

## Pour les matheux ...

### Stabilité du voilier 2<sup>ème</sup> partie

Nous en faisons l'expérience au quotidien, la question est essentielle, tout particulièrement pour les auteurs de modèles réduits de voiliers. Le problème en revanche, que nous avons survolé, est très complexe à résoudre dans sa totalité lorsque le bateau navigue ; nous nous contenterons donc d'une étude statique, bien suffisante à notre échelle...de réalisation, mais surtout de notre savoir mathématique !

A ce propos, justement, il fallut attendre les travaux du français Pierre Bouguer, de l'allemand Leonhard Euler (un génie à l'origine de la fameuse conjecture de Riemann, autre génie, laquelle résiste depuis près de deux siècles, à toute les tentatives de démonstration) pour donner à la question de la stabilité un début de solution.

Il faut en revanche constater que, dans notre domaine, la stabilité d'un multicoque est d'entrée beaucoup plus facile à comprendre et apprécier correctement, tout particulièrement dans le cas d'un catamaran : centre de gravité au milieu des bras de liaison et centre de carène se déplaçant à la gîte sur le flotteur sous le vent. Ainsi, lorsque le centre de gravité va se situer à la verticale du centre de carène, qu'il y ait du vent ou non, le bateau chavire (voir, Stabilité du voilier 1, schéma D et abaque n°2)

Il n'en va pas de même pour nos monocoques : surlestés, le chavirage est pratiquement impossible ; en revanche, les voir se coucher sur l'eau, mât à l'horizontale...est assez fréquent !



Pour cette simple raison, une étude approfondie nous paraît nécessaire. Nous avons tenté de la rendre accessible à tous, car le sujet est passionnant, mais trop souvent traité sous une forme telle qu'elle décourage dès les premières lignes, tous ceux qui n'en sont pas spécialistes.

Commençons par le commencement...

Un simple regard sur un voilier au vent fait comprendre que, s'il navigue incliné, cette force inhérente est le résultat de la poussée exercée par l'air en mouvement, laquelle s'appliquant sur l'ensemble de la voilure, peut-être, afin de simplifier le calcul, en quelque sorte concentrée sur le « **centre vélique** » que l'on peut géographiquement calculer (voir § plus loin consacré à ce sujet).

Afin de maintenir cette inclinaison, une force agissant en sens inverse est naturellement nécessaire : cette force est la résultante de la masse du bateau et s'applique au niveau du **centre de gravité**.

*Remarque : cette dernière agit sur tous les bateaux, voilés ou non ; s'il s'agit d'un cargo navigant en eau calme et sans vent, une inclinaison latérale ne peut-être que le résultat d'un chargement inégal sur chaque bord entraînant un déplacement latéral du centre de gravité initialement situé dans l'axe longitudinal de la coque.*

Mais pour que ces forces s'équilibrent à la manière d'une balance à plateaux, encore faut-il que l'axe qui les relie trouve un appui entre elle deux.

Cet appui se nomme le **point métacentrique** et se situe à l'intersection de la verticale issue du **centre de carène** avec l'axe en question qui délimite la symétrie transversale du bateau. Nous allons le constater, le **centre de carène** se déplaçant au fil de l'angle de gîte, entraîne avec lui le déplacement du **point métacentrique**.

Enfin, la **poussée d'Archimède**, s'exerçant à la verticale depuis le **centre de carène**, va en conséquence, se concentrer sur le **point métacentrique**.

Remarque : il ne faut pas oublier l'importance de l'angle de gîte sur le rapport des forces exprimées au niveau du centre de poussée vélique et du centre de gravité.

Pour une surface de toile donnée et à vitesse de vent constante la pression exercée par ce dernier varie selon la valeur du cosinus de l'angle pris en compte :

$15^\circ = 96.6 \%$ ,       $30^\circ = 86.6 \%$ ,       $60^\circ = 50 \%$

La valeur du redressement exercé par le centre de gravité, basée sur le sinus de l'angle, suit le chemin inverse :

$15^\circ = 25,8 \%$ ,       $30^\circ = 50 \%$ ,       $60^\circ = 86.6 \%$

### **La Poussée d'Archimède**

Enoncée il y a plus de vingt-deux siècles, elle suffit à donner la mesure de l'immense génie de ce grec originaire de Syracuse :

« *Tout corps, partiellement ou totalement immergé dans un fluide, reçoit une poussée verticale, dirigée du bas vers le haut, égale un poids du fluide déplacé et appliquée au centre du volume immergé.* »

Résultent de principe les fondamentaux dont nous allons nous servir :

- 1° Si mon voilier flotte en équilibre, c'est qu'il n'est que partiellement immergé,
- 2° le poids du volume d'eau qu'il déplace est égal à son propre poids,
- 3° la force qui en découle s'applique verticalement et de bas en haut sur le centre du volume immergé, donc le **centre de carène**

Il en résulte également :

- 4° qu'un m<sup>3</sup> de plomb, pesant en surface 11 300 kg, ne pèse plus, totalement immergé que 10 300 kg,
- 5° que mon voilier à flot n'a plus aucun poids puisque la poussée reçue est égale à sa gravité, mais conserve son centre de gravité propre, indépendant de son centre de carène,
- 6° que les bulles d'air émises par les plongeurs, 773 fois moins denses que l'eau, mais compressibles, remontent à la surface de l'eau à une vitesse folle, leur masse étant infime au regard de la poussée reçue due au volume qu'elles déplacent... par ailleurs la compression qu'elles subissent en profondeur allant diminuant vers la surface, leur volume augmente alors que leur densité diminue ce qui a pour effet d'accentuer leur vitesse.

Ainsi et pour faire bon usage de cette poussée, allons-nous devoir situer ces fameux centres :

- A : centre de poussée vélique
- B : centre de gravité
- C : centre de carène
- D : métacentre
- E : point métacentrique à la gîte.

Tous ces points sont bien situés quelque part sur le bateau, mais où donc, et comment s'y prendre pour le savoir ?

En ce qui concerne A, nous savons le faire et avons donné la solution géométrique du problème (Centre de poussée des voiles). Pour les autres... la solution va nous être donnée en traçant ce que l'on nomme : La courbe des aires des couples immergés.

Nous verrons plus loin que derrière cet énoncé un peu mystérieux, se cache un outil facile à réaliser d'une part, redoutablement efficace de l'autre. Nous n'en aurons pour l'instant pas à en faire usage, car nous allons étudier, pour bien comprendre l'ensemble des points recherchés, la coque du bateau la plus simple qu'il puisse se faire :

### Une Barge :

Cette dernière se résume à une boîte parallélépipédique sans couvercle généralement utilisée pour le transport de pondéreux en vrac : ciment, sable, bois...



Nous lui donnerons les dimensions suivantes :

Longueur :	40 m
Largeur :	8 m
Hauteur :	5 m
Déplacement vide :	160 tonnes
En charge :	640 tonnes

La charge, 480 tonnes, étant constituée de planches de bois de densité 500 kg/m<sup>3</sup>, soit un volume de 960 m<sup>3</sup> lesquels, répartis sur une surface de 320 m<sup>2</sup> (40 x 8) représentent une hauteur de chargement de 3 m.

### 1° CALCUL DU CENTRE DE GRAVITE GLOBAL

#### *1.1 Centre de gravité de la barge à vide :*

- Surface totale =  $(40+40+8+8) \times 5 + (8 \times 40) = 800 \text{ m}^2$
- Densité au m<sup>2</sup> =  $160 \text{ t} / 800 = 0,2 \text{ t} / \text{m}^2$
- Soit pour ½ surface =  $400 / (40+40+8+8) = 4,166 \text{ m}$
- Hauteur du centre de gravité au-dessus du fond =  $5 \text{ m} - 4,166 \text{ m} = 0,834 \text{ m}$

#### *1.2 Centre de gravité de la charge :*

- $3 \text{ m} / 2 = 1,5 \text{ m au-dessus du fonds}$

### 1.3 Centre de gravité global :

- 1,5 m – 0,834 m = 0,66 m
- 0,66 m / 640 = 0.00104 m
- 0,00104 m x 160 = 0.1665 m
- 0,1665 / 2 = 0,0832 m
- 1,5 m – 0,0832 m = 1,417 m

Vérification :

- Charge à 1,417 m = 227 tonnes
- Barge à 1,417 m = 92 tonnes
- 227 + 92 = 319 soit 640 / 2

### 2° CALCUL DU CENTRE DE CARENE A 0° DE GITE

- 640 tonnes / 320m<sup>2</sup> = 2 m niveau de la flottaison
- 2 m / 2 = 1 m sous la flottaison

### 3° CALCUL DU RAYON METACENTRIQUE INITIAL

La valeur de ce rayon, centrée sur le métacentre, permet d'avoir une bonne idée de la stabilité du bateau à la gîte : il est bien évident que plus la distance séparant le métacentre du centre de gravité est importante, plus le bateau offre de résistance, compte tenu de sa masse, à la poussée exercée par la voilure pour un angle de gîte donné.

Il est nécessaire pour faire ce calcul de partir d'un angle dont la valeur du sinus est facile à manier d'une part, et de l'autre suffisamment faible pour pouvoir considérer le bateau comme navigant à gîte nulle, car le calcul, si l'on tend vers 0° de gîte, donne en ce cas des valeurs tellement faibles, nous allons le voir, qu'elles sont inexploitables.

Pour cette raison l'angle retenu est 4,78°, car diviser un nombre quelconque par la valeur du sinus de cet angle revient à multiplier ce nombre par 12.

Il est donc d'usage de calculer ainsi : 
$$\frac{\text{Surface du plan de flottaison} \times \text{largeur}^2}{\text{Déplacement} \times 12}$$

Soit pour notre coque : 
$$\frac{320 \times 8^2}{640 \times 12} \quad \text{Soit } 2,665 \text{ m}$$

Pour mieux illustrer ce qui précède, refaire ce calcul pour un angle de gîte de 0,001°, donne le résultat de 0,0005585 m, soit 0,5585 mm... l'angle en question étant 4 780 fois plus faible que le précédent = 0,5585 mm x 4 780 = 2.66 m

La dimension première est facilement vérifiable pour ceux d'entre nous doués pour le dessin de précision : il est alors facile de mesurer l'écart séparant les centres de carènes obtenus à 4,78° et 0°. En diviser la valeur par le sinus de 4,78° vous permet d'obtenir la position du point métacentrique sur l'axe du bateau. Exemple pour la barge à 4,78° de gîte :  
0,222 m x 12 = 2,66 m

On peut être encore plus précis comme le montre le dessin et calculer aisément les valeurs d'écart entre centre de carène et point métacentrique pour les angles suivants : 4,78°, 20°, 30°. Les largeurs de flottaison sont respectivement sur le dessin :

$$4,78^\circ = 8,03 \text{ m}$$

$$20^\circ = 8,5 \text{ m}$$

$$30^\circ = 8,64 \text{ m}$$

Le déplacement doit-être multiplié ainsi :

$$4,78^\circ \quad \quad \quad = x \ 12$$

$$20^\circ : \quad 20^\circ - 4,78^\circ = 15,22^\circ \quad 12 / \cos 15,22 = 12,436$$

$$30^\circ : \quad 30^\circ - 4,78^\circ = 25,22^\circ \quad 12 / \cos 25,22 = 13,264$$

Le calcul devient alors :

$$4,78^\circ : 8,033 \times 40 / 640 \times 12 = 2,696 \text{ m}$$

$$20^\circ : 8,53 \times 40 / 640 \times 12,436 = 3,086 \text{ m}$$

$$30^\circ : 8,643 \times 40 / 640 \times 13,264 = 3,04$$

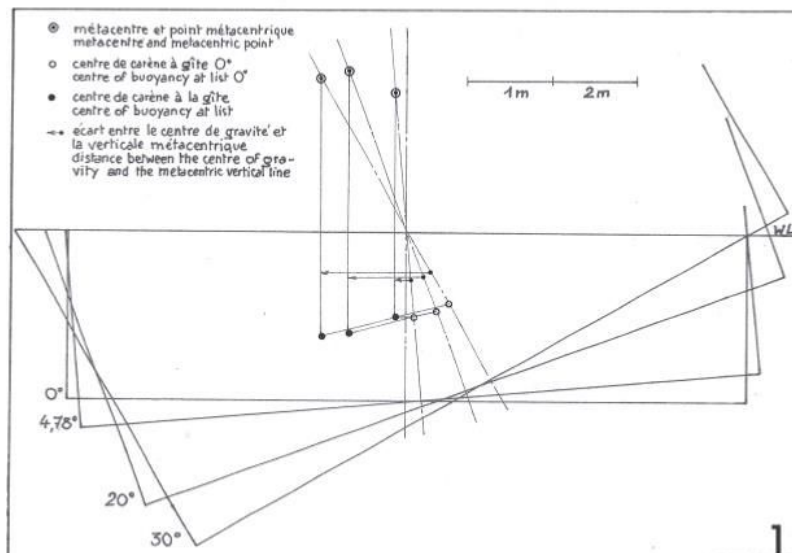
On remarquera au passage que les valeurs que nous venons d'obtenir sont égales à la distance séparant le centre de carène à la gîte de celui obtenu à 0°, multipliée par le sinus de l'angle correspondant :

$$2,696 \times \sin 4,78 = 0,224 \text{ m}$$

$$3,086 \times \sin 20 = 1,05 \text{ m}$$

$$3,04 \times \sin 30 = 1,52 \text{ m}$$

La distance à l'horizontale séparant le centre de gravité de la verticale métacentrique permet de calculer la valeur de rappel selon l'angle considéré.



Enfin, et pour conclure, à supposer notre barge équipée comme un voilier, soit avec un mât portant 1 500 m<sup>2</sup> de voile (surface que portait « Reliance » en 1903), et dont le centre de poussée soit situé à 30 m au-dessus du centre de gravité, nous obtiendrons en vitesse de vent les valeurs suivantes :



*Reliance*

	4,78°	20°	30°
Distance entre centre de poussée et point métacentrique	30-2,2 = 27,8 m	30-2,6 = 27,4 m	30-2,65 = 27,35 m
Rapport dimensionnel	27,8/2,2 = 12,63	27,4/2,6 = 10,53	27,35/2,65 = 10,32
Valeur du tonnage en rappel	640 x Sin 4,78 = 53,3	640 x Sin 20 = 219	640 x Sin 30 = 320
Pression sur le centre de poussée	53,3/12,63 = 4,22t	219/10,53 = 20,79 t	320/10,32 = 31 t
Surface de voile à l'angle considéré	1500 x Cos 4,78 = 1 494 m <sup>2</sup>	1 500 x Cos 20 = 1 409 m <sup>2</sup>	1 500 x Cos 30 = 1 300 m <sup>2</sup>
Valeurs en pression par m <sup>2</sup>	4 220 / 1 494 = 2,82 kg/m <sup>2</sup>	20 790 / 1 409 = 14,75 kg/m <sup>2</sup>	31 000 / 1300 = 23,8Kg/m <sup>2</sup>
Vitesse vent correspondante	$\sqrt{\frac{2,82 \times 9,81 \times 2}{1,293 \times 2}} = 6,54 \text{ m/sec}$	$\sqrt{\frac{14,75 \times 9,81 \times 2}{1,293 \times 2}} = 14,96 \text{ m/sec}$	$\sqrt{\frac{23,84 \times 9,81 \times 2}{1,293 \times 2}} = 19 \text{ m/sec}$

La stabilité de la barge étant bien comprise, passons à l'étude d'un voilier monocoque.

Nous nous sommes arrêtés sur un modèle de MAXI 100 pieds. Ce sont des voiliers de dernière génération, ultra rapides mais surtout ultra légers pour leur taille. Cependant, la forme du pont style « fer à repasser » qui est celle de tous les monocoques de compétition aujourd'hui n'est en rien une découverte récente ; elle ne fait que reprendre la forme, comme depuis plus de cinquante ans, des petits dériveurs planant sur l'eau, l'équipage en rappel. En revanche, l'extension dimensionnelle à laquelle nous assistons aujourd'hui doit tout à la mise au point des fibres, carbone kevlar et autres, fruits de la recherche chez les géants de la chimie mondiale : l'allègement qui en est résulté, couplé à une résistance bien supérieure, ont, nous allons le voir, permis de construire une coque de 30 m de longueur, 8 m de largeur, pesant une vingtaine de tonnes, alors qu'une telle construction, il y a trente ans, en aurait accusé au moins le double !

Le maxi « COMANCHE », splendide voilier de record, signe de surcroît par le jeune architecte français Guillaume Verdier, sera notre base de travail. Nous en avons simplifié les lignes, rendant ainsi son étude plus commode sans pour autant dénaturer à l'excès le problème tel qu'il se pose.





Maxi Comanche



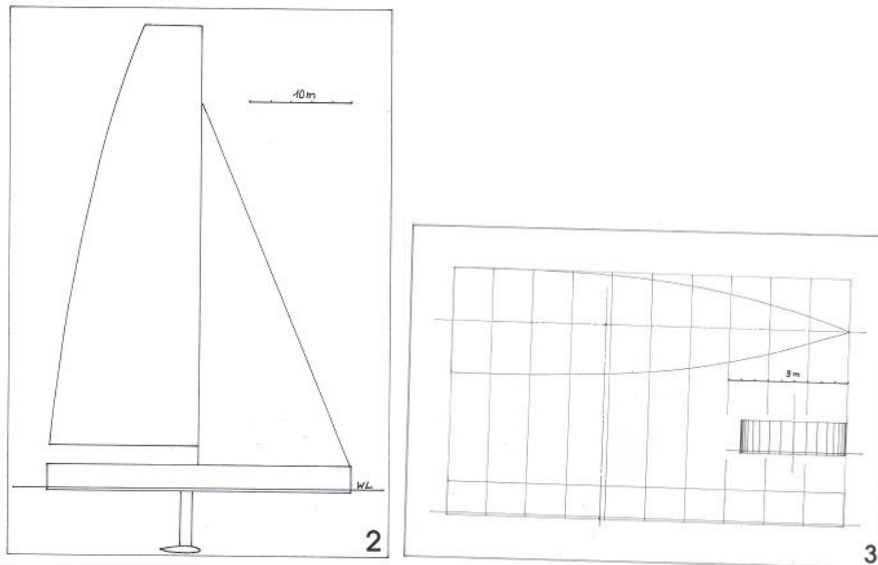
Guillaume Verdier

MAXI 100

DONNEES TECHNIQUES / PLAN GENERAL AVEC VOILURE ET COUPLES

<b>MAXI 100</b> <b>CARACTERISTIQUES TECHNIQUES – TECHNICAL DATA</b>	
<b>Longueur / Length</b>	<b>30 m</b>
<b>Largeur / Width</b>	<b>8 m</b>
<b>Tirant d'eau / Draught</b>	<b>6,27 m</b>
<b>Tirant d'air / Headroom</b>	<b>46 m</b>
<b>Déplacement / Displacement</b>	<b>30 tonnes</b>
<b>Surface de voile / Sail area</b>	<b>700 m<sup>2</sup></b>
<b>Masse du lest / Ballast weight</b>	<b>8 tonnes</b>
<b>Masse coque / Hull weight</b>	<b>20,5 tonnes</b>
<b>Masse gréement / Rigging weight</b>	<b>1,5 tonnes</b>
<b>Centre de poussée voile / Aerodynamic center</b>	<b>19,5 m + LWL</b>
<b>Centre de gravité / Centre of gravity</b>	<b>0,11 m + LWL</b>
<b>Surface plan de flottaison 0° / Floating area 0°</b>	<b>177 m<sup>2</sup></b>
<b>Surface plan de flottaison 30° / Floating area 30°</b>	<b>59 m<sup>2</sup></b>
<b>Tirant d'eau / Draught of the hull</b>	<b>0,164 m</b>





## COURBE DES AIRES DE COUPLES IMMERGÉS

A partir du plan de forme, nous pouvons tracer cette courbe en calculant la surface immergée de chaque couple pour une gîte de 0°

Les couples sont placés dans l'ordre du plan et espacés de même sur l'axe horizontal des abscisses. Sur l'axe vertical des ordonnées sont indiquées les surfaces correspondantes.

La courbe joignant entre eux tous les points repérés permet du premier coup d'œil, de connaître précisément sur la longueur du bateau, l'emplacement du centre de carène. Compte tenu de la simplification des lignes de la coque, sa situation en hauteur vaut la dimension du tirant d'eau de la coque, 0.164 m divisée par 2.

Le centre de carène se situe à 18,5m de l'étrave.

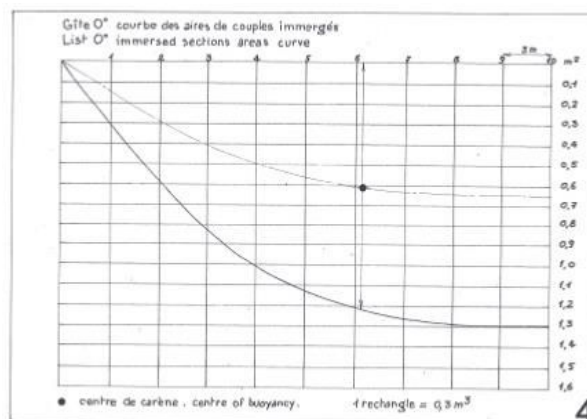
Il est facile d'en vérifier l'exactitude en se référant à la vue de dessus :

$$[(\text{largeur couple 8} + \text{couple 7}) / 2] \times 3 = 24$$

$$24 \times 0.164 = 3.936 \text{ m}^3 \dots ; [(7+6) / 2] \times 3 \times 0.164 \dots$$

L'addition finale vous donnera 29 m<sup>3</sup>.

Mais pourquoi 29 m<sup>3</sup> alors que le bateau pèse 30 tonnes ? Tout simplement parce que les appendices, lest, voile de quille, safrans, ont été évalués à 1 m<sup>3</sup> de déplacement. Le lest seul, 8 tonnes de plomb, déplace 0,708 m<sup>3</sup>.



## VALEUR DU RAYON METACENTRIQUE INITIAL, POSITION DU METACENTRE

Connaissant l'emplacement du centre de carène, nous utiliserons la coupe de la coque à ce niveau, l'inclinant à  $4,78^\circ$ , tout en respectant le volume immergé.

Nous disposons de plusieurs mode de calcul, à savoir :

- Par le coefficient de surface,
- Par la somme des cubes des largeurs moyennes,
- Par la méthode de Bouguer et le calcul du moment de la surface de flottaison,
- Par le dessin de la coupe au niveau du centre de carène

### 1° par le coefficient de surface :

Faire le rapport existant entre la surface du plan de flottaison à  $0^\circ$  de gîte avec le rectangle circonscrit soit :

- $(8 \times 30) / 177 = 240 \text{ m}^2 / 177 \text{ m}^2 = 1,35$
- $240 \times 8^2 = 15\,360$
- $15\,360 / 1,35 = 8\,428$
- $8\,428 / (29 \times 12) = 24,22 \text{ m}$  au-dessus du centre de carène

### 2° par la somme des cubes des largeurs moyennes :

On entend par largeur moyenne, l'addition de la mesure de chaque couple avec le suivant divisée par 2 et passée à la puissance 3.

L'addition de l'ensemble vous donne la somme de 2 840.

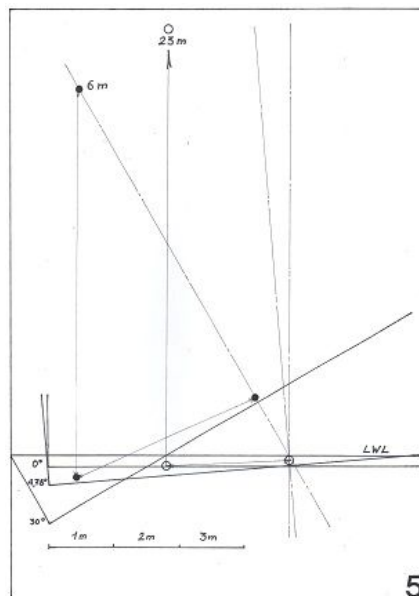
On multiplie cette somme par la valeur de l'écart entre les couples soit 3 mètres, ce que l'on divise ensuite par la valeur du déplacement multipliée par 12 :

- $(2\,840 \times 3) / (29 \times 12) = 24,48 \text{ m}$ .

### 3° par la méthode de Bouguer :

Surface du plan de flottaison et largeur à mi-longueur :

- $(177 \times 6,93^2) / (29 \times 12) = 24,42 \text{ m}$



### 4° par le dessin de la coupe au niveau du centre de carène, coupe positionnée à $4,78^\circ$ de gîte :

Si le dessin est correctement tracé, multiplier par 12 la distance séparant les centres de carènes à 0° et à 4,78°, il donne pour résultat :

-  $1,93 \text{ m} \times 12 = 23.28 \text{ m}$

L'ensemble de ces calculs donne une valeur moyenne de 24,10 m, très largement suffisante pour une bonne exécution.

### POSITION DU POINT METACENTRIQUE A 30° DE GITE

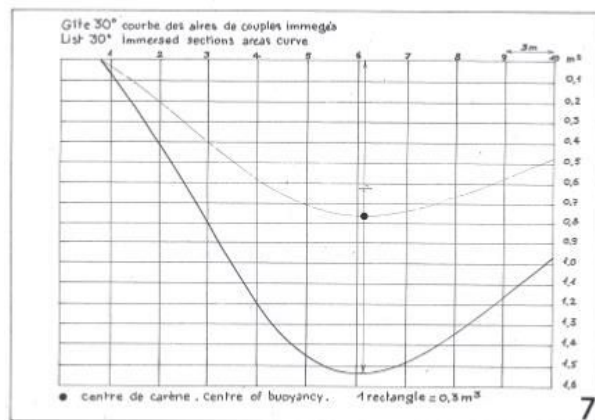
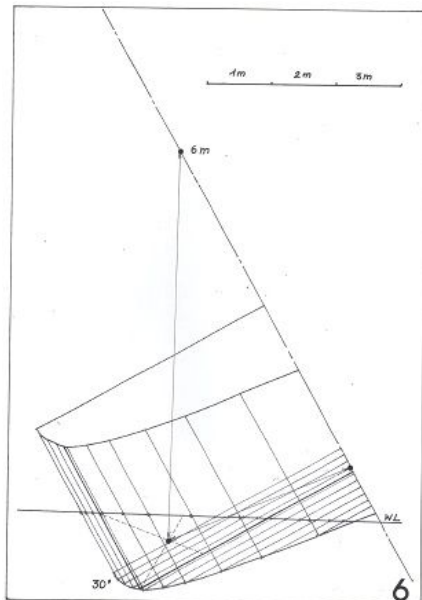
La solution la plus simple, toujours partant de la section au niveau du centre de carène ; consiste à la faire basculer à 30° (attention à bien respecter la surface immergée), puis d'en calculer géométriquement le centre, enfin de multiplier par 2 (diviser par sinus 30°) la distance le séparant du centre de carène.

On obtient alors  $3 \text{ m} = 6 \text{ m}$ .

Cette valeur est parfaitement exacte et pour la vérifier mieux encore, il faut donner à la coque sa position réelle à 30° de gîte ; or il est une donnée qui quelle que soit la gîte en question demeure invariante : c'est le centre de gravité qui conditionne la position du centre de carène. Le bateau va donc s'incliner mais également se désaxer sur sa longueur et plonger quelque peu sur l'avant. S'il n'est pas très aisé d'en apprécier du premier coup les valeurs exactes, dessiner la courbe des aires correspondante aide énormément à évaluer les corrections d'assiette à effectuer.

La position exacte connue, il ne reste plus qu'à mesurer, comme précédemment la distance comprise entre centres à 30° et 0°, divisée par la valeur du Sin 30° soit :

-  $3 / (\sin 30) = 6 \text{ m}$



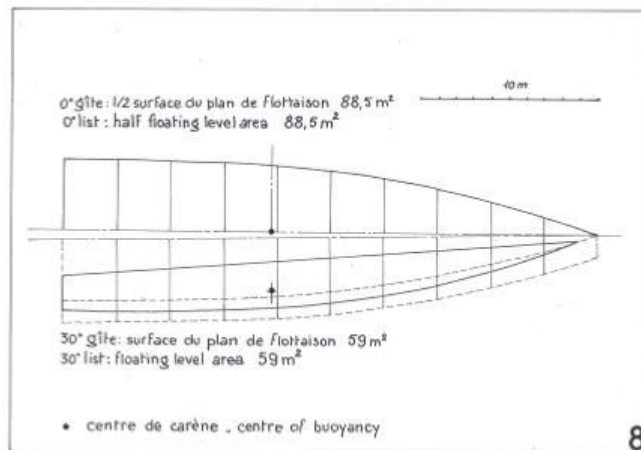
On peut également obtenir une valeur proche en multipliant la surface du plan de flottaison à 30° (voir dessin n° 8) :

-  $59 \text{ m}^2 \times 6,274^2 = 2322.4$

-  $2322,4 / (29 \times 13.264) = 6,04 \text{ m}$

6,274 m est la largeur moyenne des couples,  $13,274 = (12 / \cos 25.22^\circ)$

En définitive, une dimension de 6 m est bien à retenir, soit le quart de la hauteur métacentrique obtenue à 4,78°.



30° DE GÎTE, QUELLE VITESSE DE VENT ?

On ne peut l'apprécier que si les trois points suivants sont parfaitement situés Il s'agit :

- du centre de poussée vélique,
- du point métacentrique,
- du centre de gravité.

Nous connaissons les deux premiers, reste le centre de gravité.

Calcul du centre de gravité :

Les 30 tonnes du bateau étant répartis comme suit :

- gréement, mât et voiles = 1,5 t
- coque = 20,5 t
- lest = 8,0 t

et les centres de gravités correspondants par rapport à la flottaison :

- gréement, mâts et voiles = 19,45 m
- coque = 1,086 m
- lest = 6 m
- point métacentrique = 5,65 m

Emplacement du centre de gravité global :

- distance centre de gravité coque centre de gravité lest = 1,086 + 6 = 7,086
- $7,086 / (20,5 + 8) = 0,24863$
- $0,24863 \times 20,5 = 5,09$  m au-dessus de centre de gravité du lest
- Ce qui place le centre de gravité du gréement à :
- $19,5 + 0,91 = 20,41$  du centre de gravité coque / lest
- $20,41 / 30 = 0,68$
- $0,68 \times 1,5 = 1,02$  m au-dessus du centre de gravité coque / lest
- Soit un centre de gravité global situé à :
- $1,02 - 0,91 = 0,11$  m au-dessus de la flottaison.

En conséquence, la distance séparant le point métacentrique du centre de poussée est égale à :

-  $19,5 - 5,65 = 13,85$  m

Et celle déparant le point métacentrique du centre de gravité est égale à :

-  $5,65 - 0,11 = 5,54$  m

Leur rapport vaut donc :

-  $13,85 / 5,54 = 2,5$

Calcul de la vitesse de vent nécessaire :

- Masse opérationnelle à  $30^\circ$  :  $30\ 000 \times \sin 30 = 15\ 000$  kg

- Voilure opérationnelle à  $30^\circ$  = :  $700\ \text{m}^2 \times \cos 30 = 606\ \text{m}^2$

- Pression au niveau du centre de poussée :  $15\ 000 / 2,5 = 6\ 000$  kg

- Soit par  $\text{m}^2$  de voile :  $6\ 000 / 606 = 9,9$  kg /  $\text{m}^2$

- Vitesse de vent correspondante : (racine carrée de  $9,9 * 9,81 / 1,293$ )  $\times 2 = 12,24$  m/s

-  $12,24 \times 3\ 600 = 44$  km /h

UNE MAQUETTE AU 1/15 ?

Ce serait une bonne idée, encombrement et poids acceptables.

Il serait cependant nécessaire de majorer tirant d'eau et masse du lest de 50 % car sinon la tenue au vent ( $4,4/\text{racine carrée de } 15 = 11,36$  km/h) serait un peu faible. La modification réalisée permettrait de supporter un vent de 14 km/h correspondant au gain, 150 %, de la pression supportée :

$14/11,36 = 1,232$

$1,252^2 = 1,518 = 150 \%$

Rédaction : François Couture Président de l'association  de 2003 à 2015