

Le fonctionnement d'une voile

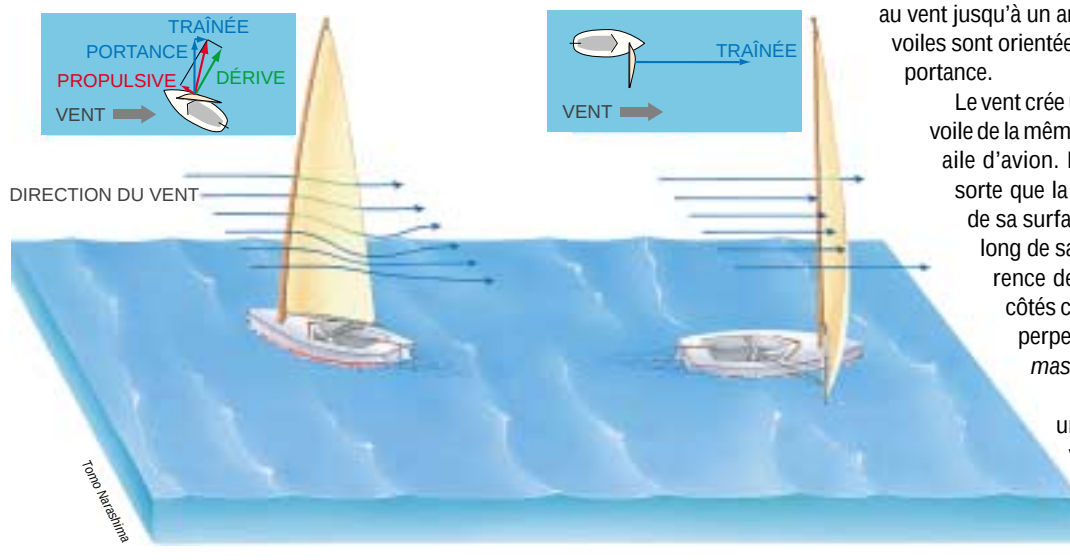
Chaque comprend le déplacement d'un voilier par vent arrière. La brise soufflant sur la voile exerce une force qui pousse le voilier. Pour produire une puissance maximale dans ce sens, les marins orientent les voiles perpendiculairement au vent et ajustent leur forme (schémas de droite).

Avancer contre le vent est un peu plus compliqué. Livrés à eux-

mêmes, de nombreux bateaux s'orientent face au vent et restent sur place. En cas de vents forts, ils peuvent même se bloquer et être «bout au vent». Un voilier ne peut progresser dans la direction du vent, car les voiles ne se gonflent pas (les sortir d'un côté ou de l'autre ne sert qu'à faire reculer le voilier, ce qui n'est d'aucune utilité, sauf si vous êtes bout au vent et que vous n'avez pas d'autres solutions). Un voilier peut cependant remonter au vent jusqu'à un angle de 35° environ, si les voiles sont orientées de façon à produire une portance.

Le vent crée une portance autour d'une voile de la même manière qu'autour d'une aile d'avion. La voile dévie le vent, de sorte que la pression diminue le long de sa surface externe et augmente le long de sa surface interne. La différence de pression entre les deux côtés crée une force de portance, perpendiculaire à la voile (schémas de gauche).

Le vent crée également une force de traînée sur la voile. La force aérodynamique totale s'exerçant sur la voile résulte de la combinaison de la



nautiques et sont utilisées dans d'autres domaines. De ce point de vue, l'invention de deux entrepreneurs suisses mérite une attention particulière.

Il y a sept ans, Luc DuBois, géologue, et Jean-Pierre Baudet, fabricant de voiles, inventèrent un ingénieux système de moulage des voiles laminées en une seule pièce. La suppression de l'opération de coupe permet d'obtenir des voiles sans coutures, moins sujettes à l'étirement. Les couches extérieures en plastique sont collées (le matériau est fourni en rouleau de un mètre et demi de largeur) pour former une membrane couvrant toute la surface du moule. Entre ces films plastiques, les fibres du tissu courent d'un angle à l'autre pour former l'armature de la voile. Leur disposition prend en compte les forces dues au vent : l'étirement est minimisé parce que les fibres solides sont orientées dans la direction des contraintes. La voile conserve ainsi, à l'emploi, une forme optimale. Dès leur apparition, ces voiles tridimensionnelles laminées (3DL) ont surpassé toutes les autres. Aujourd'hui, des ingénieurs de l'aéronautique envisagent d'utiliser ces membranes composites souples pour les parachutes et pour les enveloppes de ballons stratosphériques.

Des performances accrues

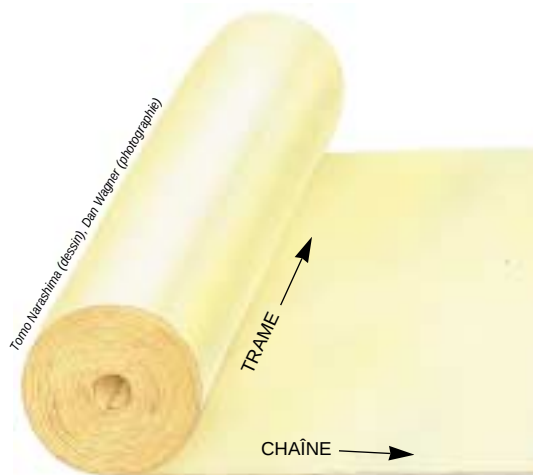
On pense souvent, à tort, que les voiles se distendent pour prendre leur forme optimale. En fait, les fabricants de voile rêvent d'une extensibilité minimale des tissus. Ce n'est qu'en considérant les voiles comme inextensibles qu'ils peuvent concevoir des voiles aux formes précises une fois gonflées par le vent : une voile doit se courber et se vriller de manière que l'air qui passe crée une portance, comme sur une aile d'avion.

L'efficacité d'une forme de voile dépend des conditions d'utilisation. Pour remonter au vent, il faut des voiles plates ; pour naviguer par vent arrière, une voile plus creuse donnera plus de puissance. Les voiles plates sont plus rapides par vent fort, tandis que les performances des voiles plus grandes et plus creuses sont meilleures par vent faible. Pour répondre à ces différents besoins, les fabricants créent des voiles spécifiques, adaptées aux diverses conditions de vent.

Pendant des siècles, dans les voileries, les artisans ont cousu des pièces de tissus coupées en bandes nommées laizes pour produire des voiles de formes et de tailles variées. Les laizes ont des bords légèrement incurvés,

de sorte qu'une fois assemblées et fixées au gréement, les voiles aient un léger creux.

L'une des caractéristiques principales d'une voile est sa courbure globale, ou cambrure (voir l'encadré de la page 45). De plus, les ingénieurs choisissent en quel point de la voile il faut placer le creux maximal, ou point vélique. En principe, le vent augmente et change de direction à mesure que l'on s'élève au-dessus de l'eau. Aussi, pour s'assurer que l'angle entre la direction du vent et la voile reste constant



portance et de la traînée. Cette force aérodynamique totale est orientée légèrement vers l'avant du bateau, d'autant plus que la forme de la voile est performante. La composante latérale de cette force, la dérive (flèche verte), est contrebalancée par une force hydrodynamique opposée qui s'applique sur la quille du bateau (schéma ci-dessous). La composante longitudinale résultante qui entraîne le bateau vers l'avant est nommée force propulsive. Elle est contrebalancée par la résistance à l'avancement du bateau.



sur toute sa longueur, un vrillage de la voile est nécessaire.

Alors que la plupart des autres surfaces portantes, telles les ailes d'avions, sont rigides et ont donc une forme fixe,

les forces externes (dues au vent et au gréement) et la coupe d'une voile déterminent sa forme. Or la forme de la voile détermine l'écoulement de l'air. Les concepteurs de voiles se sont longtemps heurtés à cette interdépendance de la forme de la voile et de l'écoulement de l'air. Avec l'informatique, le calcul des différents paramètres d'une voile s'est considérablement simplifié. À l'aide d'un programme géométrique, on calcule d'abord sa forme statique, puis, en tenant compte des caractéristiques mécaniques de la voile, on calcule les modifications de cette forme qu'entraînent le vent et la tension du gréement. On compare cette forme dynamique à la forme idéale que doit avoir la voile pour être le plus efficace possible. Si la forme dynamique diffère trop de la forme idéale, on modifie la voile initiale et l'on recommence le calcul.

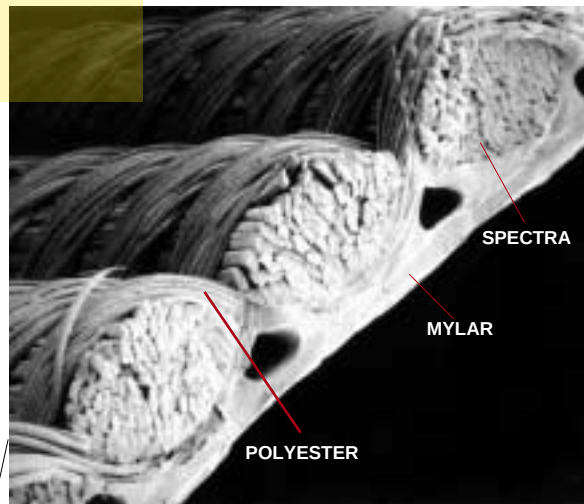
Grâce aux ordinateurs, les concepteurs prévoient également la construction d'une voile de la dimension voulue en utilisant un moule virtuel. Cet outil informatique aide à la détermination de la forme et de la configuration des différentes laizes de la voile. Un programme spécialisé permet également de calculer la courbure des coutures d'assemblage des panneaux. Les fabricants utilisant des

systèmes récents entrent directement ces données calculées dans des ordinateurs qui pilotent des coupeuses, d'où résulte une accélération de la fabrication de voiles plus précises.

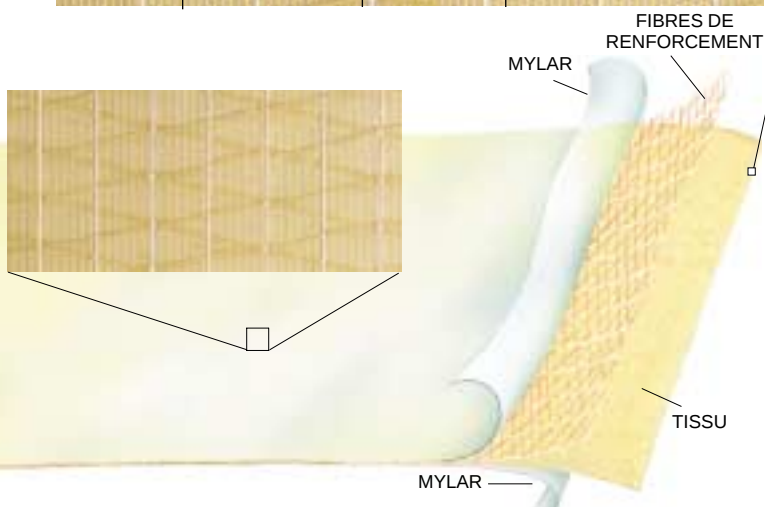
Un poids réduit

Ayant décidé du mode d'assemblage des diverses pièces d'une voile, le concepteur doit choisir le type de tissu. Celui-ci devra être le plus léger possible, car les performances du bateau en dépendent. Par vent faible, les voiles se déforment sous l'effet de leur propre poids. En outre, les voiles lourdes contribuent au «moment de gîte», ce qui nécessite, pour éviter le chavirement, d'équilibrer le poids des voiles et du mât par une quille plus massive. Des voiles légères permettent donc d'alléger les bateaux, qui seront ainsi plus rapides. Sur une mer agitée, des voiles lourdes accroissent également le moment d'inertie, ce qui augmente l'enfoncement de la proue dans les vagues et ralentit la progression (même les voiles de réserve augmentent le poids ; c'est pourquoi, en course, l'équipage cherche toujours à les regrouper vers le centre du bateau). Enfin

	Résistance à la rupture relative	Module d'élasticité relatif	Nom générique
Polyester	1,0	1,0	
Vectran	2,9	6,0	Polymère de cristaux liquides
Kevlar	3,1	9,0	Aramid
Spectra	4,5	11,8	Polyéthylène au poids moléculaire élevé
Carbone	2,8	15,0	
PBO	5,3	22,0	



Brian E. Doyle



2. LES TOILES DES VOILES MODERNES sont composées de plusieurs couches de films plastiques, de fibres et de tissus (photographie de gauche). En général, une couche de tissu et une toile de fibres sont prises en sandwich entre deux films dont les chaînes de polymères sont orientées, le Mylar (schéma de gauche). Dans le tissu, les fils de chaîne (longitudinaux) sont parfaitement rectilignes à l'échelle microscopique (micrographie ci-dessus). Les fibres de renforcement principales sont constituées de matériaux résistants, tels que le Kevlar, le Spectra ou le carbone. En fabriquant des voiles en toiles composites, les ingénieurs alignent des panneaux de manière que les fils de chaîne du tissu et les fibres de renforcement supportent l'essentiel des forces s'exerçant sur la voile. Les fibres de renforcement secondaires s'entrecroisent avec les fibres primaires et protègent ainsi la voile contre les dommages qu'occasionnent les efforts qui s'exercent lorsque la voile claque au vent lors des manœuvres.