

## Annexe 5

### Tracé des courbes de cambrure

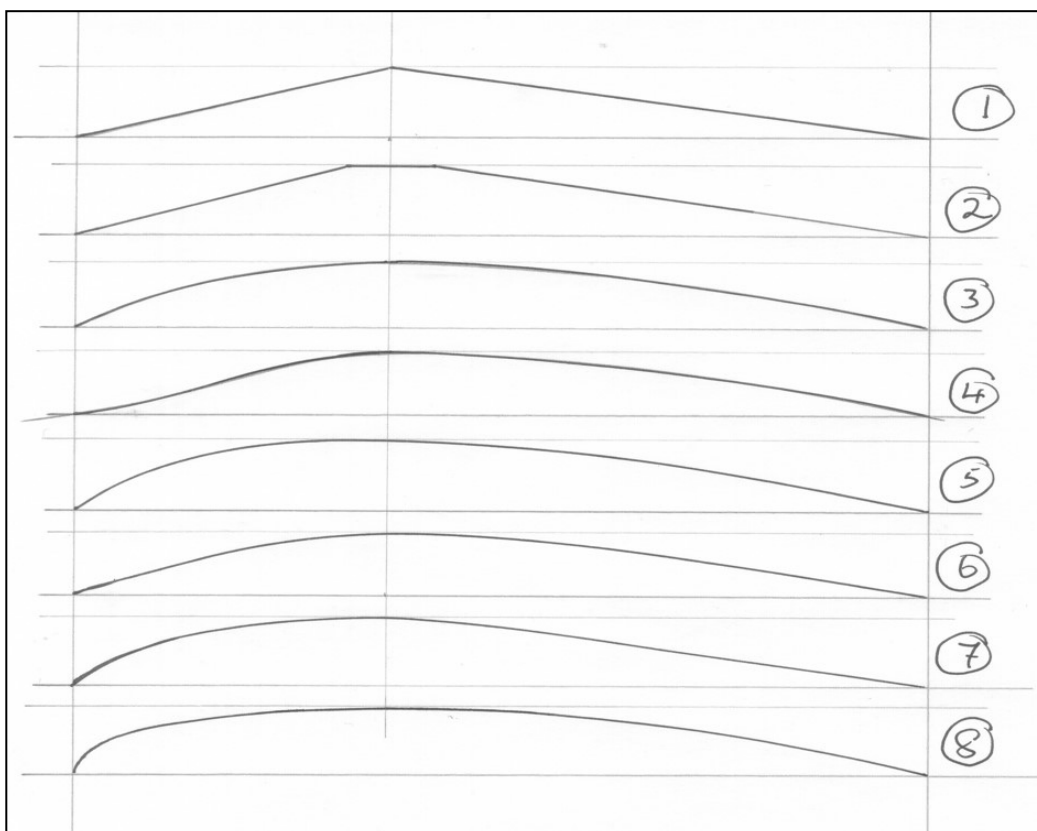
Le WYSIWYG (What You See Is What You Get) ne s'applique pas au tracé des courbures. Quelque soit l'attention que vous allez apporter à décider la forme de la cambrure que vous voulez et quelque soit le soin que vous allez apporter à la découpe des panneaux et à leur assemblage, vous allez tout de même obtenir quelque chose qui aura une forme différente. L'astuce consiste à modifier le tracé utilisé pour découper le tissu et obtenir la forme que vous souhaitez une fois le panneau assemblé. Malheureusement la conception de trop de voiles cambrées existantes ignore trop souvent ce fait et les maîtres voiliers ne se montrent en général pas très critiques sur la cambrure effective lorsqu'ils vérifient leur produit in situ.

La question est : quelle forme donnera la meilleure performance pour un bateau donné ?

Chacun semble avoir sa propre réponse à cette question, ce qui n'a rien de surprenant quand on connaît les grandes variations de performances qu'on peut obtenir avec des voiles bermudiennes différentes, parfois venant de la même voilerie, sur un même bateau. Ce qu'on peut faire de mieux est d'essayer de comprendre comment les performances varient en fonction des différentes formes que l'on peut effectivement fabriquer.

Lorsqu'on parle de cambrure, on a tendance à ce limiter à la cambrure maximum et à sa position sur la corde de la voile. On définit la cambrure comme le rapport entre le profondeur maximum de la courbure,  $D$ , divisée par la longueur de la corde de la voile  $C$ . Elle est en général présentée sous la forme d'un pourcentage. L'autre paramètre utilisé est la position de la profondeur maximum ( $M$  sur le schéma -NdT) rapportée à la longueur de la corde, là encore présenté comme un pourcentage de la corde mesurée à partir du guindant.

Le schéma page suivante montre une série de formes qui ont toutes 10% de cambrure positionnée à 37% de la corde, tout en étant cependant très différentes. Elles produiraient des performances extrêmement différentes.



Dans ces dessins, il y a un certain niveau de licence artistique, mais ils ne sont pas atypiques.

No.1 est typique d'une voile plate avec une latte articulée en un seul point, quoiqu'il soit improbable qu'il ait une cambrure aussi prononcée.

No. 2 représenterait une voile plate avec une latte ayant deux articulations qui, je crois, est encore recommandées par des fournisseurs commerciaux pour les bateaux du Jester Challenge qui traversent l'Atlantique, même si elles ont posé des problèmes de fiabilité.

No. 3 est une forme bien arrondie, avec la courbe qui arrive jusqu'au guindant.

No. 4 représente, en légèrement exagéré, le « S bending » (flexion en S) qui peut se produire avec des gréements de jonque qui utilisent des lattes trop souples.

No.5 est similaire au numéro 3 mais avec une cambrure qui est avancée pour modifier l'angle d'attaque.

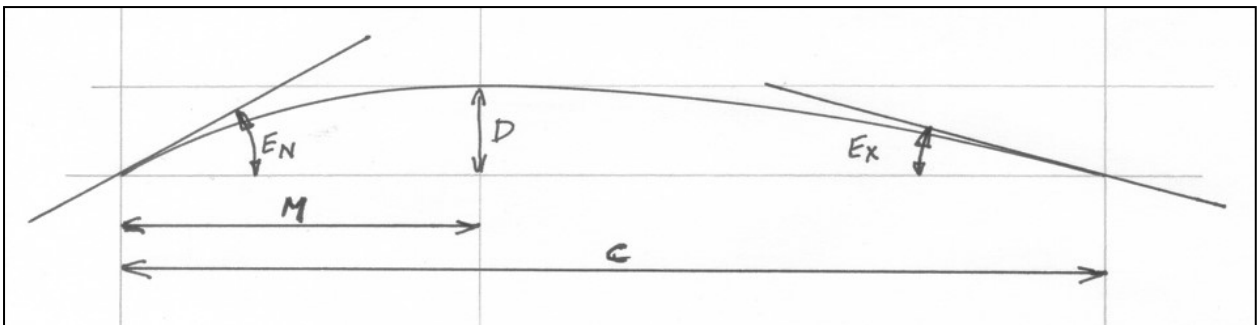
No. 6 est aussi similaire au numéro 3 mais avec une entrée plate et et une ligne quasiment plate sur les 15% de l'avant de la voile, qui rappelle la cambrure des voiles d'avant sur enrouleur des gréements bermudiens.

No. 7 est encore similaire au numéro 3, mais a une partie arrière droite sur les dernier 50% de la voile.

No. 8 a été dessiné pour montrer une entrée très courbée, bien que l'arrière de la section soit également arrondie.

Le point important est qu'ils sont tous différents et qu'ils auront des caractéristiques et des performances différentes. Il est possible de penser à la courbe en avant du point de cambrure maximum séparément de celle en arrière et de prendre la courbe avant de l'une des sections et celle de l'arrière d'une autre.

Le but de cet exercice est de montrer que de définir uniquement la cambrure maximum et sa position n'est pas suffisant pour définir la courbure.



Sur le schéma ci-dessus, on a rajouté les angles d'attaque  $E_N$  et de fuite  $E_x$ . Lorsque ces valeurs sont tracées ainsi que la cambrure maximum et sa position, il est alors plus facile de plier une baguette spline de façon à ce qu'elle soit tangente aux angles pour obtenir une courbe lissée.

Un point important lorsqu'on utilise des baguettes spline est qu'elles doivent être tenues après les extrémités de la courbe de façon à ce qu'elles demeurent courbées aux extrémités et ne puissent pas finir droites au guindant, par exemple. Les rails en plastique de rideau peuvent être utilisés comme des baguettes spline pour tracer des courbes longues, si elles sont bien maintenues.

En lisant la littérature, il devient évident que ces angles ont un effet significatifs sur la performance. C.A. Marchaj, dans son livre : « SailPerformance, Theory and Practice » (Théorie et pratique de la voile) écrit : « Pour naviguer au près par petit temps, un bord d'attaque bien arrondi donnera de meilleures performances. » Le près par petit temps est probablement la condition de navigation dans laquelle les premiers gréements de jonque étaient les moins performants, donc cette simple affirmation devient un point très important.

Sur l'angle de fuite, il affirme que « Comme la surface du profil est inclinée en arrière derrière le point de cambrure maximum, il est souhaitable d'avoir la partie arrière du profil plutôt plate pour décourager le développement de succions et la trainée associée dans cette partie. » Cela suggère que l'angle de fuite devrait être petit.

James L. Grant, dans son livre sur la conception des focs, suggère que 8% de cambrure est une valeur « normale » pour la plupart des voiles d'avant. Il compare deux courbes de cambrure similaires au No 3 et au No 8 du diagramme ci-dessus et déclare que « Les bords d'attaques ronds seront plus tolérants aux variations de vent et aux barreurs inattentifs, et auront également moins tendance à décrocher lorsque l'on navigue sur une mer agitée, alors que les bords d'attaques plats devraient être plus rapides en eau plate avec un barreur concentré sur sa tâche. » Ici encore, le point faible des anciens gréements de jonque pourrait être amélioré en utilisant des bords d'attaque arrondis.

James Grant continue en précisant que « La courbure près de la chute peut avoir un effet important sur la trainée de la voile et donc sa capacité à remonter au vent. » Il nous rappelle que « Lorsque c'est autorisé, les grands voiles et les voiles d'avant des gréements bermudiens, ont des lattes sur la chute. Elles ne sont pas là seulement pour supporter la chute mais aussi pour maintenir la voile aussi plate que possible dans cette partie. »

Ces deux auteurs montrent le genre de compromis que l'on doit faire en choisissant une courbe de cambrure. Nous lisons régulièrement des débats sur le taux de cambrure et la position de la cambrure maximale, mais il est rarement mentionné les angles d'entrée et de sortie qui sont peut être encore plus importants.

Notez que Marchaj avance aussi « Il faut réduire autant que de possible, les opportunités de créer de la turbulence près du bord d'attaque, parce que c'est la zone de la voile où se crée la plus grande différence de pression (grosse succion), et ces différences de pression contribuent le plus à la force de traction. En conséquence, la forme du bord d'attaque de la voile, et donc ce que l'on peut appeler l'efficacité de pénétration, devient le facteur qui détermine en premier lieu la force de traction de la voile. » Cela suggère que le gréement de jonque fractionné vaut l'effort de son développement et les performances semblent confirmer cette affirmation.

### Alors, quelle forme de cambrure voulons nous ?

Le voiliers bermudiens avec des grands voiles importantes et de petits focs ont souvent des cambrures entre 8 et 15%, et bien qu'elles soient derrière le mât, elles peuvent avoir la cambrure maximum aussi avancée qu'à 33% de la corde. Un maître voilier a admis récemment que son logiciel pour dessiner des voiles bermudiennes ne pouvait pas dessiner des voiles avec moins de 8% de cambrure.

Comme sur les gréement bermudiens, le choix du taux de cambrure nécessaire dépend de la forme de la coque. Un déplacement lourd aura besoin de plus de puissance et gitera probablement moins qu'une coque étroite à déplacement léger, et profitera donc d'avoir une cambrure plus importante.

Bien que Arne ait construit sa première voile avec beaucoup de cambrure dans les années 90, il n'y a encore que peu de bateaux qui naviguent avec des voiles de jonque ayant beaucoup de cambrure. Cela n'a aucun sens de construire une voile à panneaux cambrés sans y mettre un taux de cambrure significativement utile. Pour un gréement à une seule voile sur un bateau de croisière ordinaire, il semble raisonnable d'utiliser une cambrure d'au moins 8 à 10%, et ceux qui ont utilisé ces valeurs ont trouvé qu'elles marchaient bien.

Pour un bateau avec deux mâts, goélette ou ketch, il semble raisonnable d'utiliser au moins 10% de cambrure pour la voile d'avant et 8% pour la voile arrière, toujours dans l'hypothèse d'une coque de bateau de croisière. S'il est gréé en yawl, alors, il semble raisonnable d'ignorer le tape-cul lorsqu'on choisi la cambrure de la grand voile.

Un vent plus fort demande moins de cambrure et il est donc raisonnable de diminuer le taux de cambrure dans les panneaux de gros temps du haut de la voile.

La position de la cambrure maximum est le sujet de nombreuses discussions aux bars des yacht-clubs, mais, en pratique, entre 35 et 40% de la corde s'avère être une norme pour des voiles performantes. J'ai utilisé 35% sur Poppy et, comme le résultat est bon, il ne semble pas nécessaire d'en changer.

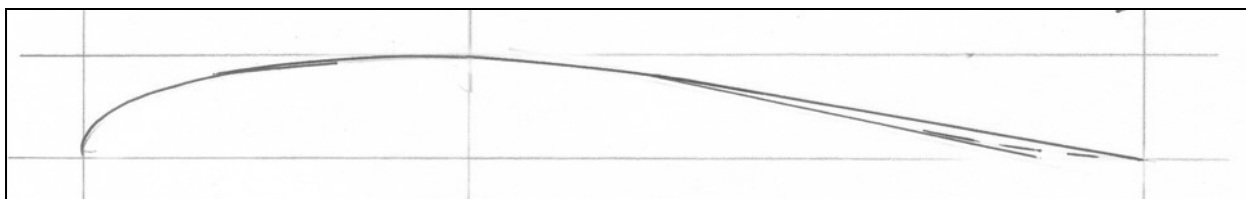
Tout semble indiqué que l'angle d'attaque devrait être aussi grand que possible pratiquement, dans le but de lutter contre le point faible des performances du gréement de jonque et, pour la même raison, l'angle de fuite devrait être aussi faible que possible.

Une fois, ces 4 paramètres définis, il est temps de transcrire ces valeurs dans un tracé présentant une courbe lissée qui donnerait idéalement la forme voulue. En pratique, le tracé peut demander des distorsions intéressantes pour obtenir le résultat voulu. Le résultat final ne sera probablement pas une reproduction exacte de la forme tracée, cependant, si le concepteur ne part pas d'un objectif de conception, il est probable que le résultat final sera loin d'être idéal.

Ces données ont été utilisées pour tracer les courbes des panneaux cambrés de Poppy.

Pour l'angle de fuite, j'ai tracé un segment de droite de 40% de la corde jusqu'à la chute. Cependant, si l'on regarde les photos du bateau sous voile, il y a plus de cambrure que désirée entre 80 et 90% de la corde. Ceci est un exemple de la nécessité, en pratique, de modifier la forme de la courbure pour obtenir le résultat voulu.

Pour les voiles à venir, il semble intéressant de modifier la ligne droite après les 40% de la corde en une forme légèrement convexe pour obtenir la forme finale voulue. Le terme le plus important est « légèrement » dans la mesure où c'est un domaine nouveau et que la quantité requise n'est pas connue. Il est évident que les panneaux en pied d'étagère avec une courbure maximale reculée semblent avoir une trainée inutilement élevée et des performances sous-optimales. Cela peut aussi rendre le bateau trop ardent.



Ce n'est pas facile à dessiner en petit format avec des outils non adaptés, cependant, le schéma ci-dessus peut donner des idées sur la façon de creuser un peu la cambrure vers la chute comme tracé en pointillés.

Le diagramme ci dessous est juste un exemple

