



FORMATION DES CHEFS DE BORDS ET DES EQUIPIERS

MODULE 6

Le vent – La voile

Auteur : Bruno Dolivet

I - ETUDE DE LA VOILE

I.1 - Structure

Une voile est caractérisée principalement par sa forme, son grammage et le(s) matériau(x) dont elle est composée.

Les trois angles de la voile (sur une voile à forme triangulaire) ont une appellation spécifique :

- Le point de drisse désigne l'angle situé au sommet de la voile une fois celle-ci hissée: c'est l'endroit où la drisse est frappée.
- Le point d'amure désigne l'angle attaché au point fixe du bateau: lorsque la voile est en position, le point d'amure est sur l'avant du bateau.
- Le point d'écoute désigne l'angle de la voile auquel est frappée l'écoute

Chacune des extrémités de la voile reçoit un renfort constitué de plusieurs épaisseurs de tissus cousus ensemble parfois renforcés par une structure rigide. La tête est la partie renforcée de l'extrémité supérieure de la voile. Un œillet situé à chacun des angles permet de fixer la voile au gréement.

Les côtés d'une voile triangulaire sont :

- La bordure, encore appelée l'envergure, car souvent reliée à une vergue est le côté de la voile parallèle au pont : c'est le bas de la voile lorsque celle-ci est hissée.
- Le guindant est le côté de la voile solidaire de l'étai ou du mât
- La chute est le côté de la voile situé vers l'arrière, toujours libre: sa tension est réglée par un nerf de chute

La tension de la bordure et du guindant est modulée selon la force du vent. Plus la voile est « étarquée », plus elle est plate et inversement. Ceci permet d'adapter le creux à la pression du vent qui s'exerce sur elle.

On peut trouver également 2 à 3 bandes de ris - zones horizontales en partie renforcées et comportant des œillets aux extrémités qui sont utilisées pour réduire la surface de la grand-voile lorsque le vent forcit (prise de ris)

Une voile est généralement composée de laizes bandes de tissus cousues, découpées de manière à répartir l'effort en faisant éventuellement varier le grammage et positionner le creux de la voile

Le guindant de la voile est rendu solidaire du mât soit grâce à des coulisseaux fixés à la voile et passés dans la gorge du mât soit grâce à une ralingue (c'est-à-dire un cordage cousu le long de la voile).

I.2 - Fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'une voile dépend de l'allure du navire, c'est-à-dire de la direction du navire par rapport au vent. Une voile travaille de deux façons. En portance sur un plan aérodynamique et en déportance sur le plan mécanique. La portance agit sur

Module 6 – Le vent – La voile

les différences de pression dynamique due aux écoulements sur les deux faces d'une voile. Ainsi la voile est "tirée" vers l'avant. La déportance n'est que le résultat mécanique de la voile, comme une planche que l'on positionnerait en travers du vent. L'importance relative de ces deux actions sur la voilure dépend donc de l'allure du voilier.

I.2.1 - Effort sur une voile

Schéma : « circulation vent-voile »

Le principe d'une voile est de récupérer l'énergie du vent et de la transmettre au bateau. L'effet propulsif est réparti sur toute la surface de la voile. Les éléments à calculer sont :

- l'effort du vent sur la voile ou poussée vélique,
- le lieu d'application de cet effort ou point vélique.

Le calcul vélique est essentiel pour bien concevoir un bateau à voile (Stabilité du navire...). La modélisation d'une voile, c'est à dire de le calcul de l'écoulement du vent sur cette voile est basé sur des calculs intégrales. Le calcul est du domaine de l'aérodynamique de la Mécanique des fluides. Les résultats sont néanmoins corrigés par la réalité (les turbulences et le décollement de la couche limite ne sont pas encore totalement maîtrisés).

Dans la réalité la voile n'est pas indéformable, le vent n'est pas constant, le bateau n'est pas à vitesse uniforme (il tangué, butte contre les vagues...), le mât n'est pas infiniment rigide, l'air est un peu visqueux (perte par frottement), pas de traînée, écoulement de l'air est maîtrisé (quasi laminaire au près, ou turbulent en vent arrière), le mat participe à l'effet propulsif (ou le perturbe)...

I.2.2 - Allures au près

Schéma : « au près.jpg »

Lorsque le navire remonte par rapport au vent, l'écoulement du vent le long de la voile crée une différence de pression entre le côté au vent (intrados) et le côté sous le vent (extrados). En fait, une dépression se forme sur l'extrados, ce qui « tire » le navire, et lui permet de remonter au vent. C'est ce même phénomène, appliqué à une aile d'avion, qui lui permet de voler.

De même qu'en aéronautique, lorsque les écoulements autour de l'aile décrochent, la voilure perd de son efficacité; les marins soucieux de performances savent qu'à cette allure une voile développe sa plus grande force lorsqu'elle est proche du décrochement. C'est pourquoi les régatiers modifient sans cesse leurs réglages pour garder leur voile le plus proche possible du décollement, sans pour autant la faire décrocher. Ceci demande une attention constante, car le réglage doit être adapté aux variations de vitesse, de cap, et aux changements du vent. Des brins de laine sont parfois fixés en plusieurs endroits du creux des voiles, afin de matérialiser l'écoulement des filets de vent, et signaler le décrochage.

Aux allures du près, la voile exerce une force propulsive tant que son angle par rapport au vent apparent reste suffisamment grand.

La force exercée par le vent sur la voile est à peu près perpendiculaire à la corde du plan de voilure. La composante de cette force qui est parallèle à l'axe du navire est la force propulsive. L'autre composante, perpendiculaire à l'axe du navire, a tendance à le faire dériver, mais peut aussi provoquer une gîte (bande) (le navire penche sur le côté), et peut

Module 6 – Le vent – La voile

compromettre dangereusement son équilibre, voire le faire chavirer.

Pour compenser cet effet néfaste, plusieurs stratégies sont utilisées :

- La forme de la coque des navires est étudiée pour compenser la gîte aux faibles angles (stabilité de forme)
- La plupart des navires sont munis d'un lest (quillards, dériveurs lestés, dériveurs intégraux) (stabilité de poids)
- Les marins peuvent aussi déplacer des poids (ballast mobile) sur le navire, de manière à l'équilibrer. Lorsque les forces mises en œuvre sont suffisamment faibles (embarcations de petite taille), ils peuvent faire contrepoids avec leur propre corps

I.2.3 - Allures portantes

Schéma : « au portant.jpg »

Lorsque le navire s'éloigne du vent, les écoulements le long de la voile deviennent turbulents. Le vent pousse littéralement la voile. Pour obtenir une propulsion maximale, il faut alors orienter différemment la voile de manière à ce qu'elle soit perpendiculaire à l'axe du vent.

Si le bateau est au vent arrière, la vitesse a tendance à réduire le vent apparent. Ainsi, contrairement à l'intuition, cette allure n'est pas la plus rapide, car il n'est pas possible d'aller plus vite que le vent réel. La façon la plus rapide pour aller à un point sous le vent consiste alors parfois à tirer des bords dans une direction légèrement éloignée de l'axe du vent (grand large), ce qui augmente le vent apparent.

Aux allures portantes, la force du vent sur la voile a tendance à enfoncer l'avant du bateau. Cela peut être dangereux, particulièrement sur les multicoques, et provoquer un enfournement. La coque sous le vent plonge alors brutalement sous l'eau. Le ralentissement violent qui en résulte peut faire chavirer le bateau sur l'avant (sancir). À grande vitesse, cette allure nécessite une attention soutenue de l'équipage. Pour éviter ces enfournements et aussi lorsque le vent forçit, on déplace le centre de gravité vers l'arrière: déplacement de l'équipage, utilisation de ballasts, par exemple, selon la taille du bateau. On recule et oriente également le centre de poussée vélique (inclinaison ou quête du mât).

I.3 - Réglage des voiles

Schéma : « allure et amure.jpg »

Sur un voilier le réglage de la voilure consiste à modifier l'orientation et la forme des voiles en fonction de la force et de la direction du vent ainsi que de l'état de la mer. L'objectif est que le voilier puisse avancer le plus rapidement possible ou soit capable de manoeuvrer (virement de bord):

- en disposant d'une force propulsive maximale, ou bien

Module 6 – Le vent – La voile

- en disposant du meilleur compromis force propulsive / force latérale faisant gîter (pencher) le voilier.

L'objectif de ce réglage est d'obtenir un écoulement attaché (non décollé) du vent sur l'ensemble de la voile (aux allures du prés et travers au vent) ou seulement au niveau du bord d'attaque de la voile (aux allures portantes). Le réglage d'une voile consiste :

- à l'orienter par rapport à la direction du vent (calage global des profils de la voile). On agit en bloc sur l'ensemble de la voile ou bien on modifie cette orientation selon la hauteur : c'est le vrillage (calage variable des profils, généralement décroissant en hauteur : la voile est plus "ouverte en haut). Ce réglage est le plus important.
- à adapter le creux (la cambrure des profils) à la demande de force propulsive.

Le réglage de la voile par rapport au vent dépend de deux facteurs :

- du calage des profils par rapport au bateau, c'est le réglage proprement dit,
- de l'orientation du bateau par rapport au vent (dont la direction fluctue), c'est le rôle du barreur.

Le réglage des voiles doit être revu en cas de changement de direction du voilier, si la direction ou la force du vent se modifient, lorsque l'état de la mer évolue (vagues plus fortes, ou plus creuses, changement d'orientation des vagues). La modification du vent peut être provoquée par la configuration de la côte ou, en régates, par la présence de voiliers proches.

I.3.2 - Contrôle du calage, du vrillage et du creux

L'orientation de la voile par rapport à la direction du vent est réalisée à l'aide des écoutes. Le réglage s'effectue en bordant ou choquant l'écoute. Lorsque la voile est trop choquée (ou que le barreur modifie trop sa route en lofant), elle fasseye. L'orientation des pennons permet à certaines allures de repérer un écoulement non attaché sur l'intrados ou l'extrados de la voile. Le loch est également un bon indicateur, l'augmentation de la vitesse à cap et vent constant indiquant a priori un meilleur réglage.

I.3.3 - Réglage du creux et du vrillage

Le réglage du creux et du vrillage est destiné à adapter la forme de la voilure à l'allure comme pour le premier réglage mais également à la force du vent et à l'état de la mer.

Ce réglage est obtenu en agissant sur :

- les points de tire des écoutes
- les drisses
- le pataras qui agit sur la courbure de l'étai et du mât et donc en contrecoup sur la tension du guindant
- les nerf de chutes qui agissent sur la chute

I.4- Types de voiles

Schéma : « évolution des voiles.jpg »

En fonction de l'époque et du lieu, la forme des voiles varie significativement.

I.4.1 - Voile carrée

Schéma : « carrée.jpg »

C'est le type de voile le plus ancien en Europe. Très simple, son efficacité (maximale au vent arrière) diminue grandement à mesure que l'on se rapproche du lit du vent (par effet de vent apparent).

Elle fut utilisée de manière connue dès l'antiquité, de la Baltique à la Méditerranée sur les navires marchands et militaires, qu'ils soient de mer ou de rivière.

Au IXe siècle l'introduction de la voile latine amorce le déclin de cette voile en Méditerranée où le régime des vents est trop irrégulier pour pouvoir l'utiliser. En Atlantique elle perdure au-delà même du Moyen Âge, des drakkars des Vikings au kogs hanséatiques, en passant par les nefes françaises et anglaises. Les siècles suivants confirment son maintien comme en témoignent les vaisseaux produits tant pour le commerce que pour le combat.

Lors de l'essor de la marine à voile (XVIIe siècle-XIXe siècle) avec l'augmentation de la dimension des navires, on a considérablement augmenté la hauteur des mâts et, du coup, on a multiplié le nombre de voiles carrées sur chaque mât (on a eu jusqu'à 7 étages) afin qu'elles restent cargables (repliables) par un nombre acceptable de marins.

De plus, sur les longs bords de portant, les capitaines de clipper faisaient quelquefois gréer en plus, à l'extérieur, des rallonges de vergues pour porter des voiles appelées bonnettes qui permettaient de gagner un petit peu de vitesse. Cette opération délicate et risquée était redoutée des gabiers car la chute était la promesse d'une mort certaine par noyade, le navire étant incapable de faire demi-tour pour venir le rechercher.

La compilation et la publication au milieu du XIXe siècle par le capitaine américain Ch. Maury des wind charts (somme des statistiques des vents dominants par secteurs) sur des cartes marines a permis de déterminer des routes où les vents portants (trade winds, les vents commerciaux) étaient les plus réguliers et où ces gréements puissants étaient efficaces. Il a ainsi contribué à l'essor des grands voiliers dits à « phares carrés » (pour l'aspect général qu'ils avaient rappelant la silhouette d'un phare).

C'est au cours de la première moitié du XXe siècle que disparaît peu à peu cette voile, en particulier avec la fin des grands voiliers à prime, une des générations les plus abouties en matière de taille et de vitesse, dont en France le Belem est un survivant, à la différence du Duchesse Anne qui témoigne d'une génération de grands navires école de cette période révolue.

La machine à vapeur et le moteur à combustion interne auront eu raison de cette voilure plus que millénaire.

I.4.2 - Voile au tiers

Schéma : « au tiers.jpg »

À ses débuts cette voile était peu différente de la voile carrée, sa vergue étant horizontale, mais avec des performances nettement améliorées au près, notamment par « apiquage » de la vergue, c'est-à-dire que la vergue devient plus verticale en se rapprochant de l'axe

du mât.

Elle fait partie de la famille des voiles auriques. Elle connut son heure de gloire avec les bateaux de pêche côtière du XIXe siècle et au début du XXe siècle, surtout en Bretagne, avec par exemple le sinago du Morbihan ou la chaloupe sardinière, qui régnait de Concarneau en pays Bigouden, à la rade de Brest en Cornouaille. Jusqu'en 1940, on la retrouve encore sur certaines unités motorisées comme les pinasses (inspirées du sud-ouest, mais adaptées aux conditions de travail et de mer de la région), soit en appoint, soit en gréement complet.

Le rendement d'une voile au tiers est meilleur sur une amure que sur l'autre. On parle d'amure lorsque la vergue est sous le vent venant de bâbord (gauche) ou de tribord (droite), cela a amené les chaloupes sardinières, puis les pinasses qui ont conservé le gréement au tiers, en particulier celles de Douarnenez, à adopter un gréement inversé : La voile de misaine (à l'avant du navire) était hissée sur bâbord, tandis que le taillevent (au centre du bateau) était hissé sur tribord. Cela permettait de conserver une voile avec une amure positive s'il n'était pas possible de gambeyer.

I.4.3 - Voile latine

Schéma : « latine.jpg »

Apparue au IXe siècle, d'inspiration arabe, elle était surtout répandue en Méditerranée.

Sa grande vergue se nomme antenne. Pour rester compétitive sur les deux amures, il est nécessaire de la changer de côté à chaque virement. Cette manœuvre consiste à gambeyer.

Elle remplaça vite les voiles carrées utilisées depuis le temps des Romains, tant sur les navires marchands, felouques, boutres, que militaires, galères, chébecs, car plus adaptée aux régimes de vent de cette région où elle perdure toujours sur des embarcations comme les felouques du Nil ou les pointus de Provence.

Elle est devenue aux environs du XVe siècle la voile auxiliaire des navires « ronds » de l'Atlantique, comme les caraques, les caravelles, puis les galions du XVIe siècle et enfin les grands vaisseaux du XVIIe et XVIIIe siècles, avant d'être détrônée dans cette région par la voile aurique, plus aisée à manœuvrer...

I.4.4 - Voile à livarde

Schéma : « livarde.jpg »

La livarde est également connue sous le nom de balestron, un espar qui permet de tendre la voile aurique en partant du mât vers le haut, ou de tendre une voile triangulaire du mât vers le point d'écoute, comme sur les sharpies.

Cette voile connut ses heures de gloire dans la marine fluviale: simple à mettre en œuvre, elle était adaptée aux mâts rabattables ou amovibles de diverses embarcations, comme les chalands, les barges et certaines péniches. Parmi les embarcations ayant porté ce gréement à la perfection, nous comptons les barges de la Tamise dont certains exemplaires naviguent encore aujourd'hui à la plaisance, tandis que d'autres sommeillent dans un musée.

Assez peu répandue aujourd'hui, ce type de voile équipe, dès l'origine, tous les Optimist

depuis 1947.

I.4.5 - Voile à corne

Schéma : « à corne.jpg »

Cette voile fait partie de la famille des voiles auriques. Évolution de la voile au tiers, elle augmente encore les performances en ramenant toute la surface en arrière du mât, libérant la partie avant de celui-ci pour l'installation d'une trinquette et de . La forme de la voile qui déverse beaucoup au niveau de la corne, la rend peu efficace au plus près du vent mais permet cependant de porter une grande surface de toile pour un mât court.

Dans la partie supérieure peut être gréé le « flèche », ce qui permet d'augmenter la voilure notamment par petit temps...

Elle équipe nombre de gréements traditionnels de travail comme les côtres, les dundees thoniers, les coquilliers...

Des reconstitutions de navires militaires de petit tonnage comme le Renard (cotre corsaire) ou la goélette Recouvrance mettent en évidence son utilisation sur ces unités vouées à la rapidité.

I.4.6 - Voile houari

Schéma : « houari.jpg »

C'est une voile à corne dont le pic s'approche d'environ 25 à 30 degrés de la verticale, voire moins ; il ne permet pas l'usage de la voile de flèche (Flech). Ce mode de gréement précède le type « Marconi ».

Ce type de gréement permet d'obtenir une bonne partie des avantages de la « voile bermudienne » (plan de voilure dans l'axe, centre de voilure plus haut, écoulement laminaire amélioré...) sans avoir besoin d'un mât très long.

On le retrouve au début du XXe siècle en France, dans le nord Finistère, en particulier sur nombre de cotres de pêche de la baie de Morlaix, ex. : Jeanne d'Arc lancé en 1909.

L'avantage de ce gréement simple à mettre en œuvre, est une certaine légèreté, d'excellentes performances aux allures du près tout en maintenant une surface de toile importante propice à la vitesse (Les premiers arrivés au port obtenaient le prix le plus élevé pour leur pêche, question de fraîcheur aussi).

Assez en faveur au début du XXe siècle sur les voiliers de plaisance, les progrès des matériaux composant les mâts (aluminiums puis composites) et leurs haubanages les ont rendus rapidement obsolètes. Le Star est représentatif de cette évolution.

I.4.7 - Voile bermudienne

Schéma : « Bermude.jpg »

C'est l'ancêtre à mât à haubanage traditionnel, les mâts étant le plus souvent inclinés vers l'arrière et voile au départ sans rond de chute maintenue au mât par un transfillage, précédant le système de haubanage dit « marconi » (mât vertical et voile maintenue par coulisseaux sur un rail) en référence au gréement à barres de flèches nécessaire pour la supporter qui ressemblaient aux premières antennes de radio. C'est actuellement la voile la plus répandue en plaisance du fait de sa polyvalence et de ses performances notamment aux allures du près et de la facilité et simplicité de manœuvre. C'est une

Module 6 – Le vent – La voile

évolution des versions antérieures en deux pièces: la grand-voile (à corne) et une voile appelée le « flèche », frappée sur la corne et hissée au mât, système dur et complexe à manœuvrer et moins performant. Le système Bermudien/Marconi a lui-même succédé au Houari aux performances assez proches . L'on trouve maintenant des voiles entièrement lattées et dont le rond de chute est beaucoup plus important.

I.4.8 - Les différents focs

Cette voile d'avant (et ses déclinaisons en voiles d'étai) est retenue (endraillée) par un câble (souvent un étai) sur son envergure. Elle est amurée à l'avant sur le pont, le bout-dehors ou le beaupré. Elle est intéressante à deux titres : d'une part, sa forme très aérodynamique (car non retenue par un espar rigide) la rend très efficace et, d'autre part, comme elle peut être bordée très plat, elle permet, aux allures de près, de bien remonter au vent.

Sur les voiliers anciens, on pouvait en avoir cinq ou six qui portaient les noms de : trinquette, petit foc, grand foc, foc volant, faux foc, clin-foc. De même, des voiles similaires étaient gréées entre les mâts, les voiles d'étai, qui favorisaient la remontée au vent des voiliers à gréement carré.

Sur les voiliers de plaisance modernes, le foc est souvent devenu la plus grande voile du système propulsif. Un voilier de plaisance traditionnel en avait trois ou plus: génois, inter, foc no 1, foc no 2 et le tourmentin qui servait pendant les forts coups de vent à assurer le maintien du bateau dans le vent et le garder manœuvrant. Plus la surface de la voile diminue, plus le grammage de la toile augmente, et moins il y a de creux (coupe de voile)

I.5 - Fabrication

Les voiles à l'ancienne sont fabriquées en forte toile de coton et sont formées de plusieurs largeurs ou laizes cousues côte à côte. Pour la consolider, on la munit d'un ourlet (ou gaine) renforcé par un cordage appelé ralingue. Les cosses aux points hauts, bas, intérieurs et extérieurs, servent à recevoir les cordages ou manœuvres courantes destinées à établir la voile elle-même.

La toile noyale est une toile très forte, servant à fabriquer les grandes voiles de navires à voiles. Ce fut l'un des produits dominant l'essor économique de la période faste de la Bretagne - du XVe au XVIIIe siècle.

Pour les rendre résistantes aux moisissures, intempéries et UV, elles sont régulièrement passées dans un bain chaud appelé tannée ou cachoutage : le traitement est obtenu par décoction de poudres riches en tanin, le meilleur produit étant le cachou, issu d'un arbre exotique. Elles ressortent colorées de tons allant du brun-rouge au marron-noir ; frottées afin de bien les imprégner, elles sont ensuite trempées dans l'eau de mer, le sel agissant comme fixateur. Elles sont ensuite gréées sur le navire où elles sèchent au vent. C'est parti pour environ un an.

Les voiles modernes sont constituées de fibres synthétiques. Les voiles grand public sont en majorité fabriquées en polyester (ou dacron). Les voiles constituées de carbone, Mylar ou de kevlar sont utilisées pour les compétitions. Ces fibres permettent de diminuer le poids des voiles tout en augmentant leur rigidité mais elles sont peu résistantes aux UV qui affaiblissent leur souplesse et leur solidité.

Les voiles sont fabriquées dans des ateliers spécialisés, les voileries, généralement dirigées par des maîtres voiliers qui participent à leur conception et à leur façonnage.

I.6 - Montages

Sur les voiliers traditionnels, compte tenu des qualités très différentes des tissus employés avant l'arrivée des matériaux synthétiques, les voiles sont généralement « enverguées » c'est-à-dire fixées en partie haute et/ou basse sur un espar (en bois ou en métal) appelé vergue et qui sert à la déployer.

Dans les voiliers à gréement carré, la vergue étant retenue par le milieu, ses deux extrémités sont dirigées par des bras (bras au vent et bras sous le vent) et les deux angles inférieurs de la voile par des écoutes (sous le vent) et des amures (au vent) qui servent à brasser (régler l'incidence par rapport au vent) la voilure.

Jusqu'au XIXe siècle, les voiles étaient réduites ou ferlées (repliées) par un grand nombre de gabiers (matelots) qui devaient remonter à la main des surfaces importantes de tissu lourd, souvent mouillé, voire gelé ce qui était très difficile et dangereux. Au cours du temps, avec l'augmentation des tonnages des navires et la nécessité d'améliorer la vie à bord des marins, on a progressivement de plus en plus divisé les surfaces de voile en augmentant le nombre de vergues, notamment sur les basses voiles, les plus grandes, et on a pu simplifier les opérations de réduction en installant des « cargues », cordages qui servent à retrousser les voiles depuis le pont. On les appelle « cargue-point », « cargue-fond » ou « cargue-bouline » selon le point d'attache sur la voile.

II - ETUDE DU VENT

II.1 - Cause du vent

II.1.1 - Cas général

La pression atmosphérique en un point est le résultat de la masse de la colonne d'air au-dessus de ce point. Les différences de pression qu'on note sur le globe terrestre sont dues à un réchauffement différentiel entre ces points. En effet, l'angle d'incidence du rayonnement solaire varie de l'équateur aux pôles. Dans le premier cas, il est normal à la surface de la Terre alors que dans le second, il est rasant. Cette variation conditionne le pourcentage d'énergie solaire reçue en chaque point de la surface terrestre. De plus, les nuages reflètent une partie de cette énergie vers l'espace et elle est absorbée différemment selon le type de surface (mer, forêt, neige, etc.)

La différence de pression ainsi créée est la force qui déplace l'air. Si la Terre ne tournait pas sur son axe, la circulation serait donc directe entre les centres de haute et de basse pression. Cependant, cette rotation dévie l'air dans la direction perpendiculaire au déplacement par rapport à un observateur au sol. En fait, c'est l'observateur qui bouge mais on l'appelle quand même force de Coriolis. Elle est proportionnelle à la vitesse de l'air déplacé mais vers la droite dans l'hémisphère Nord et à gauche dans celui du sud.

Lorsque la somme vectorielle de ces deux forces est devenue presque égale mais opposée, la direction du déplacement de l'air se stabilise pour être perpendiculaire au gradient de vent. La petite différence qui subsiste, plus la friction près du sol, laisse une accélération vers la plus basse pression, la direction du vent reste donc orientée un peu plus vers les basses pressions ce qui fait que le vent tourne autour des systèmes météorologiques. À grande échelle dans l'hémisphère nord, les vents tournent donc dans le sens horaire autour d'un anticyclone, et anti-horaire autour des dépressions. L'inverse est vrai pour l'hémisphère sud où la force de Coriolis est inverse. On peut déterminer notre position entre ces deux types de systèmes par la direction du vent qui nous fait face selon la loi de Buys-Ballot.

II.1.2 - Cas particuliers

La force de Coriolis s'exerce sur de longues distances; elle est nulle à l'équateur et maximale aux pôles. Dans certaines situations, le déplacement d'air ne s'exerce pas sur une distance suffisante pour que cette force ait une influence notable. Le vent est alors causé seulement par le différentiel de pression. Voici trois cas qui se produisent lorsque la circulation générale des vents est nulle ou très faible :

- L'air froid plus dense en haut d'une montagne y crée une pression plus forte que dans la vallée. Le gradient de pression fait alors dévaler la pente à l'air sur une distance insuffisante pour que la force de Coriolis le dévie. Cela génère donc un vent dit catabatique. On rencontre ce genre d'effet le plus souvent la nuit. Ils sont également très communs au front d'un glacier, par exemple, sur la côte du Groenland et de l'Antarctique à toute heure.
- Durant le jour, près des côtes d'un lac ou de la mer, le soleil réchauffe plus rapidement le sol que l'eau. L'air prend donc plus d'expansion sur terre et s'élève créant une pression plus basse que sur le plan d'eau. Encore une fois cette

Module 6 – Le vent – La voile

différence de pression se crée sur une distance très faible et ne peut être contrebalancée par Coriolis. Une brise de mer (lac) s'établit donc. La même chose se produit la nuit mais en direction inverse, la brise de terre, alors que c'est la rive qui devient plus froide.

- Dans certaines conditions de contrainte, par exemple dans des vallées très encaissées, l'air ne peut que suivre un chemin. Si le gradient de pression devient perpendiculaire à la vallée, le vent sera généré exclusivement par la différence de pression.

Dans d'autres cas, la balance s'exerce entre la pression et la force centrifuge. C'est le cas des tornades et des tourbillons de poussières où le taux de rotation est trop grand et la surface de la trombe est trop petite pour que la force de Coriolis ait le temps d'agir.

Finalement, dans le cas de nuages convectifs comme les orages, ce n'est pas la différence de pression mais l'instabilité de l'air qui donne les vents. La précipitation ainsi que l'injection d'air froid et sec dans les niveaux moyens amènent une poussée d'Archimède négative (vers le bas) dans le nuage. Cela donne des vents descendants qui forment des fronts de rafales localisés.

II.2 - Calcul du vent

Le vent dépend donc de plusieurs facteurs. Il est la résultante des forces qui s'exercent sur la parcelle d'air : la pression, la force de Coriolis, la friction et la force centrifuge. Le calcul complet se fait avec les équations du mouvement horizontal des équations primitives atmosphériques. En général, la force centrifuge est négligée car la vitesse de rotation autour de la dépression est trop lente et sa valeur est donc très petite par rapport aux autres forces. Cependant, dans une circulation rapide comme celle d'une tornade, il faut en tenir compte. Avec ces équations, les cartes météorologiques permettent d'estimer le vent en connaissant la pression, la latitude, le type de terrain et les effets locaux même si on n'a pas de mesure directe.

- En altitude, la friction est nulle et on peut obtenir pour l'aviation un estimé du vent par les équations du vent géostrophique.
- Près du sol, dans la couche limite, la friction cause une diminution des vents par rapport à l'estimation précédente selon ce qu'on appelle la spirale d'Ekman. En général, le vent est de 50 à 70% du vent géostrophique sur l'eau et entre 30 et 50% de ce vent sur la terre ferme. Plus le vent est diminué par la friction, plus il tourne vers la plus basse pression ce qui donne un changement vers la gauche dans l'hémisphère Nord et vers la droite dans celui du Sud.
- Dans les endroits accidentés où le flux d'air est canalisé ou dans les situations où le vent n'est pas dû à une balance entre pression et force de Coriolis comme mentionnés précédemment, le calcul est beaucoup plus difficile. Parmi ces cas on note :
 1. le vent antitriptyque où on a une balance entre la pression et la friction ;
 2. le vent catabatique où l'air froid descend des hauteurs ;
 3. le vent anabatique où de l'air est forcé vers le haut d'une pente.

II. - Vent réel, vitesse, apparent

Schéma : « Allure.jpg »

Lorsqu' une personne ou un bateau se déplace le vent ressenti au cours du déplacement peut être très différent du vent généré par les conditions météorologiques avec des conséquences parfois importantes. On distingue :

- Vent réel : le vent qui est ressenti par un observateur immobile : il est du uniquement au déplacement de l'air autour de celui-ci. Sa direction et sa force peuvent être lus sur un instrument fixé sur le lieu où l'observateur se situe : ces valeurs sont théoriquement celles communiquées par les bulletins météorologiques (avec une fiabilité variable). Le qualificatif de "réel" est utilisée quand l'observateur se situe à bord d'un engin se déplaçant (avion, voilier,...) pour le différencier d'autres composantes du vent engendrés par le déplacement : vent apparent ou le vent dû à la vitesse. Ce vent a une composante moyenne à laquelle s'ajoute souvent des rafales, soit des hausses soudaines et temporaires de sa vitesse.
- Vent vitesse ou Vent relatif : le vent généré par le seul déplacement de l'observateur, égal en intensité, de même direction, et opposé en sens, à la vitesse relative de celui-ci. Il est d'autant plus fort que la vitesse de déplacement est élevée. C'est par exemple le vent que l'on ressent lorsque l'on se déplace à vélo, en l'absence de tout vent réel.
- Vent apparent : le vent tel qu'il est ressenti par l'observateur en déplacement, somme vectorielle des deux précédents, c'est-à-dire du vent réel et du vent vitesse (ou relatif). La notion de vent apparent est surtout utilisée en navigation maritime.

II.2.2 - Mesure du vent

- Échelles :
 - La vitesse du vent est évaluée par les marins en utilisant l'échelle de Beaufort, échelle fermée à 13 niveaux de force 0 à force 12, s'ils n'ont pas d'instruments pour la mesurer. Cette échelle relie l'effet du vent sur la mer (hauteur des vagues, production d'embruns, etc.) à sa vitesse. Autrement, ils utilisent les nœuds.
 - Au sol et en altitude, le vent est mesuré en km/h, en mètres/seconde ou en nœuds.
- Le vent est relevé :
 - Au sol et en mer, sa vitesse est donnée par un anémomètre et sa direction est mesurée par une girouette.
 - En altitude, on l'obtient par radio-sondage en suivant le mouvement d'un ballon-sonde.
 - Depuis l'espace, grâce aux instruments d'un satellite météorologique, on peut obtenir les vents dans toute l'atmosphère. Ces données sont particulièrement utiles aux endroits inhabités comme les déserts et les

Module 6 – Le vent – La voile

océans.

III - LEXIQUE

- à **contre** placement d'une voile ou de la barre dans le sens opposé.
- **abattée** mouvement d'un bateau qui abat.
- **abattre** éloigner l'axe du bateau du lit du vent.
- **adonner** Rotation du vent de l'avant vers l'arrière. Le vent adonne lorsqu'il devient plus favorable pour la route idéale du voilier.
- **aulofée** mouvement d'un bateau qui lofe.
- **affaler** action de descendre une voile.
- **allure** angle d'un bateau par rapport au vent.
- **amure** côté du bateau par lequel il reçoit le vent ("bâbord amures", lorsque le vent vient de bâbord ; "tribord amures", lorsque le vent vient de tribord).
- **ardent** se dit d'un bateau qui a une tendance naturelle à remonter au vent.
- **ariser** Prendre un ou plusieurs ris dans une voile c'est-à-dire diminuer la surface de voile.
- **balancine** fait partie des manœuvres courantes, cordage partant du haut d'un mât et servant à soutenir la bôme ou une vergue dans sa position au repos.
- **barre** partie du gouvernail actionnée par le pilote du bateau, manche droit relié au safran ou roue à renvoi sur les plus gros bateaux.
- **bôme** support horizontal de la grand'voile articulée sur le mât.
- **bonnette** voile supplémentaire de beau temps que l'on peut établir sous une autre voile, par exemple sous la bôme de grand-voile pour augmenter la surface.
- **border** désigne l'action de tendre (une écoute, par exemple).
- **bout** désigne tout type de cordage sur un navire.
- **cape** allure utilisée dans le mauvais temps, pour limiter les efforts sur le navire, pour permettre à l'équipage de se reposer ou pour effectuer des travaux.
- **choquer** désigne l'action de relâcher ou détendre (une écoute, par exemple)
- **corde** terme proscrit du vocabulaire maritime, à une seule exception près: la corde de la cloche.
- **dérive** partie immergée dépassant de la coque en profondeur, pouvant être relevée, et destinée à s'opposer aux forces transversales aux allures de près.
- **dessaler** employé pour les dériveurs, résultat d'une gîte trop importante qui dépasse le point de stabilité de la coque provoquant le chavirage du bateau.
- **draille** (aussi appelé bas-étai), étai (câble) d'acier renforçant le mât de la mi-hauteur à l'étrave, il sert aussi à établir la trinquette.
- **drisse** élément du gréement courant, servant à hisser ou affaler une voile.

Module 6 – Le vent – La voile

- **écoute** bout (cordage) servant à régler l'angle d'une voile par rapport au vent.
- **empanner** virer de bord en passant par le vent arrière.
- **enfourner** envahissement du pont avant par un paquet de mer dû à un trop grand enfoncement de la proue dans la houle.
- **étai** élément du gréement d'un voilier, soutenant le mât sur l'avant, fait partie des manœuvres dormantes.
- **étalingure** brélage de cordage entre le puits et la chaîne destiné à être coupé en cas d'urgence
- **étarquer** action de tendre au maximum un bout.
- **foc** voile située à l'avant du bateau, utilisée par grand vent.
- **généois** voile située à l'emplacement du grand foc. Cette voile est hissée par vent calme.
- **gîte** inclinaison sur le côté du bateau sous l'effet du vent latéral dans les voiles ou d'un mauvais équilibre des masses embarquées.
- **godille** aviron qui se manipule depuis l'arrière du bateau, en faisant un mouvement en huit. La godille permet à un marin seul de déplacer une embarcation, même assez lourde. Sur un voilier bien équipé, elle peut aussi servir à rentrer au port sans voile ni moteur, en général sous le regard admiratif des connaisseurs.
- **grand foc** voile située à l'avant du bateau, de surface plus importante que le foc.
- **grand-voile** voile principale du navire, maintenue entre la bôme et le mât.
- **guindeau** treuil, le plus souvent placé sur la plage avant, qui permet de manœuvrer les lignes de mouillage.
- **hale-bas** fait partie des manœuvres courantes, le plus souvent un palan, tirant la bôme vers le bas et fixée au pied du mât.
- **hauban** élément du gréement dormant d'un voilier, soutenant un mât latéralement et vers l'arrière.
- **hisser** action de monter une voile, une charge. l'expression hisser le foc vient de l'arabe "ézz al fog" qui veut dire tirer vers le haut. Il faut rappeler que les voiles des bateaux mauresques étaient triangulaires, d'où la confusion des européens qui entendant donner les ordres d'appareillage ont cru que "al fog" désignait la voile triangulaire .De l'arabe "ézz":tirer, "dézz":pousser, retranscription phonétique des termes arabes.
- **lofer** rapprocher l'axe du bateau du lit du vent.
- **louvoyer** action de virer successivement de bord du près au près dans le but de remonter au vent.
- **Matosser** Action de déplacer le matériel du bord ou les voiles vers le bord au vent du voilier afin de diminuer l'angle de gîte.
- **mou** se dit d'un bateau qui a une tendance naturelle à s'éloigner du vent.
- **moustaches** sortes de haubans, câbles ou chaînes, servant à consolider le bout-dehors d'étrave de chaque coté de la coque.

Module 6 – Le vent – La voile

- **pataras** élément du gréement dormant d'un voilier, soutenant le mât sur l'arrière.
- **poupe** partie arrière d'un bateau.
- **proue** partie avant d'un bateau.
- **près** allure permettant le gain au vent.
- **près serré** allure à laquelle le bateau se trouve le plus possible face au vent (le plus proche du vent).
- **quille** partie fixe et immergée de la coque sous le bateau faisant office de dérive fixe et de contrepoids à la gîte.
- **rappel** action pour l'équipage de se positionner du côté inverse de la gîte pour rétablir l'assiette du bateau.
- **ris** Système pour diminuer la surface d'une voile.
- **rocambeau** pièce mobile coulissant sur le bout'hors sur laquelle on amure le foc (gréements traditionnels)
- **roulis** mouvement oscillatoire transversal du bateau.
- **safran** partie immergée et pivotante du gouvernail orientant le bateau.
- **sancir** chavirage du bateau par l'avant, la proue s'enfonçant profondément dans l'eau au-delà du point d'équilibre si bien que la coque se retourne complètement. Cela arrive surtout aux dériveurs légers par fort vent arrière.
- **spi** diminutif de spinnaker, grande voile lancée tout à l'avant du bateau en sus du génois ou du grand foc pour augmenter la surface de voilure par petit vent. (sous une allure portante)
- **sous-barbe** câble ou chaîne maintenant le bout-dehors comme les moustaches, mais dans l'axe du navire et vers le bas de l'étrave.
- **tangage** mouvement oscillatoire d'enfoncement de la proue dû à la houle en mer.
- **tangon** espar utilisé du côté au vent pour tenir écarté la voile. Il se fixe d'un côté au mât et de l'autre au point d'écoute de la voile.
- **tourmentin** sorte de foc robuste et plus petit utilisé dans le mauvais temps.
- **tribord** le côté droit, dans le sens de sa marche.
- **trinquette** voile établie sur la draille et située entre le mât et le foc, seulement sur les voiliers de croisière.
- **virer de bord** tourner le bateau de façon à ce que le vent vienne sur l'autre bord. Le devant du bateau passe face au vent.

Module 6 – Le vent – La voile