

SENS M

L'ALLURE DES VOILES

Creux, cambrure, vrillage, allongement, incidence... la manière de régler ses voiles joue non seulement sur les performances, mais aussi sur la capacité à faire du cap et à limiter la gîte, donc sur le confort en croisière et sur le comportement du bateau face à la mer.

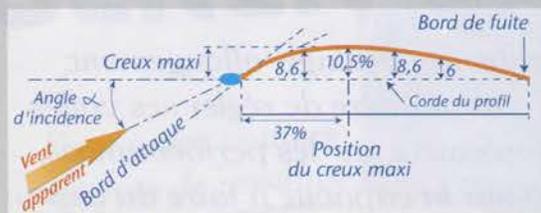
TEXTE DOMINIC BOURGEOIS.

A contrario d'une aile d'avion qui, pour simplifier, n'a que deux configurations (décollage-atterrissage et vol), le profil des voiles doit composer avec une vitesse irrégulière, un vent apparent fluctuant en force et en direction, une interaction foc/grand-voile, des angles d'attaque variant de quelques degrés à 90°, des réductions de voilure, des oscillations permanentes (gîte, tangage, roulis)... Les maîtres voiliers doivent donc trouver le compromis le

plus polyvalent pour s'adapter à toutes ces situations en offrant le meilleur rendement possible.

L'horreur du vide

Sachant que le seul vent qui intéresse le navigateur (voir *Bateaux* n° 614) est l'apparent (V_a), c'est-à-dire la résultante du vent réel (V_r) observé à l'arrêt et du vent vitesse (V_v) induit par le déplacement du voilier, il est logique que la forme du profil influe sur la déflexion des filets d'air, déviation qui va entraîner une force vélique et une force de dérive. Comment jouer sur cette forme pour qu'elle soit la plus propulsive possible? La physique >

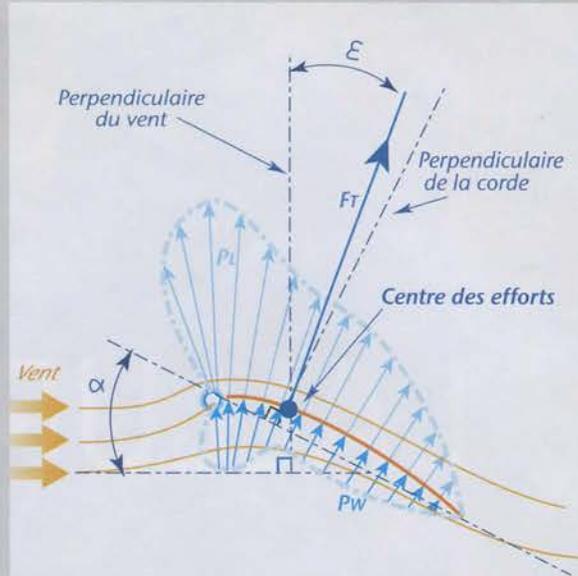


Creux

Le creux d'une voile, défini en pourcentage, correspond au rapport entre la profondeur du profil et la longueur de la corde. La position du creux maxi (ici 10,5 %) est aussi établie en pourcentage de la longueur de corde à partir du bord d'attaque (ici 37 %). Ces valeurs permettent d'analyser la forme d'une voile dans toutes ses sections horizontales.

Laminaire ou turbulent ?

Les filets d'air déviés par la voile n'arrivent pas à rester laminaires sur toute la surface du profil en raison de la perturbation du mât, de la cambrure et de l'angle d'incidence. Ils deviennent turbulents pour combler le vide sur l'extrados, puis de plus en plus tourbillonnaires sur la partie arrière de la voile lorsque l'incidence augmente.



Répartition des forces

La courbure du profil et la forme triangulaire d'une grand-voile entraînent que la poussée vélique est plus forte sur la partie avant où le creux est plus important: la résultante des pressions sur l'intrados et des succions sur l'extrados est ainsi légèrement en avant de la perpendiculaire à la corde du profil lorsque l'angle d'incidence (alpha) est faible.

COMME TOUS LES FLUIDES ONT HORREUR DU VIDE, ILS CHERCHENT À LE COMBLER

confirme que « la résultante de poussée d'un fluide sur un plan est perpendiculaire à ce plan, quelle que soit la direction du fluide » (voir dessin Poussée vélique). L'objectif d'un réglage de voile est donc non seulement d'obtenir la plus forte poussée vélique, mais aussi que son orientation soit la plus favorable. En fait, avec de petits angles d'incidence, le flux d'air étant dévié par la voile, il se crée une surpression

sur la face exposée (intrados) et une dépression derrière la face « cachée » (extrados). Les filets d'air retrouvant leur structure initiale après la déflexion, ils sont ralentis sur la face de compression et accélérés sur la face de dépression en étant eux aussi déviés pour combler le vide: ainsi s'exerce une force de succion sur la face extrados. Or cette succion est pratiquement sept fois plus importante que la force

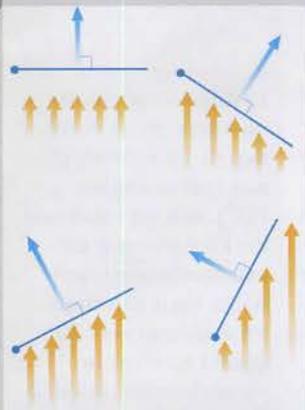
de pression sur l'intrados: il est donc essentiel que l'écoulement soit le moins possible perturbé sur cette face externe! Sur une courbe souple (une voile), la déflexion est peu importante si l'angle d'incidence entre le flux et la corde du profil (c'est-à-dire la bôme au niveau de la bordure) est faible: l'air est légèrement dévié, ce qui correspond à un écoulement laminaire et la poussée vélique est maximale.

Mais comme tous les fluides ont horreur du vide, ils cherchent à le combler, ce qui transforme un écoulement laminaire en écoulement turbulent, puis en tourbillons comme derrière un rocher au milieu d'une rivière! Le bilan est alors nettement moins favorable en termes de poussée vélique puisque l'effet de succion disparaît sur l'extrados pour ne plus laisser que l'effet de compression sur l'intrados. Bien régler ses voiles, c'est donc tenter de conserver le plus possible un écoulement laminaire et de reculer au maximum sur le profil le point de décollement. Ainsi au près et jusqu'au vent de travers, les voiles peuvent être réglées pour profiter de cet écoulement laminaire, mais au grand largue et au vent arrière, le flux est totalement perturbé (décrochement) et c'est uniquement la pression sur l'intrados qui procure la poussée

PORTANCE ET TRAÎNÉE

Lorsqu'un fluide est dévié par une surface, cela provoque une traînée (frein) et une portance (force propulsive ou sustentatrice). La traînée sur une voile est en fait l'addition d'une traînée visqueuse (les particules d'air les plus lentes ralentissent les plus rapides), d'une traînée induite (par la déflexion des filets d'air), d'une traînée de forme (en relation avec l'épaisseur et la forme du profil) et d'une traînée parasite (liée au mât, au gréement...). Cette force de traînée est dans le sens de l'écoulement du fluide tandis que la portance lui est perpendiculaire: la force aérodynamique qui propulse un voilier ou sustente un avion est la composante de toutes ces traînées et de la portance.

PLUS UNE VOILE EST HAUTE, PLUS ELLE EST EFFICACE AUX FAIBLES ANGLES D'INCIDENCE



Poussée vélique.

Une feuille de papier dans un flux d'air, ou une planche dans un courant d'eau va se déplacer perpendiculairement à son plan quelle que soit l'incidence du fluide. Sur une forme courbe, c'est la résultante de tous les segments de droite qui forment le profil qui va déterminer la direction de la poussée.

vélique. Cette force aérodynamique est quant à elle proportionnelle à la surface de toile (réduire la surface d'un tiers la diminue d'un tiers) et au carré de la vitesse du vent (la force est multipliée par quatre quand la brise souffle deux fois plus fort).

Etude de rendement

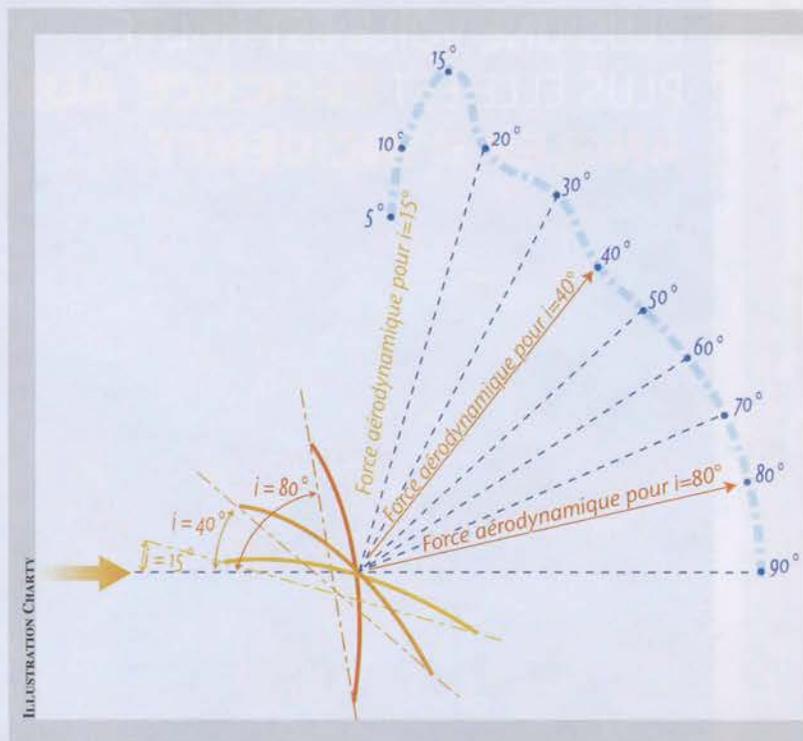
En mesurant la force aérodynamique (ou plus exactement les coefficients de portance et de traînée) d'une voile selon l'angle d'incidence, il est possible de tracer une courbe polaire définissant la valeur de la force et son orientation en fonction du braquage du profil. L'optimum est atteint entre 12° et 18° d'incidence : en simplifiant, cela signifie que la bôme doit être réglée à cet angle par rapport à la direction de la girouette. Bordée dans l'axe

Génois puissant, grand-voile légèrement débordée, ce J122 exploite au maximum l'écoulement laminaire.



au près quand le voilier serre le vent, elle est décalée progressivement par le chariot et/ou l'écoute de grand-voile au fur et à mesure que le barreur abat. Mais au-delà du vent de travers sur un bateau de croisière, l'incidence par rapport au vent apparent va dépasser les 20° pour atteindre 40° au largue et 80-90° au vent arrière, allures où les voiles agissent uniquement en poussée et non en écoulement laminaire.

Reste que cette force aérodynamique est aussi fonction de la forme du profil. D'abord en relation avec l'allongement, c'est-à-dire le rapport entre la hauteur de la voile et sa largeur, ou plus exactement entre le carré de l'envergure et la surface : en résumé, plus une voile est haute, plus elle est efficace aux faibles angles d'incidence (au près) tandis qu'un gréement aurique offre un meilleur rendement aux allures débridées. Mais le plaisan-



Rendement aéro.

La force aérodynamique dépend en premier lieu de l'incidence (i) : aux faibles angles (15°), elle est maximale car l'écoulement est essentiellement laminaire, mais elle chute brutalement vers 20° quand survient le décrochement. Au-delà de 45° d'incidence, l'écoulement devient totalement tourbillonnaire et le rendement aérodynamique est quasiment constant.

PLUS LA CAMBRURE DU PROFIL EST IMPORTANTE, PLUS LA FORCE AÉRODYNAMIQUE EST GRANDE

cier ne change pas de gréement en cours de navigation, et cet effet n'a lieu d'être que lorsqu'il réduit la toile : sur une mer plate, le fait de prendre un ris diminue l'allongement et donc la capacité à faire du cap... A noter que les ronds de chute et désormais les cornes sur les grand-voiles réduisent l'allongement (plus de surface pour une même hauteur), mais l'effet positif vient de l'augmentation de la puissance dans la partie haute de la voile, particulièrement aux allures de travers et au portant.

Autres paramètres essentiels pour le réglage des voiles, la cambrure du profil et la position du creux. Le creux est un élément essentiel de réglage d'une voile puisqu'il permet de moduler sa puissance en conservant la même surface de toile. Ainsi, plus la cambrure est importante, plus la force aérodynamique est grande, particulièrement aux faibles angles d'incidence : l'écart de pression entre l'intrados et l'extrados est plus fort. En contrepartie, une voile très creuse impose un angle d'incidence plus grand au risque de déventer le bord d'attaque, donc

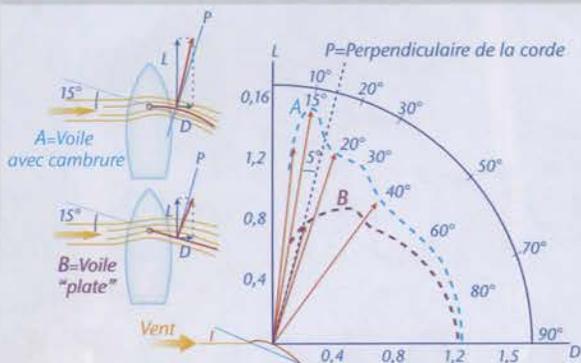
de diminuer la puissance du plan de voilure. Sur une grand-voile, le régleur va moduler de 2 % à 12 % la valeur du creux maximum par le cintre du mât, la tension du hale-bas, le réglage de l'écoute, le débordement du chariot, la reprise de la bordure et la traction sur le cunningham. D'autre part, plus le creux est sur l'avant, plus la force aérodynamique est aussi dirigée vers l'avant : avec un angle d'incidence de 18°, la force est d'environ 8° en avant de la perpendiculaire à la corde... Mais si un profil creux est plus tolérant aux petites variations du vent apparent ou aux coups de barre, le bateau fait en revanche un peu moins de cap...

Le principe de l'hélicotide

Puisque le vent réel est freiné à la surface de la mer, il est plus fort en tête de mât qu'au niveau de la bôme. Cela influence donc sur la direction du

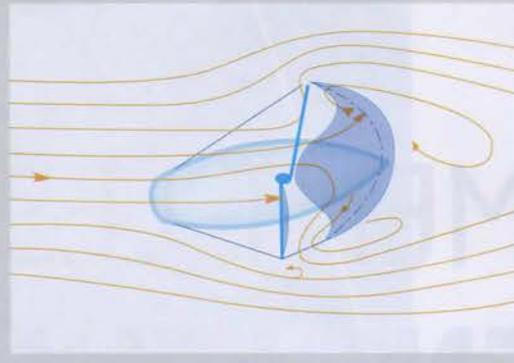
Bon réglage des voiles au portant pour ce petit vent médium : le chariot de GV est légèrement décentré, l'écoute reprise, et la bordure choquée pour creuser la grand-voile.



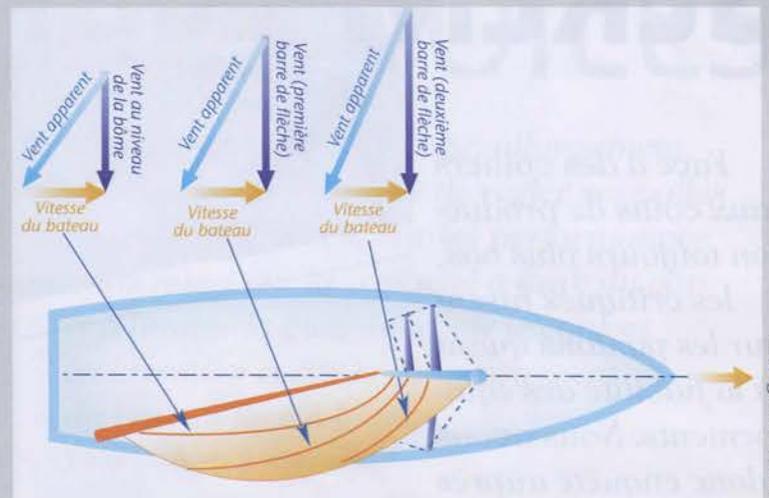


Cambrure. La comparaison entre une surface plane et un profil courbe d'une cambrure de 10 % démontre clairement l'importance de l'écoulement laminaire: non seulement la force aérodynamique est nettement plus forte aux faibles angles d'incidence, mais en sus sa direction est plus sur l'avant par rapport à la perpendiculaire à la corde. Au-delà de 50° d'incidence quand l'écoulement est totalement tourbillonnaire, le creux n'apporte pas un gros bonus.

Vrillage. Le vent réel étant plus fort en altitude qu'à la surface de la mer en raison des frottements de l'air, le vent apparent est plus fort et plus adonnant au premier et au deuxième étage de barres de flèche puisque la vitesse du bateau reste identique. La voile doit donc être plus ouverte en haut du mât qu'au niveau de la bôme: c'est le vrillage.



Spinnaker. Au vent arrière sous spinnaker, l'écoulement est totalement tourbillonnaire alors que le vent apparent est moins fort que le vent réel: il faut tenter d'exposer le plus de surface de toile pour profiter de la poussée du flux.



ILLUSTRATIONS CHARTY

vent apparent puisque le bateau a toujours la même vitesse (voir dessin Vrillage). Il faut donc déborder plus la partie haute de la voile pour conserver le même angle d'incidence avec l'altitude. La voile a donc une forme hélicoïdale que le régleur peut moduler en jouant sur la tension d'écoute principalement, mais aussi sur le pataras et le hale-bas de grand-voile. Ce vrillage du profil avec l'altitude est essentiel au point que les multicoques de la 33^e Coupe de l'America naviguent avec un vent de 15 nœuds maximum mesuré à 60 mètres de haut, mais au niveau de la bordure, la brise n'atteint plus que 8 nœuds! Cela signifie que si la bôme est dans l'axe avec une vitesse de vingt nœuds au près (soit 22 nœuds apparents), il y a vingt-cinq nœuds apparents en tête de mât et le vrillage doit être supérieur à 15°... Sur un bateau de croisière, la problématique n'est pas la même en raison de la faible hauteur du mât et de la vitesse modérée du voilier, mais le principe de l'hélicoïde est capital

Une voile ne se règle pas seulement par son écoute: jouer de la tension de drisse, de bordure ou de Cunningham modifie sensiblement son profil...

pour moduler la puissance de la voile et la capacité à faire du cap.

Enfin, il ne faut pas oublier qu'un voilier est la plupart du temps propulsé par deux profils qui interfèrent l'un avec l'autre: le génois et la grand-voile, la grand-voile et le spinnaker... Or un foc possède un bord d'attaque incliné (l'étai) tandis que la grand-voile est verticale (ou presque), alors qu'un spinnaker en écoulement laminaire, possède un bord d'attaque variable selon la hauteur du tangon ou la tension du guindant... Leurs surfaces respectives, leur recouvrement varient selon les voiles et donc la combinaison joue sur les



PHILIPPE TISSIER « PLOU »

écoulements, les étranglements, les accélérations ou ralentissements du flux d'air! C'est pourquoi il est important d'avoir des repères de tension et de positionnement sur les drisses, la bordure, les écoutes,

les chariots, mais aussi sur les barres de flèches et sur les voiles pour appréhender les proportions de creux et de vrillage, et visualiser les caractéristiques des écoulements de l'air. ⚓