

Dossier : Hisse et ho, on prend le large!

La navigation est l'un des plus anciens modes de déplacement conçu par l'Homme. Au début du Néolithique, déjà, il y a 12 000 ans, des pirogues ont été construites. La propulsion se faisait à la force des bras grâce aux rames. Ensuite, il y a 5 000 ans environ, la voile fait son apparition en Égypte puis, il y a 3 000 ans, en Océanie. Son utilisation est rudimentaire puisqu'elle ne peut être utilisée que quand le vent vient de l'arrière du bateau. Dans les autres situations, la rame est toujours utile.

La navigation à voile domine ensuite jusqu'au 18^e siècle quand l'invention de la machine à vapeur permet d'actionner des roues à aubes ou, plus tard, des hélices. Nous allons essayer de comprendre comment fonctionnent les différents modes de propulsion des navires : la voile, l'hélice, la roue à aube. Mais aussi comment un objet aussi lourd qu'un cargo en acier peut flotter à la surface de l'eau. Enfin nous aborderons aussi les techniques de navigation en mer : mesure de la vitesse, connaissance de la position et maintien d'un cap.

Un dossier skippé par Olivier Brasseur, animateur scientifique
Première parution : Ébullisciences n°355, décembre 2014 – janvier 2015

Défi #1

FLOTTER

Archimède à l'aide

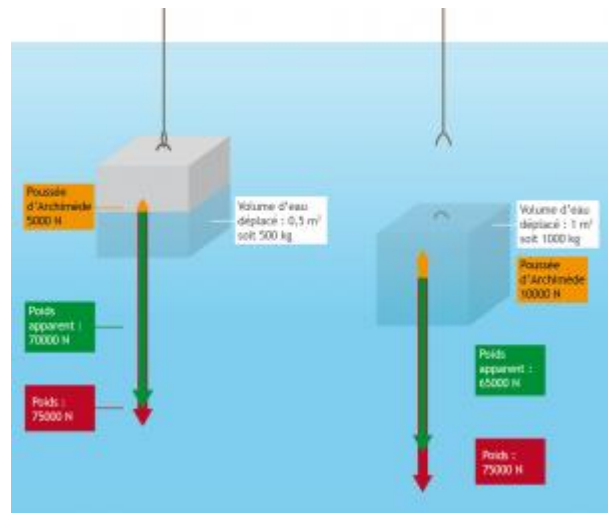
Avant tout, un bateau doit flotter sur l'eau. Mais comment fait-on pour faire flotter quelque chose de plus lourd que l'eau ?

Grâce à la poussée d'Archimède dont voici l'énoncé : « Tout corps plongé dans un liquide subit, de la part de celui-ci, une poussée verticale orientée de bas en haut, égale au poids du volume de liquide déplacé ». Un corps plongé dans un liquide paraît donc plus léger : son poids apparent est égal à son poids réel diminué de la poussée d'Archimède. Pour qu'un objet flotte, il faut que son poids apparent soit nul (il ne s'enfonce alors plus dans l'eau). Pour cela il suffit donc de lui donner une forme telle qu'il déplace, sans s'enfoncer complètement dans le liquide, une quantité d'eau dont le poids soit égal à son propre poids.

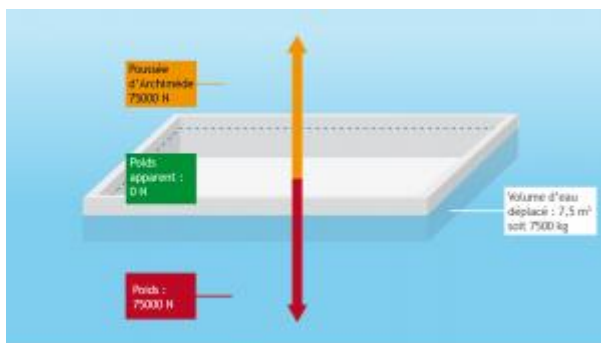
Prenons un cube d'acier d'un volume d' 1 m^3 et plongeons-le dans l'eau. Que se passe-t-il, sachant que la masse volumique de l'acier est de 7500 kg/m^3 et que celle de l'eau est de 1000 kg/m^3 ? Le cube d'acier pèse 75 000 Newtons : la poussée d'Archimède nécessaire à sa flottaison doit donc être égale à 75 000 N.

1. Laissons descendre le cube jusqu'à la moitié de sa hauteur : il déplace donc $0,5 \text{ m}^3$ d'eau, soit une masse de 500 kg. La poussée d'Archimède, à ce moment, vaut donc 5 000 N, ce qui ne compense pas le poids de 75 000 N du cube d'acier dont le poids apparent vaut maintenant $75\,000 - 5\,000$, soit 70 000 N. Le cube continuera donc à s'enfoncer dans l'eau.

2. Lâchons le cube : il s'enfonce complètement. Il déplace maintenant 1 m^3 d'eau, soit une masse de 1 000 kg. La poussée d'Archimède vaut maintenant 10 000 N : cela ne compense toujours pas le poids du cube qui vaut maintenant 65 000 Newtons. Il continue donc à couler.



Si je souhaite que ce volume d'acier flotte, je dois lui donner une forme telle qu'il déplace un volume d'eau égal à $7,5 \text{ m}^3$, volume d'eau qui pèse 75 000 Newtons. La hauteur nécessaire pour déplacer ce volume d'eau s'appelle le tirant d'eau. Il faut cependant encore pouvoir charger le bateau : la ligne de flottaison ne doit pas être trop haute. Il faut donc que le volume d'acier ait déplacé $7,5 \text{ m}^3$ d'eau avant d'être complètement enfoncé. Idéalement le volume de mon bateau doit occuper un espace de 10 m^3 , il restera ainsi $2,5 \text{ m}^3$ au-dessus du niveau de l'eau.



Masse – Poids

Il est temps ici de mettre fin à une confusion qui subsiste dans l'esprit de nombreuses personnes : le poids ne se mesure pas en kilogrammes mais bien en Newton ! Le kilogramme est l'unité de masse. Mais quelle est la différence entre ces deux grandeurs que sont le poids et la masse ?

Le poids est une force qui dépend de la masse mais aussi de la gravité : il est donc relatif (mon poids sur la Lune ne sera pas le même que sur la Terre).

La masse est absolue : pour un même objet, rien ne la fera varier (ni la position, ni la vitesse, ni rien du tout).

C'est donc un abus de langage de parler d'un poids en kilogramme (il est possible que la confusion vienne du nom de l'ancienne unité de poids : le kilogramme-force)

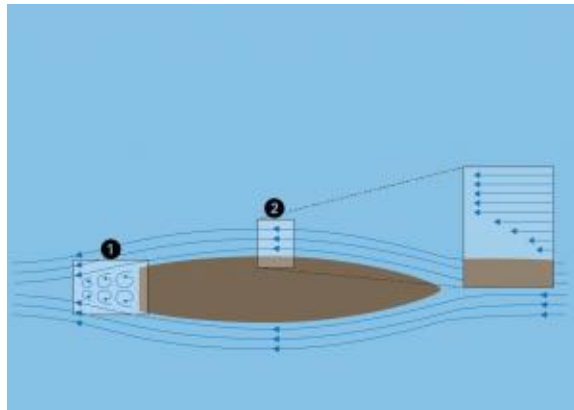


Le poids s'exprime en Newton et est égal à la masse (en kg) multiplié par la pesanteur (≈ 10).

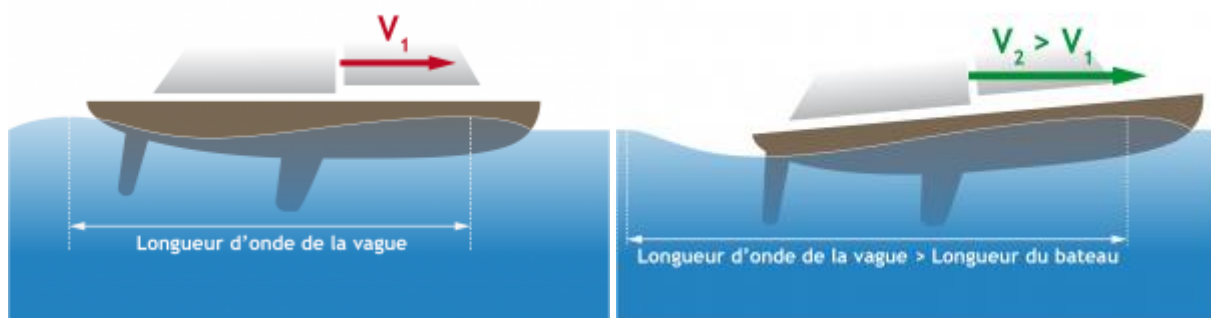
Les contraintes du liquide

Le fait qu'un bateau évolue dans un fluide présente un inconvénient majeur : lorsqu'il se déplace, il est freiné. Ce phénomène est dû à la traînée, force qui s'oppose au mouvement du navire. La traînée peut avoir plusieurs origines :

- La **forme** du navire qui génère une traînée de forme (1) : une dépression se crée à l'arrière du bateau lorsqu'il avance, comme c'est le cas à l'arrière d'une voiture ou d'un camion. S'il est bien profilé, un navire peut minimiser cette traînée de forme. C'est toute l'importance de l'hydrodynamique.
- Le **frottement** du fluide contre les parois du bateau (2). Tout près de la coque du bateau, l'eau est progressivement entraînée sur une mince couche appelée « couche limite » dans laquelle les différentes couches d'eau frottent les unes sur les autres.



- La création d'une **vague** propre au bateau. Si le navire avance trop rapidement, il finit par générer une vague dont la longueur d'onde est légèrement supérieure à sa taille. L'étrave (l'avant du bateau) est alors positionnée au sommet de la vague alors que la poupe (arrière) est dans le creux. Le bateau doit alors remonter cette vague.



La traînée limite fortement la vitesse maximale des navires classiques car l'énergie pour la vaincre à haute vitesse est colossale. En effet, la traînée augmente avec le carré de la vitesse.

Une solution consiste à s'arranger pour faire évoluer le bateau légèrement au-dessus de l'eau afin de minimiser le contact entre la coque et l'eau. L'idée est donc de faire déjauger le navire : c'est alors la vitesse qui lui permet de s'élever par rapport à l'eau.

On peut y arriver grâce à un système d'aile sous-marine, qui, sur le même principe que l'aile d'avion, va créer une portance et soulever le bateau. Seule l'aile sous-marine et son dispositif d'accrochage sont alors en contact avec l'eau. Le navire est moins freiné et peut alors atteindre des vitesses plus importantes. Ce sont les hydroptères ou les bateaux de type Jetfoil.



Les aéroglisseurs permettent également de se déplacer sur l'eau en minimisant les frottements : l'embarcation « flotte » alors sur un coussin d'air sous-pression situé sous la coque. Jusqu'en 2000, les Hovercrafts, utilisant cette technique, effectuaient la liaison Calais-Douvres. Ceci dit, peut-on encore parler de bateaux car ce type d'appareil n'est pas en contact avec l'eau ?

Défi #2

AVANCER

La voile

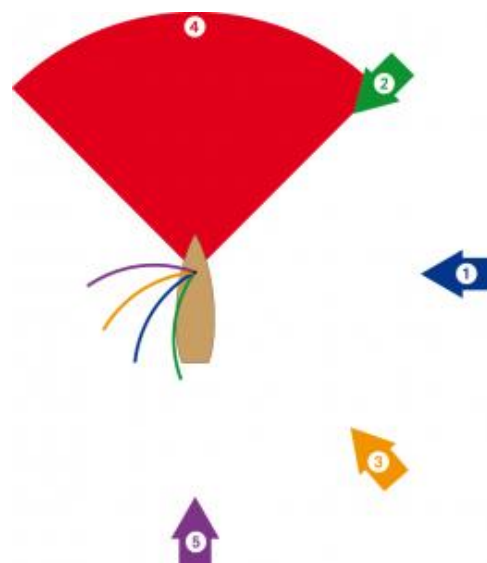
La navigation à voile est très ancienne, elle remonte au III^e millénaire avant notre ère. Le principe de base est très simple : tendre une voile qui fait obstacle au vent. Le vent pousse sur la voile qui, solidaire du bateau, avance dans la même direction que le vent. Peu importe l'orientation de la voile, la composante des forces qui fera avancer le bateau sera toujours *perpendiculaire à la voile*. Si la voile n'est pas parfaitement perpendiculaire au vent, le bateau avancera en « crabe » et la prise au vent sera moins bonne. Dans cette situation particulière, le vent doit venir de l'arrière du bateau. On dit que le bateau est en position « vent arrière » ou « largue ». Or il est assez rare que la direction du vent coïncide avec la direction prise par le bateau : ce principe ne s'applique quasiment jamais.

Cependant des techniques existent aussi pour faire avancer les navires lorsque le vent ne vient pas de l'arrière.

Voici donc quelques explications sur le fonctionnement de la propulsion à voiles pour différentes orientations du vent par rapport au navire.

Plusieurs situations peuvent se présenter :

1. **Si le vent arrive perpendiculairement au navire (« Vent de travers »)**, il faut positionner la voile de telle manière qu'elle génère une portance dirigée le plus possible vers l'avant. Il faut, de plus, border les voiles, c'est-à-dire les tendre. Dans ce cas de figure, le navire, poussé latéralement, tend à chavirer : ce qui l'en empêche, c'est la présence de la quille, élément lesté situé sous l'embarcation. Cette quille maintient un centre de gravité très bas et empêche ainsi le bateau de chavirer.



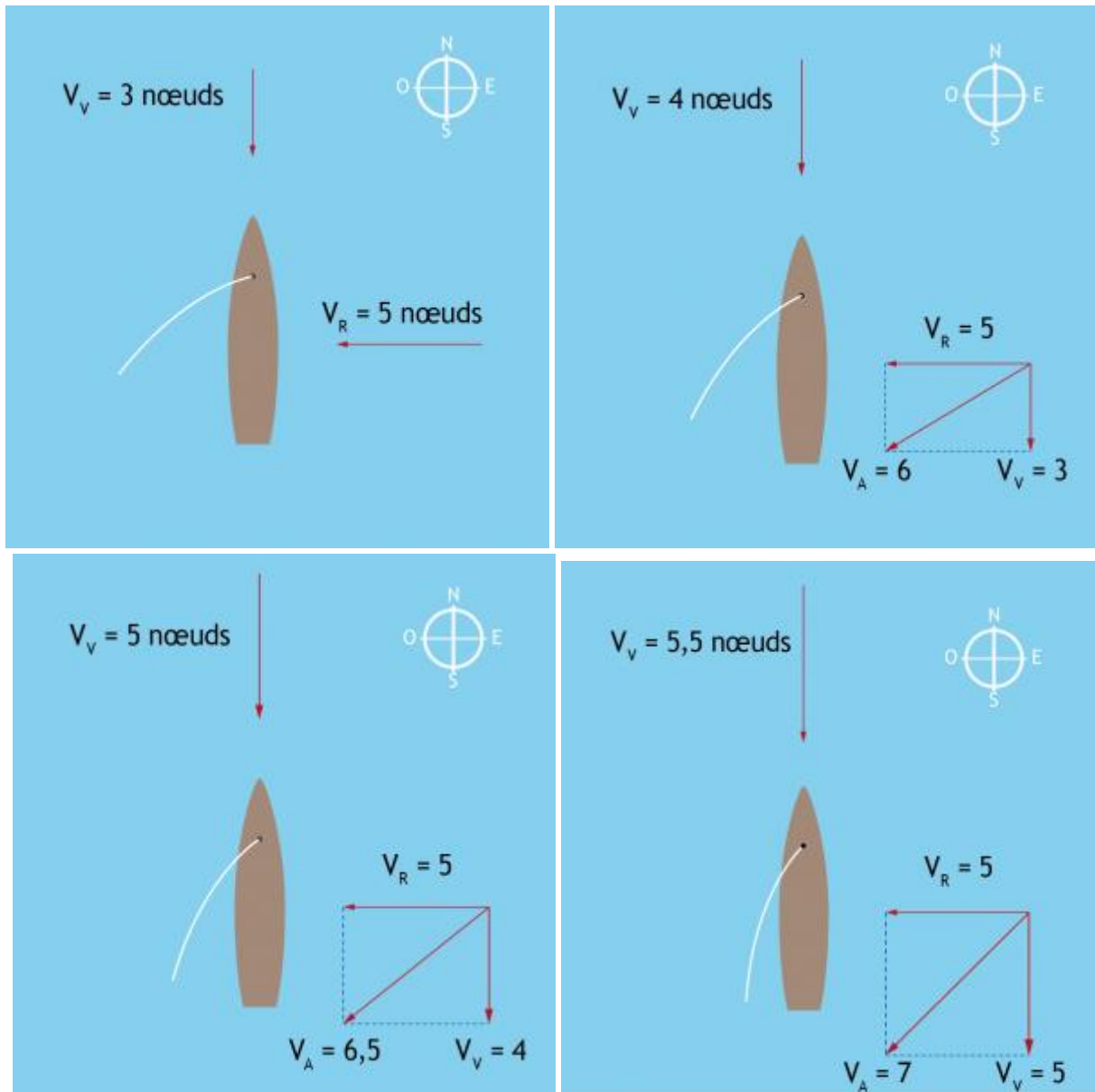
2. **Par contre si le vent arrive de $\frac{3}{4}$ avant (on dit alors qu'on navigue « Au près »)**, la poussée est dirigée en oblique par rapport à la direction souhaitée. Pour ce faire, il faut encore rapprocher les voiles de l'axe du bateau : on dit qu'on « loffe » la (les) voile(s). Il faut également les border. On observe alors une dérive que la quille (ou la dérive sur certaines embarcations) permet de limiter. Cependant, la dérive génère une traînée qui tend à freiner le bateau. La dérive peut aussi être corrigée grâce à la barre en agissant sur le gouvernail et le safran.
3. **Si le vent vient de $\frac{3}{4}$ arrière (on dit qu'on navigue « Au large »)**, la situation est proche de celle du vent arrière. La différence est une dérive importante que la quille ou la dérive va limiter. Pour naviguer lorsque le vent vient de l'arrière du bateau, il faut choquer un peu les voiles : c'est-à-dire les relâcher. C'est d'autant plus important si le vent est fort pour éviter de déchirer les voiles.
4. **Si le vent vient de l'avant (on dit qu'on navigue « vent debout »)**, la navigation est impossible. Il faut alors naviguer successivement d'un près à l'autre afin de garder un cap moyen orienté vers le vent. Pour ce faire il faut « lofer » les voiles tantôt à babord, tantôt à tribord : cette opération s'appelle le virement de bord.

Naviguer plus vite que le vent ?

Lorsqu'on navigue « au près », il est possible de faire avancer le bateau à une vitesse supérieure à celle du vent. Explications :

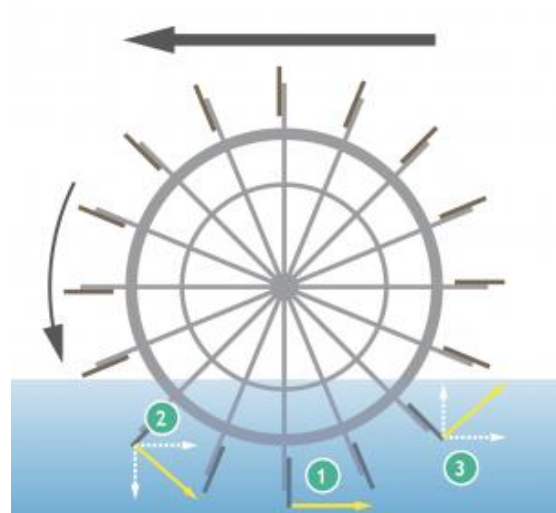
1. Dans un premier temps, un vent d'Est qui souffle au vent de travers à 5 nœuds nous permet d'avancer à une vitesse de **3 nœuds**.
Le fait que le bateau avance par rapport à l'air crée un *vent vitesse* égale à la vitesse déplacement du bateau. Ce vent vitesse vaut 3 nœuds et est dirigé face au navire.
2. La résultante du vent réel et du *vent vitesse* crée un *vent apparent* du nord-est et qui souffle à une vitesse de 6 nœuds. Il faut donc border un peu plus les voiles et lofer. Cette augmentation de vitesse du vent permet d'augmenter la portance de la voile et d'accélérer un peu plus le bateau.
Le voilier file maintenant à **4 nœuds**, ce qui génère un vent vitesse également de 4 nœuds. Le *vent réel*, quant à lui, n'a pas changé, il est toujours de 5 nœuds.
3. Le vent apparent vaut maintenant 6,5 nœuds et vient encore un peu plus du nord-est, ce qui permet d'accélérer le voilier un peu plus. Il navigue maintenant à une vitesse de **5 nœuds**.
4. Le vent apparent vaut alors 7 nœuds, ce qui permet encore d'accélérer le voilier jusqu'à **5,5 nœuds**, ce qui est supérieur à la vitesse du vent réel.

Cette « magie » a une limite. Quand l'angle formé par le vent apparent et l'axe du bateau devient trop faible, la voile ne peut plus se gonfler et l'effet de portance se réduit. On est bout au vent, c'est-à-dire quasiment vent debout (vent de face).



Les roues à aubes

Les Chinois, dès le 10^e siècle, avaient déjà imaginé ce type de propulsion pour leurs navires. L'énergie était alors toujours fournie par la force humaine. Ce n'est qu'à partir de la fin du 17^e siècle, avec l'invention de la machine à vapeur, que la technique va pouvoir évoluer sensiblement. Dans son parcours autour de la roue dont elle est solidaire, il n'existe qu'une seule position dans laquelle une pale a une efficacité maximale : c'est quand elle est verticale, toute la poussée est alors horizontale (1).



Avant d'arriver dans cette position, elle vient d'abord frapper l'eau puis poursuit son cheminement de biais par rapport à la direction idéale dans laquelle elle doit pousser sur l'eau. Une partie de la force est donc dirigée vers le fond de l'eau (2).



à la sortie de l'eau, une partie de la poussée se fait vers le haut. La pale a tendance à soulever l'eau (3). C'est pourquoi la vitesse des pales dans l'eau vaut 1,5 fois la vitesse du bateau. En principe, ce rapport doit être de 3 pour être idéal mais, dans ce cas, la perte d'énergie due à l'entrée et à la sortie des pales est trop importante.

Un système a cependant été mis au point pour limiter cet inconvénient. Une astuce technique permet aux pales de rentrer dans l'eau avec un angle adéquat qui tient compte, entre autres, de la vitesse du bateau. Elles ne se présentent donc pas de biais par rapport à la surface de l'eau et elles sont efficaces directement car toute la poussée est dirigée vers l'arrière du bateau. Il est alors possible d'approcher le rapport idéal de 3 entre la vitesse du bateau et celle de la roue à aubes.

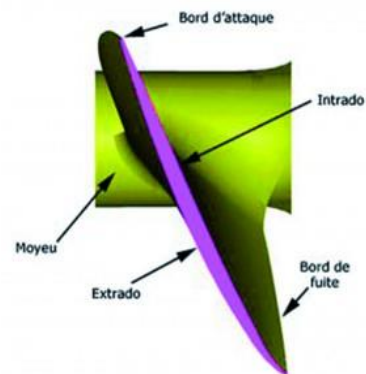
Si tu veux voir ce système en fonctionnement : <http://goo.gl/CLzf3N>

Les hélices

En géométrie, l'hélice est « une courbe dont la tangente en chaque point fait un angle constant avec une direction donnée ».

Une hélice de bateau actuelle est constituée d'un cylindre autour duquel sont fixées des pales. Chacune d'entre elle s'inscrit sur un plan, appelé hélicoïde, qui lui est propre. Chaque pale est donc un fragment d'un plan délimité par une hélice (mathématique) et une droite, l'axe, matérialisé par un cylindre.

Chaque pale est profilée de telle manière qu'elle présente un *intrados* et un *extrados*, comme une aile d'avion.

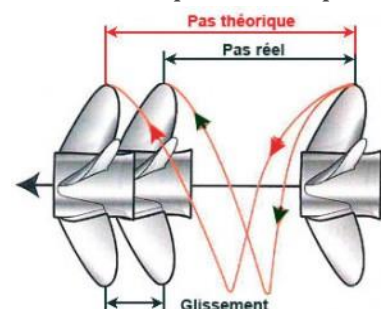


Le principe de l'hélice est de créer une *dépression* dans l'eau à l'avant de celle-ci et une *surpression* à l'arrière. La surpression créée à l'arrière *accélère* le volume d'eau qui traverse l'hélice. Par *réaction*, elle se déplace dans la direction opposée.

La forme et la taille des hélices sont très variables et ont fortement évolué à travers le temps afin d'améliorer, notamment, leur rendement. Le nombre de pales varie de 2 à 7 dans la plupart des cas.

Une hélice est aussi caractérisée par son pas : c'est-à-dire la distance parcourue par un point de la pale en 1 tour d'hélice, en imaginant qu'elle se « visse » dans le milieu dans lequel elle évolue.

Cette notion est théorique car l'hélice évolue dans un fluide déformable : la distance réelle parcourue en un tour d'hélice est inférieure au pas théorique, c'est le pas réel. La différence entre pas théorique et pas réel s'appelle le glissement. Il est d'autant moins important que la coque du bateau est hydrodynamique.



Pourquoi les pales ont-elles cette forme vrillée ?

Un des paramètres d'une hélice est son diamètre. Lorsqu'une pale effectue un tour complet autour de son axe, son extrémité parcourt une plus grande distance que sa base : le pas varie. Ceci a pour effet une perte d'énergie. Pour contourner ce problème, l'angle d'inclinaison de la base de la pale est plus important que l'angle d'inclinaison de son extrémité. Ainsi le pas reste le même tout le long de la pale.

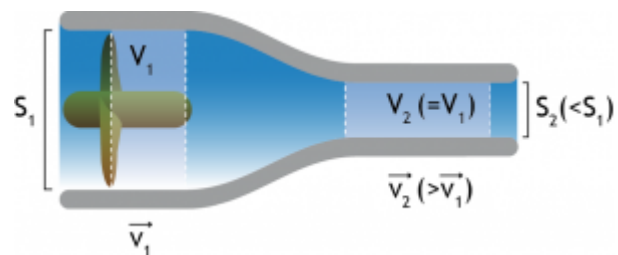
La cavitation

Lorsque l'hélice tourne très vite, un phénomène potentiellement destructeur peut faire son apparition : la cavitation. En tournant, l'hélice crée une dépression sur son extrados : des bulles de gaz peuvent alors se former. Ces bulles implosent ensuite lorsque la pression redevient normale en provoquant une onde de choc, ce qui est source de bruit et de destructions potentielles. Le rendement de l'hélice est aussi diminué par ce phénomène. Les perfectionnements apportés ces dernières années aux hélices visent à réduire ce phénomène.



La propulsion à réaction hydrojet

C'est un système de propulsion à **réaction** tout comme un réacteur d'avion. Dans ce cas, ce n'est pas de l'air qu'on accélère, mais bien de l'eau. Une hélice est positionnée dans un conduit cylindrique. Elle sert à *accélérer* l'eau pompée sous le navire et est expulsée à l'air libre, à l'arrière du bateau. Cette importante masse d'eau est éjectée vers l'arrière du bateau, en réaction celui-ci se déplace vers l'avant.



Il est possible d'orienter le jet afin de diriger l'embarcation : donc plus besoin de gouvernail.

Les jet-skis sont équipés de ce système de propulsion, mais aussi des navires bien plus grands tels que des ferries (NGV entre la Corse et le continent).

Défi #3

S'ORIENTER

S'orienter nécessite la connaissance de plusieurs paramètres : sa position (latitude et longitude), sa vitesse et le cap que l'on va prendre.

Connaître sa position

En marine, calculer sa position s'appelle faire le point. Cette tâche est impossible sans instruments de mesure. Dans ce cas, il faut se contenter de faire ce que l'on appelle du cabotage, c'est-à-dire naviguer en permanence près des côtes, ce qui limite fort l'intérêt de la navigation, surtout si l'on souhaite explorer le globe.

Si on possède une boussole, une carte, que l'on peut connaître sa vitesse, et qu'on identifie clairement le point de départ, il est déjà plus facile d'estimer régulièrement sa position. C'est ce que l'on faisait au 15^e siècle grâce à des cartes simplifiées appelées portulans* (voir lexique) : on naviguait à l'estime. La position obtenue par cette méthode ne tient cependant pas compte des courants marins et de la dérive qui en découle, ni de la déclinaison magnétique qui peut fausser les mesures effectuées à la boussole. Cette méthode est donc peu précise.

Pour obtenir une plus grande précision quant à la position d'un navire à la surface du globe, il faut se baser sur la position des astres dans le ciel. Ces positions permettent de calculer les coordonnées d'un point, c'est-à-dire la latitude et la longitude.

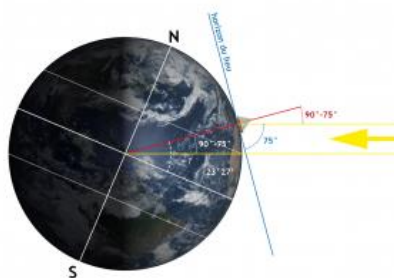
La latitude

Pour calculer la latitude d'un point, il faut pouvoir mesurer la hauteur d'un astre par rapport à l'horizon.

Des instruments de mesures permettent de réaliser cela.

Un des plus anciens est l'astrolabe*, qui existe depuis l'Antiquité. Ce sont les Arabes qui en ont répandu l'usage depuis le 7^e siècle. Il y a aussi l'arbalète, sorte de bâton d'1,20 m sur lequel coulisse une équerre double, le quartier anglais, les quarts de cercle ou encore le sextant.

En mesurant, par exemple, la hauteur maximale du soleil dans le ciel, il est possible de connaître la latitude à laquelle on se trouve. À cause de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre sur l'écliptique, cette hauteur maximale est différente tous les jours en tous points de la planète. Des tables sont éditées et fournissent, pour chaque jour, la valeur de ce que l'on appelle la déclinaison du Soleil, ce qui permet de corriger la mesure effectuée à l'aide des instruments. La déclinaison du Soleil varie de $-23^{\circ}27'$ vers le 21 décembre à $23^{\circ}27'$ vers le 21 juin. Elle est égale à 0° les 21 mars et 21 septembre.



Exemple : à la date du 21 juin, je mesure, à l'aide d'un sextant, une hauteur de 75° vers le Sud pour le Soleil. Pour obtenir la latitude, je dois retrancher ces 75° de 90° : j'obtiens donc 15° de latitude Nord. La déclinaison du Soleil à cette date est de $+23^{\circ}27'$. Je dois donc rajouter cette valeur à celle obtenue précédemment : j'obtiens alors $38^{\circ}27'$ de latitude Nord.

La longitude

Pour la longitude, c'est plus compliqué. En effet, entre le moment où je suis parti et le moment où je souhaite effectuer ma mesure, la Terre a tourné, chaque heure de 15° de longitude (puisqu'elle parcourt 360° en 24 heures). Pour pouvoir calculer la longitude du point où je me trouve, je dois connaître le décalage horaire depuis mon point de départ (méridien origine). Il faut donc une horloge, la plus précise possible. Pas question d'emmener une horloge à balancier dans un bateau qui tangue. Elle ne fonctionnera pas longtemps. Les seuls instruments qui existaient pour mesurer le temps dans un bateau étaient les sabliers. Il a donc fallu attendre la fin du 18^e siècle, avec la fabrication de chronomètres sans balancier pour pouvoir calculer avec précision la longitude sur un bateau.

Comment faire ?

À l'aide d'un instrument tel le sextant, je mesure la hauteur maximale du Soleil et je note l'heure à laquelle j'effectue ma mesure : 15h00. Le midi du point auquel je me trouve ne correspond plus au midi de mon point de départ. Il y a 3 heures de décalage. Le midi local a donc 3 heures de retard par rapport au midi de mon point de départ. Comme la Terre tourne d'Ouest en Est, je suis situé vers l'Ouest par rapport à mon point de départ. En 1 heure la Terre tourne de 15° , elle parcourt donc 45° en 3 heures. Je suis donc à 45° à l'Ouest de mon point de départ (de mon méridien origine).

Connaître sa vitesse



La vitesse d'un navire se mesure en nœuds. À l'origine, on utilisait le **loch**, qu'il suffisait de jeter à l'eau à l'arrière du bateau. Après quelques instants, la corde à laquelle il était accroché se déroulait et les nœuds défilaient par-dessus bord, tous les 14,5 m. Au passage du premier nœud, on retournait un sablier de trente secondes et l'on comptait les nœuds qui défilaient dans ce laps de temps. On s'est vite rendu compte que le loch était entraîné par le sillage du bateau : la distance qui sépare deux nœuds doit donc être légèrement supérieure. Cette distance a

donc été fixée à 15,4 m. 30 secondes, ça correspond à $1/120$ d'heure. En multipliant 15,4 m par 120, on obtient 1848 m, ce qui est proche de la valeur du mille marin (nautical mile) qui est de 1852 m. Une vitesse d'un nœud correspond à un mille par heure.

Le mille marin

Le mille marin vaut 1852 m ... à quoi cela correspond-il ? Un peu de géométrie. La circonférence de la Terre vaut, approximativement 40 000 km, soit 40 000 000 m. Cela représente 360° . Chaque degré d'arc correspond à 111 111,111 m et chaque minute d'arc correspond à 1851,85 m, soit en arrondissant 1852 m.

Le mille marin correspond donc à la distance parcourue sur chaque minute d'arc le long de la circonférence terrestre. Cette unité est très pratique pour les avions et les bateaux qui connaissent leur position selon leurs coordonnées géographiques (latitude et longitude), exprimées en degrés et en minutes.

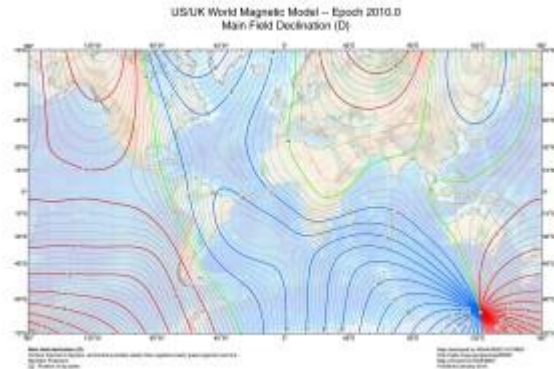
Connaître et maintenir son cap

Le cap, c'est la direction que prend le navire. Il correspond à l'angle formé depuis le Nord jusqu'à la direction du bateau. Il est mesuré positivement de 0° à 360°, dans le sens des aiguilles d'une montre.

Le cap est mesuré à l'aide d'un compas, boussole montée sur deux axes de rotation perpendiculaires entre eux. Ce système permet de conserver à la boussole sa parfaite horizontalité malgré les mouvements de roulis et de tangage du navire.

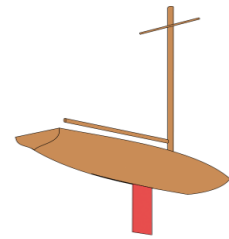
Mais le cap donné par le compas doit être corrigé, et ce pour diverses raisons :

- **Le Nord fourni par une boussole correspond au Nord magnétique** qui ne correspond pas parfaitement au Nord géographique (celui des cartes). L'écart entre les deux s'appelle la *déclinaison magnétique*. Elle est de quelques fractions de degrés en Europe, mais peut être plus importante dans certaines régions du Monde (voir carte). Elle varie également dans le temps.
- **Le navire subit une dérive à cause du vent.** Par convention, cette dérive est positive si la déviation engendrée augmente la valeur du cap lue sur le compas. La dérive due au vent peut être très importante pour les voiliers qui naviguent au près.
Comment savoir si le bateau dérive ? En regardant le sillage. Si celui-ci n'est pas parfaitement dans l'axe du bateau, c'est qu'il dérive. Il faut alors corriger le gouvernail de telle manière à remettre le sillage dans l'axe du bateau.
- **Le navire subit également une dérive due aux courants marins.** Des cartes fournissent aux marins la vitesse et la direction de ces courants. Le cas échéant, une correction s'impose aussi à ce niveau.



PETIT LEXIQUE

- **Abattre une voile** : manœuvre ayant pour effet de positionner le navire parallèlement à la direction du vent (vent arrière). La voile se retrouve perpendiculaire au vent.
- **Allure** : angle entre le cap d'un voilier et la direction du vent.
- **Astrolabe** : ancien instrument astronomique servant, entre autre, à la navigation. Il permet de mesurer la hauteur des astres et de calculer l'heure en fonction de la position des étoiles et du Soleil. Son invention et son utilisation en navigation remonte au 7^e siècle.
- **Bâbord** : c'est la gauche du navire lorsqu'on regarde en avant (vers la proue).
- **Border une voile** : c'est tendre la voile, la raidir afin qu'elle puisse prendre la forme souhaitée.
- **Choquer une voile** : c'est relâcher la voile afin d'éviter qu'elle se déchire sous l'effet du vent.
- **Dérive** : surface portante immergée sous un navire et permettant de contrer la dérive due au vent. Elle est surtout utilisée sur les bateaux à voiles de tailles modestes.
- **Gouvernail** : il constitue tout le dispositif mobile servant à faire changer de direction un bateau. Il est constitué d'un levier de commande : la barre, d'un axe : la mèche du gouvernail, et du safran, immergé.
- **Lofer une voile** : manœuvre ayant pour effet de rapprocher le navire de l'axe du vent. La voile tend à être parallèle à l'axe du bateau.
- **Nœuds** : unité de vitesse utilisée en marine et en aviation. Un navire qui file 20 nœuds signifie qu'il parcourt une distance de 1 mille sur une durée d'une heure.
- **Mille marin** : unité de distance utilisée en marine et en aviation. 1 mille marin vaut 1852 m. Cette distance équivaut à 1 seconde d'arc sur la circonférence terrestre.
- **Portulan** : carte de navigation simplifiée utilisée au 13^e siècle.
- **Quille** : c'est la partie la plus basse d'un bateau. Sur les voiliers, elle peut être lestée afin d'éviter que le navire chavire.
- **Safran** : c'est la partie immergée du gouvernail d'un bateau. Il s'agit d'un plan vertical pivotant autour d'un axe. Il permet de dévier le flux d'eau pour changer la direction du navire.
- **Sextant** : instrument de mesure de la hauteur des astres dans le ciel. Son principe est de mesurer la distance angulaire entre des points (l'horizon et une étoile, par exemple). Son invention remonte au milieu du 18^e siècle.
- **Tribord** : c'est la droite du navire lorsqu'on regarde en avant (vers la proue).
- **Vent arrière** : allure dans laquelle un voilier fait route dans la direction vers laquelle souffle le vent.
- **Vent debout** : allure dans laquelle un voilier est plus ou moins face au vent.



QUELQUES SOURCES

- **S'orienter et connaître sa position**
André Gillet, « Une Histoire du point en mer », collection Regards sur la Science.
éd. Belin – Pour la Science.
- **Glossaire de la voile et de la mer :**
permanent.cyconflans.free.fr/glossaire/glossaire.htm
- **Le cap du navire**
isnpp.pagesperso-orange.fr/html/le_cap_du_navire.html
- **Le positionnement avec sextant**
www.cfl-asso.fr/dossiers/dossier-web-003.htm
- **Les hélices :**
aviatechno.net/constellation/les_helices.php
www.bateaux-essais.com/technique/moteurs/les-helices/
www.heliciel.com/helice/Pas%20helice.htm
p.loussouarn.free.fr/technic/helice/helice.pdf
seme.cer.free.fr/plaisance/helices-et-propulsion.php
- **La navigation à la voile :**
remyou.free.fr/dvt.htm
<http://www.nauticaltrek.com/11494-jouer-avec-le-vent-apparent>
www.lililamouette.com/le-bateau/la-vie-a-bord/comment-se-manipulent-les-voiles
vehicules.com/wiki/Voile?p=3
- **Bateaux à aubes :**
www.porslanvers.eu/energie/roue-de-bateau/
- **Garder le cap :**
<http://lavoileenligne.fr/index.php/navigation-guide-pratique/introduction-a-la-navigation/>