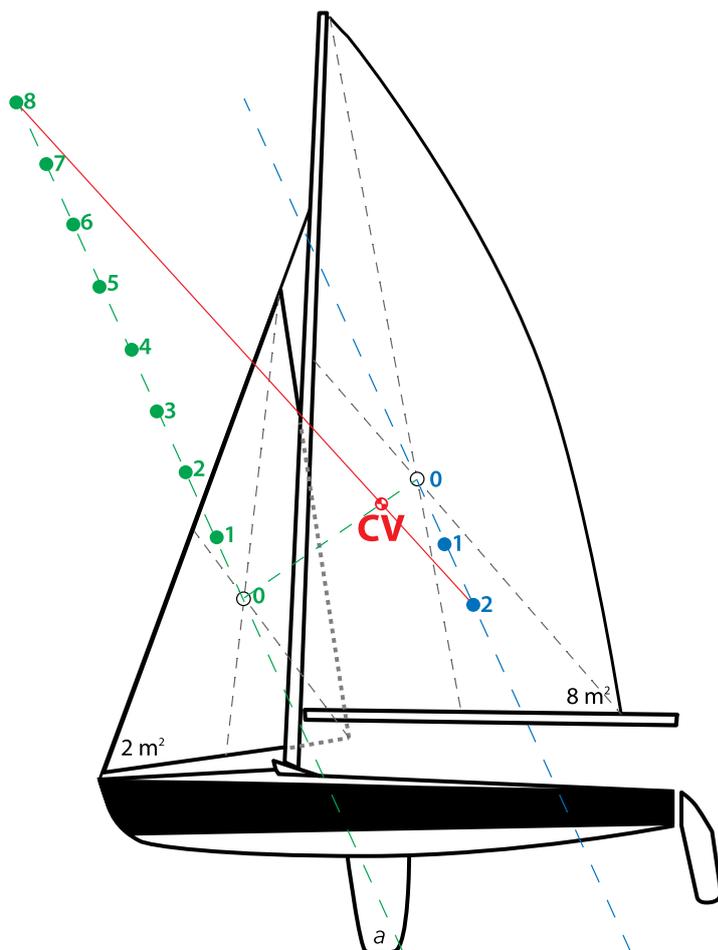
Pour y arriver :

- 3 - On trace une droite passant par le CV du foc, dans une direction quelconque.
- 4 - On trace une autre droite, parallèle à la première passant par le CV de la grande voile.
- 5 - Sur la droite du foc : on reporte, par exemple au-dessus du CV (autre possibilité : on peut reporter



Lignes joignant les deux C

- en dessous), autant de fois une unité de mesure (par exemple 1 cm. par m<sup>2</sup> de voile) que comporte la grande voile : ici 8 unités.
- 6 - Sur la parallèle passant par le CV de la grande voile : on reporte en **dessous du CV** (autre possibilité : on doit reporter au-dessus) autant de fois l'unité de mesure que comporte le foc : ici 2 cm.
  - 7 - On joint l'extrémité des segments.
  - 8 - L'intersection de cette droite et celle qui relie les deux CV détermine le nouveau CV.
  - Si les droites ne se croisent pas, relire les points 5 et 6.
  - Et ainsi de suite si le bateau porte d'autres voiles.



**Remarque :** d'après certains aérodynamiciens les deux voiles interagissent et ne constituent qu'une seule voile.

### Adaptation des sigles afin d'éviter de nombreuses confusions lors du passage des brevets :

**C = Centre** : point d'application de la Force Totale.

- air : **CV** : Centre vélique
- eau : **CD** : Centre du plan de dérive
- : **CC** : Centre du volume de carène
- pesanteur : **CG** : Centre de gravité

**F = Les forces dynamiques** :

- air : **FV** : Force aérodynamique totale :
- eau : **FAD** : Force hydrodynamique totale - Réaction à FV :

**FAedyT**  
**FHydyT**

**C = Les composantes des FAé(ro)dy et FHy(dro)dy :**

- |              |       |            |  |                |                                       |
|--------------|-------|------------|--|----------------|---------------------------------------|
| <b>Aéro</b>  | ex. : | <b>CA</b>  | : composante d'avancement → C. Aérodynamique propulsive :  | <b>CAedyP</b>  |                                       |
|              | ex. : | <b>CD</b>  | : composante de dérive → C. Aérodynamique de dérive :      | <b>CAedyD</b>  |                                       |
|              | ex. : | <b>CF</b>  | : composante de frein → C. Aérodynamique de frein :        | <b>CAedyF</b>  |                                       |
| <b>Hydro</b> | ex. : | <b>CF</b>  | : composante de frein → C. Hydrodynamique de frein :       | <b>CHydyF</b>  | Traînées aérodynamique hydrodynamique |
|              | ex. : | <b>CAD</b> | : composante anti-dérive → C. Hydrodynamique anti-dérive : | <b>CHydyAD</b> |                                       |

**Les forces «statiques» :**

- le poids : **FG**
- la poussée hydrostatique :
- ou poussée d'Archimède :

**FG**  
**FPHy** ou  
**FPArchi**

### TV 14 : LA FORCE VELIQUE : FAédyT = Force

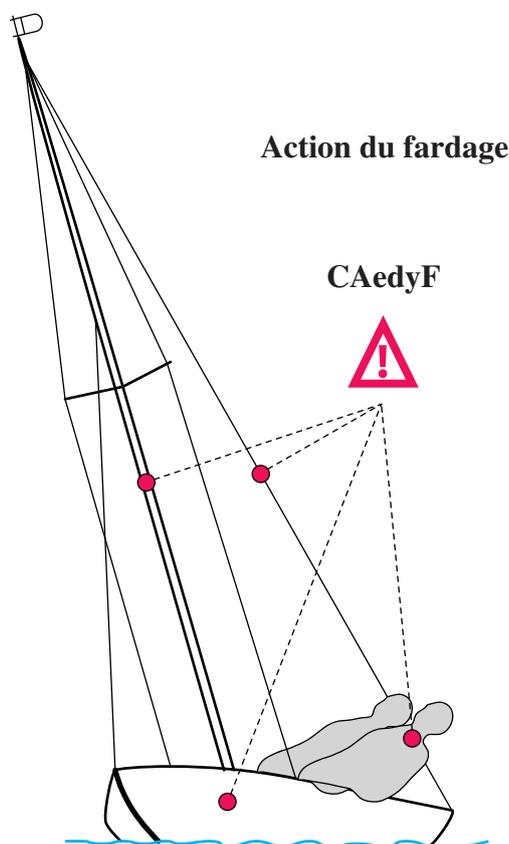
● **La force vélique (FV) :**

- Sa grandeur est fonction :
  - de la surface des voiles : la voilure **double**, la force **double**....

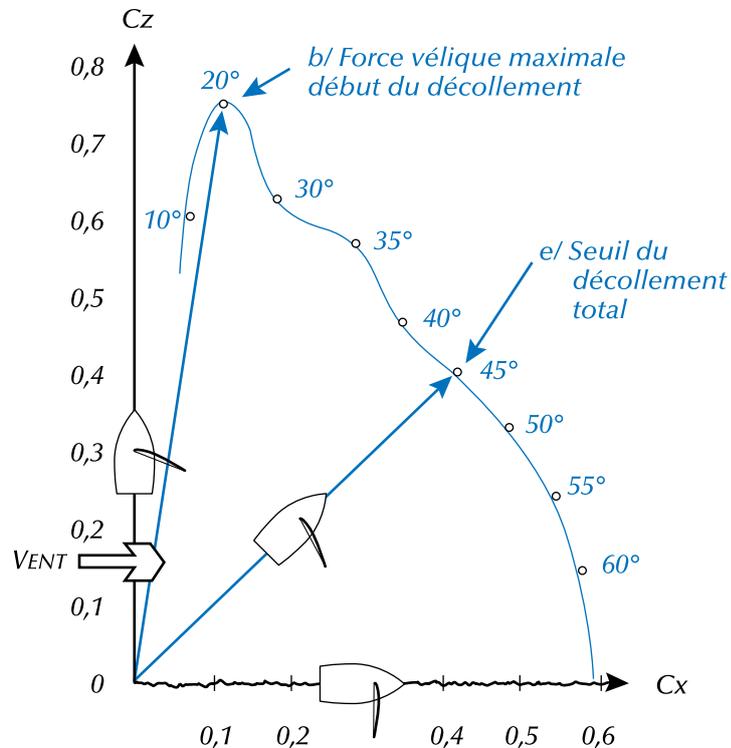
- du carré de la vitesse du vent : la **vitesse double**, la **force devient 4 fois plus grande** (carré de 2 = 2 × 2) ; la **vitesse triple** : la vitesse du vent devient 9 fois plus grande (3 × 3), et ainsi de suite.



- Le mât crée des turbulences principalement sur l'extrados, le long du guindant qui est la partie propulsive.
  - la coque, le mât, l'équipage (une personne debout de profil à une surface de 0,85 m<sup>2</sup>, assise : 0,55, debout de face : 0,45, couché dans l'axe du vent : 0,10 m<sup>2</sup>, les haubans, les barres de flèches, les voiles qui fasyent, le manque de lattes, une livarde mal bordée, les plis dans la voile, une voile trop bordée dans l'axe du bateau avec retour de la chute... (Exemple : le bateau qui part seul par suite d'un nœud mal fait et qui « navigue » sous fardage seul)...
- La porosité des tissus des voiles, leur manque de rigidité.
- Ces forces se représentent, comme toujours, par un vecteur qui sera appliqué au centre de gravité de chaque objet, elles auront la direction et le sens du vent : vers où va le vent ainsi qu'une longueur en fonction de l'intensité. Ces forces parasites se totalisent de la même manière que le calcul du CV de plusieurs voiles : addition des intensités et un point d'action.
- Elles se comportent comme une voile perpendiculaire au vent et modifie la position du CV globale et son intensité.
- Les composantes parasites s'ajoutent aux autres :
- Moyens de les diminuer : les mâts ailes, les voiles gonflables, le profil des haubans, les voiles enduites de plus en plus rigides (interdisant tout pliage), équipage attentif au profil.



- Les forces utiles réelles :
  - La voile seule : réglée à la limite du fasyement,
  - La combinaison de voile : Attention au renvoi dans la grand voile.
  - Les profils et les courbures.
  - L'allongement : grande hauteur mais « petite » bordure.
  - Forme de la voile.
  - Position relative des voiles.
  - Proportions des surfaces de recouvrement.
- **Evolution de la FV et des composantes aux diverses allures. (Voir fig.)**
  - Rappel.
  - Au près, voile bien réglée. Allures montantes, navigation en finesse.
  - Au travers : voile bien réglée, trop ou trop peu bordée (Remarquer l'angle Voile-Vent).
  - Décrochage.
  - Rappel « Lof dans la risée ».
  - Au-delà du travers jusqu'au vent arrière. Allures en poussée.
  - Voir technique voile.
- **Le diagramme de polaires : créé par M. Eiffel**
  - Voir la variation de la poussée
    - en fonction du braquage.
    - en fonction du creux de la voile.
    - en fonction de la forme de la voile.



**La Polaire vélique** : courbe donnant des forces aérodynamiques en fonction de l'angle d'incidence.

## Chapitre IV – HYDROSTATIQUE (MEC 17 à 21)

### INFORMATION :

A ce stade nous ne reviendrons plus sur la mécanique : les représentations vectorielles, les constructions vectorielles, les résultantes de force, la décomposition de force, les couples de forces et leurs propriétés, etc...

Pour cela : Il faut rechercher les explications dans le fascicule sur la «Physique générale, La Mécanique» reprenant la ma-

tière vue dans l'enseignement secondaire à l'exception de certaines formations très spécifiques. (MEC...)

Le candidat doit être capable de répondre aux questions dont l'explication, via une construction vectorielle, ne se trouve pas ici.

**Il faut réfléchir et appliquer et non faire du «copier-coller».**

### TV 15 : LA FLOTTABILITE

Le principe d'Archimède MEC 19-20-21

#### ● La carène :

- C'est la partie immergée de la coque : les œuvres vives.
- Le volume de carène est le volume chassé par la carène du bateau : «le trou qu'il fait dans l'eau!».
- Le centre de carène (CC) est le centre de gravité de ce volume il est aussi le centre géométrique du plan de dérive ou Centre de Dérive (CD).

#### ● Le principe d'Archimède :

- «Tout corps plongé dans un liquide en équilibre subit de la part de ce liquide, une poussée verticale, orientée de bas en haut, égale en grandeur, au poids du volume du liquide déplacé».
  - On grute un bateau de 1000 newtons.
  - Un dynamomètre est placé sur la grue, lorsque le bateau est suspendu, le dynamomètre indique 1000 newtons.
  - Au fur et à mesure qu'il s'enfonce dans l'eau, il chasse celle-ci progressivement, la valeur diminue jusqu'à devenir nulle : le bateau flotte.
  - Une force, égale à son poids pousse vers le haut.
  - Le volume d'eau chassée pèse le même poids que le bateau.
  - Dans notre exemple : 1000 newtons est le poids de 100 litres d'eau qui est notre volume de carène.
  - Si un équipage de 500 newtons embarque : le bateau s'enfoncera et chassera 50 litres d'eau ; le volume de carène sera de 150 litres avec une force hydrostatique de 1500 newtons.
  - La densité de l'eau n'est pas une constante : plus de sel elle est plus lourde que l'eau douce ; l'eau froide est aussi plus lourde.
  - La Poussée hydrostatique sera plus ou moins forte.
  - Les cargos ne flotteront pas avec le même tirant d'eau dans les eaux polaires salées et les eaux douces sous les tropiques. (embouchures de fleuves) alors que leur poids n'a pas changé.

#### ● La forme du volume de carène

- Si le bateau est bien équilibré, le volume de carène sera symétrique en forme fuselée, hydrodynamique : la ligne de flottaison. Comme pour les voiles, la ligne de flottaison est un des multiples profils.
- Si le bateau gîte : la carène va se déformer, les profils ne sont plus symétriques : à l'extrême la ligne de flottaison suit la quille d'un côté et le plat-bord de l'autre.
- Le bateau peut être trop chargé à l'avant : il enfourne ou à l'arrière : il traîne de l'eau.
- Le CC suit le mouvement et ira toujours se placer au CG du volume de carène ; le CD également.

#### ● Le poids du bateau. (qu'on appelle d'ailleurs déplacement).

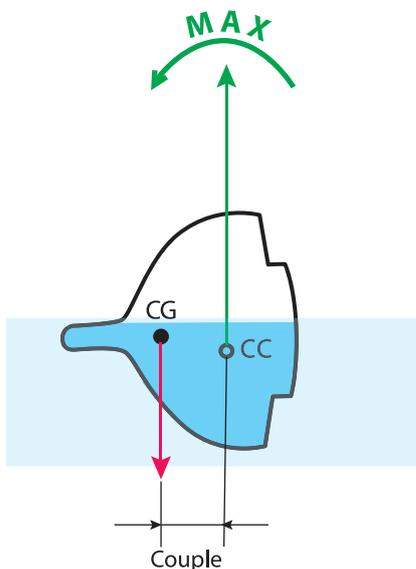
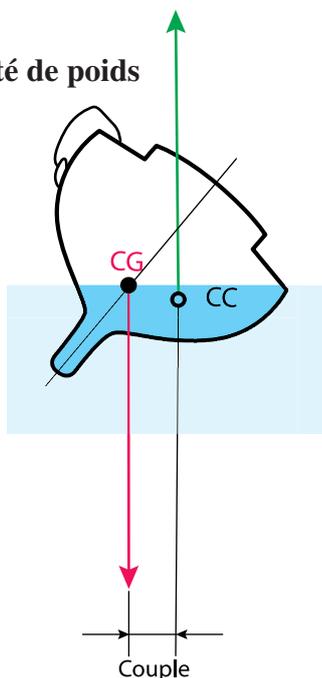
- Le poids est appliqué au Centre de Gravité (CG) du bateau.
- Ce CG n'est pas nécessairement un point matériel.
- Le poids est constitué du poids propre des toutes les pièces à bord :
  - Les pièces fixes :
    - Coques et appendice,
    - Mât et haubanages,
    - L'accastillage fixe...
  - Les «mobiles» :
    - Les voiles, la bôme,
    - La barre, la dérive...
    - L'équipage
    - L'eau embarquée («carène liquide»).
- Le CG peut donc se déplacer :
  - La bôme et la voile, bordée ou non,
  - L'équipage, à l'intérieur ou au rappel et trapèze,
  - L'équipier ou le barreur qui glissent, la sangle de rappel qui casse, l'équipier au trapèze qui pendule...
- Les poids parasites :
  - La «carène liquide» : eau embarquée et ne se vidangeant pas, se réfugiant dans les parties basses de la coque lors d'une «perte» d'assiette amenant un poids supplémentaire et déplaçant le CG et augmentant le poids.

**TV 16 : ASSIETTE ET STABILITE**

● **Définitions :**

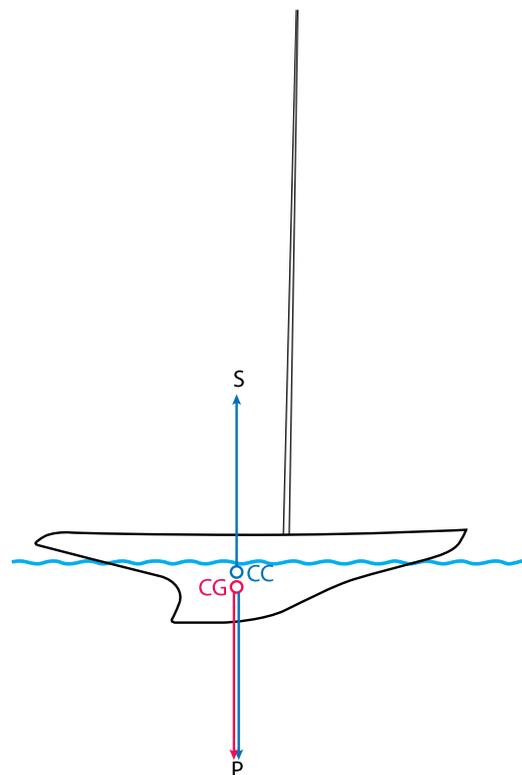
- L'assiette d'un bateau est la position d'équilibre qu'il prend lorsqu'il est immobile en eau calme. On dit qu'il est dans ses lignes d'eau s'il ne gîte pas, ne s'enfonce ni de l'avant ni de l'arrière. La ligne de flottaison est parfaitement symétrique, en forme de poire.
- (Ne pas être dans son assiette est une expression de marine et non gastronomique).
- La stabilité est la propriété qu'a le bateau de revenir dans ses lignes, dès que les forces qui perturbent son assiette cessent d'agir.

**Stabilité de poids**



● **Les stabilités :**

- De Poids :
  - **CG** est situé en dessous de **CC** ;
  - C'est le cas d'un équilibre dit stable : il revient à la position de départ, comme un objet pendu.
  - Evolution du couple de redressement : voir le graphique.



○ De Forme :

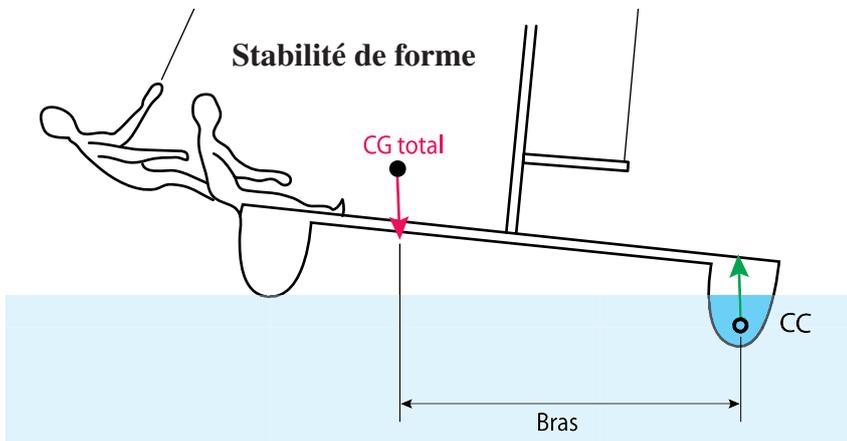
- La position des **CC** et **CG** est inversée : **CG** est situé au-dessus de **CC**.
- C'est le cas d'un équilibre instable : l'objet s'éloigne de la position de départ lorsqu'on le laisse libre, comme le balai sur la main.  
Pour maintenir le balai en l'air, on déplace la main pour ramener la base à la verticale du **CG**.

- Lors de la gîte : (roulis).
- le volume de carène se déplace vers le côté de la gîte.

● **Fonctionnement : voir MEC 15 et 16 : «Qui dit couple dit rotation» :**

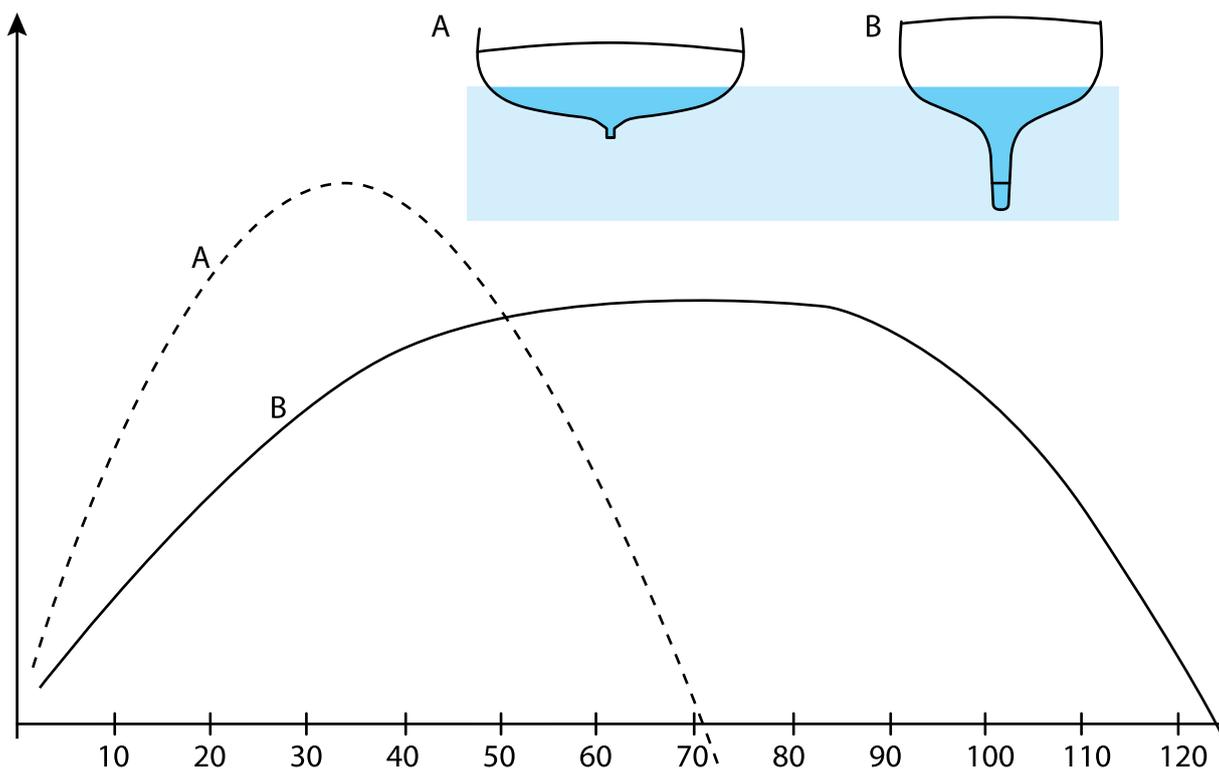
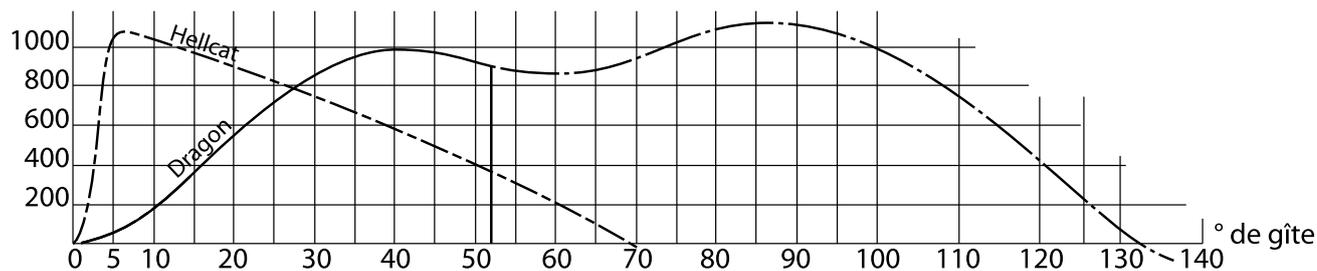
○ C'est le couple de forces entre :

- le poids du bateau appliqué au **CG**, poussée verticale vers le bas,

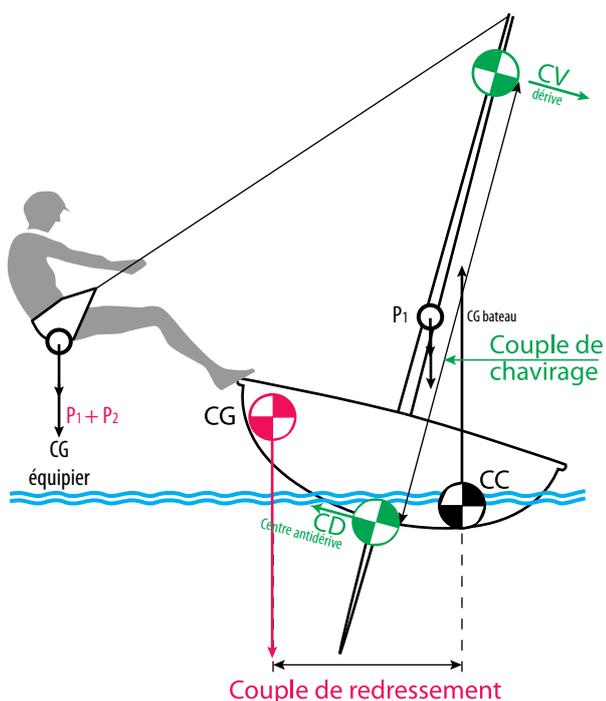
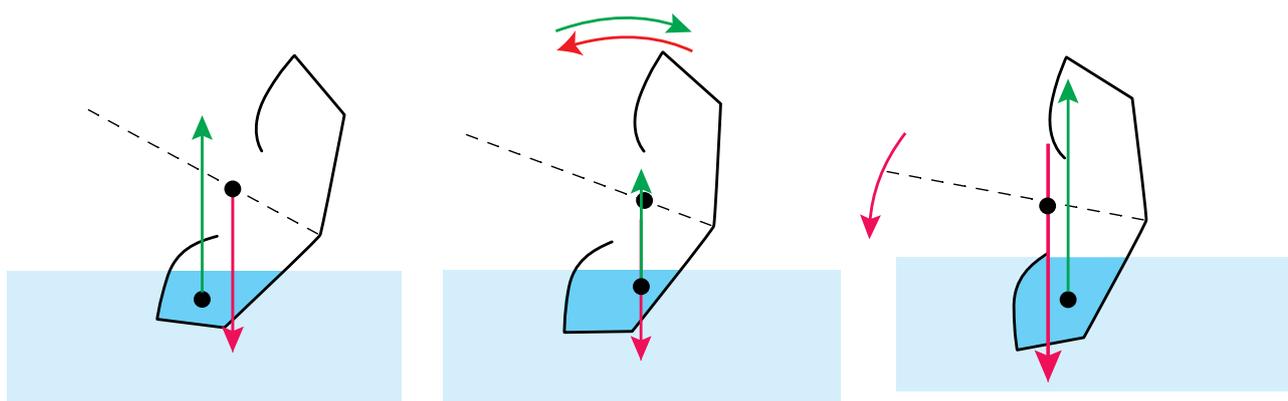
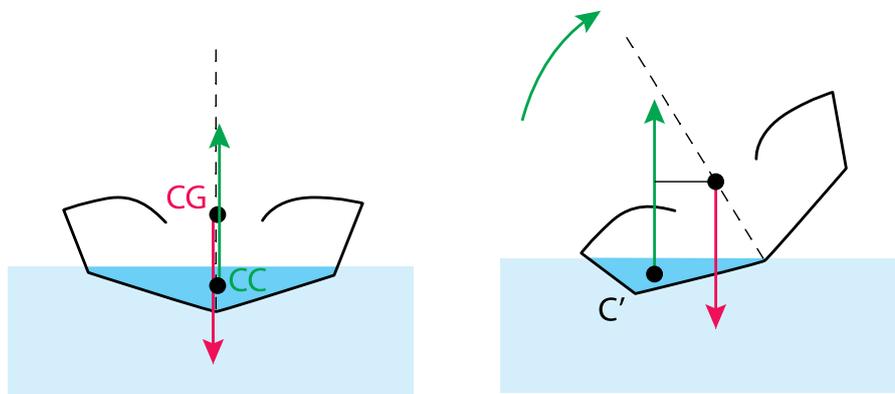


**Couple de rappel**

Couple



- la poussée hydrostatique appliquée au **CC**, poussée verticale vers le haut, égale au poids,
- la distance de la perpendiculaire commune qui les sépare,
- la situation l'un par rapport à l'autre.



↓ Poids du bateau  
appliqué au CG (centre de gravité)

↑ Poussée hydrostatique («Archimède»)  
appliquée au centre du volume de carène

## Chapitre V - HYDRODYNAMIQUE (MEC 23 à 26)

### TV 17 : LES RESISTANCES A L'AVANCEMENT

● **Rappel : MEC 10**

- Une force appliquée à un corps lui donne une accélération constante.
- Si la force s'arrête la vitesse reste constante.

**Quand une force (action) agit sur un corps qui reste au repos : elle est équilibrée par une autre force, de même direction et de sens contraire : la réaction.**

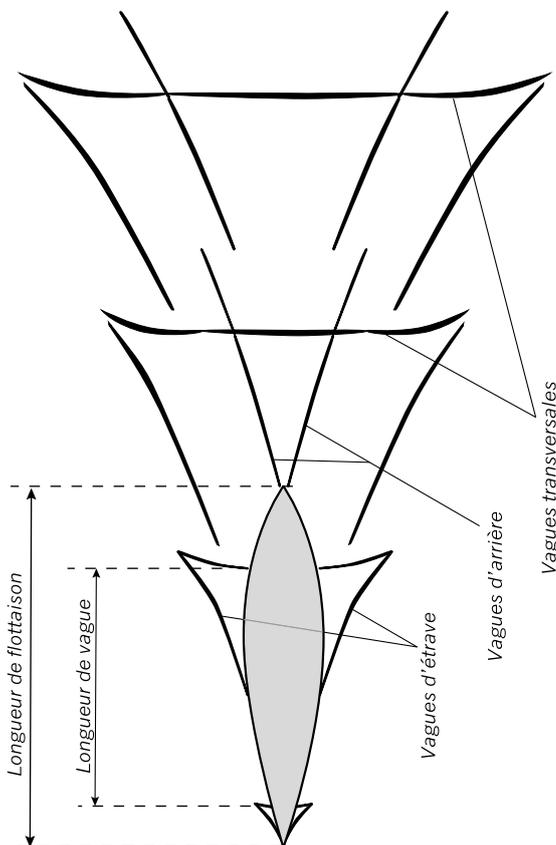
**Un corps qui n'est soumis à l'action d'aucune force est au repos ou est animé d'un mouvement rectiligne uniforme.**

**A ce moment les actions de la force motrice et de sa réaction s'annulent.**

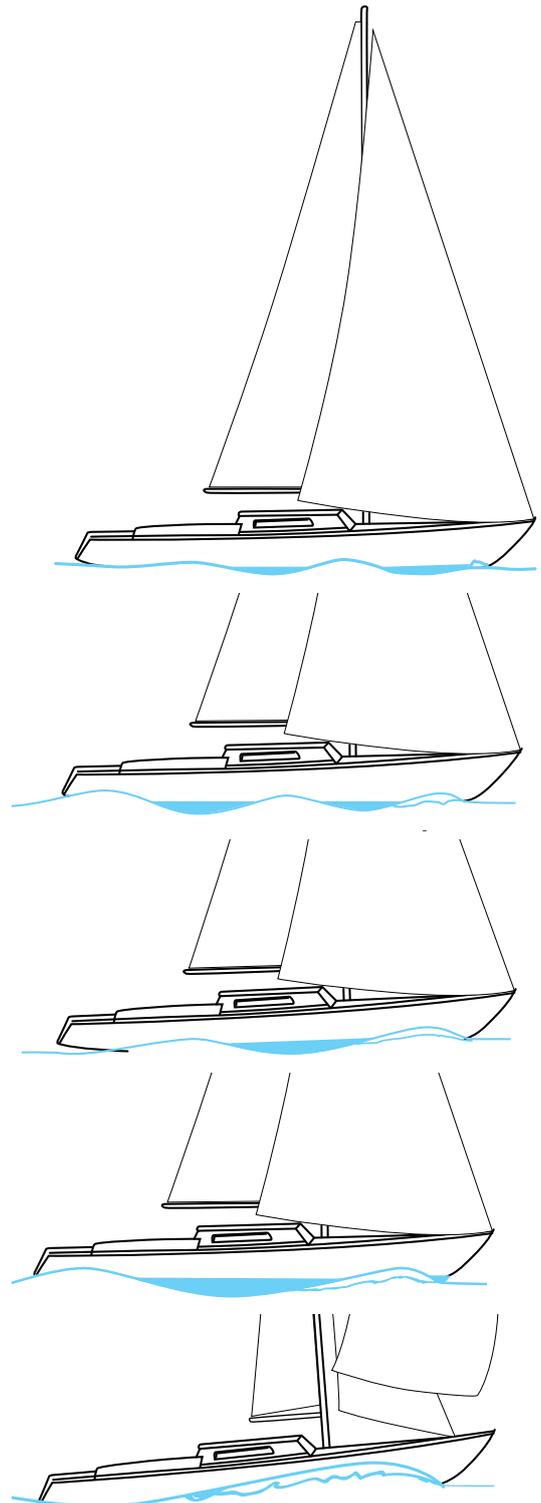
Les phénomènes physiques se déroulant à l'interface de deux fluides très différents : eau et air sont très complexes, depuis plus d'un siècle, beaucoup de chercheurs se sont lancés dans l'aventure.

● Observations :

- Si on pousse une coque elle passe rapidement d'une vitesse nulle à une certaine vitesse : c'est l'accélération.
- La coque parcourt une distance à une vitesse diminuant progressivement jusqu'à s'arrêter ; or la loi physique dit qu'elle devrait continuer à vitesse constante et en ligne droite !



- Si on navigue à la voile : le bateau part de la vitesse zéro pour atteindre une vitesse : accélération.
  - puis la vitesse devient stable avec les voiles toujours actives mais il n'y a plus d'accélération
  - la **CAédyP** (Composante propulsive) est égale à sa réaction à la résistance ou Composante de Frein (**CHydyF**) ou Trainée de Frein).



○ si on choque, la poussée vélique s'arrête, le bateau décélère (accélération négative, ralentissement) jusqu'à l'arrêt.

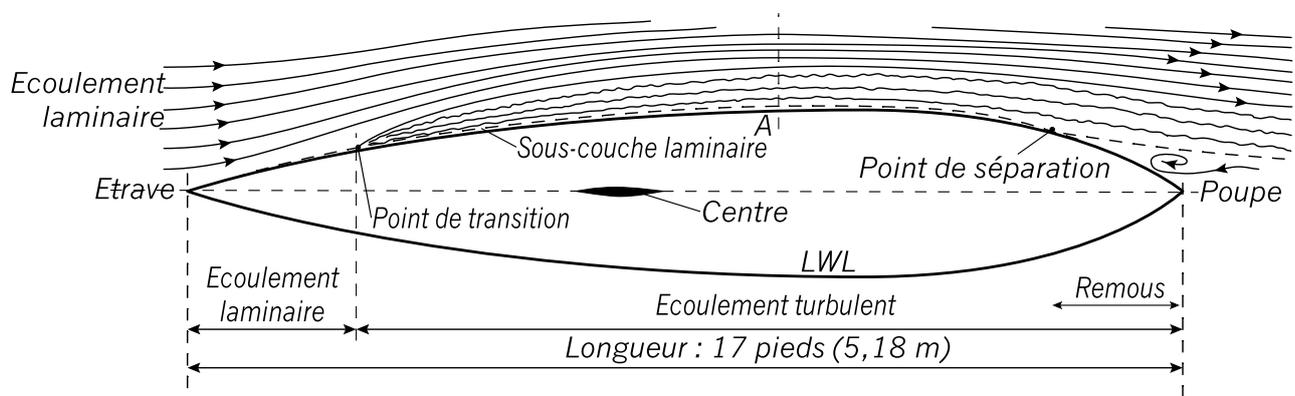
● **Explications** : traînée, portance.

○ La réaction à la composante d'avancement  $CA_{\text{édyP}}$  se traduit par une **résistance** à l'avancement qui est en relation avec la vitesse : nulle à l'arrêt, elle augmente avec la vitesse.  $CH_{\text{dyF}}$  = traînée.

○ Elle est composée de plusieurs facteurs.

REM. : L'observation et l'écoute de l'eau sont des indicateurs précis : l'apparition de vagues, de remous, de tourbillons, des bruits «aquatiques», indiquent des perturbations dans l'écoulement du flux de l'eau donc un facteur de frein.

- Les filets d'eau se resserrent à l'arrière, reprennent leurs places en créant une vague de poupe, des remous ou des tourbillons suivant l'intensité de la perturbation, la forme de l'arrière du bateau, l'enfoncement... on dit que le bateau traîne de l'eau.
- Pour diminuer la vague d'étrave qui absorbe beaucoup d'énergie, on place un bulbe qui crée une vague avant celle de l'étrave.
- Le bulbe est calculé pour que «sa vague» annule la vague formée derrière lui.
- (Voir Technique voile).
- La forme : le coefficient «Cx», la composante de traînée ou de frein qui en fonction du fluide (air, eau pour nous), de la forme (longueur, largeur), que subit un mobile en déplacement.



● **La résistance résiduelle : augmente en fonction du carré de la vitesse**

○ Les vagues :

- En compétition-natation, on interdit de nager sous l'eau, à l'exception d'un mouvement car on y nage plus rapidement.
- Les sous-marins sont plus rapides en plongée qu'en surface.
- La cause : ils n'y a pas de formation de vagues comme en surface, phénomène qui absorbe de l'énergie. Les vagues :
- Le bateau, en avançant, écarte à l'étrave les filets d'eau en deux veines.
- Comme la voile pour l'air mais ici le profil est en principe symétrique : il n'y a pas de concavité.
- On voit l'eau créer un bourrelet d'eau à l'étrave très visible chez les péniches à étrave peu profilée navigant à faible vitesse : l'eau est soulevée à l'avant en «dos d'âne» sans qu'elle ne se retourne.
- Les couches d'eau vont se resserrant et créent une poussée inverse à la marche du bateau puis s'échappent sans remous sur les côtés. Le glissement des filets d'eau entre eux et repoussés par la convexité de la coque crée des vagues qui s'éloignent en V.
- Ce système de vague glisse le long de la coque.

- Beaucoup de recherches dans les domaines :
- Les véhicules de «Monsieur tout le monde» à la formule 1: le fameux CX : la forme aérodynamique,
- Les coques de compétitions sur l'eau la forme hydrodynamique
- Les avions...
- Le cyclisme : la tenue du coureur, le pédalier, les pneus, les rayons, les pneus profilés : plus haut et étroits pour les « contre-la-montre».
- Empiriquement on peut dire qu'un bateau long, étroit et profilé perturbera moins les filets d'eau qu'un bateau pansu : court, grand-maître bau et profond.
- comparez la carène d'un Optimist et d'un Spirou, coque à bouchain et coque en forme.
- les «anciens» : Stars, Dragons, 12J... : long, belle étrave et quille.
- les recherches pour «l'America» : l'ancien America : «capable de rallier le lieu de course à travers le monde» et maintenant des bêtes de course.
- les coques planantes en monocoque pour le tour du monde, inspirée des anciens dériveurs,
- ... d'une péniche et d'une barge de pousseur.
- de l'état de la coque :
- la vitesse de l'eau sur la coque,

- la rugosité de la coque (augmentation de la couche limite),
- d'autres forces «parasites» plus complexes.

● **La résistance de frottement** : augmente de manière linéaire avec la vitesse.

○ Propriétés : elle dépend de :

- La vitesse du bateau, elle croit de manière linéaire avec la vitesse.
- La viscosité de l'eau.
- Qui est fonction de la  $t^\circ$  et du sel,...

○ La couche limite :

- Mince pellicule d'eau collée à la coque par attraction moléculaire.
- Les couches extérieures, de moins en moins attirées glissent sur les voisines qui sont plus rapides côté coque et moins rapide côté extérieur.
- C'est la viscosité qui produit cet effet d'entraînement.

• A une certaine distance : l'eau n'est plus entraînée il reste les vaguelettes qui s'éloignent en V: l'angle aigu étant situé à l'étrave.

• En résumé : le passage de la couche collée, qui a la même vitesse que la coque, aux filets qui ne sont pas entraînés, s'effectue au travers d'une épaisseur des filets d'eau bien visible si de petites particules flottent sur l'eau. (pollen, pétales, malheureusement aussi du polluant qui irise l'eau et qui collera à votre coque...)

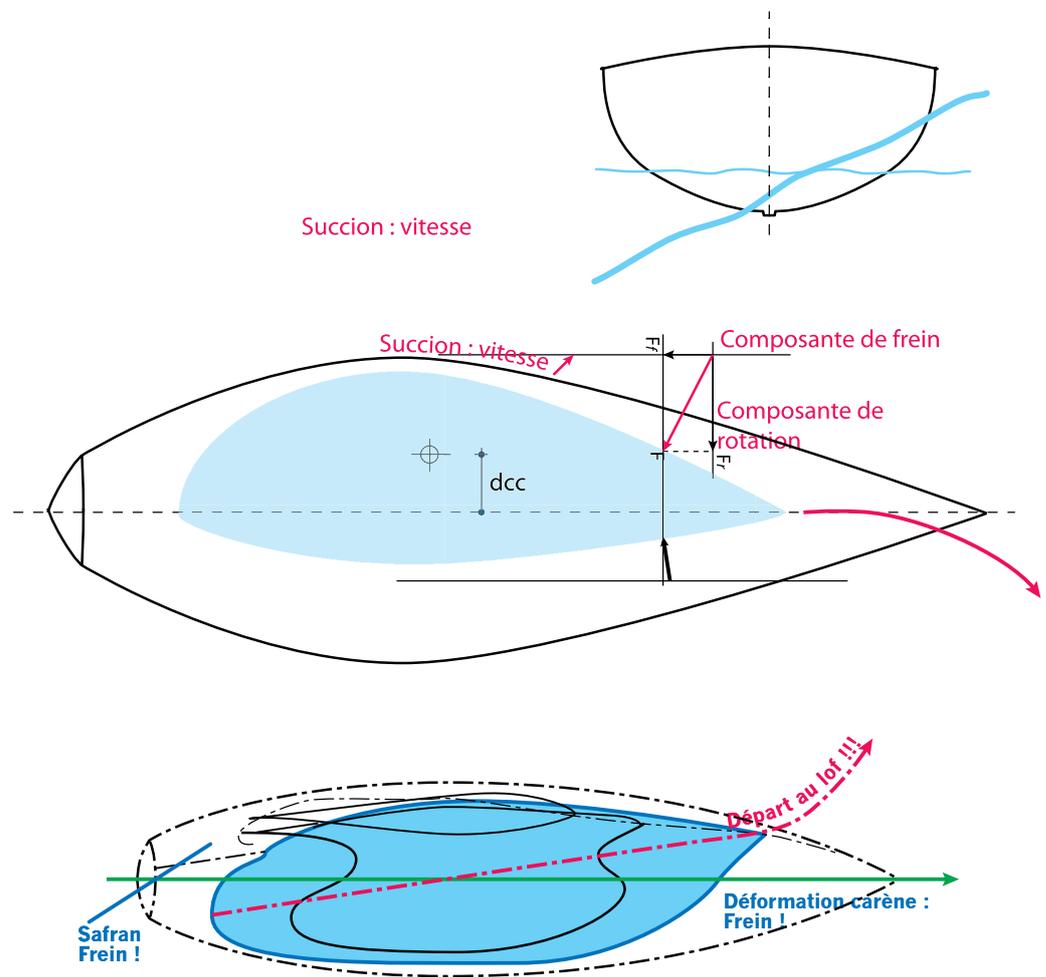
• Ces filets entraînés déforment la forme de la coque, déterminent un volume d'eau, un poids supplémentaire que le bateau emmène.

○ L'état de la coque.

- La saleté, la présence de coquillage, d'algues, de rugosité, la coque abimée, peintures mal appliquées... qui «piègent» l'eau dans les cavités.
- Ce volume d'eau sera entraîné créant les mêmes résultats que la couche limite en augmentant ses effets.

• Pour la diminuer :

- il n'y a pas de secret : utiliser de «l'huile de bras», malgré un premier passage avec les nettoyeurs à pression pour maintenir la coque propre et lisse.
- Attention aux produits utilisés qui peuvent lustrer mais augmentent l'attraction moléculaire.
- Certains disent qu'après avoir obtenu un poli parfait on obtient une plus grande couche limite ; qu'il faut ensuite poncer très finement au papier à l'eau de 600 et plus ou des pâtes finement abrasives...
- Le graffite (la mine de crayon) a été utilisé à une époque malgré son caractère très «souillant».
- Des peintures ont été interdites parce qu'elles auraient eu des propriétés propulsives en se détruisant dans l'eau.
- etc...



○ L'assiette du bateau doit naviguer «plat», dans son assiette afin d'avoir des courbes symétriques latéralement et longitudinalement pour que la passage dans l'eau se fasse avec le minimum de résistance dans l'axe avant-arrière.

- Chargé à l'avant il enfourne,
- chargé à l'arrière il traîne de l'eau,

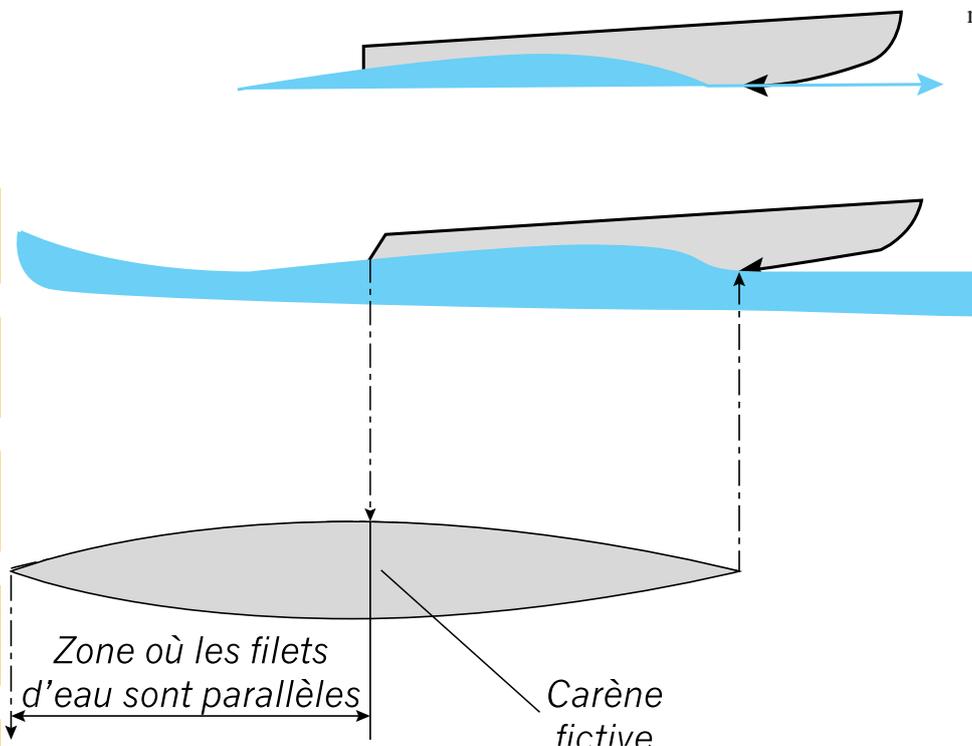
- gîte il lofe : «effet de gîte ou de carène»,
- contre-gîte il abat. Exception pour le vent arrière. (voir *Pratique voile*).
- Ceci impose une action du safran qui freine encore plus.
- Ces erreurs provoquent des remous qui se voient et s'entendent.
- Toutes les résistances hydrodynamiques :
  - Les résiduelles.
  - Les frottements.
  - Les vagues.
  - Les formes.
  - Les assiettes latérales (gîte, contre-gîte) et antéro-postérieures (enfouir, traîner).
  - Le plan anti-dérive.
- La résistance totale est la somme des résistances hydrodynamiques et aérodynamiques (p. 61).

- Le bateau est toujours soumis à la poussée d'Archimède mais il ne peut plus accélérer (coque à déplacement): coincé entre le bourrelet d'eau, la vague d'étrave et celle de poupe qui peut être haute : il est à sa vitesse critique: vitesse maximum pour le bateau qui «flotte» en respectant les lois de l'hydrostatique.

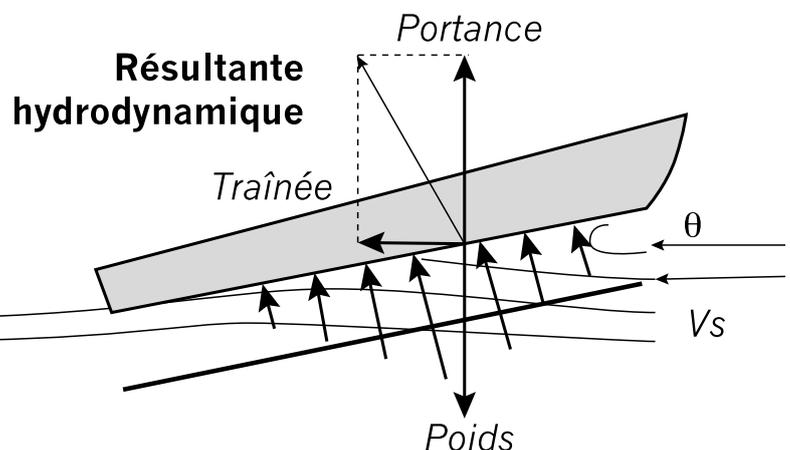
● Le planning :

- Si le bateau peut dépasser ce seuil (coque planante), il passe au planning : il ne flotte plus mais glisse sur l'eau, comme un galet qui ne flotte pas mais ricoche sur l'eau, comme les planches...
- La vitesse critique est fonction de la longueur du bateau, de sa largeur et de son fond plat.
- Formule pour connaître à quelle distance se forme la deuxième vague :  $d = \{V/2,4\}^2$ . (d = longueur à la flottaison : V la vitesse en nœuds. 2,4 est un coefficient dépendant du fluide).
- Formule pour connaître la vitesse critique :  $V_c$  (en nœuds) =  $2,4 \times$  «racine carrée» de L (Longueur du bateau à la flottaison en mètre).

- Exemple : L = 4 mètres :  $V_c = 4,8$  nœuds – 6 mètres = 6 nœuds...).
- La coque est passée au-dessus de la vague d'étrave et la vitesse développe une force de portance .
- Le fond plat, une assiette légèrement cabrée, le bon plein favorisent le départ au planning.
- Les foils sont des déflecteurs orientés de manière à créer une force de portance pour faire déjauger la coque à la manière des skis nautiques.



- La vitesse limite :
  - Si la vitesse augmente.
    - Le «V» des vagues s'accroît, devient plus aigu et les vagues s'espacent.
    - A un moment il n'y a plus qu'une grosse vague à l'étrave et la deuxième vague rejoint la vague arrière.
    - Le volume d'eau à l'avant ne sait plus combler le vide à l'arrière : le bateau se cabre.



## L'hydroptère à la loupe

### Fiche technique :

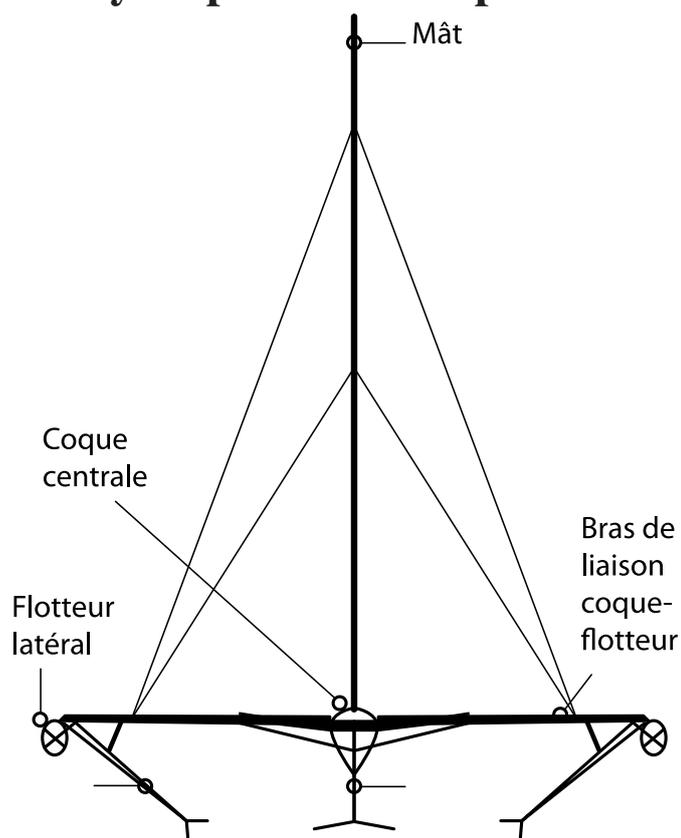
Longueur	: 18 mètres
Envergure	: 23 mètres
Masse	: 4,8 tonnes
Vitesse de décollage	: 10 nœuds
Hauteur de mât	: 27 mètres
Surface de voilure au près	: 270 m <sup>2</sup>
Longueur des foils latéraux	: 6 mètres

### Foil :

Ces «ailes marines» développent une portance qui croît avec la vitesse. Dès que l'hydroptère atteint 10 nœuds, les forces exercées sur les foils engendrent une poussée verticale suffisante pour que les coques sortent de l'eau. Le bateau «décolle», seuls les foils et l'empennage restent en contact avec l'eau. Le volume immergé étant très faible, la résistance à l'avancement augmente peu avec l'accroissement de la vitesse.

### Empennage arrière :

C'est le système de direction du bateau. Un volet vertical permet d'orienter l'hydroptère vers la droite ou vers la gauche. Situées à l'extrémité de ce volet, des ailettes horizontales servent à maîtriser l'angle d'attaque du bateau : de leur inclinaison dépend l'orientation de l'étrave. Le tout est commandé par un système électrique.





## TV 18 : LA FORCE ANTIDERIVE : FHydyAD

### ● Les termes utilisés :

#### ○ Carène :

- œuvres vives, parties immergées de la coque avec ses appendices et leurs caractéristiques de formes :
- la forme de la coque, ronde, à bouchain...
- la quille courte et longue ou profonde et étroite comme une lame,
- les dérives fixes, sabres, pivotantes...

• LA CARENE MODIFIE SA FORME DES QUE LE BATEAU QUITTE SON ASSIETTE MAIS LE VOLUME NE CHANGE PAS SI ON N'EMBARQUE OU NE DEBARQUE AUCUNE CHARGE .

#### ○ Volume de carène :

- Le volume d'eau chassée par la coque.
- Son poids est appliqué à son Centre de Gravité : CGC,
- Il a la même valeur que le poids du bateau,
- Il est le centre d'application de la poussée hydrostatique «la poussée d'Archimède».
- Il «subit» les modifications de forme de la carène et de valeur de la carène et se déplace en conséquence.

#### ○ Plan antidérive :

- Il est déterminé par la coupe longitudinale du volume de carène, y compris les appendices : dérive, quille, aileron de quille, lame du safran...

• **Il se modifie en fonction des déformations du volume de carène par modification de l'assiette.**

#### ○ Le centre de carène : CC

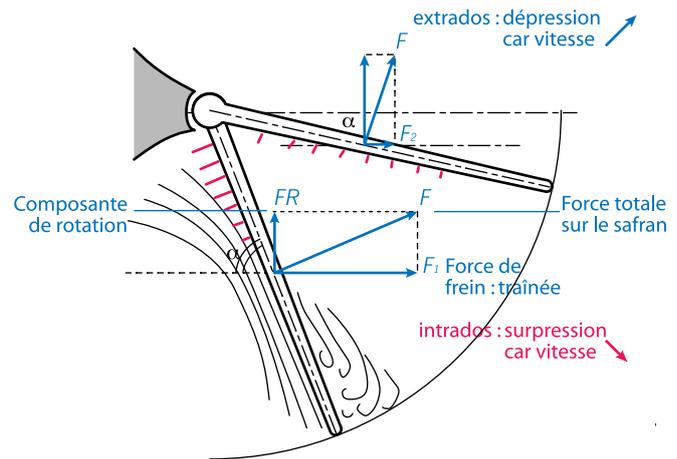
- Il est le centre géométrique du plan anti-dérive : point d'application de FHydyAD.
- Il est situé au centre de gravité du volume de carène,
- Il est le point d'application des poussées hydrostatique et hydrodynamique.
- Il est le «nœud» de la rencontre des axes de rotation : longitudinal, transversal, vertical.

● Origine de la **FHydT** :

- La réaction à la **FAedyT** :
- Une origine hydrodynamique :
  - Près de l'étrave : il y a un bourrelet d'eau repoussé par l'étrave c'est-à-dire une surpression car l'écoulement de l'eau frotte la coque et ralentit.
  - Au maître-bau : dépression car le chemin est allongé et le fluide s'accélère le long des flancs de la coque,
  - Attention en navigation «bord à bord», les deux coques risquent de se rapprocher suite aux 2 pressions négatives sur leurs flancs et l'écoulement de l'eau entre les deux coques qui s'accélère au fur et à mesure que les bateau se rapprochent suite au rétrécissement du passage. Il faut être absolument vigilant à ce phénomène vis-à-vis des bateaux commerciaux fluviaux qui créent encore plus de dépressions par l'aspiration des hélices sous la coque. Eloignez-vous de 5 à 6 longueurs des flancs d'une péniche.
  - A l'arrière : le flux reprend sa place : c'est une zone à remous et tourbillons.

● Fonctionnement.

- La coque avance «en crabe» (encore une dérive ), elle dérape légèrement sous le vent de sa route. ( $\pm 8^\circ$  au près,  $5^\circ$  au travers,  $0^\circ$  au vent arrière.)
- Cela crée une répartition des forces
  - **sur la paroi de la carène :**
  - **sous le vent :** intrados (qui reçoit le flux en premier) par l'appui de la coque sur l'eau qui provoque un **ralentissement** du fluide donc une surpression,
  - **«au vent» :** extrados, une **accélération** du fluide qui crée une **dépression**,
  - si l'angle entre le plan de dérive et l'axe du bateau augmente trop : des tourbillons apparaissent et la coque décroche.
  - sur les appendices sous la coque qui font aussi parties du plan de carène :
  - la quille plus ou moins longue ou fine et profonde,
  - la dérive pivotante, sabre, fixe, double,
  - le safran qui en route droite fait aussi office de dérive
  - **Ralentissement, donc élévation de la pression du côté intrados (le côté qui s'appuie sur l'eau, «sous le vent»).**
  - **Accélération à l'extrados (le côté «au vent»).**
  - Bilan :
  - Toutes ces composantes **AD** partielles s'additionnent en une **FhydyAD** globale, appliquée au **CD**.
  - Perpendiculairement à la surface du plan de carène.
  - Elles se décomposent :
    - En une composante anti dérive : **CHyAD**.
    - Et une composante de frein : **CHyDF**.

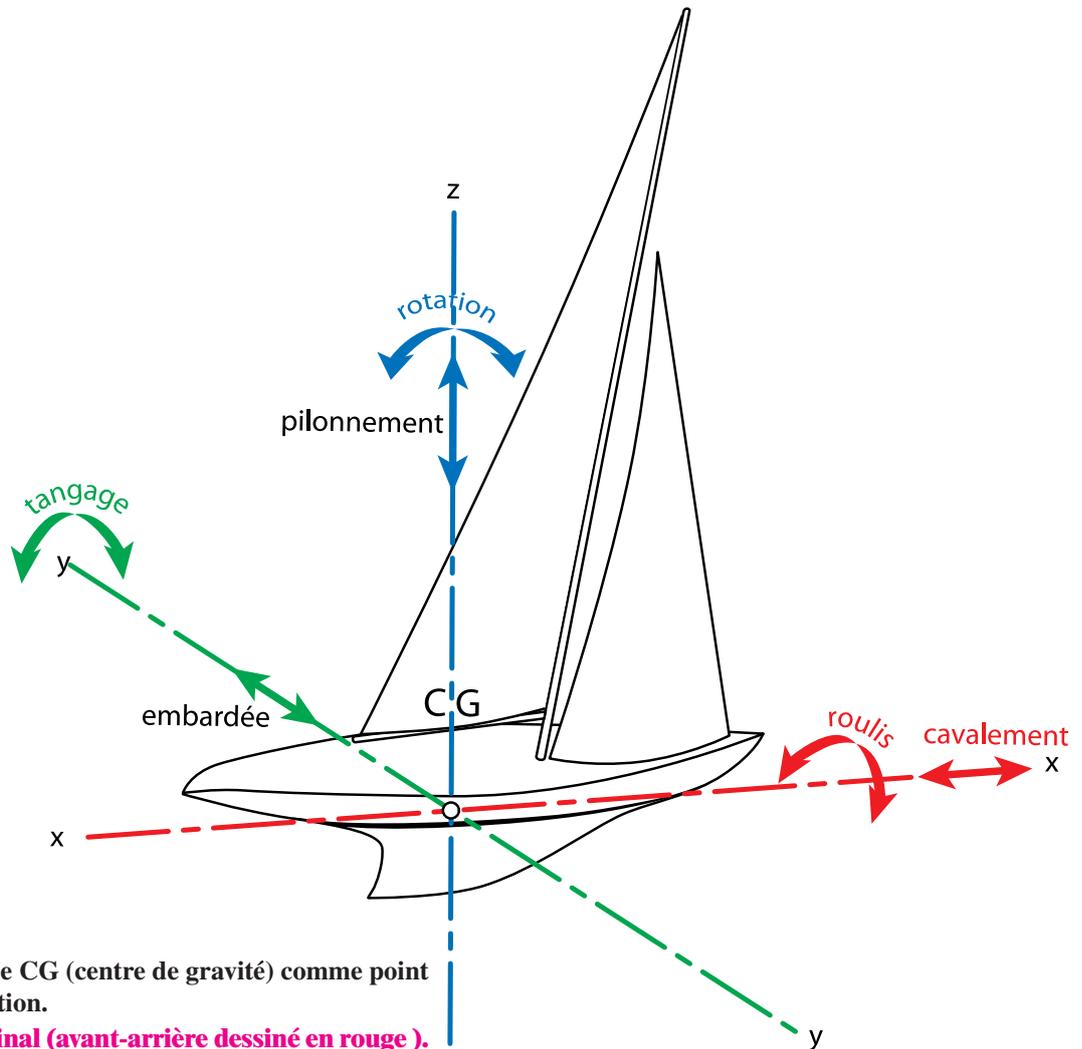


● Le safran.

- orienté dans l'axe de la route, il joue le même rôle que la dérive.
- Lorsqu'on modifie son incidence, on dévie le flux de l'eau la règle est toujours la même :
  - Sur l'intrados : ralentissement donc surpression.
  - Sur l'extrados : accélération donc dépression.
- Le safran étant mobile sur l'axe vertical : suivant le bord sur lequel on navigue ou l'action de lofer ou d'abattre les faces du safran changent de rôles et deviennent extra ou intrados.
  - Ces dépressions et pressions s'additionnent au centre géométrique du safran,
  - Elles créent une composante latérale qui fait déraiper l'arrière du bateau et une composante de frein.
  - Si la manœuvre est trop brutale, ou si le bateau gîte trop (style Europe : longue bôme qui s'engage dans l'eau et interdit de choquer), le safran peut décrocher ou, trop près de la surface, aspirer de l'air .
  - Il devient inopérant.
  - Si l'angle entre le plan de dérive et l'axe du bateau augmente trop : des tourbillons apparaissent et la coque décroche.
  - Il faut choquer, abattre, reprendre de la vitesse et re-devenir manoeuvrant.

## Chapitre VI - COMBINAISONS DES FORCES AERIENNES ET HYDRAULIQUES

TV 19 : LES MOUVEMENTS D'UNE COQUE - Pierre Gutelle : Architecture d'un voilier – Théorie



● **Trois axes ayant le CG (centre de gravité) comme point central de la rotation.**

○ **Axe Longitudinal (avant-arrière dessiné en rouge).**

- La coque gîte ou contre-gîte, ce mouvement s'appelle le roulis .
- Les embarquées : changement brutal de direction et gîte (autre axe). (voir effet de carène).
- (le «cavement» : la coque accélère et ralentit... par vent variation du vent arrière (présence du spi) ou de la houle par l'arrière).

○ **Axe Transversal (gauche-droite, bâbord-tribord dessiné en vert).**

- La coque enfourne à l'avant, s'enfonce de l'arrière, ce mouvement s'appelle le tangage, il est présent sous spi ou encore par mer arrière.
- L'«embarquée» simultanément avec une gîte (changement d'axe. Effet de carène).

○ **Axe Vertical (les rotations horizontales : les changements de cap, dessiné en bleu.)**

- La coque tourne à l'horizontal autour de cet axe comme dans les virements de bord : rotation ou lacet.
- (La coque monte et descend soumise aux jeux des vagues: le «pilonnement»).

● **Trois plans : se rencontrant à hauteur des Centres, le bateau étant plat :**

○ **Différences entre Plan et Axe :**

- Un plan coupe le volume dans un sens.
- L'axe traverse le volume.
- Une roue tourne dans un plan autour d'un axe, le pignon, idem pédalier, idem essuie glace...
- Une plaque est un plan, si on la traverse par un clou qui devient un axe, elle tourne autour «dans son plan».

○ **Plan transversal :** le bateau roule autour de son axe longitudinal mais son mât se déplace dans un plan transversal.

○ **Plan longitudinal :** le bateau tangue autour de son axe transversal et son mât oscille dans le plan longitudinal,

○ **Plan horizontal :** le bateau tourne autour de son axe vertical il balaie 360° dans le plan horizontal.

○ **Glissement le long des axes dans le même plan :** Il y a aussi des mouvements de glissement dans la direction

du plan, pour ne pas utiliser le terme «l'axe du plan» qui prêterait à confusion. Fin (P. Gutelle)

● **Combinaisons :**

- Il est quasi impossible que seul un axe, un plan soit impliqué dans les mouvements du bateau.

- Ces mouvements sont créés par le jeu des composantes aériennes et hydrauliques dont l'instigatrice est la **FAedyT** et sa réaction : la **FHydyT**.

**TV 20 : SYMBOLE DES FORCES ET COMPOSANTES - RAPPEL**

**Adaptation des sigles afin d'éviter de nombreuses confusions lors du passage des brevets :**

**C = Centre :** point d'application de la Force Totale.

- air : **CV** : Centre vélique
- eau : **CD** : Centre du plan de dérive
- : **CC** : Centre du volume de carène
- pesanteur : **CG** : Centre de gravité

**F = Les forces dynamiques :**

- air : **FV** : Force aérodynamique totale : **FAedyT**
- eau : **FAD** : Force hydrodynamique totale - Réaction à **FV** : **FHydyT**

**C = Les composantes des FAé(ro)dy et FHy(dro)dy :**

- |              |     |              |                                 |                                   |                |
|--------------|-----|--------------|---------------------------------|-----------------------------------|----------------|
| <b>Aéro</b>  | ex. | : <b>CA</b>  | : composante d'avancement       | → C. Aérodynamique propulsive :   | <b>CAedyP</b>  |
|              | ex. | : <b>CD</b>  | : composante de dérive          | → C. Aérodynamique de dérive :    | <b>CAedyD</b>  |
|              | ex. | : <b>CF</b>  | : composante de frein - traînée | → C. Aérodynamique de frein :     | <b>CAedyF</b>  |
| <b>Hydro</b> | ex. | : <b>CF</b>  | : composante de frein - traînée | → C. Hydrodynamique de frein :    | <b>CHydyF</b>  |
|              | ex. | : <b>CAD</b> | : composante anti-dérive        | → C. Hydrodynamique anti-dérive : | <b>CHydyAD</b> |

**Les forces «statiques» :**

- le poids : **FG**
- la poussée hydrostatique : **FPHy** ou
- ou poussée d'Archimède : **FPArchi**

**TV 21 : LES FORCES STATIQUES : EAU - GRAVITE (pesanteur) - Pas de composantes**

Noms	Poids - Pesanteur (bateau, équipage, eau embarquée «carène liquide»).	Poussée hydrostatique ou Poussée d'Archimède	<b>Roulis :</b> axe longitudinal (couple de chavirage ou de redressement). <b>Equilibre :</b> stabilité de poids, de forme. Assiette latérale : gîte - contregîte Lof ou abattée. Rôle de la carène liquide : déplace <b>G</b> .
Symbole	<b>G - FG - Pds</b>	<b>FHySt</b> ou poussée d'Archimède	<b>Tangage :</b> axe transversal assiette longitudinale : - enfourner - traîner de l'eau.
Point d'application	Centre de gravité : <b>CG</b>	Centre (de gravité, du volume) de la carène : <b>CC</b>	<b>Pilonnement :</b> (pour mémoire) mouvements verticaux de montée et descente successives.
Directions	Verticale	Verticale	
Sens	Vers le BAS, le centre de gravité de la terre;	Vers le haut	
Grandeur	$F = mg$	Poids du volume de l'eau déplacée égale au poids du bateau	
<b>Remarque :</b> le centre de gravité est également le point de rencontre des axes de rotation.			

**TV 22 : LES FORCES DYNAMIQUES : AIR ET EAU ET LEURS COMPOSANTES**

	AIR	EAU	ACTION
	Force aérienne <b>FAé</b>	Force hydrostatique : <b>FHy</b>	Si le déplacement est en ligne droite et uniforme : le système est en équilibre (action = réaction) donc à l'arrêt ou à vitesse constante <b>FAedyP = FHydyF</b> . (traînée).  En cas de rupture d'équilibre il y a accélération ou décélération. On peut décomposer les forces en composantes : l'une dans l'axe du bateau, l'autre perpendiculaire ; c'est-à-dire les composantes propulsive et de frein d'une part et les composantes de dérive et anti-dérive d'autre part.
Noms	Force Aérienne dynamique Totale	Force Hydrodynamique Totale	
Symbole	<b>FAédyT</b> (ex. <b>FV</b> )	<b>FHydyT</b> (ex. <b>FAD</b> )	
Point d'application	<b>CV</b>	<b>CD = CHydyT</b>	
Directions	Perpendiculaire au plan de la voile.	Idem que <b>FAédyT</b>	
Sens	<b>SOUS LE VENT.</b>	<b>AU VENT.</b>	
Grandeur	Fonction force du vent, forme de la voile, l'allure, le type de bateau...	Idem <b>FAédyT</b> (c'est la réaction) Plan anti-dérive, ses formes et ses appendices : dérive, safran, foil...	

**LES COMPOSANTES : PROPULSIVES ET DE FREIN**

	<b>CAédyP</b> (propulsive)	<b>CHydyF</b> (frein) - traînée	
Point d'application	<b>CV</b> →	<b>CD</b> →	Système en équilibre. Présence d'un angle de dérive plus grand au près qu'aux allures portantes.
Symbole	Axe longitudinal du bateau	Axe longitudinal du bateau	
Sens	Vers l'AVANT	Vers l'ARRIERE	Axe longitudinal.
Grandeur	En fonction de <b>FAédyT</b> et de l'allure.	Fonction de la vitesse au carré, la forme... de la coque	- Provoque les accélérations et les ralentissements (le cavallément). - Axe transversal : le tangage - L'enfournement : l'étrave s'enfonce, le bateau «enfourne».

	<b>CAédyF</b> (frein) - traînée		
Point d'application	Se compose avec <b>CV</b> → <b>CAédyT</b>		Tous les effets résultant de la vitesse des fluides sur un profil symétrique et asymétrique ( <i>gîte et lof et l'inverse...</i> ). Lorsque le bateau ne flotte plus grâce à sa vitesse, il n'y a presque plus de résistance à l'avancement et il passe au «planing».  Se décomposera en un composante de frein qui s'ajoute à <b>CHydyF</b> et une composante de dérive qui s'ajoutera à <b>CAédyD</b> .
Direction	Du vent apparent comme la girouette.		
Sens	Sous le vent		
Grandeur	Fonction du vent apparent, du fardage, des voiles mal bordées, équipage debout.		

**LES COMPOSANTES : DE DERIVE ET ANTI-DERIVE**

	<b>CAedyD</b>	<b>CHydyAD</b>	
Point d'application	<b>CV</b> → <b>T</b>	<b>CC</b>	Axe vertical : - rotation - virement, gîte, lof, rôle du safran - caractère ardent / mou Axe longitudinal : - roulis - gîte et contregîte - assiette latérale Axe transversal : tangage
Direction	Transversale	Transversale	
Sens	Sous le vent	Au vent	
Grandeur	Fonction de la vitesse, du vent apparent et de l'allure.	Fonction de la vitesse, du vent apparent et de l'allure.	

## BIBLIOGRAPHIE

- **Sailing theory and practices** - C.A. Marchaj - Adlars Cowes.
- **Architecture du voilier** - Tome I - Pierre Gutelle - EMOM.
- **Voiles et gréement** - Pierre Gutelle - EMOM.
- **Manuel de matelotage et de voilerie** - Pierre Gutelle.
- **Les voiles, comprendre, régler, optimiser** - Bertrand Cheret - Chiron.
- **Physique appliquée du dériveur - Travail pour le monitorat-voile** - Harold Goderniaux - 2003.
- **Théorie et physique du dériveur - Notes de cours pour les formations aide-moniteur et moniteur voile** - ADEPS - 1990 - J. Henrion.

### Météorologie :

- Enormément de livres sur la mer, le vent, la croisière, les prévisions, du plus simple au très complexe, l'idéal est de se rendre dans une librairie marine pour voir les livres.
- **Radio et Internet** : là aussi il y a énormément de sites sans compter les bulletins météorologiques qui couvrent de plus en plus longues périodes.
- Nous ne pouvons pas oublier la BBC sur 198 kHz, France-Inter sur 162 kHz, l'avis du marin du coin...
- Les sites sur Internet sont plus attractifs, pour comprendre les phénomènes simples.
- Sites intéressants, les instituts météorologiques nationaux :
  - **www...**
  - **windfinder.com** - Météo à 10 jours sur la terre entière. Utilise beaucoup les données des aérodromes. Tableau explicite.
  - **windgourou.cz** - Idem que windfinder mais orienté vers le surf : en plus la direction et hauteur de vague, etc...
  - **metoffice.gov.uk** - Météo anglaise de l'Islande au golfe de Gascogne dans la Manche et la zone Thames qui nous intéresse. Tableau explicite.
  - **ventusky.com** - Donne en vue directe animée les paramètres de direction, force, t°... sur la terre entière. Pas de prévision. Très pédagogique.
  - Et d'autres à orientation plus spécifique : agriculture, travaux publics, aviation, sports... Bonne chasse !

