

## L'IMPORTANCE de l'HELICE

Dossier fait par « plaisance écologie »

*Une fois optimisés la carène et le (ou les) moteurs, l'élément propulseur de votre embarcation reste la (ou les) hélices. Nombre de pales, diamètre, surface, pas... pour faire simple, sont autant de paramètres qui vont modifier sensiblement votre avancement pour une même consommation énergétique (thermique ou électrique).*

*Méfiez-vous des rumeurs de pontons qui vont vous conseiller tel ou tel modèle, car il faut déjà comprendre que l'optimisation d'une hélice répond à un certain nombre de caractéristiques directement en rapport avec la vitesse de rotation de l'arbre et le fait que l'on veuille privilégier soit la vitesse, soit la poussée...*

*Le reste n'est qu'affaire de compromis.*

*La conception et l'adaptation d'une hélice à une coque étant très complexe, ce petit dossier vous permettra d'être plus manoeuvrant.*



### Un peu d'histoire

L'invention de l'hélice revient, paraît-il, aux chinois, mais c'est véritablement le mathématicien suisse Daniel Bernoulli qui publie en 1738 un ouvrage "Hydrodynamica" exposant le théorème fondamental de la mécanique des fluides ainsi qu'une solution mécanique pour propulser les navires de l'époque, uniquement mûs par la force du vent.

Bien entendu, comme pour plusieurs autres inventions majeures, plusieurs pays vont vers 1830 revendiquer la paternité de la mise au point de l'hélice, dont : Frédéric Sauvage et Augustin Normand en France.

On parle également de théorie dite "de Froude", lorsqu'on évoque les quantités de mouvement et de "nombre de Reynolds" au moment de s'attaquer aux calculs.

### Préalable

Ce n'est pas le moteur qui fait avancer un bateau, c'est au final la poussée de l'hélice, qui reste variable en fonction de sa vitesse de rotation, mais aussi de son "recul", lui-même dépendant des caractéristiques propres à l'hélice, de la vitesse du bateau, de ses caractéristiques hydrodynamiques, sans parler de l'influence des éléments extérieurs (courant, vent, vagues...), sans parler du freinage occasionné par les vagues écho sur les berges en canal, par exemple.

Donc, la courbe de poussée de l'hélice est liée à un ensemble hélice-carène-conditions de navigation propre non seulement à chaque bateau, mais à chaque trajet.

### Quelques définitions

Théoriquement, la propulsion est le résultat de la différence de vitesse entre la masse d'eau aspirée et celle repoussée ; le mouvement des pales dans l'eau génère une dépression sur l'extérieur du profil (ou extradados) en même temps qu'une surpression de l'autre côté (ou intrados).

Mais impossible de parler d'hélice sans définir un minimum ses caractéristiques :

- le **Diamètre** (exprimé en pouce ou en mm), est la distance entre les extrémités de deux pales opposées (inscrites dans un cercle) ; plus le diamètre est grand, plus la traînée induite par les pales devient importante (le maître couple augmente).
- le **Pas** \* (ou pitch) exprimé en pouce ou en mm,
- le **Nombre de pales**, allant de 2 à 7,

- la **Matière** (fonte, aluminium, inox, Cupro-Manganèse, Cupro-Aluminium, NiBrAL...)
- son **Moyeu** : soit de type Ligne d'Arbre (**LA**) avec un cône de type : ISO, SAE ou spécial, soit **HB/IB Z-drive** (Hors-Bord ou In Bord Z drive).
- la **Surface** de pales, exprimée en %,
- la présence d'un **Cup** \* (petite courbure en forme de becquet sur le contour du bord de fuite de la pale servant à augmenter le pas au delà d'une certaine vitesse de rotation de l'hélice).

\* Le pas et le diamètre sont généralement gravés sur chaque hélice.

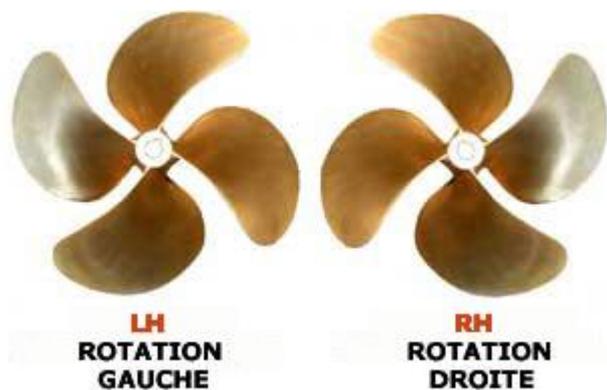
Bon à savoir : pour passer d'une mesure en "mm" à une mesure en "pouce", il suffit de la diviser 25,4.

#### Note sur le cup (ou cupping)

Ce dispositif est plus indiqué pour les bateaux lourds ; en effet, le pas final maximum est donné par la vitesse de rotation maximum de l'hélice et à bas régime, avec un pas faible, un bateau lourd aura plus de facilité à déjauger. Par contre, au delà d'une certaine vitesse le cup ajoute du pas à l'hélice (dans la proportion de 1 à 3 pas suivant les cups) ; cela a pour effet d'augmenter la vitesse de pointe.

Le bon compromis pour un bateau lourd est de mettre du cup sur l'hélice, ce qui permet de cumuler les avantages d'un pas faible à bas régime tout en bénéficiant d'une valeur théorique plus élevée aux plus grands régimes de rotation.

**Dernière précision** : les hélices ont aussi un **sens de rotation** (vu de face de l'arrière vers l'avant du bateau) ; elles sont repérées par les mentions **RH** (tourne à droite) ou **LH** (tourne à gauche). Il n'est d'ailleurs pas rare de monter des hélices de sens de rotation contraire sur des bateaux bi-hélices.



(Photo : TechBoat)

Autres paramètres

Mais d'autres éléments interviennent également :

#### **La matière**

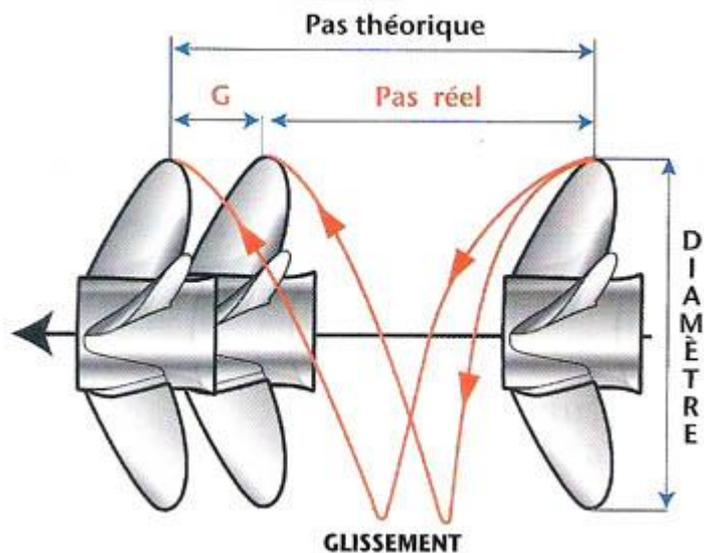
Les spécialistes indiquent que la matière qui constitue une hélice intervient dans 10 % au maximum dans les performances d'une hélice.

Tout au plus certains matériaux (inox) permettent d'obtenir des profils plus fins que d'autres (bronze).

Mais on trouve également des hélices en aluminium.

#### **l'Avance**

C'est la distance parcourue réellement lors d'un tour ou "Pas réel"



(Photo : TechBoat)

Rappel : **1 pouce** (ou 1') = **25,4 mm**

**Le Glissement (ou slip)** est la différence de distance axiale parcourue entre le **Pas théorique** et le **Pas réel** lors d'un tour complet de l'hélice. Cette différence s'explique par le temps qu'il faut aux molécules d'eau pour "s'accrocher" à la pale (ce phénomène diminue avec l'augmentation de la vitesse du bateau).

La cavitation

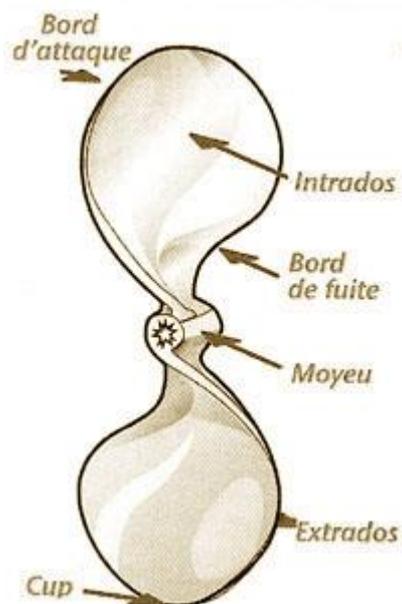
Ce phénomène, contrariant une bonne poussée, se manifeste lorsque :

- Les pales ne s'appuient plus sur un flux d'eau dans un état laminaire, mais dans un état turbulent avec une quantité importante d'air ; ce mélange air/ eau étant compressible, il entraîne une rotation de l'hélice peu régulière et active.

- Les pales de l'hélice aspirent de l'air par effet vortex ou **ventilation** (notamment lorsque le régime moteur est trop haut sur le tableau AR pour un HB), ou si la distance entre la surface de l'eau et l'extrémité haute des pales est trop faible (pour une ligne d'arbre)... La plaque anti-ventilation sert à limiter ce phénomène.

- Les pales se retrouvent soumises à une pression trop importante par rapport à leur surface, ce qui crée une dépression (côté **intrados**, en bout de pales). Dans ce cas, la pression côté **extrados**, ne suffit plus à équilibrer la relation dynamique. L'eau contenue dans cette dépression se dégrade alors chimiquement pour former des microbulles qui s'amoncellent jusqu'au décrochage complet des pales (l'hélice ne visse plus dans l'eau, mais dans de l'air).

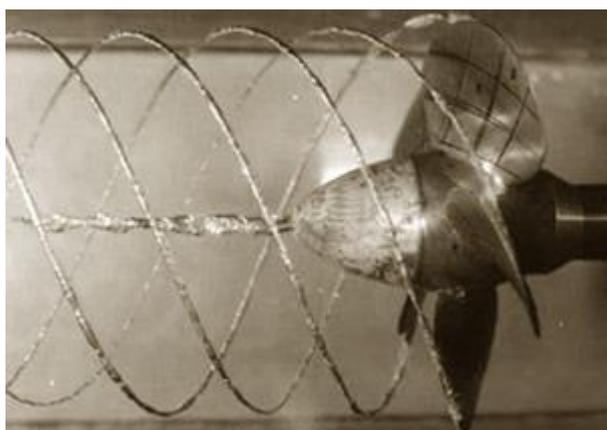
Il faut distinguer la cavitation périphérique dont la cause est souvent due à une vitesse d'écoulement trop forte (supérieure à 35 ou 40 m/s), de la cavitation totale où l'hélice ne brasse presque plus qu'un mélange gazeux.



### Pour résumer

La cavitation apparaît d'abord en extrémité de pales, avant de les recouvrir entièrement.

On repère facilement ce phénomène lors d'un carénage en observant des bords de fuite dentelés ou un revêtement de surface érodé...



(Photo : Harry Turner)

Mise en relief de la sinusoïde que crée l'air dans l'eau et de la cavitation en bout de pales.

### **Comment limiter la cavitation**

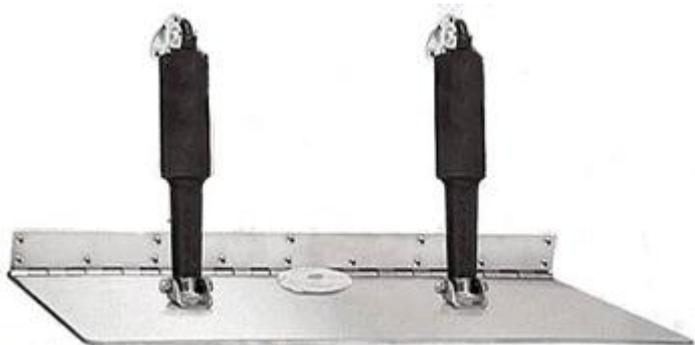
- commencer par monter une hélice bien adaptée à son bateau (modèle et puissance moteur compatibles).
- pour les **HB** (hors-bord) et les **Z-drive** (\*), vérifier la hauteur du montage du moteur suivant la forme du **V** de carène et l'inclinaison du tableau AR,
- pour une ligne d'arbre, optimiser l'écartement entre la **chaise d'arbre** et l'hélice tout en veillant au bon profilage de la sortie d'**étambot** (partie arrière d'un navire, anciennement appelée poupe), ou de la quille lorsqu'elle sert de support au **tube d'étambot** \*\* (fourreau de l'arbre) ; en effet, plus l'hélice est **masquée**, plus les risques de cavitation augmentent.

(\*) Le Z-Drive (ou transmission en Z), est un type de transmission permettant à l'hélice d'un bateau équipé d'un moteur "in-board" de pivoter sur son axe ; à ne pas confondre avec un "pod" dont l'ensemble moteur + hélice est immergé.

(\*\*) Le Tube d'étambot est le plus souvent parallèle à la ligne de flottaison. En marche avant, l'hélice pousse » la coque en se collant au palier extérieur du tube d'étambot, ce qui va empêcher les entrées

*d'eau (si l'état de surface de contact est parfaite, ce qui se fait rapidement par effet de rodage). En marche arrière, l'hélice va « tirer » la coque et c'est la bague d'arrêt qui va se coller au palier intérieur, empêchant les entrées d'eau. L'hélice, par contre, va se décoller du palier extérieur mais comme le tube d'étambot est rempli de graisse, l'eau ne pourra pas y pénétrer.*

- maintenir un dessous de carène propre, ainsi qu'une hélice sans coups ou accrocs et sans fouling.
- utiliser correctement son dispositif de **trim** (volets compensateurs) en navigation marine ; non seulement cela assurera une bonne tenue du bateau et une hélice performante. Pour rappel, en ligne droite et par mer plate il est conseillé de naviguer trim relevé alors qu'en manoeuvre, en virage ou par mer formée, mieux vaut abaisser le trim. On parle de "trimmer" lorsque la proue du bateau se soulève.



Autres phénomènes liés au rendement de l'hélice

### **Le nombre de pales**

Il faut savoir ce que l'on veut :

- une hélice bipale offre un bon rendement,
- les hélices tripales sont les plus courantes et offrent le meilleur compromis vitesse/ poussée,
- les hélices quadripales sont mieux équilibrées et plus silencieuses,
- les hélices 5 pales sont les plus équilibrées.

A noter que c'est de toute façon, la surface totale des pales qui détermine la puissance de poussée et non leur nombre.

### **Le profil**

Il reste déterminant dans la poussée de chaque hélice et détermine les caractéristiques géométriques des pales qui la constitue :

- position du maître-bau,
- épaisseur,
- longueur de corde.

### **Le masquage**

Les éléments comme la quille ou la chaise d'arbre peuvent également entraîner des désordres s'ils sont trop près de l'hélice (cavitation, vibration...). De même, leur bon profilage limitera la perturbation de l'écoulement laminaire de l'eau sur les pales et donc la propulsion. Dans le cas contraire il s'exerce une distorsion de l'arbre, encore accentuée dans le cas d'une hélice tripales (c'est pourquoi les bateaux à quille et crapaudine sont le plus souvent équipés d'hélices à 4 pales ; cela ne supprime pas les turbulences parasites occasionnées par le masquage, mais évite cette distorsion de l'arbre en les répartissant sur les 2 pales opposées).

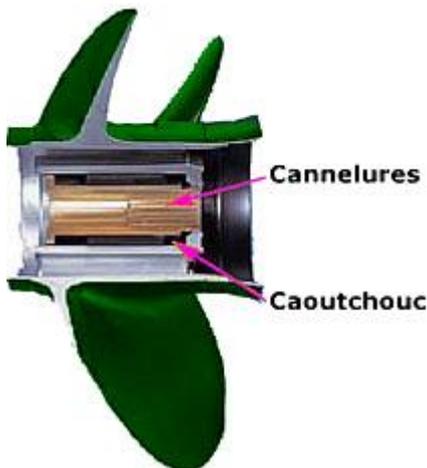
### **La Force transmise**

Rappelons que la force réellement transmise à l'hélice est la résultante vectorielle du couple et de la poussée, moins les pertes de friction, de rotation et d'axe... pour faire simple. Elle correspond à la pression qui s'exerce sur les pales ; en général, on estime ses pertes à environ la moitié de la puissance

transmise...

Les moyeux

Il en existe couramment 3 types :



(Photo : TechBoat)

#### - Les moyeux d'hélices HB et IB Z-Drive

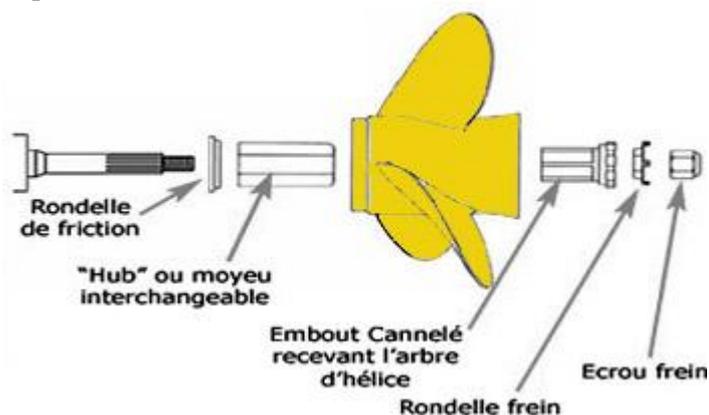
Ce type de montage écrase au centre de l'hélice un cylindre de caoutchouc spécial autour d'un cylindre cannelé aux dimensions exactes de l'arbre.

Ce système présente l'avantage de protéger l'arbre contre les chocs et par ailleurs, son prix est souvent moindre que les autres.

Par contre, le risque de dénoyautage existe, en cas d'utilisation proche des limites.

#### - Les moyeux interchangeables ou "Hub Kit"

Réservés surtout aux hélices HB et IB Z-Drive, ils sont montés avec un ensemble rondelle / bague carrée conique / embout cannelé... L'intérêt de ce type de moyeu est une meilleure protection de l'arbre d'hélice lors d'un choc avec un objet, mais surtout un changement facilité de l'hélice, tout offrant un choix plus important "montant" sur l'arbre...



(Photo : TechBoat)

#### - Les moyeux standard pour ligne d'arbre

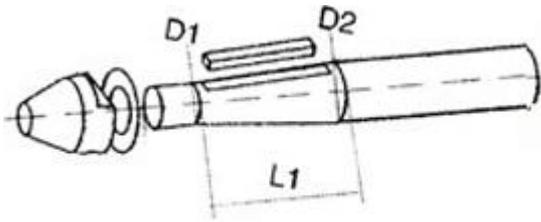
Les moyeux d'hélice "IB ligne d'arbres" se répartissent en 3 familles :

> Les **ISO** ou métriques,

> les **SAE** en côtes américaines,

> les **spéciaux** aux mesures dites "propriétaires" pour éviter que l'on puisse en monter d'autres que celles proposées par la marque (un peu comme Apple en informatique)...

Les moyeux LA sont coniques et clavetés sur le cône ; les 2 parties coniques alésées s'emboîtent tandis que la clavette rend solidaire arbre et hélice ; un écrou frein retient cette dernière en marche arrière. En cas de changement d'hélice, il faut mesurer D1 (petit diamètre du cône), D2 (grand diamètre du cône) et L1 (longueur du cône).



(Photo : TechBoat)

### Le Calage (ou Rake)

C'est l'angle d'inclinaison formé par la corde de la pale avec le plan de rotation (centre de la pale) par rapport à une droite perpendiculaire au moyeu de l'hélice.

Lorsque le calage varie le long de la pale, on parle de "vrillage".

A noter que le calage intervient également sur l'assiette du bateau.

Cette inclinaison de pales intervient dans le retardement de la cavitation (plus l'angle est fort, plus la cavitation tend à diminuer car la prise d'eau sur la pale est progressive) ; mais un calage trop important a tendance à trimmer la coque ce qui a pour conséquence de la déséquilibrer latéralement (tangage cadencé).



(Photo : TechBoat)

### Le Skew

C'est une forme spécifique des pales...

Pour la petite histoire, le Skew a été popularisé par la société Radice vers 1990, mais son invention est japonaise.

Cette forme étudiée en tunnel de cavitation et bassin de carène pour réduire la vague arrière et les vibrations transmises.

Cela a abouti à une hélice aux performances améliorées (retard de la cavitation, limitation du bruit, gain de la force transmise) soit une amélioration globale du rendement...

Pour comprendre cette innovation, il convient d'aborder un nouveau paramètre :

## La Surface (S)

Il s'agit de la surface représentée par les pales par rapport à celle du diamètre de l'hélice.

On parle de pourcentage de recouvrement.

Cette surface de pales va généralement en augmentant proportionnellement à la puissance motrice.



Hélice tripales S = 45 % non Skew (Photo : TechBoat)



: Hélice tripales S = 73 % Skew (Photo : TechBoat)

### Application voilier

Les petites surfaces correspondent à des hélices bipales ; on les retrouve le plus souvent sur des voiliers ; elles développent généralement 35 % de recouvrement du diamètre ; c'est la vitesse qui est privilégiée...

N'oublions pas que sur un voilier, sauf à utiliser une hélice "bec de canard", le freinage dû à l'hélice n'est pas négligeable.

### Application travail

Dans ce cas (remorqueur, chalutiers...) S peut aller jusqu'à 100 %, en utilisant des hélices de 5 à 7 pales ; c'est la puissance (le couple) qui est privilégiée...

## Conclusion

Les caractéristiques de ces 2 types d'hélices étant presque opposées, il conviendra avant tout de l'optimiser par rapport à la vitesse de rotation correspondant le mieux à l'usage envisagé, alors que c'est le plus souvent la vitesse maxi qui sert de base d'étalonnage.

En résumé :

- un pas long favorise la vitesse,
- un diamètre plus grand favorise la poussée,
- un nombre important de pales favorise la poussée à basse vitesse,
- un angle de calage important (entre 20 et 30°) favorise le vitesse.

Si vous souhaitez vérifier si votre hélice est bien adaptée à votre bateau, les logiciels spécialisés utilisés par les fabricants prennent en compte les valeurs de carène (longueur, largeur, valeur de V, poids, répartition des masses, angle de poussée...) on parle alors, selon les constructeurs, de EHP (Effective Horse Power soit la puissance consommée par la carène) ou de SHP (Shaft Horse Power soit le EHP corrigé par le rendement).

Enfin, et à titre indicatif, pour chaque plage de 200 à 400 t/ min vous pourrez faire varier le pas de 2

pouces.

### Le cas particulier des voiliers

Sous voilier, le recours à l'hélice se cantonne aux manoeuvres portuaires, aux jours sans vent pour l'essentiel.

L'objectif visé (selon les constructeurs) est d'obtenir environ 80 % de la vitesse limite de carène (s'entend pour les coques à déplacement).

Le tout doit être adapté à un usage soutenu dans le temps et à une consommation raisonnable en carburant.

Mais la plupart des chantiers marines équipent leurs voiliers par rapport à des conditions idéales de navigation qui ne tiennent pas compte des surcharges moteur engendrées par une mer formée, par exemple.

Un voileux sera donc bien souvent amené à changer son hélice !

Par ailleurs, nous l'avons déjà évoqué, sous voiles l'hélice fixe freine le bateau, ce qui n'est pas une bonne affaire ; heureusement il existe des hélices orientables, repliables ou sur embase saildrive permettant de combiner faible traînée et efficacité en usage moteur.



Merci à Maucourt, Techboat et France-Hélices pour les éléments techniques, les photos et les schémas