

Le jeu du vent dans les voiles

B. Cheret

1. IMAGINEZ LES MOLECULES

Les fluides sont composés de molécules qui possèdent entre elles une force attractive qui les rattache. Elles peuvent glisser les unes sur les autres mais leur comportement demeure collectif bien qu'elles n'aient pas de forme propre. C'est cette qualité remarquable qui, à la différence des solides, leur permet de remplir l'espace qui leur est donné. Les fluides remplissent les vides. Ils se déplacent sous l'action de forces très faibles suivant des lignes de courant. Leurs inflexions sont progressives comme des farandoles. Les changements de direction trop brutaux créent de profonds désordres dans leur écoulement : les tourbillons. Il est facile d'imaginer comment le voilier se déplace au vent arrière puisqu'il va dans le même sens que le vent. Par contre, il ne nous paraît pas naturel qu'il puisse aller contre le vent, la source d'énergie qui le meut. Prenons une voile au près...

2. CHANGEMENT DE VITESSE

Les déflexions engendrées par la présence d'une voile placée dans un flux d'air se font sentir sur tout son pourtour. En amont, bien avant leur arrivée sur le profil, en aval où elles ne retrouvent leur cours initial que bien en arrière.

Sur les côtés, au vent (intrado) et sous le vent (extrado), jusqu'à certaines distances de la surface à partir desquelles les molécules gardent leur course rectiligne, ces " frontières " constituent les plaques d'inertie. Sont ainsi ménagés, entre la surface de la voile et les plaques d'inertie, des couloirs d'étranglement vers où l'air, qui doit garder un débit constant, est progressivement accéléré et des zones d'évasement, d'expansion où l'air est ralenti. On peut avoir une vision du phénomène d'étranglement en imaginant une autoroute à trois voies, sous trafic intense et réduite à une seule voie sur quelques dizaines de mètres pour travaux. Pour qu'il n'y ait aucun bouchon, les voilures doivent aller trois fois plus vite dans la zone d'étranglement.

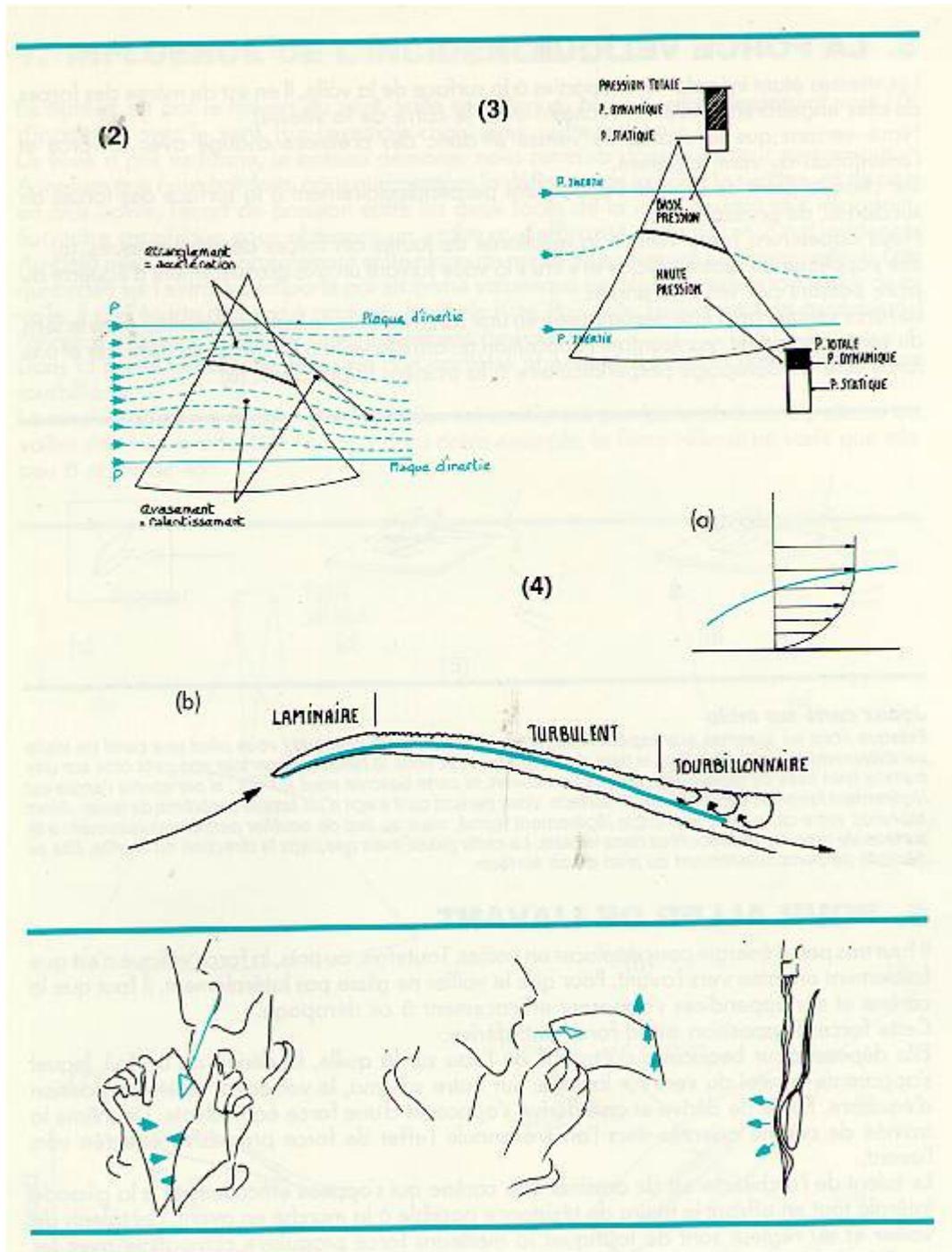
3. Vitesse et pression

Il existe autour de la voile une pression totale ayant partout la même valeur. Cette pression totale est la somme d'une pression statique liée à la masse volumique de l'air et d'une pression dynamique due à son déplacement (le fameux théorème de Bernoulli). En conséquence, chaque fois qu'en un point de la surface de la voile nous avons une accélération, (dans les zones d'étranglement) nous constatons une augmentation de la pression dynamique au détriment de la pression statique, (soit une dépression). Inversement là où il y a ralentissement (zone d'évasement), nous remarquons le gain de la pression statique (soit une haute pression). L'air va des hautes vers les basses pressions et entraîne la voile, ceci explique également la déviation en amont du profil. Au faible angle d'incidence du vent apparent sur la voile (au près) celle-ci est comprise entre une vaste zone dépressionnaire sous le vent et une vaste zone surpressionnaire au vent. Elle est tirée par la première près de trois fois plus qu'elle n'est poussée par la seconde. - L'expression " voile qui tire est juste ".

4. Qualité de l'écoulement

Au contact de la surface d'un objet, sol, carène, voile, etc..., les molécules fluides sont freinées par friction alors que d'autres plus à l'extérieur cherchent à les entraîner. Normales à une certaine distance de la surface, les vitesses d'écoulement décroissent progressivement pour devenir nulles sur la paroi. L'épaisseur de ce décalage de vitesse forme la couche limite (a). A l'attaque de la voile, l'écoulement est encore laminaire en lignes contiguës mais bientôt avec l'échauffement dû à la friction et au déplacement des molécules, il semble vibrer. La couche limite s'épaissit; l'écoulement est devenu turbulent. Il est important qu'il le demeure jusqu'à la chute. Malheureusement emportées par

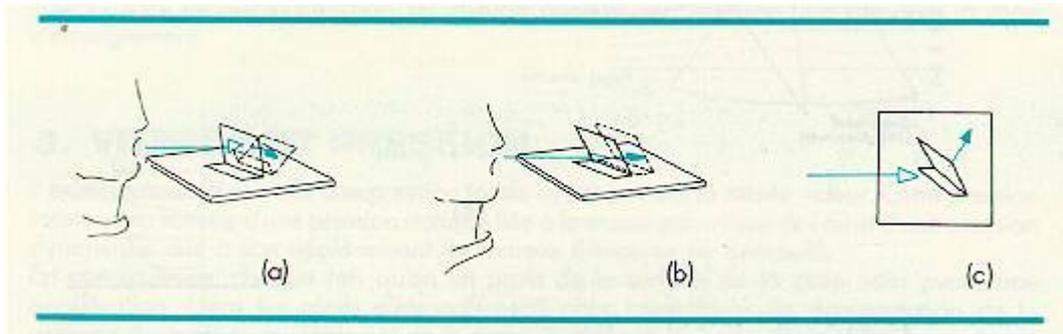
leur vitesse et leur inertie, les molécules d'air peuvent se trouver dans l'impossibilité de suivre la surface de la voile. Elles s'en écartent alors pour reprendre leur direction initiale. Il y a décrochement, création d'un espace tourbillonnaire où les molécules remontent parfois à contre courant (b). L'absence de vitesse d'écoulement organisée se fait au détriment des succions : la voile est moins performante.



5. La force vélique

Les vitesses étant inégalement réparties à la surface de la voile, il en est de même des forces qu'elles engendrent (celles-ci évoluent avec le carré de la vitesse). Nous verrons que le champ de vitesse, et donc des pressions, change avec la force et l'orientation du vent apparent. Sur chaque point de la voile s'appliquent perpendiculairement à la surface des forces de succion et de pression. Nous appellerons force vélique la résultante de toutes ces forces aérodynamiques (a). Elle s'applique au

centre vélique et " tire " la voile suivant un axe grossièrement d'équerre au plan, passant par ses trois angles. La force vélique peut être décomposée en une force nuisible, la traînée, orientée dans le sens du vent apparent et représentant l'opposition qu'offre la voile à son passage dans l'air et une force utile de dérapage perpendiculaire à la traînée, la portance (b).

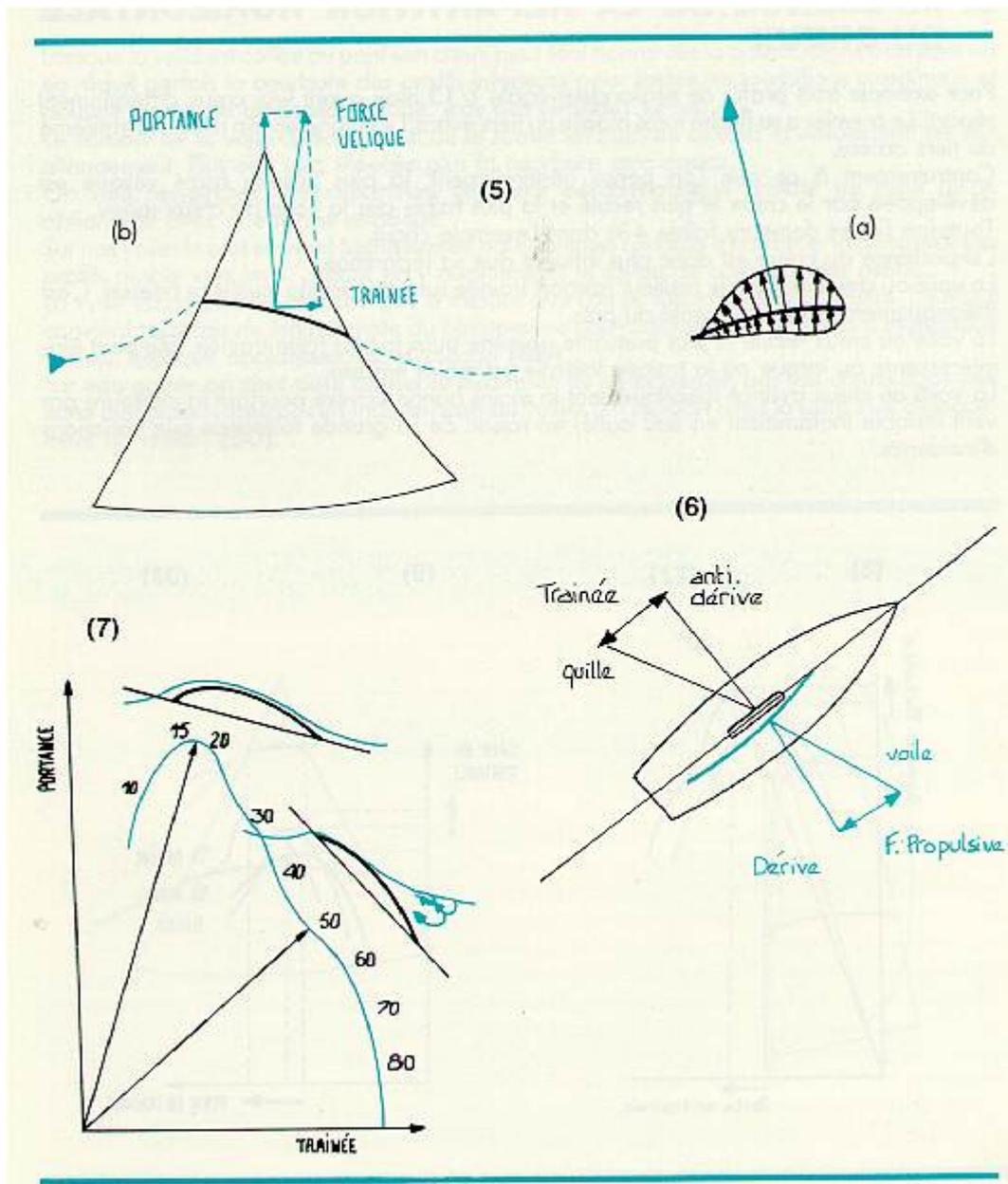


6. Pour aller de l'avant

Il faut très peu d'énergie pour déplacer un voilier. Toutefois, au près, la force vélique n'est que faiblement orientée vers l'avant. Pour que le voilier ne glisse pas latéralement, il faut que la carène et ses appendices s'opposent efficacement à ce dérapage. Cette force d'opposition est la force anti-dérive. Elle dépend pour beaucoup du travail de l'eau sur la quille, la dérive ou un foil, lequel s'apparente à celui du vent sur la voile. Sur notre schéma, le voilier est arrêté en position d'équilibre. Forces de dérive et anti-dérive s'opposent d'une force équivalente. De même la traînée de carène orientée vers l'arrière annule l'effet de force propulsive orientée vers l'avant. Le talent de l'architecte est de dessiner une carène qui s'oppose efficacement à la glissade latérale tout en offrant le moins de résistance possible à la marche en avant. Les talents du voilier et du régleur sont de fabriquer la meilleure force propulsive compatible avec les qualités du bateau. L'écart entre la traînée de carène et force propulsive donne la vitesse au bateau. Lorsque les forces ne sont pas directement opposées, il y a formation de couple (gîte-enfournement, auloffée-abattée).

7. Influence de l'incidence

Le bateau est par le travers du vent, voile en ralingue. Nous bordons lentement vers 10 degrés d'incidence avec le vent (sur l'exemple choisi pour notre polaire). A mesure que nous bordons, nous augmentons la déflexion de la voile, la succion est de plus en plus active, l'écart de pression entre les deux faces de la voile devient plus important. Sur notre graphique nous obtenons un optimum d'efficacité entre 15 et 20 degrés d'incidence. Au-delà nous quittons brutalement cette plage de meilleur rendement. Le bateau ralenti, l'air qui circule sur l'extrados emporté par sa masse volumique ne peut plus suivre la surface de la voile. Il s'en écarte d'abord à partir du bord de fuite. Puis avec l'augmentation continue de l'angle d'incidence il décolle progressivement de l'extrados. Dans la partie décollée le flux n'est plus accéléré et orienté, il laisse la place à de vastes tourbillons. La succion décroît à mesure que l'extrados est contaminé par les tourbillons. La vitesse du voilier s'en trouve affectée. Toujours dans notre exemple, la force vélique ne varie que très peu à partir de 45 degrés.



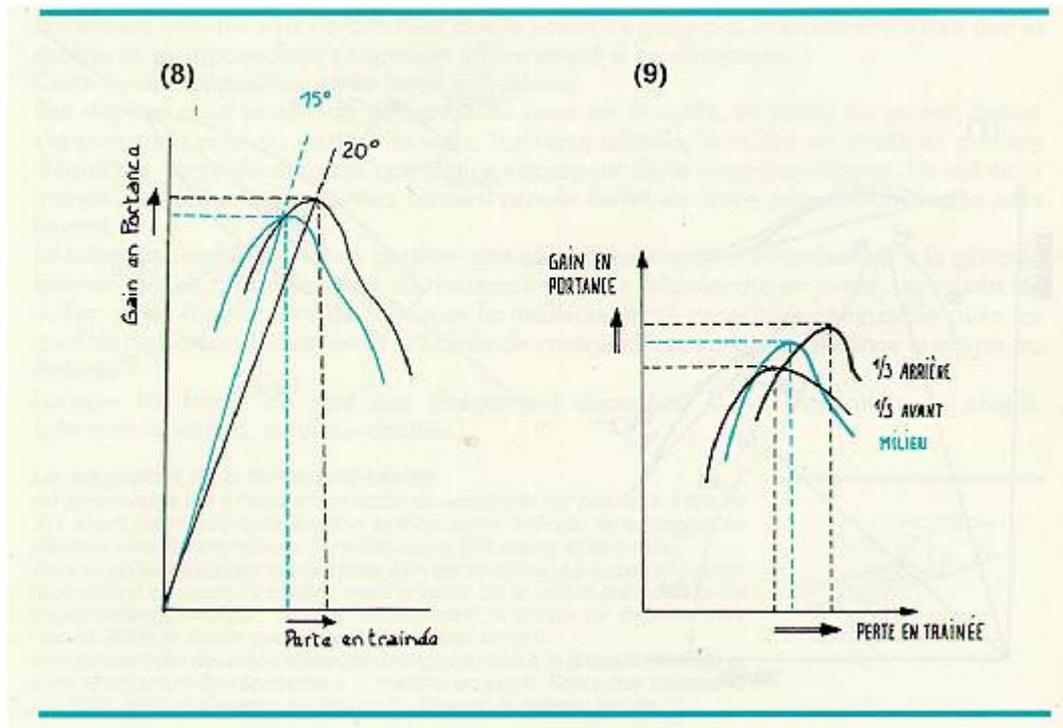
8. Influence de l'importance du creux

Plus la voile est creuse et plus les zones d'étranglement et d'expansions sont marquées. La force vélique est ainsi proportionnelle à l'importance du creux. Arrive néanmoins un moment où l'air, emporté par sa masse volumique, ne peut plus suivre une courbure trop marquée. Comme dans le cas d'une incidence trop forte, on observe alors un décollement sur l'arrière de l'extrados. Aux faibles angles d'incidence, portance et traînée augmentent en même temps que la force vélique, mais à partir d'une certaine force les gains en portance ne compensent plus la croissance néfaste de la traînée. Près du vent, la traînée est néfaste puisque pratiquement opposée à la route. Sur eau plate où la puissance n'est pas nécessaire, on optera pour des profils fins donnant un meilleur cap (voir la polaire) (7). Au large où la traînée latérale est moins nuisible on prendra, si le voilier supporte la toile, la puissance, donc le creux, maximum à la limite du décollement.

9. Influence de la répartition horizontale du creux

Pour exemple trois profils de profondeur égale 1/13 mais ayant leur creux différemment réparti. Le premier a sa flèche maxi placée au tiers avant. Le second en son milieu, le troisième au tiers arrière. Contrairement à ce que l'on pense généralement, la plus grande force vélique est développée par le

creux le plus reculé et la plus faible par la voile au creux du milieu. Toutefois l'écart demeure faible 4 % dans l'exemple choisi. L'importance du creux est donc plus influent que sa répartition. La voile au creux milieu a le meilleur rapport traînée sur portance (la meilleure finesse). C'est théoriquement le meilleur profil au près. La voile au creux reculé la plus puissante possède aussi la plus forte traînée. Elle peut être intéressante au largue où la traînée latérale est moins néfaste. La voile au creux avancé, théoriquement la moins bonne, s'avère pourtant la meilleure par vent instable (notamment en eau agitée) en raison de sa grande tolérance aux variations d'incidence.



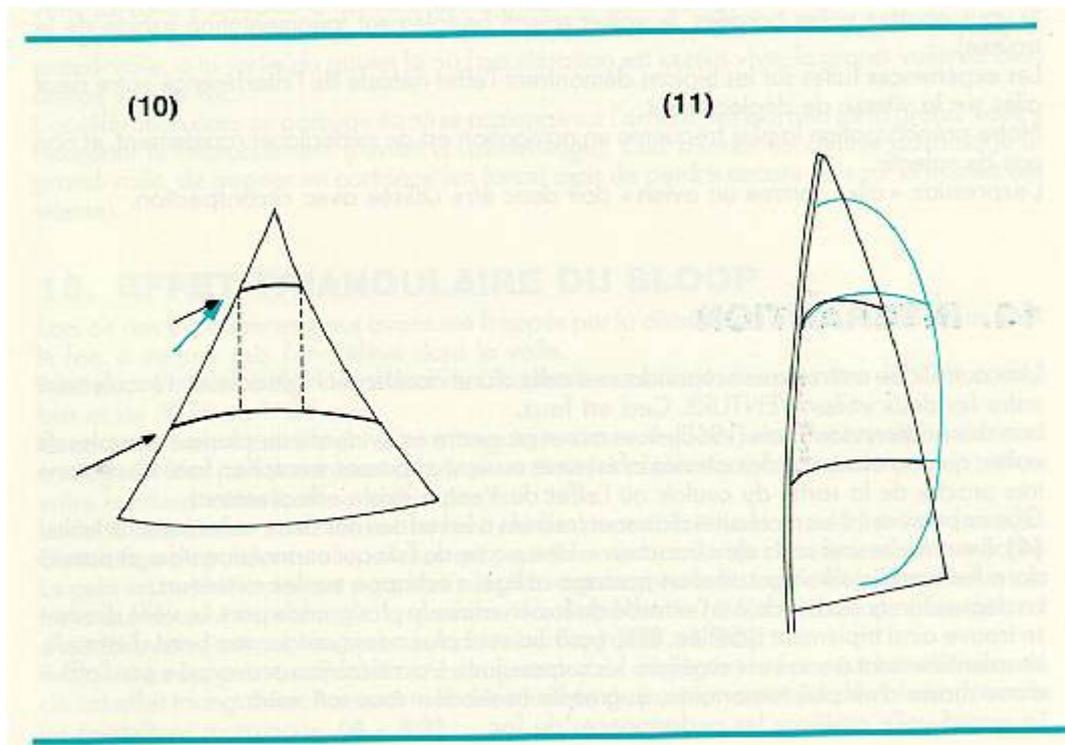
10. Voile triangulaire

Beaucoup de nos voiles ont une forme en plan proche du triangle. A supposer que le vent ambiant soit le même sur toute la hauteur de la voile, que les rayons de courbure et les calages soient identiques : un grand profil placé vers le bas de la voile a un plus grand pouvoir déflecteur qu'un petit profil placé vers le haut. L'écoulement autour du grand profil influe sur le profil placé juste au-dessus. Ces derniers bénéficient ainsi d'un écoulement amélioré. A leur tour, ils bonifient les suivants et ainsi de suite vers le haut de la voile. Au passage notre petit profil se trouve pris dans un écoulement bien supérieur à ce qu'il devrait être, compte tenu de la taille du profil et du vent réel. Ce phénomène est amplifié par l'effet de couche limite au sol. (4) La survente et l'adonnante dont il bénéficie, implique de modifier sa forme et son orientation.

11. Répartition verticale du volume

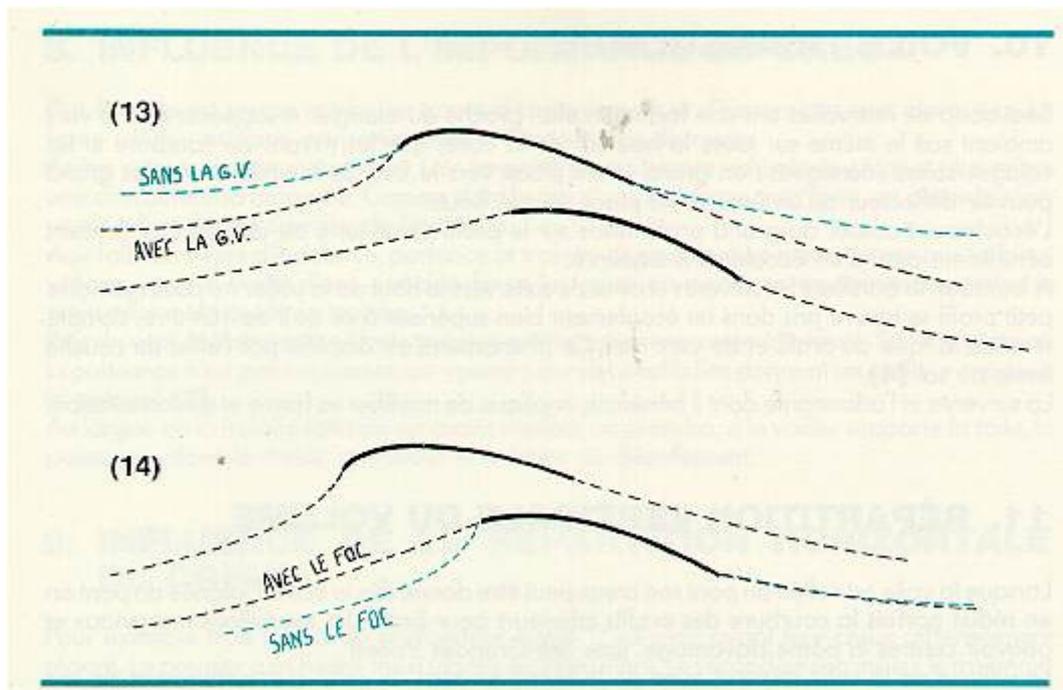
Lorsque la voile est collée au pont son creux peut être donné dès la base. Eloignée du pont on en réduit parfois la courbure des profils intérieurs pour limiter les tourbillons marginaux et pouvoir centrer la bôme davantage. (cas des Grandes Voiles) Le volume de la voile dépend aussi de la forme en plan de celle-ci et notamment de son allongement. Plus elle sera élancée plus la courbure sera douce. On doit rechercher une répartition de force aérodynamique proche de celle qu'on obtiendrait avec une forme elliptique. Sur nos voiles le plus souvent triangulaires, nous sommes conduits à renforcer la puissance des profils placés vers les 1/3 haut en y augmentant le rayon de courbure des profils. La voile est de plus en plus courbée à mesure que l'on se rapproche de la tête. En tête il convient toutefois de tenir compte du phénomène contradictoire des tourbillons marginaux qui, lui, implique aplatissement et vrillage (59). Sur eau agitée on peut aussi garder le maximum de puissance en bas

(de creux) dans une zone moins perturbée par les mouvements du voilier (en rapport avec la taille et le déplacement du voilier) (50).



12. L'avion

Dès que l'on fait travailler deux voiles ensemble, le système devient complexe. On prend souvent pour modèle l'aile d'un avion. Pour atterrir sur un terrain de longueur limitée, l'avion doit ralentir. Ce ralentissement rend l'aile moins porteuse (moins de vitesse d'écoulement). Le poids de l'appareil l'entraîne vers le bas. La rencontre de l'air et de l'aile se fait suivant un angle d'incidence plus important. Arrive un moment où il est tel que nous avons le décrochage sur l'extrado de l'aile et chute de l'appareil (le trou d'air) (4). HANDLEY PAGE a imaginé un petit aileron (un foc) qui, placé devant l'aile principale, défléchit le flux sur l'extrado de celle-ci, repoussant plus loin l'angle fatidique de décrochage. Si vous abattez voiles bordées, le voilier ralenti brutalement (augmentation rapide de la traînée). Les expériences faites sur les biplans démontrent l'effet néfaste de l'interférence entre deux ailes sur la vitesse de déplacement. Notre préoccupation la plus fréquente en navigation est de se déplacer rapidement, et non pas de ralentir. L'expression " aller comme un avion " doit donc être utilisée avec circonspection.

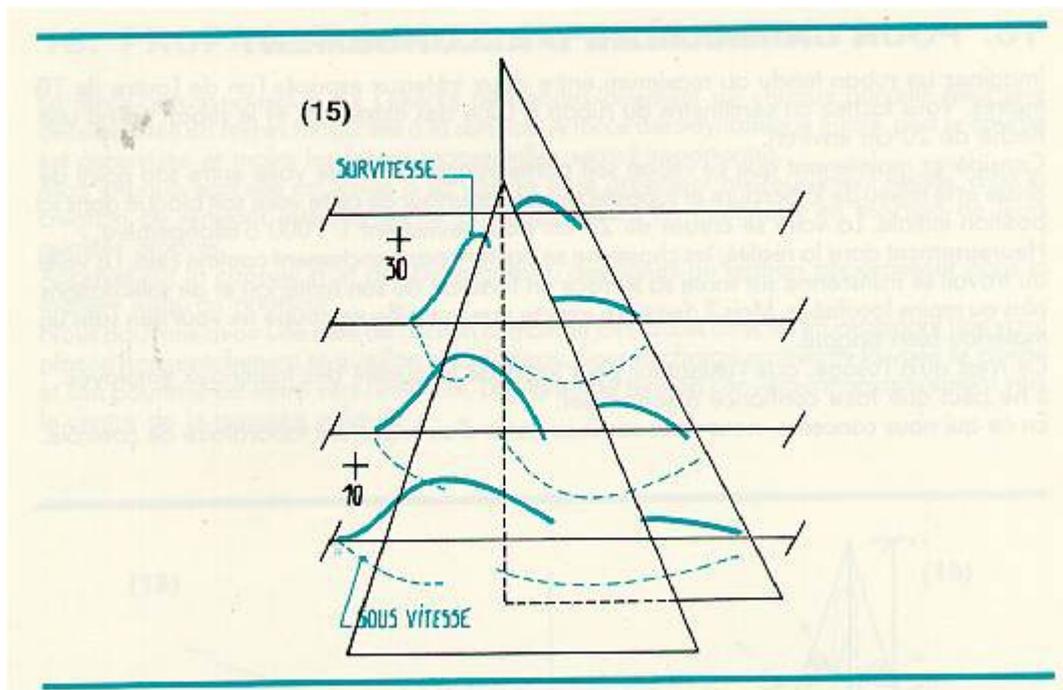


13. Interaction

Une autre idée couramment répandue est celle d'une accélération globale de l'écoulement entre les deux voiles (VENTURI). Ceci est faux. Lors des essais en soufflerie (1968), nous avons pu mettre en évidence sur plusieurs couples de voiles, qu'on y observait des vitesses au vent apparent, exception faite d'une zone très proche de la sortie du couloir où l'effet de Venturi existe effectivement. Que se passe-t-il ? Les molécules d'air sont freinées à la surface des deux voiles (couche limite) (4). Il en résulte une sorte de " bouchon ". Une partie de l'air qui normalement serait passée dans l'entonnoir, s'il s'agissait d'un passage obligé, s'échappe sur les extérieurs. La dépression qui existe déjà à l'extrado du foc en aspire la plus grande part. La voile d'avant se trouve ainsi tripletement bonifiée. Elle reçoit un vent plus adonnant sur son bord d'attaque. Le ralentissement à son vent améliore les surpressions. L'accélération provoquée par l'afflux d'une masse d'air plus importante, augmente la succion sous son vent. La grand-voile améliore les performances du foc.

14. Cote grand-voile

Malheureusement pour la grand-voile presque tout se détériore. Le vent refuse. Davantage d'air passe à son vent, perte de succion. Si la théorie de l'accélération entre les deux voiles était vraie, nous observerions une situation opposée. Le foc nuit à la grand-voile. Le gain sur le foc ne compense pas la perte sur la grand-voile. A surface égale, deux voiles sont presque toujours inférieures à une seule (près du vent). L'accélération au vent du bord d'attaque peut y rendre l'écoulement plus rapide que sous le vent, la voile y travaille à l'envers, elle bombe au vent (40). On parle à tort de renvoi de la voile d'avant. Au contraire, là où le foc est plus près de la grand-voile, à la sortie du goulet là où l'accélération est la plus vive, la grand-voile est bien attirée vers le foc. L'accélération dans ce passage étroit se prolonge sur l'arrière de l'extrado de la grand-voile y retardant le décrochement (l'avion à l'atterrissage). Ceci permet de centrer davantage la grand-voile, de gagner en portance (en force) mais de perdre encore plus sur la traînée (en vitesse).

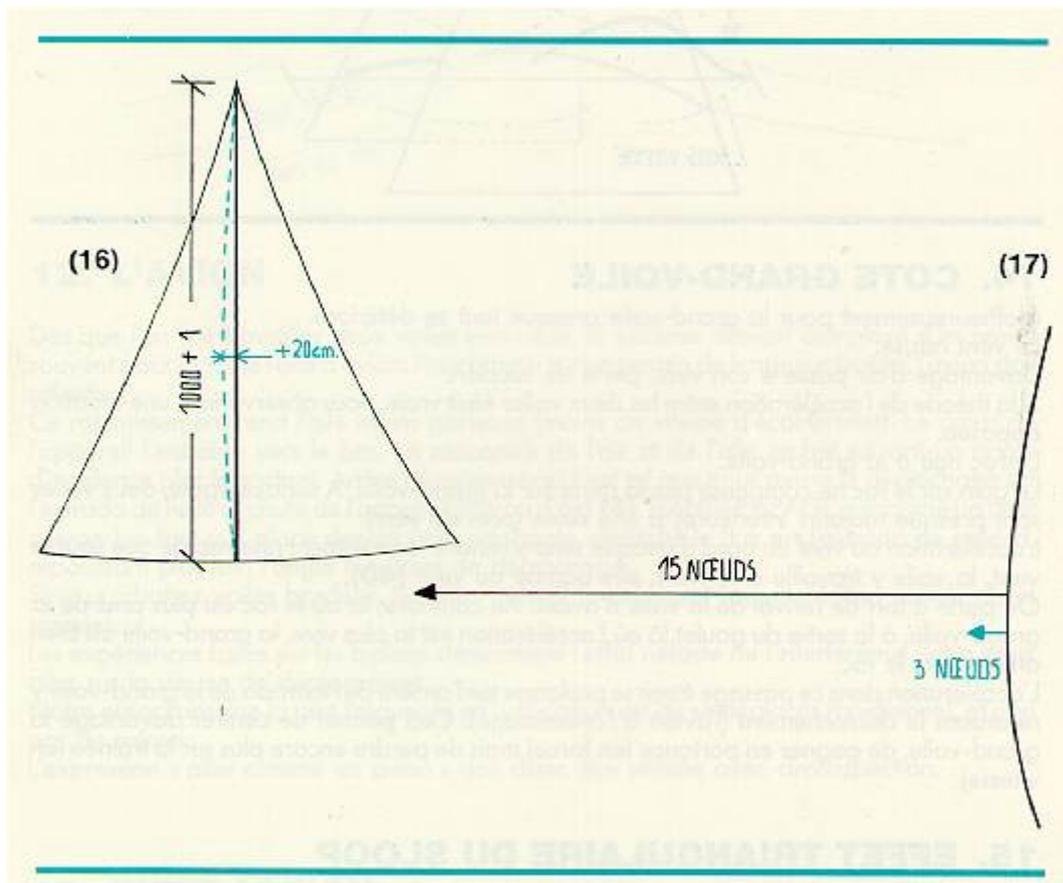


15. Effet triangulaire du sloop

Lors de nos expériences, nous avons été frappés par la distribution croissante des gains pour le foc, à mesure que l'on s'élève dans la voile. Ainsi pour un génois de FD la vitesse de l'écoulement sur l'extrados peut être de 10% au 1/3 bas et de 30% au 1/3 haut. Cette progression est due à l'effet triangulaire des voiles. Les importants profils inférieurs conjuguent leurs performances et provoquent dans les profils supérieurs des écarts de vitesse entre les deux côtés que ne justifie pas leur taille. La forte adonnante en amont et en haut du foc permet soit de le creuser, soit de le vriller. Davantage de puissance et une force qui peut être mieux orientée dans le sens de la marche. Le gain est surtout important pour les voiles d'avant de gréements fractionnés, l'aspiration très forte qui demeure au dos de la grand-voile, empêche le retour néfaste de l'écoulement d'intrado vers l'extrado (suppression du tourbillon) (59 et 30). Toujours sur les gréements fractionnés la grand-voile dégagée du foc peut bénéficier seule de cet effet triangulaire. Par contre, le déséquilibre de pression entre les deux faces favorise les tourbillons marginaux. (4-59)

16. Pour un millième d'allongement

Imaginez un ruban tendu au maximum entre deux tréteaux espacés l'un de l'autre de 10 mètres. Vous lâchez un centimètre de ruban à l'une des extrémités et le ruban prend une flèche de 20 cm environ. Considérez maintenant que ce ruban soit partie intégrante d'une voile entre son point de drisse et le milieu de la bordure et supposez que le pourtour de cette voile soit bloqué dans sa position initiale. La voile se creuse de 20 cm pour seulement 1/1000 d'allongement. Heureusement dans la réalité, les choses ne se passent pas exactement comme cela. La voile au travail se transforme sur toute sa surface en fonction de son matériau et de sollicitations plus ou moins localisées. Mais il demeure exact que la meilleure coupe ne vaut rien sans un matériau bien adapté. Ce n'est qu'à l'usage, que l'utilisateur peut juger de la qualité des matériaux employés. Il ne peut que faire confiance à son voilier. En ce qui nous concerne, nous nous sommes dotés d'un important laboratoire de contrôle.

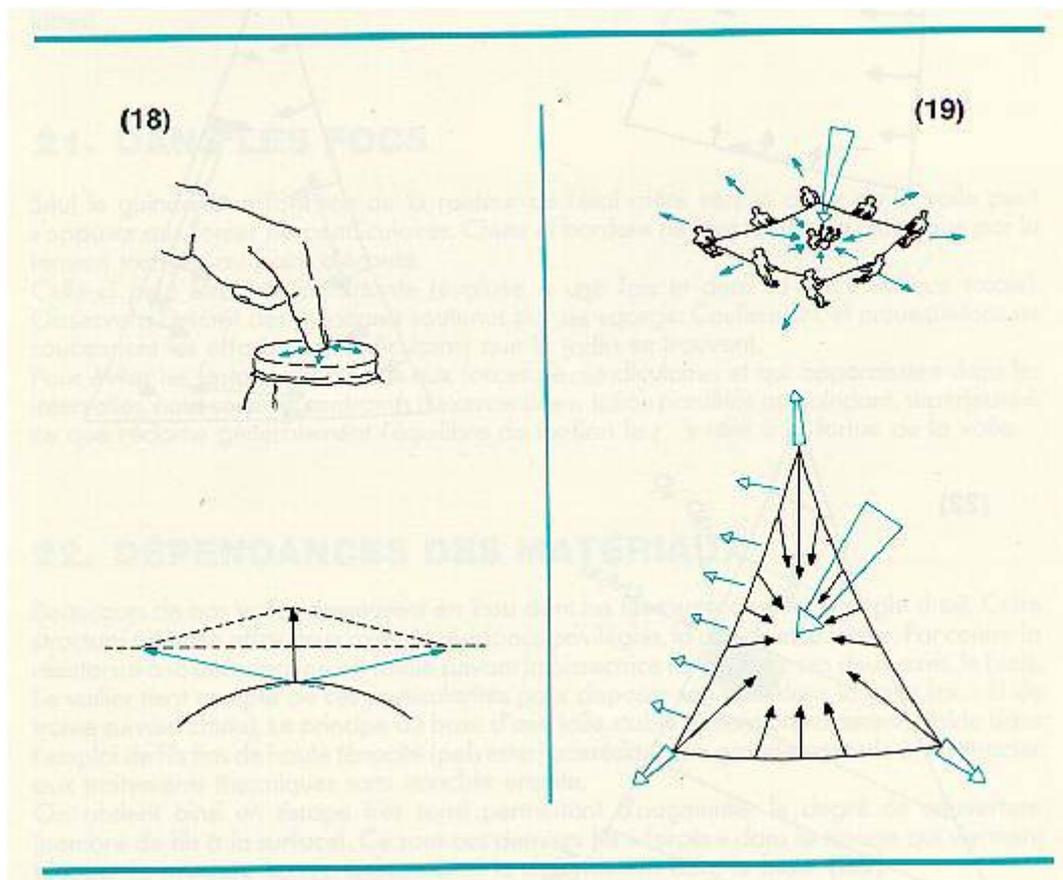


17. Les efforts directs ou aérodynamiques

Les efforts supportés par une voile sont au départ d'ordre aérodynamique. En chaque point, sur chaque parcelle d'une voile s'exercent perpendiculairement à celle-ci des forces de pression et de succion dont l'importance est directement proportionnelle aux vitesses d'écoulement observées en ces lieux. Exactement au carré de la vitesse. Par exemple : Pour un génois léger utilisé de 3 à 15 noeuds de vent apparent, les forces aérodynamiques varient d'un rapport de 5 à 225 soit 25 fois plus. Matériau de voile et gréement subissent entre les deux extrémités de la plage d'utilisation de la voile des efforts bien différents. Ils se transforment. Il en est de même suivant les allures, le pouvoir de déflexion de la voile variant considérablement suivant l'angle d'incidence du vent.

18. Propagation des efforts directs

La force aérodynamique qui s'exerce perpendiculairement sur chaque parcelle peut être décomposée en forces tangentées à la surface. A force aérodynamique égale, plus la courbe est accentuée et moins les forces tangentielles seront importantes. Mais chaque parcelle est tenue à sa voisine et le gréement heureusement résiste, d'où la création de tensions internes qui se propagent dans les matériaux en fonction de leurs qualités propres. Appuyez sur la capsule d'un pot de yoghourt, des lignes de tension apparaissent dans la matière jusqu'au pourtour. Nous pouvons avoir une idée de l'action combinée des forces directes en imaginant une voile placée horizontalement et que l'on rempli d'eau. Sous la charge croissante la voile se creuse et son pourtour est attiré vers l'intérieur. Les lignes de tension convergent grossièrement vers le centre de la poussée vélique.



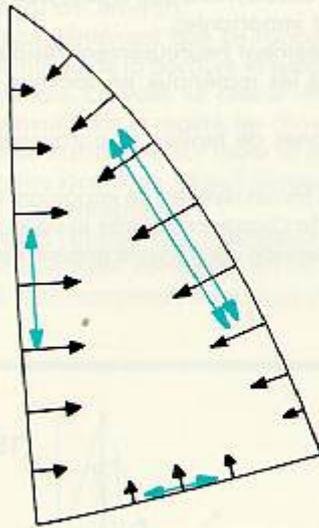
19. Efforts mécaniques indirects

Supposons un personnage qui tombe dans la toile tendue par les sauveteurs (il pourrait symboliser la force vélique). Ceux-ci pour ne pas être attirés en avant sous la charge, doivent s'arc-bouter en arrière. A l'action du coup reçu, nous avons une réaction opposée et proportionnée des sauveteurs. Les tensions aérodynamiques se répercutent sur le pourtour de la voile. Les supports de celle-ci (le gréement) résistent plus ou moins bien afin de la maintenir dans sa forme et dans sa position. Nous avons ainsi création d'efforts indirects formant de nouveaux axes de tension lesquels s'ajoutent aux efforts directs aérodynamiques. En fonction de la force du vent, de l'orientation de la voile, de ses proportions, de son volume, de la qualité des matériaux qui la composent et la supportent, nous aurons une distribution différente des forces impliquant des réglages différents.

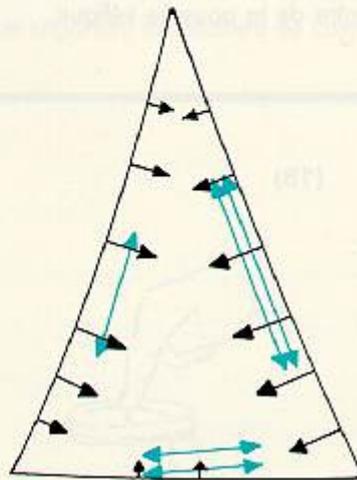
20. Dans les grand-voiles

Sur le pourtour de la voile, ces forces combinées peuvent être décomposées en forces parallèles et en forces perpendiculaires au côté. Sur une grand-voile, nous disposons de deux supports résistants, le mât et la bôme. Sur ces deux côtés, les forces parallèles sont contrôlées par la tension des ralingues et les forces perpendiculaires maîtrisées. Par contre sur la chute, les forces perpendiculaires n'ont pas d'ancrage. Nous ne pouvons nous opposer à leur sollicitation que par une tension de la chute et dans une certaine limite. Cette tension croît rapidement avec la force du vent d'un côté, la volonté et la capacité que nous avons de contrôler l'attraction vers le coeur de la voile et le dévers de la chute de l'autre. On estime que pour une utilisation courante, la tension nécessaire au contrôle de la chute est proche de la force vélique totale développée par la voile et que 60% des efforts totaux encaissés par les matériaux sont concentrés sur l'extrême arrière de la voile (ex. zone de lattes).

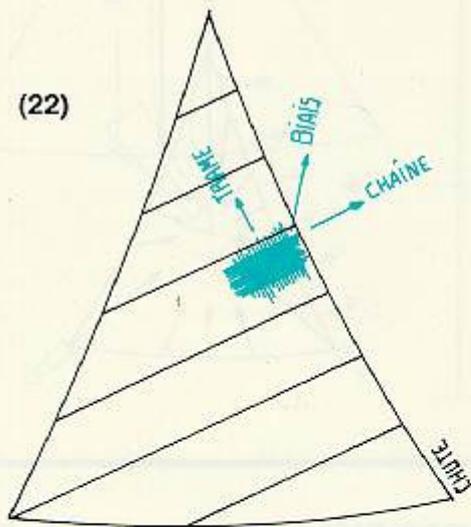
(20)



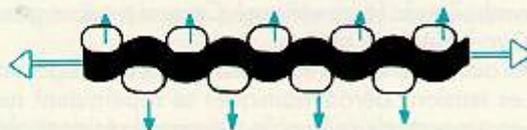
(21)



(22)



(23)



21. Dans les focs

Seul le guindant, en fonction de la raideur de l'étai attiré vers le coeur de la voile, peut s'opposer aux forces perpendiculaires. Chute et bordure ne sont tenues en place que par la tension exercée au point d'écoute. Celle-ci peut être très importante (évaluée à une fois et demi la force vélique totale). Observons l'intérêt des guindants soutenus par une gorge. Coulisseaux et mousquetons ne soutiennent les efforts perpendiculaires que là où ils se trouvent. Pour éviter les festonnements dus aux forces perpendiculaires et qui apparaissent dans les intervalles, nous sommes contraints d'exercer une traction parallèle au guindant, supérieure à ce que réclame généralement l'équilibre de tension le plus utile à la forme des voiles.

22. Dépendances des matériaux

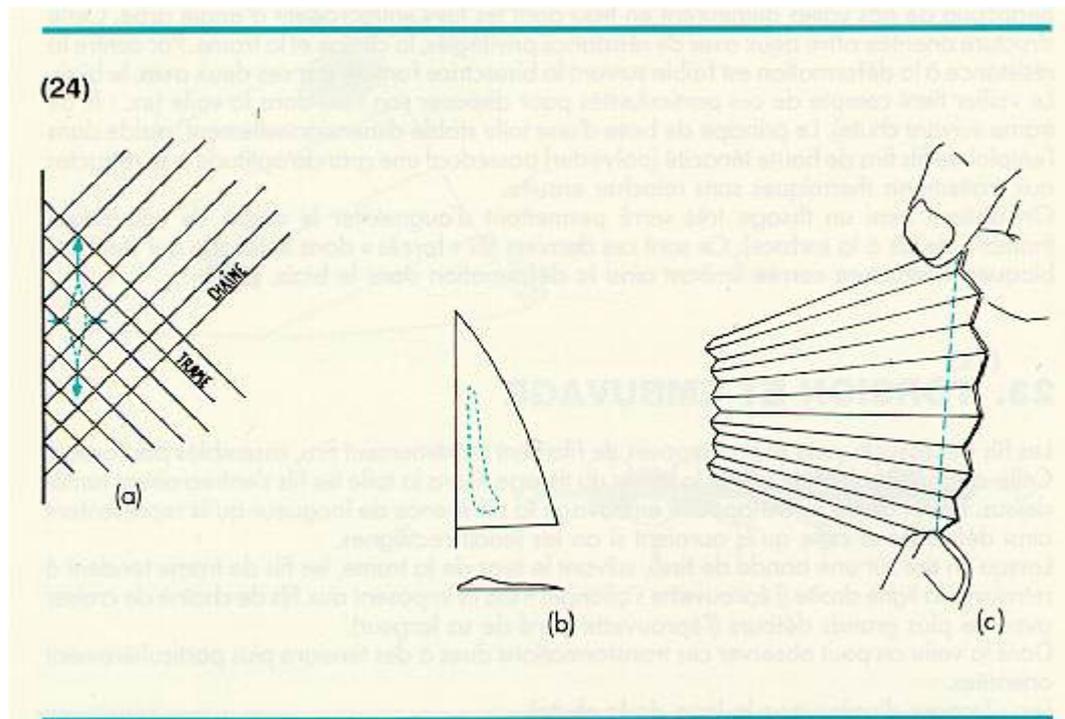
Beaucoup de nos voiles demeurent en tissu dont les fils s'entrecroisent à angle droit. Cette structure orientée offre deux axes de résistance privilégiés, la chaîne et la trame. Par contre la résistance à la déformation est faible suivant la bissectrice formée par ces deux axes, le biais. Le voilier tient compte de ces particularités pour disposer son tissu dans la voile (ex. : fil de trame suivant chute). Le principe de base d'une toile stable dimensionnellement, réside dans l'emploi de fils fins de haute ténacité (polyester) possédant une grande aptitude à se rétracter aux traitements thermiques sans relâcher ensuite. On obtient ainsi un tissage très serré permettant d'augmenter le degré de couverture (nombre de fils à la surface). Ce sont ces derniers fils " forcés " dans le tissage qui viennent bloquer la structure carrée limitant ainsi la déformation dans le biais (25).

23. Torsion et embuvage

Les fils des tissus à voile sont composés de filament extrêmement fins, assemblés par torsion, celle-ci étant également utile à la tenue du tissage. Dans la toile les fils s'entrecroisent tantôt dessus, tantôt dessous. On appelle embuvage la différence de longueur qu'ils représentent ainsi déformés et celle qu'ils auraient si on les tenait rectilignes. Lorsqu'on tire sur une bande de tissu, suivant le sens de la trame, les fils de la trame tendent à retrouver la ligne droite (l'éprouvette s'allonge) mais ils imposent aux fils de chaîne de croiser avec de plus grands détours (l'éprouvette perd de sa largeur). Dans la voile on peut observer ces transformations dues à des tensions plus particulièrement orientées (ex : fronces d'embuvage le long de la chute).

24. Tensions du guindant

Avec une disposition de laizes placées perpendiculairement à la chute, le tissu se trouve plus ou moins placé de biais côté guindant. Une tension sur le guindant par étarquage de la drisse provoque une déformation de la structure carrée. Les fils de trame et de chaîne perdent de leur parallélisme, ils baillent sur le guindant, ils ne se coupent plus à angle droit, leur structure n'est plus carrée mais en losange. (a) La tension aplatit bien la voile sur le plan vertical mais simultanément, par déformation du tissage, on observe un apport de tissu vers l'avant de la voile. Si les efforts aérodynamiques (force du vent) sont insuffisants, il se forme ainsi un vilain pli parallèle au guindant (b). Si, par contre, les efforts perpendiculaires se font sentir, cet apport de tissu s'induit bien dans le volume de la voile. Judicieusement dosée, la tension du guindant permet donc le contrôle de la forme. Une sous-tension laisse apparaître des plis partant de la ralingue et orientés vers le coeur de la voile. S'ajoute le problème de l'embuvage (23). Prenez une feuille de papier pliée en accordéon. Les plis simulent le parcours d'un fil dans le tissage. Tendez une lisière placée perpendiculairement aux plis, ceux-ci disparaissent, mais la lisière bombe à l'extérieur (c).



25. Stabilisation des matériaux

Pour la compétition on recherche des matériaux très stables maintenant sa forme au profil. A partir d'une bonne toile à voile, telle que définie précédemment, il est possible de bloquer l'embuvage et la structure carrée, par l'enduction d'une résine qui colle les deux fils entre eux. Certains tissus (Yarn Tempered) reçoivent de plus une fine pellicule de résine qui, fixée à chaud, stabilise encore davantage l'ensemble. La résistance du biais se rapproche de celle du droit fil. Derniers venus : les complexes. Ils sont obtenus à partir de plusieurs matériaux différents. Il s'agit le plus souvent d'un textile ou d'une grille avec leurs deux axes de résistance privilégiés, sur lequel est collé un film aux qualités mécaniques isotropes (semblable dans toutes les directions). Le rôle du film est de stopper la distorsion et l'embuvage du fil et surtout de bloquer le biais. Ces complexes sont probablement appelés à remplacer petit à petit les tissus à voile. Ils ont permis le réemploi des fibres Aramide (Kevlar) dont le tissage sans blocage du biais n'avait pas donné satisfaction. Il faut remarquer que plus le matériau est stable moins il est susceptible de reprendre sa place après déformation. Plus il est sensible au fageage et à la déchirure (chaque fil bloqué ayant à lui seul, et à tour de rôle, à supporter la charge).

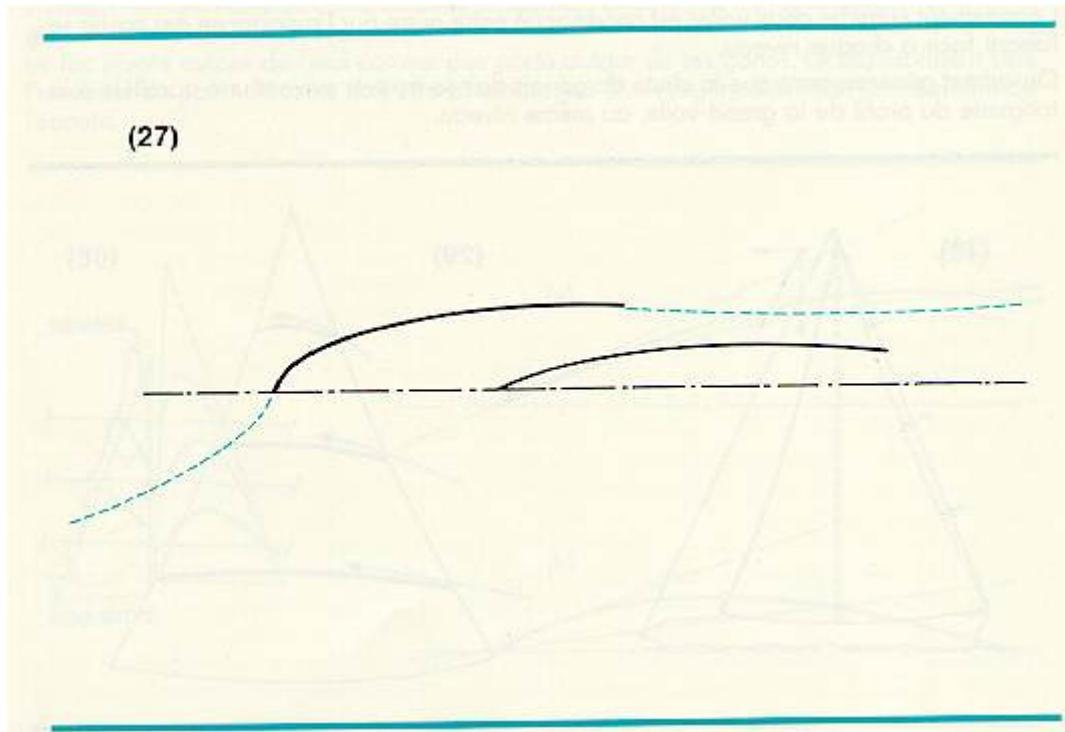
26. Attention devant !

Lors de notre réglage, nous allons d'abord porter toute notre attention sur la voile d'avant. Placée en amont dans l'écoulement, elle reçoit un écoulement non perturbé. Son bord d'attaque, extrémité importante du profil par son orientation et l'importance des écarts considérables de pression qu'on peut y rencontrer, n'est pas altéré par la présence d'un mât s'intégrant, le plus souvent, mal à ce profil. Sa force vélique est mieux orientée vers l'avant que celle de la grand-voile, nécessairement plus latérale. Il bénéficie de l'action de la grand-voile (v. paragraphe 13). Enfin, sa bordure est le plus souvent proche ou collée sur le pont. Cet effet de plaque supprime les tourbillons marginaux inférieurs (59).

27. Répartition du creux sur le foc

Nous savons qu'il est important que l'écoulement sous le vent des deux voiles se fasse sans discontinuité, sans décrochement. Ce résultat est obtenu par une bonne répartition des volumes et une bonne orientation entre les deux voiles. Celles-ci ne peuvent ressembler à celles d'une voile isolée. La voile d'avant est proportionnellement plus creuse. Elle s'inscrit dans le contour des deux

voiles. Le creux peut y être plus avancé afin de capter l'adonnante qui se trouve en amont et la rendre plus tolérante aux variations d'incidence du vent (9). L'arrière par contre, est aplati pour que l'écoulement qui s'en échappe se raccorde aisément à celui circulant de façon contiguë sur l'extrado de la grand-voile. Toujours comparée à une voile isolée, elle doit être creuse en tête, plus affinée à la base, particulièrement si il s'agit d'un gréement fractionné (10).



28. La tension de l'étai

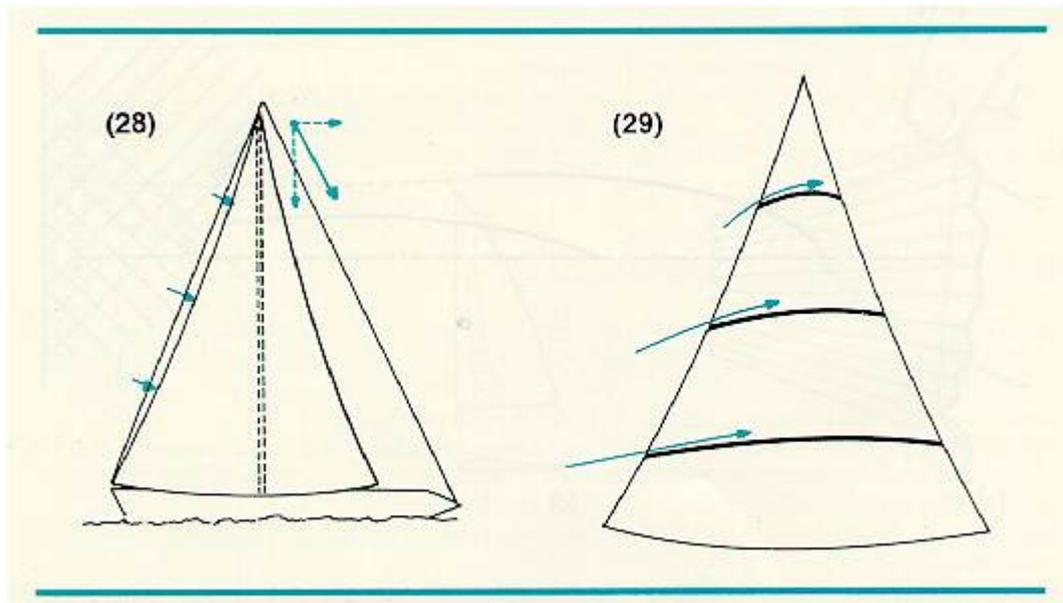
Le contrôle de la tension de l'étai est primordial, si l'on souhaite maîtriser le volume de la voile d'avant. L'étai est attiré vers la voile et sous le vent. Plus les forces aérodynamiques sollicitent la voile et plus l'étai fléchi. (19-21) Ce mouvement induit sur l'avant de la voile un excédent de tissu. Ce tissu peut s'intégrer harmonieusement au volume, mais peut aussi s'avérer en excès. Lors de la coupe, nous tenons compte d'une certaine flexion de l'étai, laquelle correspond au sommet de la plage d'utilisation de la voile (ex. Force 5). Pour des vents plus faibles (ex. Force 2), il importe de mollir l'étai pour un rendement optimum (pataras, bastaques). Sur eau plate, on recherche souvent à affiner les profils (recherche de cap, de traînée moindre), l'étai est plus tendu que normal. Cette action favorise aussi l'ouverture de la chute. (9)

Inversement, sur eau agitée, on recherche la puissance. L'étai est relâché. Ce peut être également le cas lorsqu'on veut relancer le voilier en sortie de virement de bord après un arrêt sur vague. Ces opérations peuvent être accompagnées de différentes tensions de drisse (24). Attention, l'étai fléchit en sens inverse du mât !

29. CALAGES DES PROFILS DE LA VOILE D'AVANT

Il s'agit de positionner les profils constituant la voile aux angles les plus favorables pour les performances recherchées. L'effet triangulaire implique de les caler de plus en plus vers l'extérieur à mesure que l'on s'élève dans la voile. Le vrillage. Pour une incidence et force de vent données, les profils creux seront plus rentrés que les plats, de même les profils aux creux avancés par rapport à ceux ayant un creux reculé, les larges par rapport aux étroits. (31) Certains génois se calent vers 7 degrés à leur base. (15) La présence de la grand-voile peut apporter un correctif à ce qui vient d'être dit. Elle peut nécessiter, pour la sauvegarde d'un bon écoulement entre les deux voiles, d'ouvrir le calage plus que ne l'impliquerait l'écoulement sur la voile d'avant. Cela sous-entend que les gains pour la grand-voile seront supérieurs aux pertes pour le foc. L'écartement entre les deux voiles est

conditionné entre autre par l'importance des profils se faisant face à chaque niveau. On admet généralement que la chute du génois doit se trouver suivant une parallèle à la tangente du profil de la grand-voile, au même niveau.

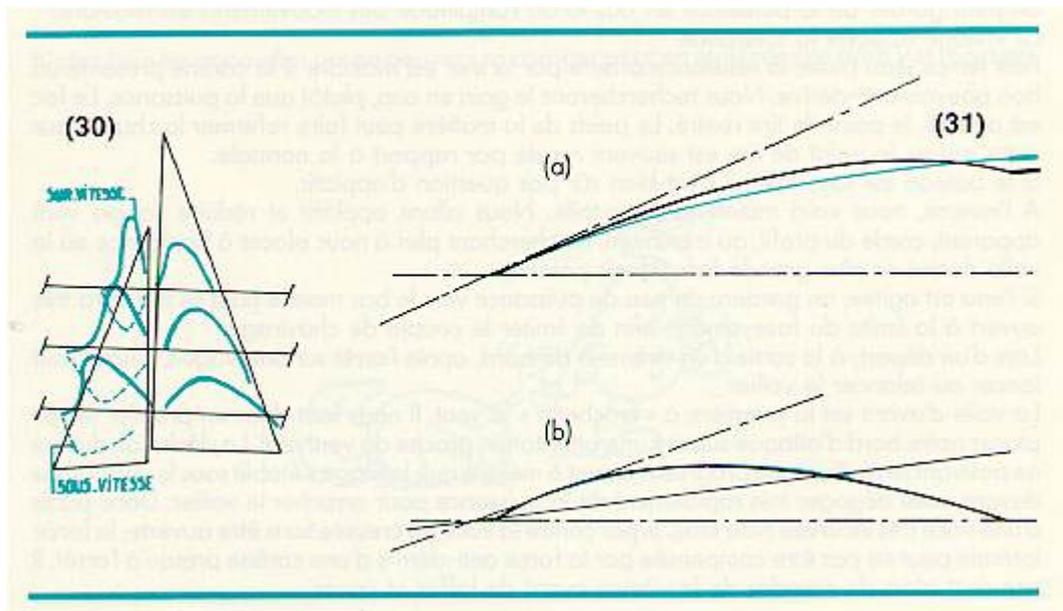


30. FOC SOLENT

Pourtant une exception lorsque la chute du foc s'arrête au niveau du guindant de la grand-voile. (ex. foc soling ou foc solent). Dans ces conditions, on observe bien une légère chute des performances de la grand-voile, mais elle se trouve grandement compensée par les gains du foc. (meilleur rapport portance sur traînée) Pour que ce bilan exceptionnellement favorable se produise, il faut que la chute du profil amont vienne au contact de la forte déflexion et du fort débit contournant le bord d'attaque du profil aval sans pour autant l'étouffer. La configuration de l'écoulement change avec l'orientation et la force du vent. Le contrôle du passage entre les deux voiles réclame une attention particulière et permanente. Les focs sans recouvrement peuvent être plus creux, d'une courbure proche de l'arc de cercle, calés, plus ouverts. Certains de ces focs semblent même gagner, à avoir le creux reculé dans leur partie supérieure, probablement parce que la traînée y est très latérale eu égard au vrillage important de ces voiles. (9)

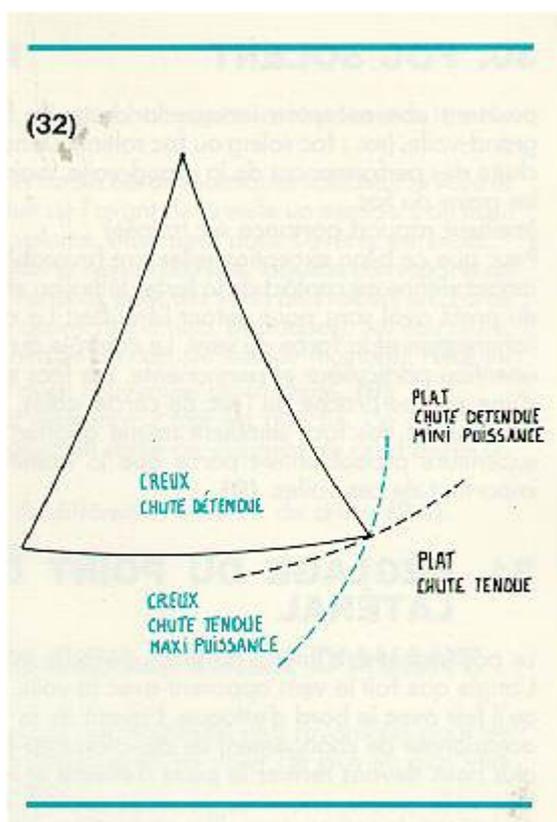
31. REGLAGE DU POINT D'ECOUTE SUR LE PLAN LATERAL

Le positionnement latéral du point d'écoute est conditionné par différents éléments : l'angle que fait le vent apparent avec la voile, et tout particulièrement pour le foc, l'angle qu'il fait avec le bord d'attaque. L'avant de la voile doit se glisser dans l'écoulement, sans occasionner de changement de direction trop brutal. Plus l'avant de la voile est cambré et plus nous devons rentrer le point d'écoute et inversement. Une voile creuse, une voile au creux avancé, doivent être bordées plus à l'intérieur. A angle d'attaque égal, plus la voile est large et plus il convient de rentrer le point de tire. Un génois actuel est fréquemment ramené jusqu'à 7 degrés (angle axe bateau - corde profil). On ne peut dissocier l'ensemble des deux voiles. Le placement de la grand-voile change la circulation autour de la voile d'avant et inversement le plus souvent, la grand-voile est condamnée aux performances du foc. Mais il peut se faire qu'en altérant quelque peu ces dernières, on bonifie l'ensemble du système. Par vent frais, on peut avoir intérêt à écarter le foc, la mer ne permet pas souvent de faire le même cap, il développe moins de force latérale (moins de gîte), sa déflexion vers la grand-voile est plus importante. La répartition verticale du creux est aussi un facteur variable; de même l'interférence avec la grand-voile à différents niveaux. Le foc pivote autour de l'étai comme une porte autour de ses gonds. Le déplacement vers l'extérieur du point d'écoute doit être accompagné d'une légère élévation relâchement de l'écoute.



32. DEPLACEMENT LONGITUDINAL

Ramener le point d'écoute vers le centre vélique revient à incurver et creuser la voile. En creusant la voile, nous augmentons sa puissance mais simultanément sa traînée. Nous pouvons aussi perdre en faculté de cap. Aplatir produit les qualités inverses. (8) Ramener le point d'écoute vers l'avant, tout en le laissant sur une même horizontale, permet de creuser la voile tout en favorisant le dévers de la chute. Si simultanément on baisse légèrement le point d'écoute, c'est l'ensemble de la voile qui se creuse, le gain de volume se fait surtout sur l'arrière. En reculant le point d'écoute, on aplatit le bas de la voile. Si dans le même temps le point d'écoute remonte, le vrillage est favorisé. Le déplacement du chariot sur son rail à un réglage de barberoller, nécessite le plus souvent de modifier la tension de l'écoute.



33. QUELQUES EXEMPLES DE REGLAGES

La mer est formée, elle présente une résistance accrue au passage du voilier. Pour traverser cette mer, il nous faut de la puissance. Le foc est creusé, le point d'écoute avancé et légèrement surbaissé pour tendre la chute. La présence de la grand-voile évite le décrochement qui pourrait se produire sur l'extrado d'un foc aussi cambré. La mer est forte au point d'agiter fortement le voilier et son gréement. L'angle entre le vent et la voile est constamment changé. Avec le réglage précédent nous aurions des décrochements. Dans ces conditions, le haut de la voile ne peut plus être si fermé. Par contre, on peut garder de la puissance en bas là où l'amplitude des mouvements est moindre. Le vrillage apporte la tolérance. Petit temps, eau plate, la résistance offerte par la mer est moindre si la carène présente un bon pouvoir anti-dérive. Nous rechercherons le gain en cap, plutôt que la puissance. Le foc est aplati, le point de tire rentré. Le poids de la matière peut faire refermer la chute. Pour cette raison, le point de tire est souvent reculé par rapport à la normale. Si le bateau est sous-toilé, il n'est bien sûr pas question d'aplatir. A l'inverse, nous voici maintenant sur-toilé. Nous allons aplatir et réduire l'angle vent apparent, corde du profil, au maximum, ne cherchant plus à nous placer à l'incidence où la voile donne sa plus grande force. (voir polaire). Si l'eau est agitée, on gardera un peu de puissance vers le bas mais le haut se trouvera très ouvert à la limite du faseyement, afin de limiter le couple de chavirage. Lors d'un départ, à la sortie d'un virement de bord, après l'arrêt sur une vague, il nous faut lancer ou relancer le voilier. La voile d'avant est la première à " crocheter " le vent. Il nous faut dans un premier temps placer notre bord d'attaque suivant une orientation proche du vent réel. La déviation du flux ne pouvant se réaliser que progressivement à mesure que le tirage s'établit sous le vent. Nous devons aussi dégager très rapidement de la puissance pour arracher le voilier. Donc partir d'une voile très incurvée (voir étai). Si par contre la voile est creusée sans être ouverte, la force latérale peut ne pas être compensée par la force anti-dérive d'une carène presque à l'arrêt. Il convient alors de prendre de la vitesse avant de lofer et caper.

34. SOLLICITATION DU MAT

La compression : Au repos : le poids du tube et son gréement la tension du haubanage indispensable au réglage

En action : le poids des voiles la tension de drisse qui augmente avec le vent la surtension du haubanage, sous l'effet de la force anti-gîte

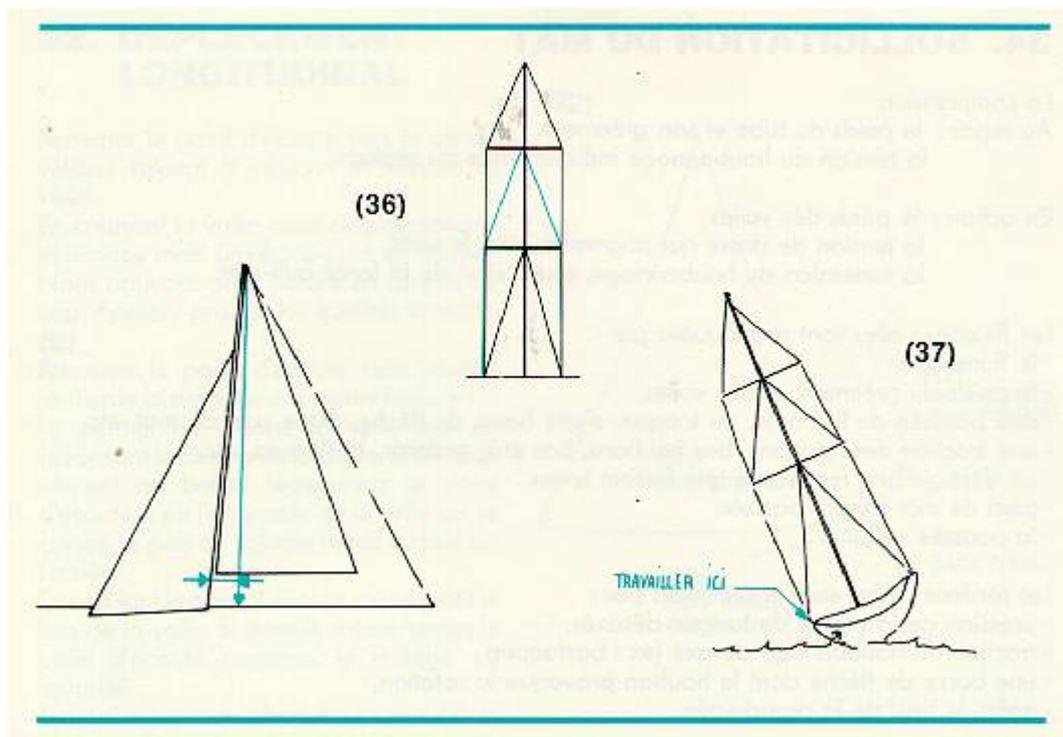
Les flexions : Sont provoquées par : - le flambage - le poids du gréement et des voiles - une poussée de la bôme, du tangon, d'une barre de flèche, d'une cale de mât, etc. - une traction des haubans, bas haubans, bas étai, pataras, bastaques, etc. - un déséquilibre, ferrure de tête faisant levier - pied de mât faisant bascule - la poussée vélique

Les torsions : Sont provoquées par : - pression de la bôme, du tangon désaxé - traction du haubanage désaxé (ex : bastaques) - une barre de flèche dont le hauban provoque la rotation - enfin, le tissu de la grand-voile.

35. PREPARATION DU MATAGE

Sur la coque s'assurer : - de la solidité et de la rigidité des points d'appuis (pied de mât, étambrai) et l'ancrage de la cadène - que le pied de mât et l'étambrai soient bien centrés - que les ancrages soient bien disposés de façon systématique par rapport à l'axe du bateau.

Sur le mât s'assurer : - que les ancrages des haubans soient bien disposés systématiquement - de même les points d'appuis des barres de flèche - que les barres de flèche aient la même longueur et la même orientation de part et d'autre - enfin, que les haubans soient eux aussi de même longueur de chaque côté.



36. POSITIONNEMENT A L'ARRET

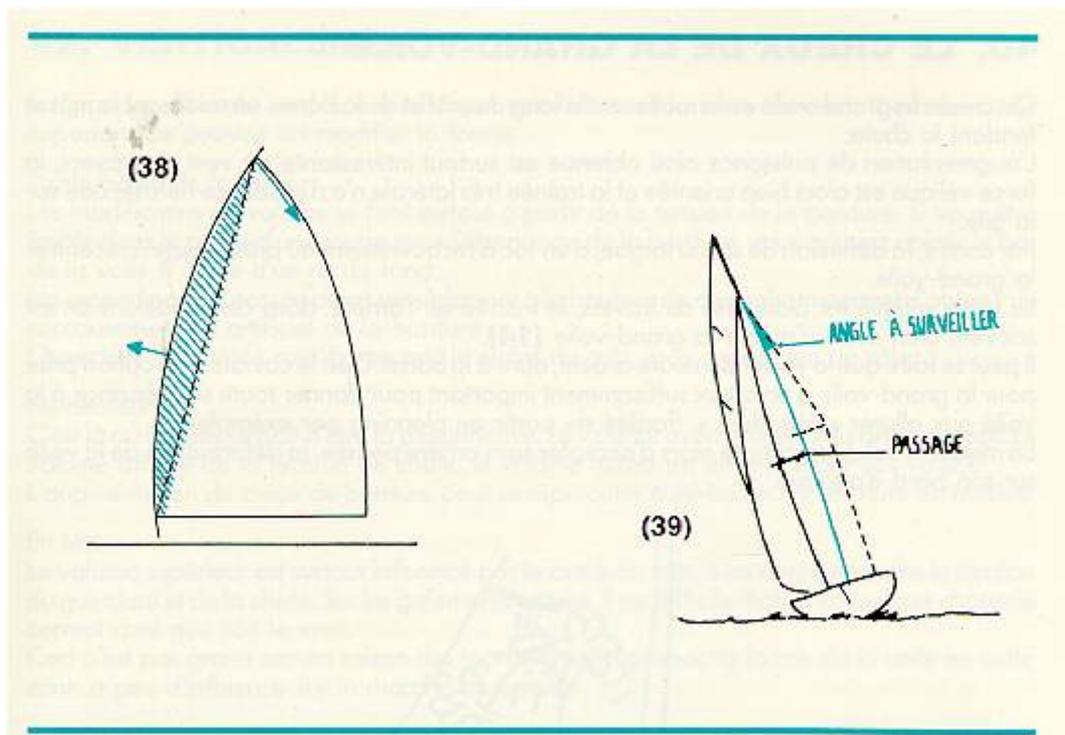
Dans l'ordre : Choisir la quète et la maintenir à l'aide d'une tension minimum sur l'étai et le pataras. On la contrôle à partir d'un fil à plomb en tête de mât ou de la drisse de grand-voile, le bateau étant de niveau. (a)

Avez le mât. Placez-le de telle façon qu'il ne penche ni d'un côté ni de l'autre. Lorsque la symétrie de plan de pont et de haubanage a été contrôlé, il suffit de prendre les ridoirs d'un nombre de tours égal de part et d'autre sans tension excessive.

Raidir le haubanage. On appelle " panneaux " la portion du mât comprise entre deux points de contrôle. Vous commencez ainsi sur un gréement à plusieurs étages de barres de flèche, par tenir le panneau inférieur, puis le second, etc. Attention à ce qu'une flexion placée plus haut ne vienne pas provoquer un effet inverse sur un panneau inférieur et inversement. Placez au pied de mât l'oeil collé au rail ou à la gorge, vous vous assurez de la rectitude transversale du profil.

37. EN NAVIGATION

Le réglage du mât se termine en navigation. L'idéal est un vent médium alors que le bateau porte toute la puissance de sa toile (15 à 20 degrés de gîte). Avec un haubanage multiple ce sont les galhaubans plus longs, travaillant sous le moins bon angle qui s'allongent le plus et laissent partir le mât. Partant d'un réglage à l'arrêt uniforme, il doit donc être repris. On travaille toujours sur le haubanage placé sous le vent, les fortes tensions existant au vent risquant de tout abîmer. Un ou deux tours de ridoir, vous virez de bord, observez votre mât et réglez si besoin est le haubanage placé à son tour sous le vent. En raison de certaines élasticités on ne peut éviter qu'un mât tenu dans la brise fasse un léger ventre sous le vent dans le temps léger. Sur les embarcations légères, certains modifient leur réglage suivant le vent. Sur ces mêmes embarcations, il existe des dispositifs facilitant cette opération (cardan, tambour, etc...)



38. JOUER DU CINTRE

Considérons une grand-voile correctement établie sur un mât cintré. Celui-ci présente alors plus ou moins l'allure d'un arc que l'envergure de la voile doit suivre. La corde de l'arc ainsi formé délimite une sorte de segment de tissu dont l'importance varie si la flexion du mât change. Toute modification du cintre entraîne une transformation du volume de la voile. A la différence de l'étai, le mât travaille généralement dans le bon sens. Il bombe vers l'extérieur de la voile. L'augmentation du cintre permet d'aplatir la voile. (42) La création d'un effort perpendiculaire plus important favorise dans le même temps l'ouverture de chute. C'est un gros avantage que de pouvoir modifier la flexion suivant les niveaux. Par exemple, une accentuation du cintre vers le bas permet d'effacer le volume de la grand-voile placée en recouvrement (et de le récupérer au portant). Vers le haut cela favorise l'ouverture de la chute et le vrillage. Le centre du mât se conjugue avec la tension de guindant. (24)

39. FLEXION LATÉRALE

Donner du ventre au vent favorise le passage entre les deux voiles. Il augmente généralement de lui-même avec la force du vent. Principalement sur les gréements fractionnés où la tête sollicitée sous le vent fait partir le mât au vent sous le capelage. Ces transformations, si elles sont contrôlées, vont dans le sens recherché (13) mais en faisant travailler le haubanage suivant un angle de moins en moins favorable. Sur les gréements modernes, avec des génois très rentrés au près, les haubans ont peu de pied, les angles de haubanage sont déjà très fermés. Dans ces conditions, il est préférable de s'opposer au dévers par une bonne raideur latérale. Le voilier doit pouvoir atteindre une gîte normale de 15 à 20 degrés avec un haubanage sous le vent juste tendu. Toute surtension n'apporte que de la compression laquelle n'a d'intérêt éventuel que sur un mât très raide.

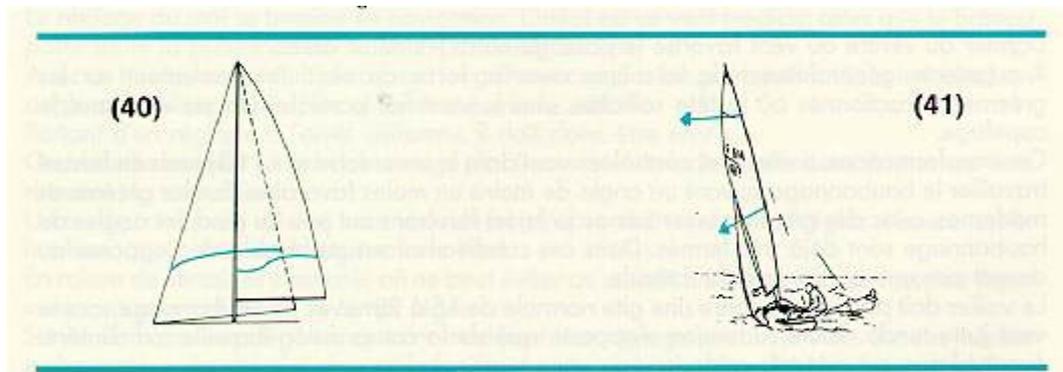
40. LE CREUX DE LA GRAND-VOILE

On creuse la grand-voile en la mollissant le long du mât et de la bôme, en raidissant le mât et en tendant la chute. L'augmentation de puissance ainsi obtenue est surtout intéressante au vent de travers, la force vélique est alors bien orientée et la traînée très latérale n'a d'incidence néfaste que sur la gîte. Par contre, la déflexion du spi au large, d'un foc à recouvrement au près, oblige à recentrer la grand-voile. La force vélique est alors près du travers, la traînée sur l'arrière. Dans ces conditions on est souvent bien avisé d'aplatir la grand-voile (14). Il peut se faire que le voilier demeure

ardent, dur à la barre. C'est le cas lorsque l'option prise pour la grand-voile a un creux suffisamment important pour donner toute sa puissance à la voile aux allures " débridées " (facilité de partir au planning par exemple). La meilleure solution consiste alors d'accepter sans arrière pensée, la déformation de la voile sur son bord d'attaque.

41. REPARTITION DU CREUX

Il faut aussi se souvenir que la grand-voile doit donner une suite logique à celle de la voile d'avant. Tout dépend donc du volume et du recouvrement de la voile d'avant et du calage entre les deux voiles. Un gréement en tête à fort recouvrement implique une grand-voile très fine et très plate. Dans la partie basse, la flèche maxi pourra se trouver légèrement sur l'arrière pour regagner le milieu des profils un peu plus haut (14). Le volume principal se tient à la mi-hauteur. La voile est nécessairement plate en bas à cause du recouvrement et en tête pour minimiser les tourbillons marginaux (11-59). Sur les gréements fractionnés, où le recouvrement est généralement moins important dans la partie basse de la voile, le creux pourra être au centre, voir légèrement en avant. Comme pour les gréements en tête, la flèche maxi s'avance progressivement et légèrement à mesure qu'on s'élève dans la voile. Passé le capelage, le foc ne rabat plus le vent sur l'extrado de la grand-voile. L'adonnante en amont est renforcée par l'effet triangulaire (15). Il convient donc de caler ces profils supérieurs plus ouverts. En absence de recouvrement, on peut être amené à avancer le creux pour mieux défléchir l'écoulement contournant le guidant vers la chute des focs étroits.



42. VERTICALEMENT

La grand-voile reste en place quelle que soit l'allure et la force du vent. Il est donc très important de pouvoir en modifier la forme.

Partie basse de la voile : les modifications de volume se font surtout à partir de la tension de la bordure. Si vous êtes limités dans le cadre d'une jauge pour l'étarquage de la bordure, vous pouvez aplatir le bas de la voile à l'aide d'un ris de fond. Un second point d'écoute placé sensiblement à la hauteur du cunningham permet d'obtenir un raccourcissement artificiel de la bordure. Ouverture de l'angle mâât/bôme par le cintre du mâât, joue également un rôle.

Mi-hauteur : c'est là où la voile se doit d'être la plus efficace. Le volume avant dépend du cintre du mâât. Le volume arrière de la tension de chute, le volume milieu est influencé par ses voisins. L'augmentation du creux de bordure peut se répercuter à mi-hauteur si la chute est tendue.

En tête le volume supérieur est surtout influencé par le cintre du mâât, à un degré moindre la tension du guidant et de la chute. Sur les gréements en tête, il est difficile d'obtenir quelque chose de correct quel que soit le vent. Ceci n'est pas grave car en raison des tourbillons marginaux, la forme de la voile en cette zone a peu d'influence sur la marche du bateau.

43. HORIZONTALEMENT

Pour reculer le creux.

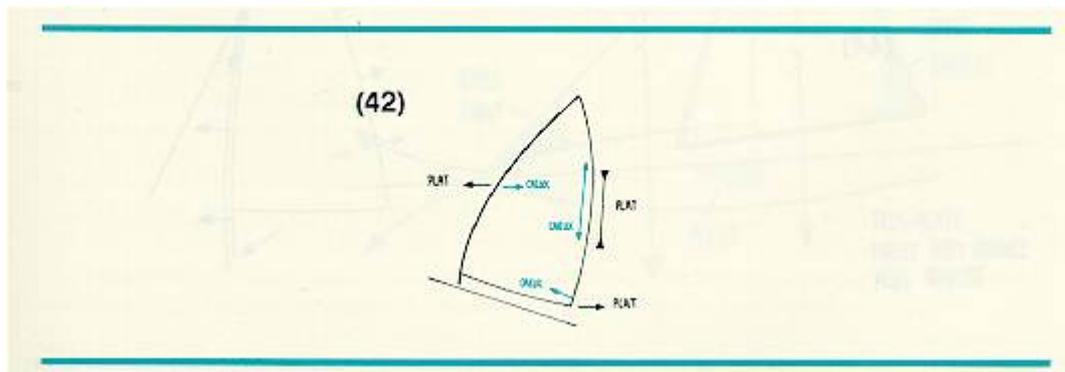
Sans creuser la voile : - aplatir l'avant par le cintrage du mât - mollir légèrement la bordure - tendre la chute de telle façon que la même valeur de vrillage soit maintenue.

En creusant la voile : - ne pas toucher au cintre du mât mais mollir la drisse, des plis peuvent apparaître le long de la ralingue - relâcher la bordure et tendre la chute un peu plus que précédemment.

Pour avancer le creux.

Sans creuser la voile : - contrôler le cintre du mât dans sa partie basse, tout en favorisant le dévers de tête - tendre la drisse à la limite des plis de sur-étarquage - mollir écoute et halebas.

En creusant la voile : - redresser le mât en mollissant très légèrement la drisse - relâcher la bordure tout en mollissant l'écoute.

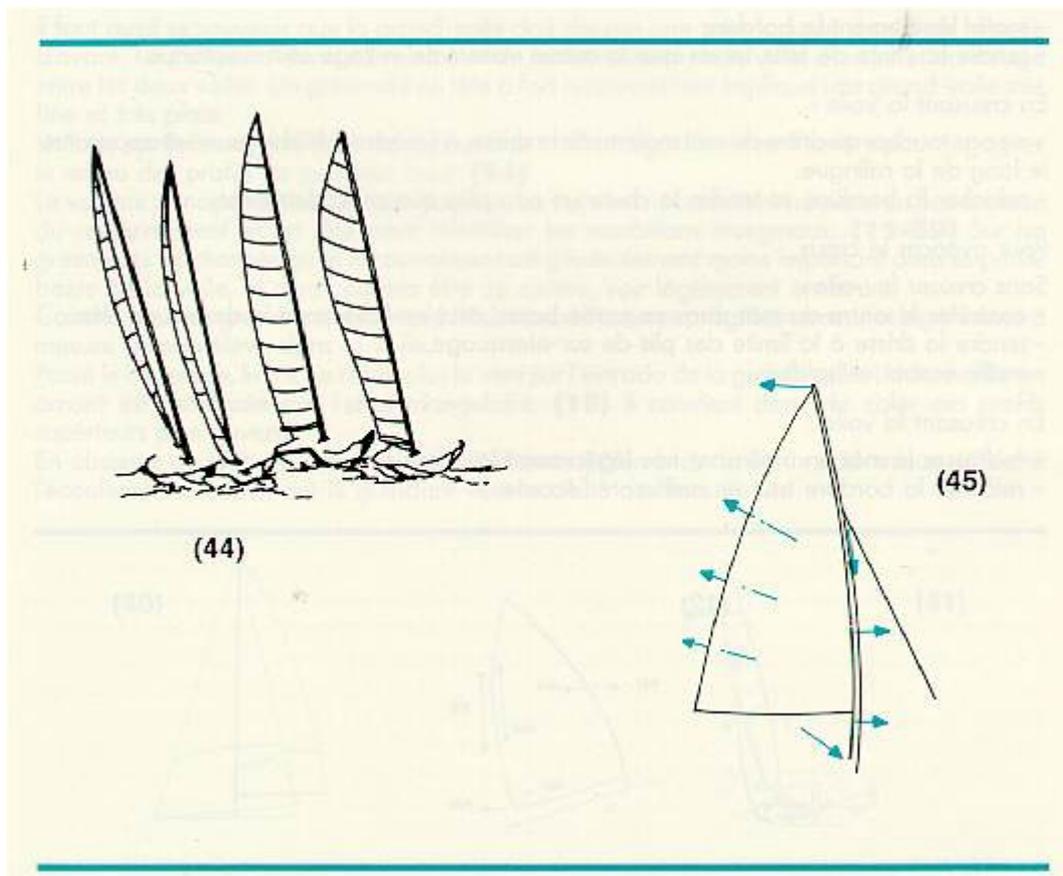


44. ECOUTE ET BARRE D'ECOUTE

Le vrillage de la grand-voile est contrôlé par la tension de l'écoute. Lorsque l'on relâche l'écoute, la bôme s'écarte de l'axe du bateau et s'élève. Le rôle de la barre d'écoute est différent. En laissant partir le chariot sous le vent, on maintient la voile dans sa forme avec un même vrillage. Si la bôme est raide et le halebas tendu, relâcher l'écoute revient à peu près au même. Soulager au chariot sur les risées peut donc être intéressant, puisqu'on ne modifie pas les autres réglages. Par contre rester ouvert peut limiter votre capacité à remonter le vent (44). Si c'est le cas optez pour un réglage différent. Après avoir bien aplati la base arrière de la voile, centrez la bôme et soulagez l'écoute. Ce réglage est bien adapté sur une eau agitée où le vrillage comme nous l'avons vu donne de la tolérance (15).

45. ACTION DE LA VOILE SUR LE MAT : ELLE FAVORISE LE CINTRE

A mesure que le vent forçit, la chute attire vers elle la tête du mât et l'extrémité arrière de la bôme. Les efforts indirects que l'on exerce pour l'empêcher de déverser agissent sur la tête du mât comme un pataras (20). Ils jouent un rôle non négligeable dans la tension de l'étai et de la forme de la voile d'avant. Nous avons aussi une compression qui, ajoutée à celle du foc et éventuellement du pataras, favorise le flambage. Sur un gréement fractionné, étai et hauban ne changent pas de longueur. Le point de capelage est pratiquement un point fixe. Lorsque la tête de mât part sur l'arrière attiré par la chute de la voile, les panneaux du mât placés sous le capelage partent en avant. Inversement, si on parvient à redresser la partie inférieure du mât (étambrai, basse bastaque, etc.) on redresse la tête du mât. Dans certaines circonstances la tension du halebas peut favoriser l'ouverture de la chute. De même, et ce n'est pas évident a priori sur certains gréements, un excès de tension du pataras favorisant le flambage, fini par détendre l'étai.

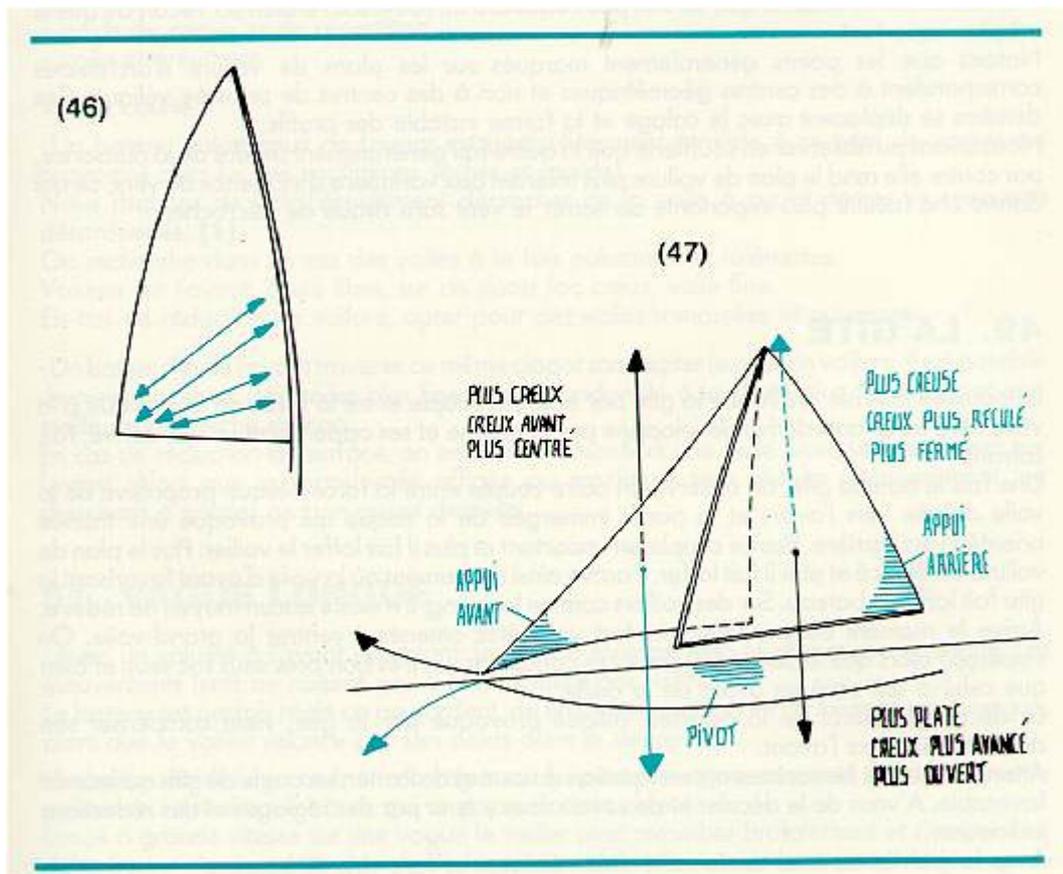


46. ELLE LIMITE LE CINTRE

Dans un premier temps, le travail de la voile favorise la courbure du mât, dans un second, elle le limite. La voile est attachée au mât sur toute la longueur du guindant. Le " ventre " du mât entraîne du tissu, mais celui-ci résiste de plus en plus à mesure que le mât cintre et que la voile s'aplatit. Généralement le vent forçant dans le même temps, les tensions aérodynamiques augmentent aussi. Par forte bise le bon réglage du volume de la grand-voile, consiste le plus souvent à se tenir à la limite de ces plis. De nombreux démâtages interviennent lorsque la voile ne joue plus son rôle de soutien (ex. lors d'une prise de ris).

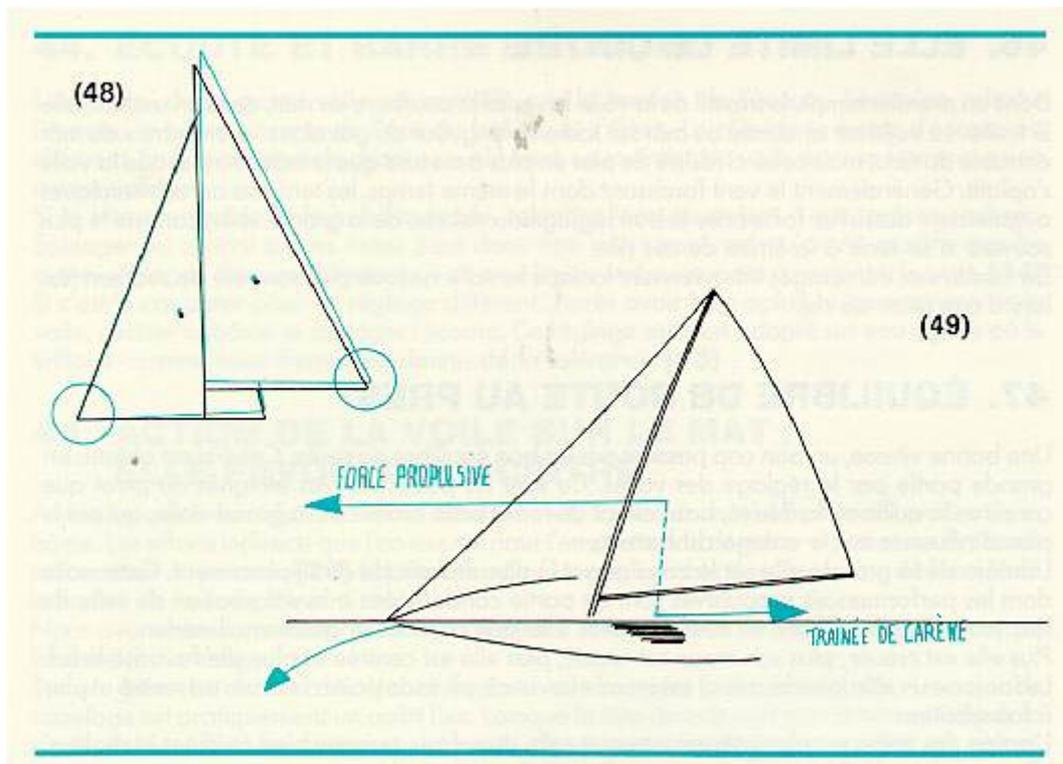
47. EQUILIBRE DE ROUTE AU PRES

Une bonne vitesse, un bon cap passent par un bon équilibre de route. Celui-ci est obtenu en grande partie par le réglage des voiles. Ce sont les points les plus éloignés du pivot que constituent la quille ou la dérive, base avant du foc et base arrière de la grand-voile, qui ont le plus d'influence sur le calage du bateau. L'arrière de la grand-voile est la zone ayant le plus de latitude de déplacement. Cette voile dont les performances propulsives sont en partie condamnées à la valorisation de celle du foc, joue dans l'équilibre un rôle essentiel. Elle agit comme un gouvernail aérien. Plus elle creuse, plus son creux est reculé, plus elle est centrée et plus elle favorise le lof. Le foc joue un rôle inverse, plus il est creux et avancé, plus son point d'écoute est rentré et plus il fait abattre. L'action des voiles est plus intéressante que celle du safran, puisque bien étudiées et réglées, elles auto-régulent le positionnement du voilier vis-à-vis du vent. Le safran ne devant qu'accompagner les évolutions, les limitant sans efforts, de telle sorte que les voiles demeurent dans l'étroite fourchette de rendement optimum. Un voilier est bien réglé au près lorsque lofant de lui-même à l'adonnante de la risée, il faut très peu d'action sur la barre pour lui éviter de se remettre face au vent.



48. LA QUÊTE

La quête ne change que de très peu les distances entre les extrémités de nos leviers et l'équilibre. Elle ne modifie que de très peu l'équilibre de route sauf si bien sûr l'écart de quête est plus important. Notons que les points généralement marqués sur les plans de voilure d'architectes correspondent à des centres géométriques et non à des centres de poussée vélique. Ces derniers se déplacent avec le calage et la forme instable des profils. Nous avons pu observer en soufflerie que la quête fait généralement perdre de la puissance, par contre elle rend le plan de voilure plus tolérant aux variations d'incidence du vent, ce qui donne une faculté plus importante de serrer le vent sans risque de décrocher.



49. LA GITE

La poussée latérale provoque la gîte par effet de couple entre la force de dérive due à la voile et la force anti-dérive développée par la carène et ses appendices (quille, dérive, foil, safran). Une fois le bateau gîté, on observe un autre couple entre la force vélique propulsive de la voile dirigée vers l'avant et la partie immergée de la coque qui provoque une traînée orientée vers l'arrière. Plus ce couple est important et plus il fait lofer le voilier. Plus le plan de voilure est élancé et plus il fait lofer. Il arrive ainsi un moment où la voile d'avant favorisant la gîte fait lofer le bateau. Sur des voiliers comme le Soling, il n'existe aucun moyen de réduire. Arrive le moment où, par vent très fort, vous êtes amenés à rentrer la grand-voile. On s'aperçoit alors que le Soling fait dans ces conditions, un très bon près sous le foc seul, et bien que celui-ci soit situé en avant de la quille. Le décalage latéral de la poussée vélique provoqué par la gîte, vient compenser son déplacement vers l'avant. Attention ! toutes les carènes ont, en fonction du vent et de la mer, un angle de gîte qui leur est favorable. A vous de déceler et de savoir vous y tenir par des réglages et des réductions judicieuses. Avec la gîte les carènes deviennent dissymétriques et font virer le bateau.

50. DANS LA VAGUE COURTE

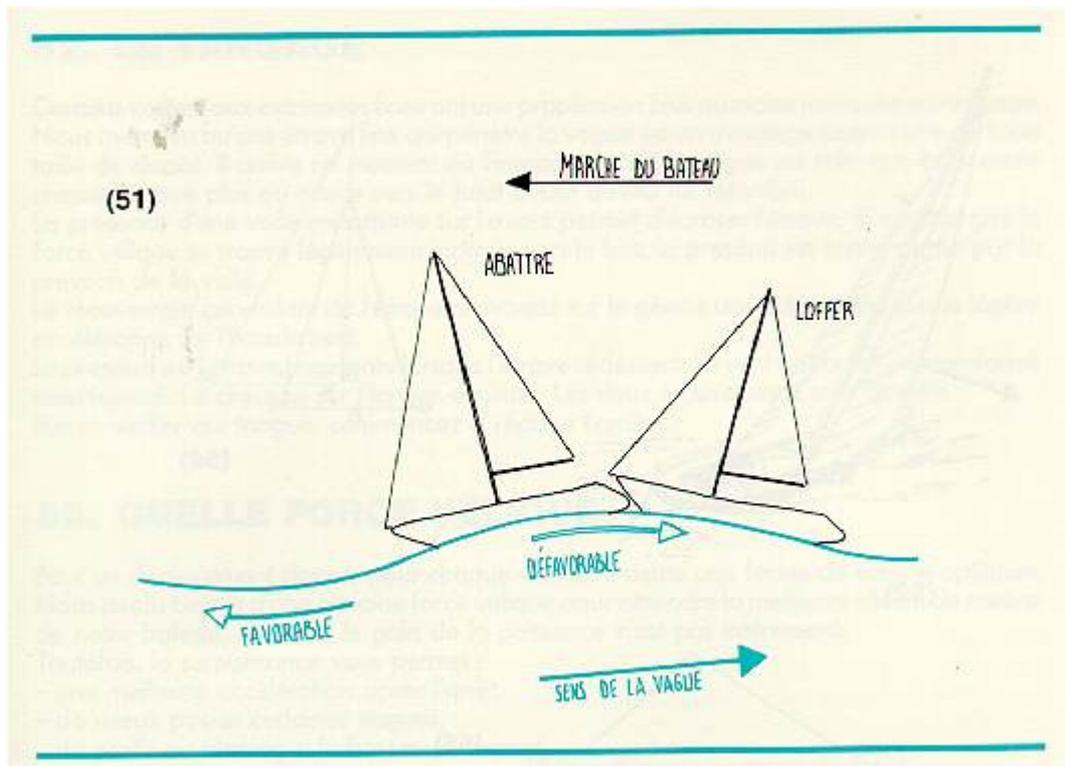
La force de pénétration d'une coque est liée à trois facteurs : - répartition du volume de carène - poids de coque et de répartition - voile et gréement

Vague courte

- Un bateau volumineux de l'avant est particulièrement sensible à ce type de vague qui provoque chez lui des oscillations sèches et rapides. Nous risquons de voir l'écoulement décrocher de la voile à cause de ces mouvements désordonnés (1). On recherche dans ce cas des voiles à la fois puissantes et tolérantes. Volume sur l'avant, chute libre, sur un sloop foc creux, voile fine. En cas de réduction de voilure, opter pour des voiles ramassées et puissantes.

- Un bateau fin de l'avant traverse ce même clapot sans agiter le plan de voilure. Il est possible de naviguer avec des voiles plus fines, une grand-voile à la chute plus tendue pour une meilleure recherche de cap. En cas de réduction de surface, on emploiera volontiers une voile élancée type

Solent sur l'avant. Alors que la grand-voile affinée au maximum sera réduite ultérieurement, en cherchant à garder un bon appui derrière.



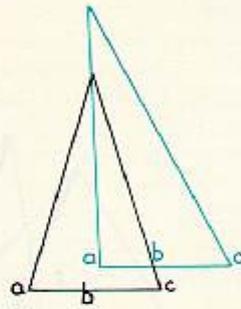
51. VAGUE LONGUE

- Avec un volume à l'avant important, le bateau soulage bien et chevauche la vague. Les mouvements lents ne nuisent pas à l'écoulement des voiles. Le bateau est parfois réglé un peu ardent, de telle sorte qu'il monte de lui-même à la vague, alors que le voilier relance par son poids dans la descente.

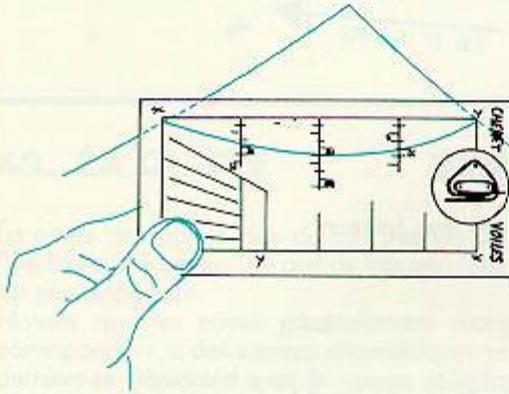
- Le bateau fin de l'avant pénètre la vague, ce qui peut provoquer son arrêt. Il réclame plus de puissance contrairement à ce qui se passe dans le clapot. Lancé à grande vitesse sur une vague le voilier peut retomber brutalement et s'arrêter au-delà. Il peut s'avérer utile de ralentir légèrement le voilier avant le sommet de la vague.



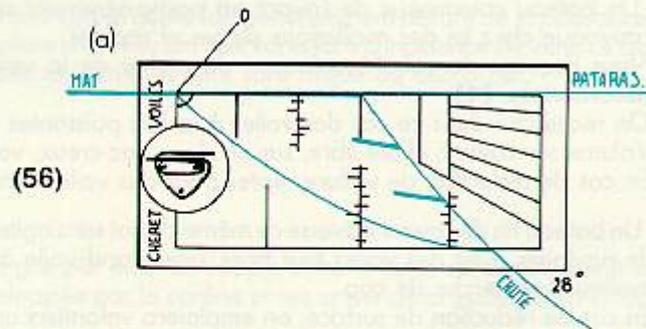
(52)



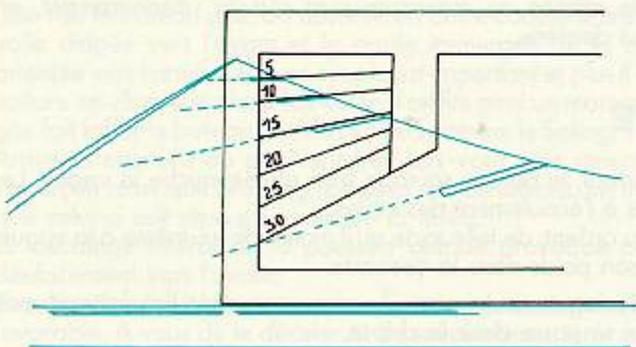
(54)



(55)



(56)



(b)

52. LE TANGAGE

Certains voiliers aux extrémités fines ont une propension plus ou moins marquée au tangage. Nous avons vu qu'une étrave fine qui pénètre la vague est un avantage jusqu'à une certaine taille de clapot. Il arrive un moment où l'importance de la vague est telle que la poussée chasse l'étrave plus ou moins vers le haut avant qu'elle ne retombe. La présence d'une voile importante sur l'avant permet d'écraser l'étrave. Si avec la gîte la force vélique se trouve légèrement inclinée vers le bas, la pression est contrecarrée par la pression de la voile. Le mouvement ascendant de l'étrave provoque sur le génois une adonnante et une légère accélération de l'écoulement. La pression sur l'étrave augmente lorsque l'étrave redescend. Le vent apparent est transformé inversement. La pression sur l'étrave diminue. Les deux mouvements sont amortis. Sur un voilier qui tangue, commencez à réduire l'arrière.

53. QUELLE FORCE VELIQUE

Pour un déplacement donné, pour chaque vitesse, il existe une forme de carène optimum. Nous avons besoin d'une certaine force vélique pour atteindre la meilleure vitesse de carène de notre bateau. Au-delà, le gain de la puissance n'est pas intéressant. Toutefois la surpuissance vous permet : - une meilleure accélération après l'arrêt - de mieux passer certaines vagues - de partir au planing si le bateau le permet - par contre l'augmentation de puissance engendre au près celle de la dérive - la force anti-dérive est liée à la qualité du plan anti-dérive et à la vitesse d'écoulement, donc du bateau - la force latérale tend à faire gîter le bateau s'il est bien calé sur son plan anti-dérive.

54. COMMENT OBSERVER SES VOILES

Observez vos voiles toujours du même endroit. Nous avons privilégié trois points. a) l'amure b) le milieu de bordure c) l'écoute

55. APPRECIATION DU VOLUME

A partir des points (b) A l'aide de la règle CHERET, en suivant une couture ou une bande de visualisation, en plaçant x et y sur les extrémités d'un profil, il est possible d'en évaluer l'importance et la répartition du volume. De partout voir les brins de laine.

56. VRILLAGE

Des points (b). En relevant l'angle entre le plan longitudinal représenté par l'étai et le mât pour la voile d'avant, le mât et le pataras pour la grand-voile; avec la corde des profils retenus de préférence. Le point "0" de la règle étant sur le bord d'attaque (a). Près du point "C" de la grand-voile en appliquant la règle sur le flanc de la bôme, notez l'angle positif ou négatif des lattes et tout particulièrement de la latte supérieure. Du point "C" en notant la distance qui sépare le foc de ou des barres de flèche. Lorsque la chute du foc se trouve en avant de la barre de flèche, des repères sur celle-ci vont vous aider directement. Vu de l'extérieur, un observateur muni d'une règle peut en faire une estimation immédiate. Se placer étai-point d'écoute pour le foc et mât-point d'écoute pour le foc et mât-point d'écoute pour la grand-voile. De partout voir faveur de chute.

57. ANGLE D'ATTAQUE ET FLEXION DU GUIDANT

Le vent adonnant à mesure qu'on s'élève dans la voile, l'angle d'attaque (tangent au bord d'attaque - axe du bateau) doit augmenter régulièrement de bas en haut. L'angle d'attaque est conditionné par le calage de la voile à tous les niveaux. La courbure prise par le guidant peut être appréciée à partir du point C de la règle. Pour la grand-voile, en visant du point d'amure à la têtère (a), des repères marqués directement sur la voile généralement au niveau des bandes de visu.

58. LES BRINS DE LAINE

L'observation des brins de laine permet d'analyser l'écoulement de surface. Celui-ci est sain lorsque les brins sont tendus vers le bord de fuite. Abstraction faite des extrémités fatalement perturbées par les tourbillons marginaux. On peut dire que les profils sont alors correctement calés.

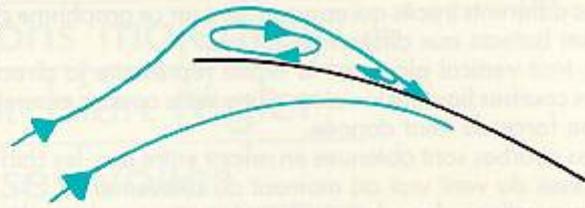
SUR LE BORD D'ATTAQUE Si ceux placés sur l'extrado tournent sur eux-mêmes, c'est le signe que l'air n'a pas pu, en raison d'une angulation trop forte, contourner correctement le bord d'attaque. La voile est trop bordée pour la route suivie. Si par contre, ce sont ceux de l'intrado qui oscillent, c'est que votre voile est trop bordée ou ce qui revient au même, que vous cherchez trop à lofer. Les brins de laine placés très près du bord d'attaque peuvent être perturbés alors que d'autres placés plus en aval indiquent que l'écoulement a bien raccroché à la surface. C'est le cas sous le vent pour les attaques fines, au vent pour les attaques creuses sans préjudice notable pour les performances. Pour la grand-voile l'interprétation est plus délicate en raison du sillage provoqué par le mât (a).

AU COEUR DE LA VOILE La perturbation des brins de laine placés au vent au milieu des profils indique une voile creuse, puissante mais avec une forte traînée. Supportable au largue, il faut chercher à l'aplatir au près.

BORD DE FUITE Les brins de laine ou faveurs fixés sur le bord de fuite doivent de préférence se trouver tendus dans le prolongement du profil. S'ils quittent cette position c'est que la condition de Kutta n'est pas respectée. Nous avons alors une différence de pression entre les deux faces de la voile, entraînant une circulation des hautes vers les basses pressions à l'origine d'un décollement néfaste sur l'extrado. Cette condition est obtenue par une bonne répartition des volumes et un bon positionnement de la voile.

(58)

(c)



ATAQUE

CORRECT



DÉBRAYAGE SOUS LE VENT
ANGLE TRANSFORMÉ

DÉBRAYAGE
AU VENT
ANGLE TROP OUVERT

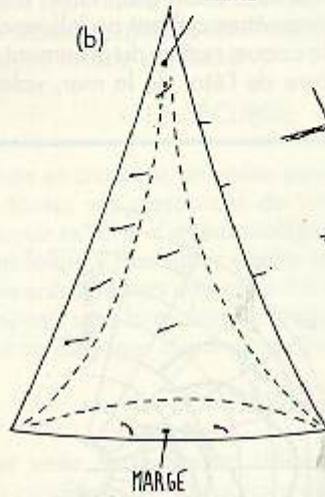
(b)

MARGE

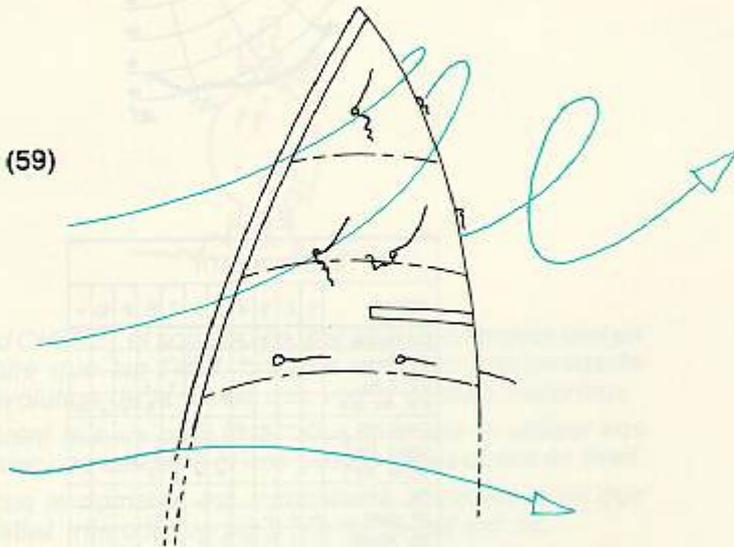
FUITE

BON

MAUVAIS



(59)

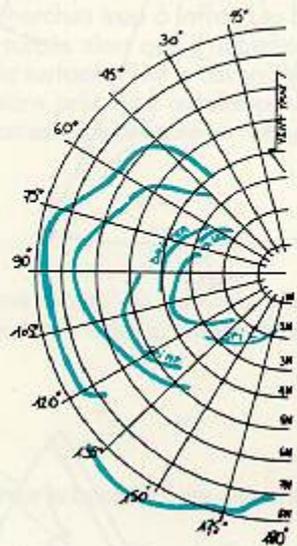


59. TOURBILLONS MARGINAUX

L'air est aspiré par la dépression d'extrado. Il est dérouté en amont du profil mais également aux extrémités supérieures et inférieures de la voile, lorsque celle-ci n'est pas collée au pont. A l'intrado, on observe une déviation et une accélération du flux vers les extrémités, laquelle fait chuter la pression. Ce flux arrive brutalement sur l'extrado, décolle à partir du bord de la voile pour former des tourbillons marginaux qui se propagent sur le haut de la voile. Ces tourbillons marginaux peuvent représenter 9/10 de la traînée totale de la voile. Il y a antagonisme entre la volonté de réduire et celle d'avoir la meilleure succion, puisqu'elle en est en partie la cause. C'est un compromis à trouver.

60. ETALONNER SES VOILES

Les différents tracés qui apparaissent sur ce graphique permettent de visualiser les possibilités d'un bateau aux différentes allures. Le trait vertical placé sur la droite représente la direction du vent vrai. Les courbes figurent la valeur d'une voile ou d'un ensemble de voiles aux différents caps pour une force de vent donnée. Ces courbes sont obtenues en reliant entre eux, les chiffres pointés et qui correspondent à la vitesse du vent vrai au moment du relèvement. Nous relierons donc les chiffres de même valeur; la distance qui sépare ces points de relèvement au centre du demi-cercle permet d'évaluer les possibilités du bateau (et donc des voiles) pour chaque direction et force de vent. Ces chiffres s'entendent dérive du bateau comprise. Sur le graphique, chaque cercle correspond à un noeud. Plus la courbe s'éloigne au centre, plus la vitesse du voilier est donc importante. Il est important de signaler qu'une telle représentation graphique n'a de signification que si l'on prend bien soin de noter tous les paramètres qui ont pu influencer la marche du voilier lors des différents relevés (propreté de la coque, nature du gréement, qualité et réglage utilisé en complément de la voile testée, nature de l'état de la mer, valeur de l'équipage).



RECAPITULATIF										
FORCE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10+
G.V. ENTIERE	+	+	+	+						
G.V. 4 RIS				+	+	+				
G.V. 2 RIS						+	+	+		
G.V. 1 RIS								+	+	+
GENOIS 170	+	+	+	+						
GENOIS 135					+	+				
SOLENT 110					+	+	+	+		
FOC 10R								+	+	+
SPI LEGER	+	+	+							
SPI MEDIUM		+	+	+	+	+				
SPI LOURD							+	+	+	

D'après le livre de Bertrand Chéret, "le jeu du vent dans les voiles".