

LE GREEMENT DU FINN

ANALYSES TECHNIQUES

AVANT PROPOS

Le petit groupe de bordelais, reconstitué depuis trois ans sous l'impulsion de Jean Jacques Granchamp, après plus de trente ans de sommeil a retrouvé les éternelles discussions tournant autour de la raideur du mat, de sa nervosité (?), de la coupe et du creux de tel ou tel type de voile ... De ces élucubrations de plage, de bar et de table, des idées ont émergé, des envies folles de fabrication (très vite remises à plus tard ...) ont même osé être exprimées, ...

L'éternel remueur de méninges, jamais pleinement satisfait de son matériel et espérant toujours une possibilité d'amélioration, Pierre Mondétéguy, le bouillonnant Gilles Henaff, les pragmatiques Jean Claude Roumaillac et Jean Jacques Granchamp, moi-même, mélange de tout ça tout en étant (c'est ce qu'ils disent ...) un peu dans les nuages ...et tous les autres copains - copine de la flotte, sont finalement à l'origine de ce remue méninges.

Utiliser le vent, s'appuyer sur l'eau et faire avancer une coque dans une direction presque opposée à celle du flux d'air, aller plus vite que le vent, cela nous paraît si évident ! Pourtant, il faut faire un peu de physique pour analyser le jeu subtil des forces en présence et comprendre « pourquoi ... ».

Constater que deux bateaux identiques, aussi bien barrés l'un que l'autre, vont à des vitesses sensiblement différentes Là encore, il faut essayer de comprendre comment « fonctionnent » les différents constituants que sont la coque, le gréement, le poids de l'équipage.

Le sujet est vaste, complexe, et il y aura toujours des interrogations, des remises en question, des certitudes qui s'évanouissent et de nouvelles qui s'affirment.

Pour apporter quelques éléments complémentaires à nos multiples (et éternels ...) sujets de discussion, nous vous proposons une série d'articles techniques sur quelques thèmes de prédilection :

- ARTICLE 1 : Les mats de FINN

- caractéristiques et comportement (en adéquation avec une voile)
- une méthode de caractérisation statique complète « mat à la bordelaise »
- analyse des résultats et exemples de comparaison

- ARTICLE 2 : Comportement mécanique d'un mat

- les différents types de gréement
- les sollicitations mécaniques d'un mat (statiques et dynamiques)
- les modes de rupture
- application à un mat de finn

- etc ...

Article 1

CARACTERISATION D'UN MAT DE FINN

Application à l'analyse du comportement mat / voile

A l'origine, la seule fonction du mat était de porter haut la voile. Celle-ci à tout d'abord été:

- soit tenue en trois points (en tête de mat, à l'avant du bateau et à l'arrière par le biais d'une écoute)
- Soit tenue en trois ou quatre points, par l'intermédiaire d'une vergue en plus des éléments précédents (voile carrée, voile au tiers, voile au tiers apiquée).

Dans ces configurations, qu'il soit tenu par des cordages (haubans et étais) ou simplement encastré, on lui demandait seulement de fournir un point d'accrochage haut placé et de rester debout. Ces gréements possédaient une bonne efficacité aux allures portantes mais un guindant mal tenu ne permettait pas de bonnes performances au près.

Les voiles latines, ont montré l'intérêt d'un plan de voilure où la totalité du bord d'attaque de la voile était solidaire d'une vergue très inclinée, pour arriver à la voile bermudienne, triangulaire, au guindant tenu au mat, soit par des points rapprochés, soit en continu: le gréement marconi (*).

D'autre part, la voile, à l'origine simple pan de tissu, est devenu un assemblage complexe de panneaux donnant une forme « en volume » de bien meilleure efficacité.

Ces combinaisons permettaient entre autres avantages, de mieux remonter au vent grâce à une meilleure maîtrise de la forme de la voile. Les manœuvres quant à elles, étaient facilitées. Sous l'effet de la pression du vent, le tissu s'étire de façon inhomogène, la forme de la voile (en volume) évolue, son rendement est modifié. L'intérêt est vite apparu de disposer de moyens de réglage pour compenser ces déformations, voire les provoquer.

Deux moyens peuvent être mis en œuvre:

- modifier le volume de la voile en donnant plus ou moins de tension à la bordure et au guindant
- déformer localement le mat (et éventuellement la bôme)

Ce dernier point est obtenu sur les mats haubanés par l'intermédiaire d'un ou plusieurs étages de barres de flèche, de guignols réglables, parfois associés à une tension de haubans réglable, de cale d'étambrai réglable, etc ...

Sur nos mats de FINN, simplement encastrés, pas (ou peu) de moyen d'agir. Ses caractéristiques mécaniques figent son devenir en regard des sollicitations qui vont lui être appliquées....

On entre dans le vif du sujet ... page suivante !

(*) avec un haubanage si compliqué qu'il ressemblait à une antenne de TSF, d'où l'appellation «marconi » ...

Article 1

CARACTERISATION D'UN MAT DE FINN

Application à l'analyse du comportement mat / voile

« Sur nos mats de FINN, simplement encastrés, pas (ou peu) de moyen d'agir. Ses caractéristiques mécaniques figent son devenir en regard des sollicitations qui vont lui être appliquées.... »

Simpliste ! ... mais pas si simple !

Contrairement aux cas précédents qui permettent (au prix d'aménagements complexes) de bloquer à la demande et en tout point la forme du mat, ici,

par l'intermédiaire d'une seule action (1), celle de la tension d'écoute transmise par la voile,

tout va bouger du pied à la tête de mat, la voile va s'aplatir en haut, en bas, la chute se tendre et fermer ou rester souple et ouverte, ... le tout dans l'ordre et dans le désordre ... et par-dessus le marché, pour en ajouter une couche, la poussée du vent impose une composante latérale qui va faire fléchir le mat sur le côté !

Il va donc falloir arranger le mariage de cette voile avec ce mat avant leur première rencontre ... sinon, divorce assuré et grosse déception dans la famille proche !

Les critères de choix doivent être pertinents, certains d'entre eux d'ailleurs fixant de façon implicite les autres.

C'est ainsi que dans l'ordre, on suit les étapes suivantes :

- 1 gabarit du barreur (poids, taille, condition physique), technique de barre
- 2 détermination des caractéristiques d'un mat
- 3 choix et commande d'une voile adaptée aux critères précédents (2)

1 : on n'y peut pas (ou plus) grand-chose, ou ça serait trop de sacrifices ... !

3 : voir annotation (2)

2 : on continue page suivante ...

- (1) on évoquera le réglage de la quête via le pied de mat et/ou le calage d'étambrai. Outre son influence sur l'équilibre du bateau, son effet permet de fixer le point de fonctionnement à tension d'écoute maxi, voile bordée au pont, mais ne modifie pas le comportement mécanique global de l'ensemble mat-voile.
- (2) il faut reconnaître qu'on change plus souvent de voile que de mat, c'est plus facile pour nous et gros avantage, ça nous coûte bien moins cher que de faire l'inverse ... bien que tout ça reste très relatif !

Article 1

CARACTERISATION D'UN MAT DE FINN

Application à l'analyse du comportement mat / voile

Et déjà, une petite mise au point ...

La raideur

La raideur (K) est une caractéristique de comportement statique. Par exemple, pour un ressort tenu à une extrémité et soumis à une force (F) à l'autre bout, elle traduit le rapport entre la force appliquée et l'allongement constaté (x).

Elle dépend des caractéristiques intrinsèques à la géométrie de la structure et au matériau.

$$F = K \cdot x \qquad K = F / x$$

La nervosité (terminologie plus subjective que scientifique)

On parle souvent de « nervosité », aptitude à réagir « vite » à une variation de sollicitation. C'est une caractéristique de comportement dynamique. Elle associe d'une part la raideur (caractéristique statique), la masse à mettre en mouvement, et un facteur appelé « coefficient d'amortissement ». Elle est d'autant plus importante que la raideur est forte, et d'autant plus faible que la masse est forte et que l'amortissement est important.

Analogie :

La masse de la voiture et les ressorts de suspension associés aux amortisseurs

Dans le cas de notre mat mis en situation de navigation, la masse c'est la masse du mat plus celle de la voile (en partie) qui y est accrochée, sans oublier qu'à l'autre bout, il y a celle du bateau et celle du barreur. La raideur, c'est la raideur statique de notre mat. Quant au coef d'amortissement, c'est une caractéristique du matériau du mat (comme s'il y avait un amortisseur intégré dans la matière) auquel s'ajoute l'effet amortisseur de la voile qui doit remuer de l'air ...

Pour aller droit au but, avec les matériaux utilisés pour la fabrication de nos mats (carbone/époxy), ce facteur d'amortissement interne est faible et varie très peu avec le temps. D'autre part, d'un mat sur l'autre, la masse et la répartition de masse sont quasiment identiques. Donc pas d'élucubration inutiles, le comportement dynamique de l'ensemble est essentiellement régi par la « raideur » du mat et la masse entraînée (celle du bateau et du barreur) :

Un mat souple sera toujours moins « nerveux » qu'un mat raide » et pour des mats raisonnablement comparables en âge et de caractéristiques statiques identiques, à par dans la tête (bu barreur !), peu de chance que leur «nervosité» soit différente.

(et attention au côté subjectif de la chose et à la persuasion mentale due aux rumeurs d'après régates ...)

Dans un prochain (?) article, un chapitre sera consacré aux mesures possibles relatives à ces aspects: caractérisation dynamique, amortissement,

Article 1

CARACTERISATION D'UN MAT DE FINN

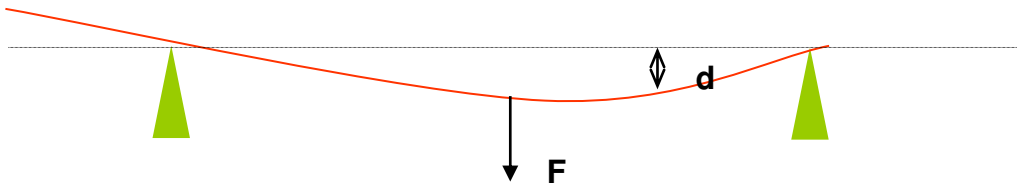
Application à l'analyse du comportement mat / voile

Les méthodes de caractérisation

Caractérisation statique (ancienne méthode)

Le mat en appui simple sur deux tréteaux au niveau des marques de jauge. Un poids de x DaN était appliqué au milieu. Les mesures de la déformée sont réalisées tous les xx cm par rapport à un cordeau passant par les marques de jauge.

Cette méthode ne permettait qu'une analyse partielle des caractéristiques. Elle a été abandonnée pour une technique de mesure « mat encasté ».

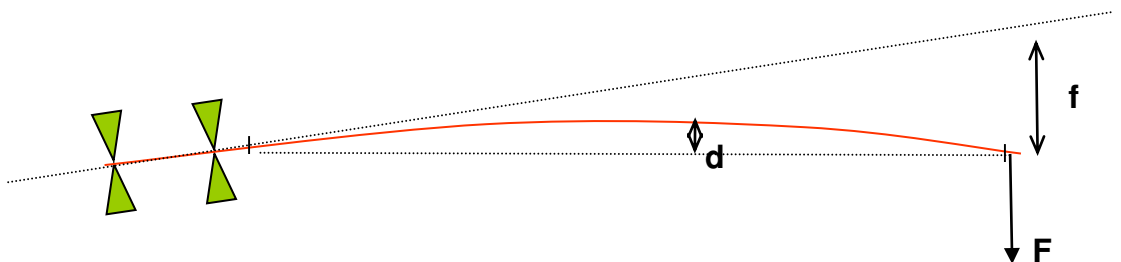


Caractérisation statique (méthode actuelle)

En fait, le mat n'est pas encasté, il est tenu par deux appuis rotulants représentant la ferrure de pied de mat et la bague d'étambrai. Un poids de 12 DaN (attention, parfois 10 !) est placé en tête à la bande de jauge. La flèche en tête est mesurée. La déformée du mat entre les marques de jauge est mesurée à intervalles réguliers (tous les 1/4 ou tous les 1/8).

Cette méthode permet un standard » de comparaison entre les mats:

- concernant l'évolution de la raideur locale entre les marques de jauge (mesures de déformée d)
- pour avoir une évaluation de la raideur globale du mat (par la flèche f)



Article 1

CARACTERISATION D'UN MAT DE FINN

Étude du comportement mat / voile

Caractérisation statique (méthode actuelle)

Critique de la méthode actuelle

- 1- les deux mesures réalisées ne sont pas cohérentes entre elles.
- 2- les deux mesures réalisées sont incomplètes.

1- les deux mesures réalisées ne sont pas cohérentes entre elles.

la mesure de flèche en tête est une mesure relative :

- a) le mat étant soumis à son propre poids, avec un chargement nul en tête ($F=0$), on repère la position de la tête de mat (sur une règle graduée verticale)
- b) le mat étant soumis au chargement F , on repère la nouvelle position et on fait la différence (f)

f correspond bien au déplacement de la tête de mat du à un accroissement de charge F : $F = K \cdot f$ K traduit bien la raideur globale du mat, encasté, soumis à des sollicitations en tête, dans le plan considéré (longitudinal ou latéral).

La mesure de la déformée entre bande de jauge est une mesure absolue:

- a) le mat étant soumis à son propre poids, avec un chargement nul en tête ($F=0$), on tend un cordeau entre les marques de jauge, tangent à la face AR en tête ainsi qu'à la marque de bome.
- b) le mat étant soumis au chargement F , on mesure en différents points la cote (d) entre le cordeau et la face AR ...

Mais (d) n'est pas seulement la conséquence de l'effet de la force F (comme f dans la mesure précédente) !

(d) inclus ce qu'on aurait du mesurer (comme précédemment en en (a)):

défauts géométriques initiaux du mat + flexion due à son propre poids

On oublie simplement de retrancher à la mesure de la cote d la mesure à $F = 0$

la mesure réalisée entre les marques de jauge est entachée d'une erreur qui peut fausser l'interprétation

(Voir exemple concret en annexe 1)

Article 1

CARACTERISATION D'UN MAT DE FINN

Étude du comportement mat / voile

Caractérisation statique (méthode actuelle)

Critique de la méthode actuelle

2- les deux mesures réalisées sont incomplètes.

Bien sûr, si la méthode de test a été modifiée, c'est pour apporter un élément de comparaison supplémentaire :

Les mesures avec le cordeau entre les marques de jauge permettent d'appréhender la raideur locale et sa répartition, et de donner également les informations nécessaires au voilier pour tailler le rond de guindant.

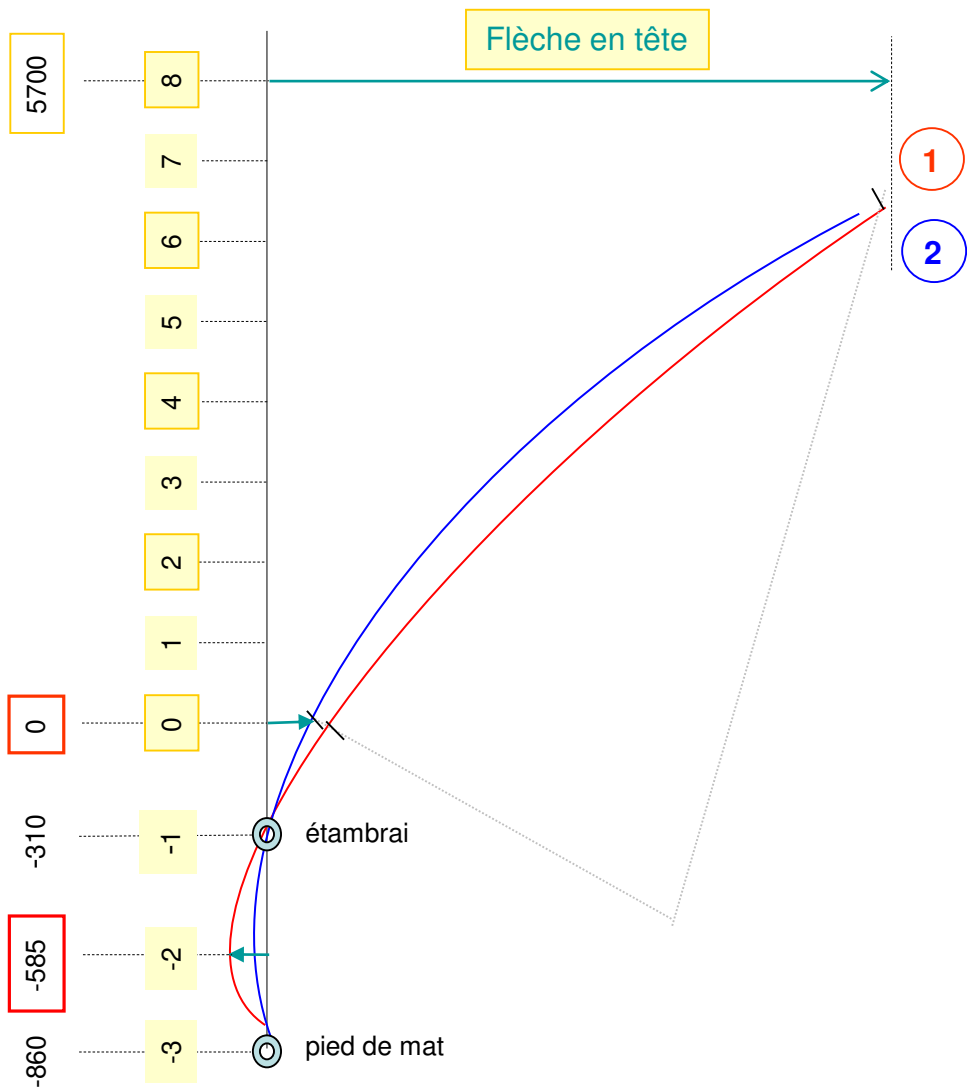
La mesure de flèche en tête permet d'évaluer la raideur globale du mat dans la configuration testée : depuis le pied de mat jusqu'à la tête.

L'information est intéressante, mais globale, et ne permet donc pas une analyse précise de l'effet des contributeurs dans les différentes zones du mat, notamment : que ce passe-t-il sous le pont et entre le pont et la bome ?

On se propose donc de rajouter deux mesures:

- une donnant le déplacement de la marque de jauge
- une donnant le déplacement entre les appuis (pied de mat et étambrai)

Pour illustrer ces propos, regardons le schéma suivant :



2 mats de raideur globale sensiblement identique (flèche en tête) peuvent avoir un comportement très différents :

1 Mat « raide » entre marques de jauge, « souple » dans le premier mètre
 Exemple : mat de Jean Claude : 111 mm en 4 mais -4,1 en 0 et 0,5 en -2 flèche en tête : -541 mm

2 Mat « souple » entre marques de jauge, « raide » dans le premier mètre
 Exemple : mat de Gaël : 124 mm en 4 mais -3,7 en 0 et 0,4 en -2 flèche en tête : -545 mm

De cette constatation, quelle analyse peut-on faire ?

Hypothèses:

- réglage de quète identique
- réglage d'écoute identique
- La tension de chute est proportionnelle à la reprise d'écoute, (tous les efforts sont transmis par la chute) (*)

Mat 1 « raide » entre marques de jauge, « souple » dans le premier mètre

. Peu de reprise de rond de guindant

La reprise d'écoute a pour effet de tendre la chute, mais le mat ne cintre pas (ou peu) le long du guindant (il plie plus bas).
Le creux de la voile sur le guindant reste important.

Mat 2 « souple » entre marques de jauge, « raide » dans le premier mètre

. bonne reprise de rond de guindant

La reprise d'écoute, comme précédemment, a pour effet de tendre la chute mais également d'augmenter le cintre du mat sur le guindant.
L'attaque de la voile sur le guindant devient plus fine.

Mat raide ? Mat souple ?

**bien sur cette notion garde toute son importance
Mais il est indispensable d'être plus précis !**

**Il faut préciser la répartition de la raideur sur toute la longueur du mat
Ce n'est qu'après qu'on peut analyser l'adéquation mat / voile**

(*) voir page suivante les limites de cette hypothèse

Réflexion sur la remarque :

« la tension de chute est proportionnelle à la reprise d'écoute »
(juste pour montrer que ce n'est pas tout le temps vrai ...)

C'est la voile qui transmet au mat l'effort du à la reprise d'écoute (on fait ici abstraction de l'effort de réaction de la bôme sur le mat).

Phase 1: Tant que le creux reste important, cet effort passe quasi intégralement par la lisière extérieure, la chute, qui se tend la première. Le reste du tissu du guindant reste mou :

les efforts sont donc transmis à la tête de mat (comme sur le bâti de test)

Phase 2: Au fur et à mesure que le cintrage du mat absorbe le creux, le tissu au point courant se tend, d'abord en haut, où il y a peu de creux, puis progressivement de plus en plus bas (*). En poussant le raisonnement, quand il n'y a plus de tissu à absorber le long du guindant, la voile se comporte comme une tôle rigide :

L'effort de traction de la voile sur le mat se répartit sur une plus grande longueur (et non plus ponctuellement en tête).

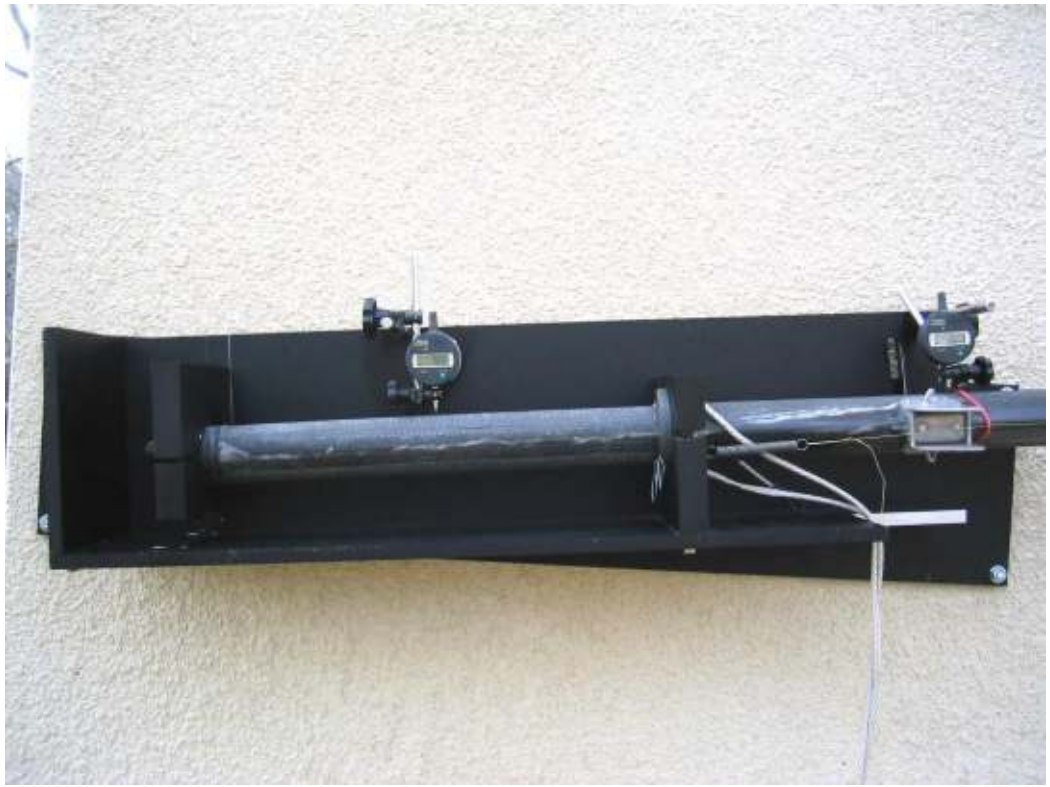
Le comportement « phase 2 » arrive d'autant plus tôt que le rond de guindant est faible et que le tissu des voiles est bloqué (voiles kevlar/mylar). La façon dont le voilier a réalisé son plan se coupe et orienté le biais du tissu a également une importance majeure.

Phase 3: tout le tissu qui donnait du creux sur le guindant a été absorbé. A partir de ce moment, une action supplémentaire sur l'écoute ne modifie plus le cintre du mat dans sa partie médiane et haute : la voile très tendue bloque tout cintre supplémentaire. Le volume de la voile et donc son profil restent constants dans toute la partie avant. Tout le triangle rigide « mat/voile/bôme » pivote alors par flexion du mat dans sa partie basse. Une action sur la tension d'écoute, ne se répercutera plus que sur la tension de chute et jouera sur le vrillage de la voile, donc sur sa capacité à gérer la pression dynamique du flux d'air par une modification de l'incidence locale.

Le comportement de l'ensemble mat/voile/bôme est **linéaire** durant la phase 1 (raideur K constante), **non linéaire** en phase 2 (raideur variable croissante) et redevient **linéaire** en phase 3 (avec une raideur K' quasi constante)

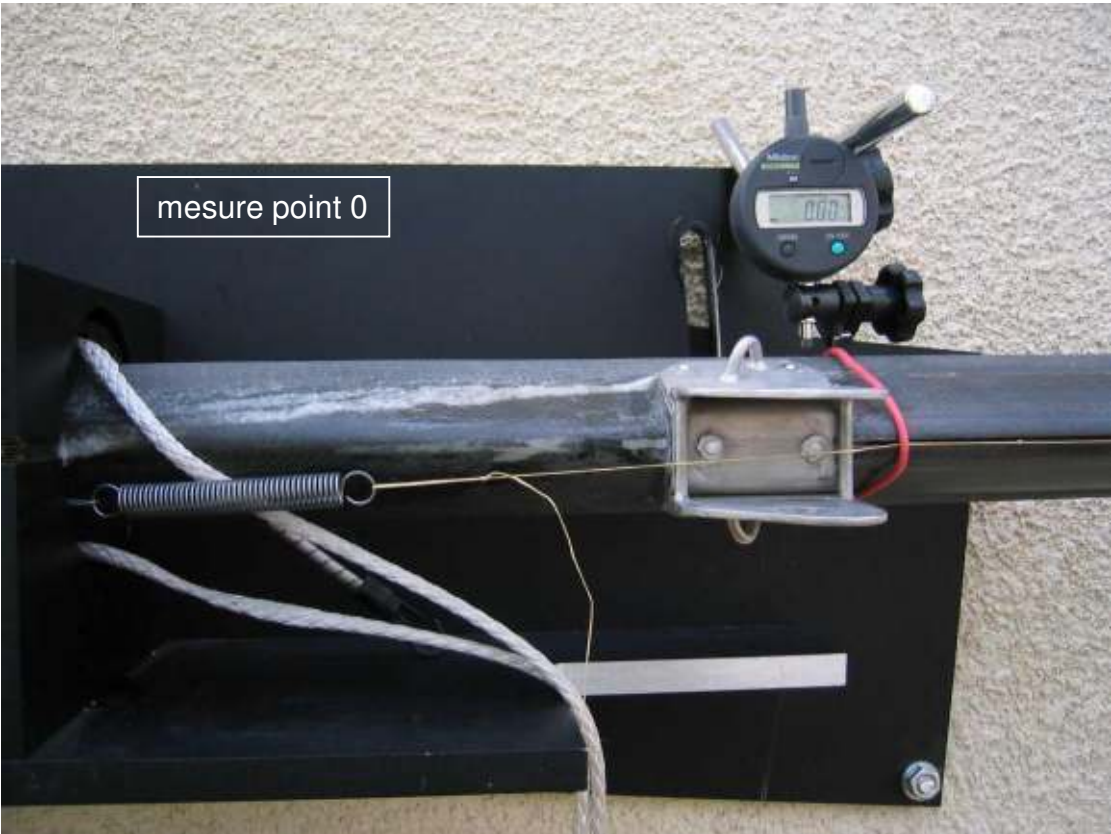
(*) dans le cas général ... mais en fait, on comprend mieux l'importance de la connaissance de la déformée exacte du mat et de sa bonne adéquation avec la voile utilisée :

en chaque point, le résultat est fonction du rayon de courbure local du mat et du rond de guindant en vis-à-vis. Un mat très souple dans le premier tiers et raide dans la partie haute peut absorber tout le tissu dans la partie basse avant d'affiner la voile dans la partie haute.





mesure point -2



mesure point 0



mesure point -2

mesure point 0



ANNEXE 1

les deux séries de mesures réalisées ne sont pas cohérentes entre elles :

Démonstration par l'exemple et commentaires (annexe de la page 6)

PS : je vous conseille pour y voir plus clair, de faire un tirage papier afin d'avoir simultanément la page commentaire et la page relevés et traitement des mesures sous les yeux.

Voici un cas concret, celui mon mat, pour la caractérisation longi (caractères bleus)

Les mesures réalisées sont consignées dans le premier tableau (cases jaunes)

On y trouve des **mesures relatives** (dont la valeur représente au point considéré le déplacement du à l'accroissement de charge de 12 daN. Ce sont : la flèche en tête de mat (mesure point 8) et les mesures réalisées avec les comparateurs dans la partie basse (mesures points 0 et -2) ligne repère ①

On y trouve également les mesures traditionnelles entre bande de jauges (points 1 à 7), réalisées le mat en chargé à 12 DaN : **c'est la ligne ② intitulée « déformée longi brutes »**. Je rappelle que ce sont des **mesures absolues** : déplacement dû au chargement de 12 DaN auquel s'ajoute la déformation initiale que pouvait avoir le mat (défaut de fabrication, déformation permanente, ...) augmentée de la déformation du mat sous son propre poids

Le graphique qui suit, représente la déformée du mat dans sa totalité. C'est un peu compliqué pour la tracer, mais on dispose de toutes les données nécessaires.

Regardons la courbe ③ « **flèche longi brute** » (pour mettre en évidence ce que je souhaite vous montrer, j'ai fait une loupe sur les trois premiers mètres) :

Il y a manifestement une bizarrerie dans la zone de raccordement au niveau de la marque de jauge basse (point 0). C'est simplement que les groupes de valeurs que nous avons manipulés pour tracer la déformée ne sont pas cohérents entre eux (ils ne sont pas représentatif d'une même et unique cause, les 12 DaN de chargement).

Revenons maintenant au tableau de mesures.

Il y a deux autres lignes, qui donnent également des mesures réalisées avec le cordeau entre les marques de jauge. La première (courbure longi résiduelle) traduit la déformation naturelle du mat (le défaut de rectitude de la face arrière, par rapport à laquelle on prend les mesures), la deuxième ligne (déformée longi 0 DaN) donne également cet écart de rectitude mais avec en plus l'influence de la flexion du mat sous son propre poids.

Et c'est ça notre véritable « zéro », à partir duquel, pour calculer la raideur de notre mat, on doit mesurer l'accroissement de déformation du aux 12 DaN

La ligne qui suit ④ , intitulée « **déformée longi corrigée** » est calculée en faisant la différence entre les valeurs de déformées « brutes sous 12 DaN » et « déformée 0 DaN ».

Revenons au graphique et regardons la courbe ⑤ « **flèche longi corrigée** » dont le tracé a été calculé à partir des valeurs corrigées de déformée ... quelle belle continuité dans la zone de raccordement entre les mesures faites avec les comparateurs et celles réalisées entre les marques de jauge !

Si on veut comparer entre elles les **raideurs** de nos mats, il faut analyser un ensemble de mesures cohérentes entre elles :

mesure de flèche en tête

mesure **corrigée** de déformée entre marques de jauge et mesures de déformée dans la partie basse

Pour le voilier, ce sont les valeurs brutes (non corrigées) qu'il faut fournir pour tailler le rond de guindant

ANNEXE 1

les deux séries de mesures réalisées ne sont pas cohérentes entre elles.
Relevés et traitement de mesures

2
4

1

michaud soc (07/01/04)	-8	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
x mesure	-800,0	-595,0	-310,0	0,0	712,5	1425,0	2137,5	2850,0	3562,5	4275,0	4987,5	5700,0
course long. naturelle michaud soc (07/01/04)				0,0	5,0	7,0	9,0	10,0	8,0	5,0	3,0	0,0
déformés long. 0 daN michaud soc (07/01/04)				0,0	12,0	16,0	20,0	24,0	15,0	14,0	8,0	0,0
déformés long. brute 12 daN michaud soc (07/01/04)				0,0	95,0	95,0	120,0	130,0	120,0	95,0	54,0	0,0
déformés long. corrigés 12 daN michaud soc (07/01/04)				0,0	44,0	77,0	100,0	109,0	102,0	81,0	40,0	0,0
course lat. naturelle michaud soc (07/01/04)				0,0								0,0
déformés lat. 0 daN michaud soc (07/01/04)				0,0	5,0	9,0	11,0	12,0	11,0	7,0	4,0	0,0
déformés lat. brute 12 daN michaud soc (07/01/04)				0,0	-9,0	86,0	115,0	128,0	120,0	105,0	81,0	0,0
déformés lat. corrigés 12 daN michaud soc (07/01/04)				0,0	-43,0	78,0	104,0	116,0	110,0	90,0	57,0	0,0
flèche long. michaud soc (07/01/04)	0,0	0,77	0,0	-4,34								-505,0
flèche latérale michaud soc (07/01/04)	0,0	0,33	0,0	-2,48								-440,0

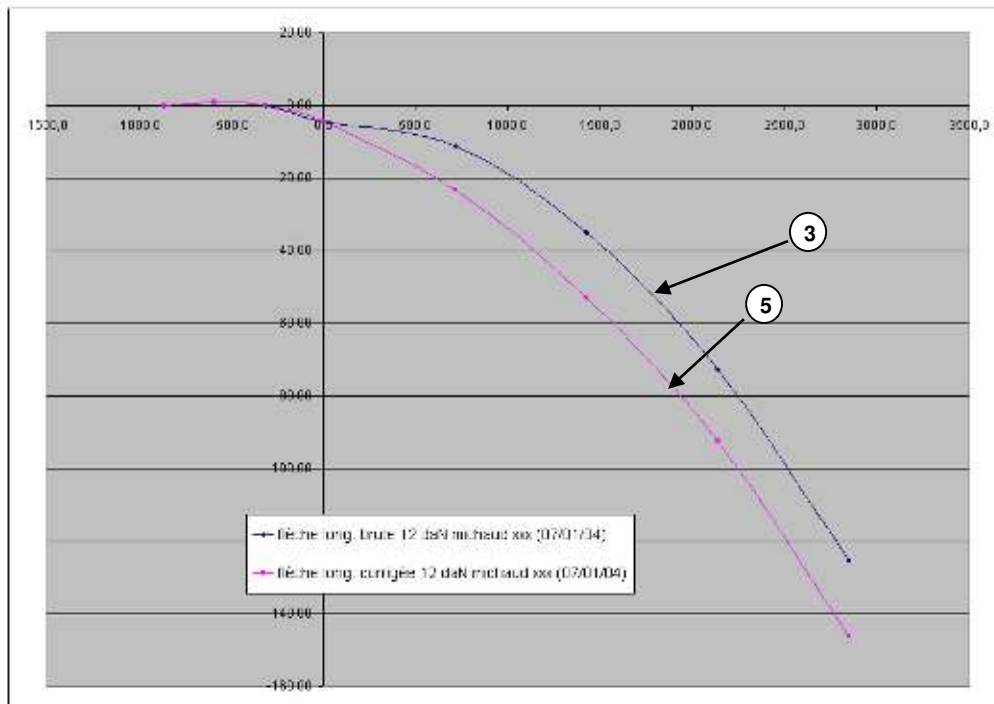
angle de rot.	matrice de rotation L	V trans L	matrice de rotation I	V trans I
-0,007940423	0,99613603	0,0870301	0,00	-0,8970490
-0,076933469	-0,0870301	0,996136	-4,34	-0,07697579
			0,9170490	-2,48

3

5

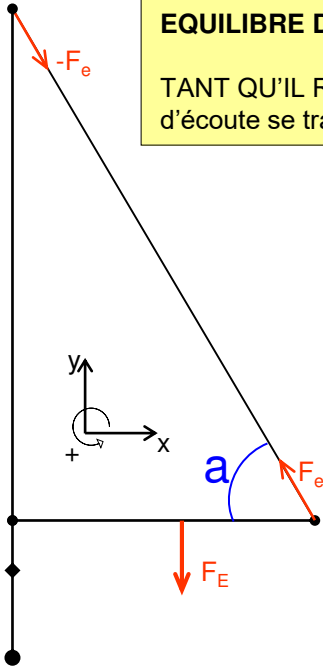
x mesure	800,0	595,0	-310,0	0,0	712,5	1425,0	2137,5	2850,0	3562,5	4275,0	4987,5	5700,0
déformés long. brute 12 daN michaud soc (07/01/04)				0,0	95,0	95,0	120,0	130,0	120,0	95,0	54,0	0,0
x long. calculé	-800,0	-595,0	-310,0	0,0	714,7	1427,0	2139,0	2850,4	3569,3	4266,0	4973,0	5670,0
flèche long. brute 12 daN michaud soc (07/01/04)	0,0	0,77	0,0	-4,34	-11,1	-34,9	-72,6	-125,2	-197,7	-285,2	-388,6	-505,0
x mesure	-800,0	-595,0	-310,0	0,0	712,5	1425,0	2137,5	2850,0	3562,5	4275,0	4987,5	5700,0
déformés long. corrigés 12 daN michaud soc (07/01/04)				0,00	45,0	77,0	100,0	109,0	102,0	81,0	40,0	0,0
x long. calculé	-800,0	-595,0	-310,0	0,0	713,6	1426,3	2136,0	2840,6	3557,7	4255,6	4972,0	5670,0
flèche long. corrigés 12 daN michaud soc (07/01/04)	0,0	0,77	0,0	-4,34	-23,1	-52,8	-82,6	-146,1	-219,6	-299,1	-396,6	-505,0

x mesure	800,0	595,0	-310,0	0,0	712,5	1425,0	2137,5	2850,0	3562,5	4275,0	4987,5	5700,0
déformés lat. brute 12 daN michaud soc (07/01/04)				0,0	40,0	86,0	110,0	120,0	120,0	105,0	81,0	0,0
x lat. calculé	-800,0	-595,0	-310,0	0,0	714,1	1427,6	2140,0	2851,4	3561,7	4270,4	4977,6	5683,2
flèche lat. brute 12 daN michaud soc (07/01/04)	0,0	0,33	0,0	-2,48	-6,3	-24,4	-61,0	-93,6	-150,3	-225,9	-324,5	-440,0
x mesure	-800,0	-595,0	-310,0	0,0	712,5	1425,0	2137,5	2850,0	3562,5	4275,0	4987,5	5700,0
déformés lat. corrigés 12 daN michaud soc (07/01/04)				0,00	43,0	78,0	104,0	116,0	110,0	90,0	57,0	0,0
x lat. calculé	-800,0	-595,0	-310,0	0,0	713,7	1426,9	2139,2	2850,6	3560,0	4269,3	4977,2	5683,2
flèche lat. corrigés 12 daN michaud soc (07/01/04)	0,0	0,33	0,0	-2,48	-14,3	-33,4	-62,0	-105,6	-161,3	-232,9	-326,5	-440,0



EQUILIBRE DU GREEMENT DURANT LA PREMIERE PHASE:

TANT QU'IL RESTE DU ROND DE GUINDANT A ABSORBER (la tension d'écoute se transmet intégralement par la chute)



Données:

$$\text{tg } a = Y_3 / X_2 = 5700 / 3270 = 1,74$$

$$a = 60^\circ \quad \sin a = 0,87 \quad \cos a = 0,5$$

$$b = 90^\circ$$

$$X_1 = 3270 \quad X_2 = 1700$$

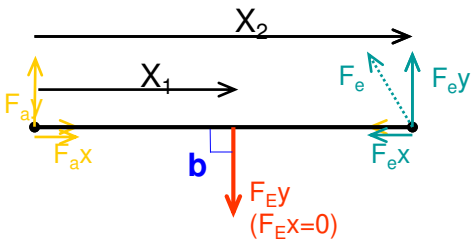
$$X_1 \sim X_2/2$$

$$d_1 = 550$$

$$d_2 = 860$$

$$d_3 = 6560$$

Équilibre de la bôme
(sans halebas)



$$F_E + F_{ey} + F_{ay} = 0$$

$$F_{ex} + F_{ax} = 0$$

$$F_E \cdot X_1 + F_{ey} \cdot X_2 = 0$$

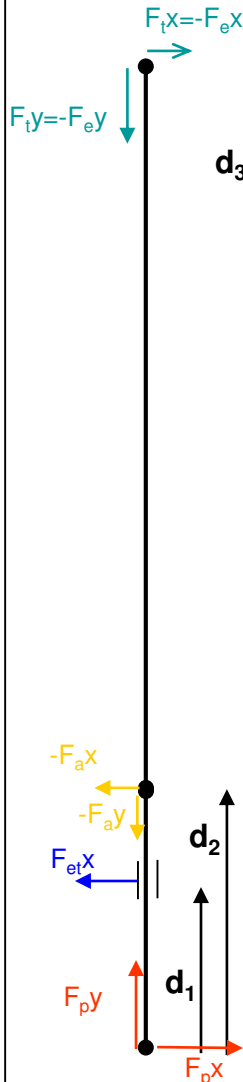
donc $F_{Ey} = -2F_{ey}$

$$F_{ay} = F_{ey}$$

et
 $F_{ex} = F_{ey} / \text{tg } a$

$$(F = F_{ey} / \sin a)$$

Équilibre du mat
(sans halebas)



$$F_{tx} = -F_{ex} = F_{ax}$$

$$F_{tx} - F_{ax} + F_{etx} + F_{px} = 0$$

donc $F_{etx} = -F_{px}$

$$-F_{tx} \cdot d_3 + F_{ax} \cdot d_2 + F_{etx} \cdot d_1 = 0$$

donc $F_{etx} = F_{ax} (d_3 - d_2) / d_1$

soit $F_{etx} = -F_{px} = 10,4 F_{ax}$

$$-F_{ey} - F_{ay} + F_{py} = 0$$

soit $F_{py} = 2 F_{ey} (= -F_E)$

Cet effort de compression est constant à cette valeur du pied de mat jusqu'à la ferrure de bôme.

Au-delà, et jusqu'en tête, il vaut $-F_{ey}$

Calculs réalisés avec
les caractéristiques du
HIT 610 (*)

F_E (tension d'écoute) (*)	F_e tension de chute	F_{eY} force verticale en bout de mat (et en bout de bôme)	F_{eX} force horizontale en bout de mat (et en bout de bôme)	Déplacement en X de la tête de mat
-40.0	24.0	20.8	-11.9	-457.3
-45.0	27.0	23.4	-13.4	-514.5
-50.0	30.0	26.0	-14.9	-571.6
-55.0	33.0	28.6	-16.4	-628.8
-60.0	36.0	31.2	-17.9	-686.0
-65.0	39.0	33.8	-19.4	-743.1
-70.0	42.0	36.4	-20.9	-800.3
-75.0	45.0	39.0	-22.4	-857.5
-80.0	47.9	41.6	-23.9	-914.6
-85.0	50.9	44.2	-25.4	-971.8
-90.0	53.9	46.8	-26.8	-1028.9
-95.0	56.9	49.4	-28.3	-1086.1
-100.0	59.9	52.0	-29.8	-1143.3
-105.0	62.9	54.6	-31.3	-1200.4
-110.0	65.9	57.2	-32.8	-1257.6
-115.0	68.9	59.8	-34.3	-1314.8

(*) la tension du brin tenu à la main est le tiers de cette valeur (palan 3 brins)

(*) Souvenez-vous des hypothèses ! Ce calcul n'est valable que si les efforts passent en totalité par la chute (phase 1) ...

En phase 2, la raideur est variable (elle augmente).
Et dès que le rond de guindant a été entièrement absorbé par le cintre du mat (phase 3), le comportement de l'ensemble dépend essentiellement des caractéristiques de flexion de la partie basse du mat.