Chapitre 3

Système de propulsion

Dans ce chapitre, notre destination est d'expliquer le système mécanique de propulsion utilisé dans les bateaux, de même tous ce qui entourent ce système comme le moteur, l'hélice, les arbres de transmission, les réservoirs,…

1. Système de propulsion en-bord:

Il est essentiel de choisir le bon système de propulsion d'un bateau. Le moteur en-bord est un système de propulsion marine pour bateaux. Par opposition à un moteur hors-bord où le moteur est monté à l'extérieur de la coque du bateau, un moteur en-bord est un moteur enfermé dans la coque, relié à une hélice de propulsion par un arbre de transmission (voir Figure 3.1).

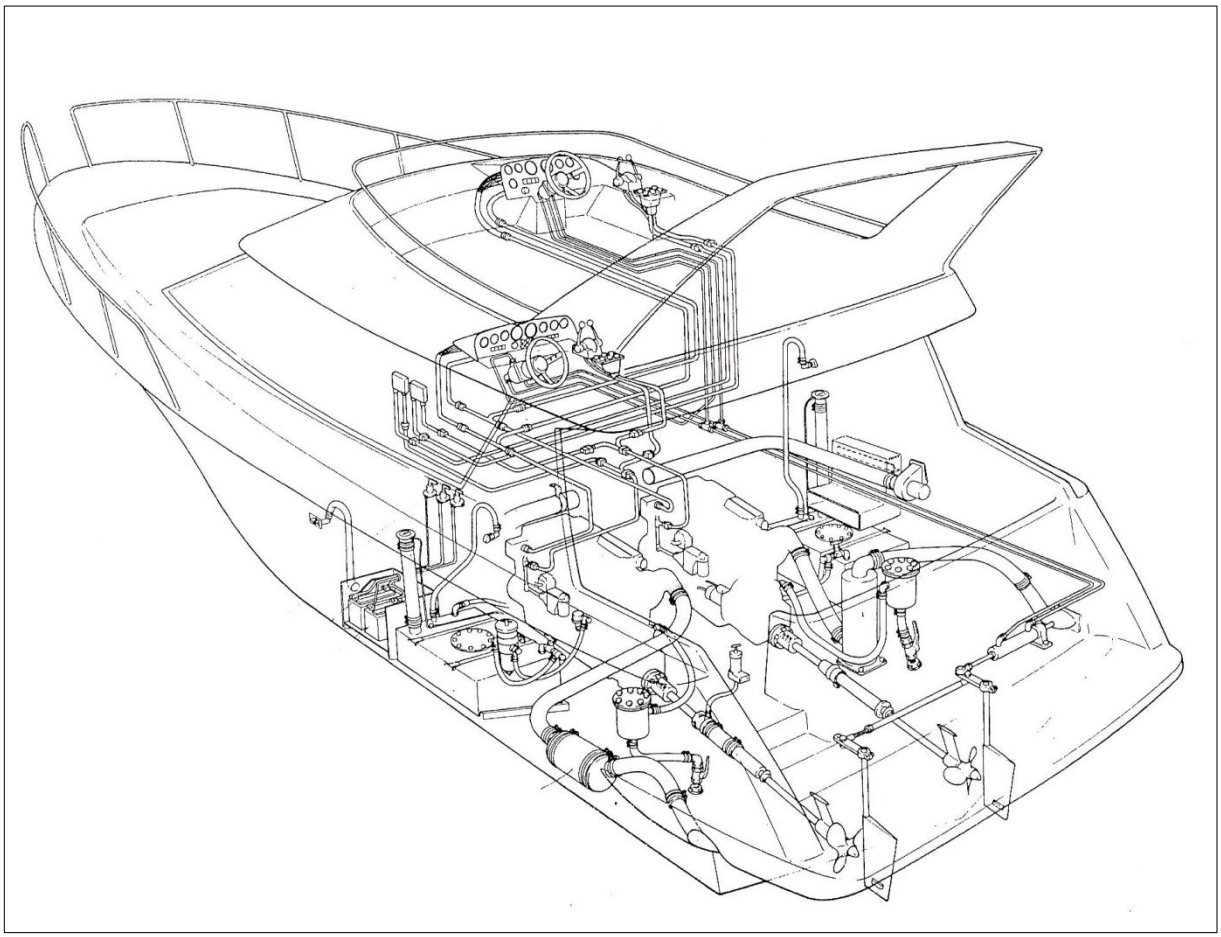


Figure 3. 1 - Système de propulsion en-bord.

Les systèmes en-bords utilisent l'entrainement direct ou V dans la transmission (Voir Figure 3.2) et sont courants dans les grands bateaux à moteur (plus de 30 pieds ou 9 mètres). Avec seulement l'arbre d'entrainement et l'hélice sont immergées, le moteur en-bord tout entier se trouve au fond de la coque d'un bateau.

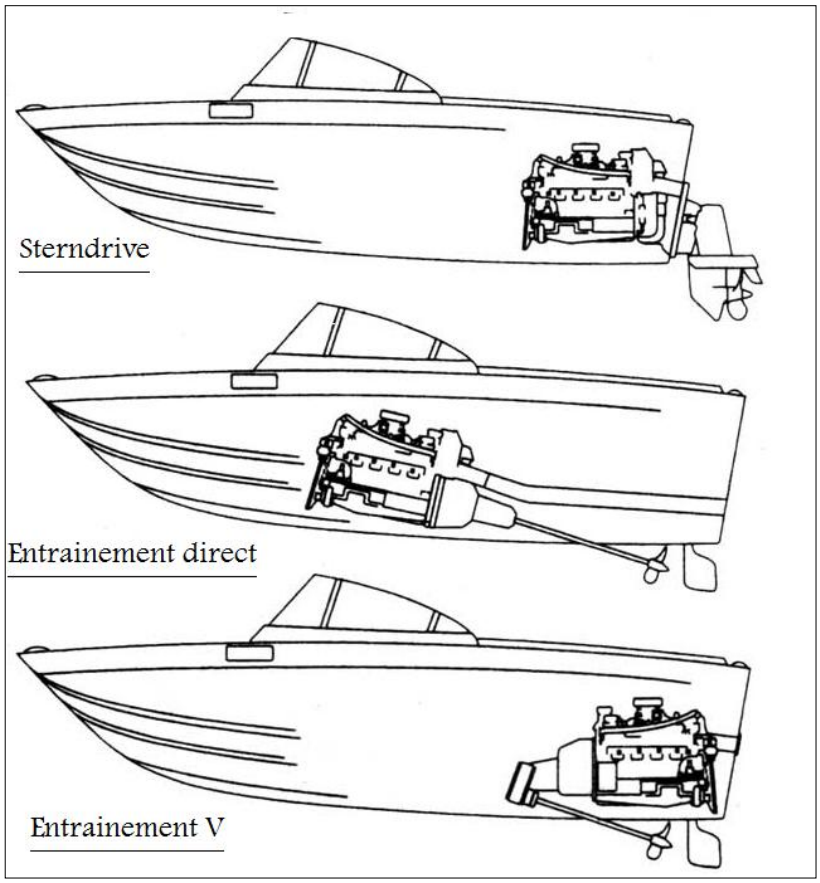


Figure 3. 2 - Système Sterndrive et systèmes en-bords.

- Performance: le poids de moteurs en-bords est centré profondément dans la coque d'un bateau ce qui améliore la stabilité, car il abaisse le centre de gravite du bateau. Donc il donne pour les grands bateaux un pilotage doux et stable.
- Maintenance: les moteurs en-bords exigent beaucoup plus moins d'entretien que les autres systèmes, en particulier dans l'eau salée ou saumâtre. Les anodes en zinc sont encore nécessaires sur les arbres de transmission pour réduire la corrosion des axes et hélices.
- Fiabilité : en raison que les moteurs en-bords sont plus résistants à la corrosion, ils ont une tendance à durer plus longtemps que les moteurs hors-bords.
- Commodité: les hélices sont cachées sous le bateau plus loin qu'un moteur en-bord/hors-bord ou sterndrive, mais sans mécanisme d'inclinaison le système en-bord a un grand tirant d'eau. C'est l'un des plus grands inconvénients d'un moteur en-bord par rapport au Sterndrive.
- Efficacité: à cause de l'angle d'arbre de transmission, le moteur en-bord a une efficacité de carburant plus moins et un rendement global moins par rapport à la même taille d'un moteur hors-bord ou Sterndrive.

Dans un bateau à moteur en-bord, le moteur est placé au centre de la coque et il est relié à un système de propulsion qui traverse la coque et se termine par l'hélice. Un gouvernail distinct sert à diriger le bateau. Les tuyaux d'échappement qui sortent du tableau arrière expulsent les gaz d'échappement du moteur. Les bateaux en-bord servent souvent dans les sports nautiques, comme le ski et la planche, car l'hélice peut être placée sous le bateau ce qui permet d'aménager une plate-forme arrière permettant aux skieurs de sortir facilement de l'eau et d'y entrer.

Le SDS (Surface Drive System):

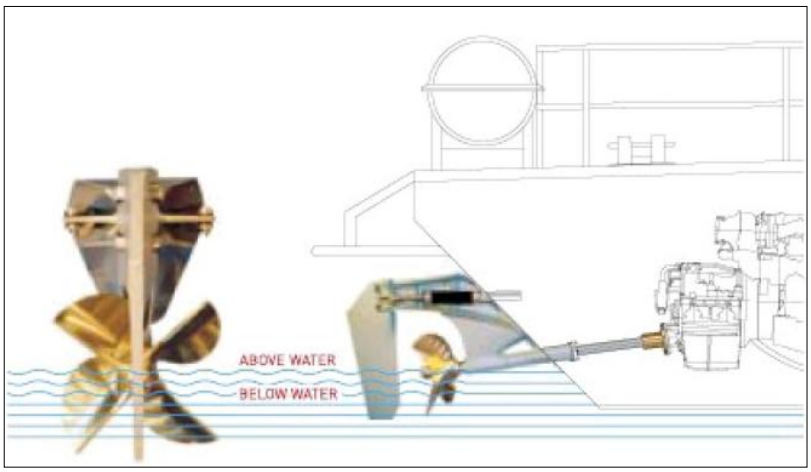


Figure 3.3 — SDS : Surface Drive System

Les avantages du SDS:

- Fiabilité.
- 15% de vitesse en plus.
- Fantastique capacité de giration à grande vitesse.
- Très faible tirant d'eau.

2. Moteur à essence en-bord:

Les moteurs en-bord peuvent être de différents types, adaptés à la taille des bateaux qu'ils sont installés sur. Les bateaux peuvent utiliser le moteur d'un cylindre aux moteurs V12, selon s'ils sont utilisés pour la course ou la traîne.
Pour les bateaux de plaisance, comme les voiliers et les bateaux de vitesse, les moteurs diesel et à essence sont utilisés. Beaucoup de moteurs en-bord sont dérivés de moteurs automobiles, connu sous le nom des moteurs automobiles marins.
Le principe de fonctionnement d'un moteur à essence pour bateau est identique à celui du moteur à essence d'une automobile. Cependant, le moteur de bateau est modifié pour l'adapter à ce type d'usage. La puissance des moteurs à essence en-bord varie de 90 à plus de 1000 chevaux. Ces moteurs servent à propulser divers

types de bateaux, que ce soit des bateaux de sports nautiques ou de gros bateaux de croisière.

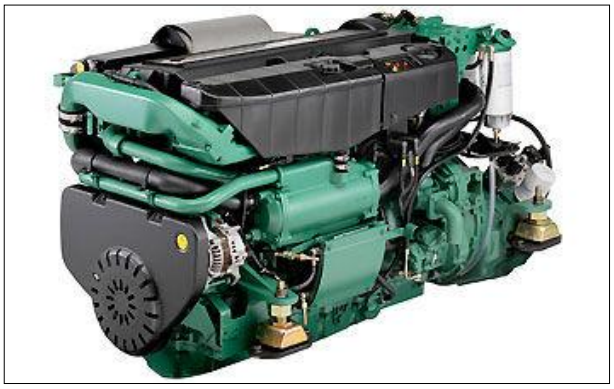


Figure 3. 4 - Moteur VOLVO PENTA D9-575.

3. Planification de la chambre du moteur: (Réf. 8)

D'après la société VOLVO PENTA la planification de la chambre doit respecter les orientations suivantes:

A. Performance:

Calculer la performance concernant le type de bateau, la vitesse et la mode d'utilisation.

Décider la taille du moteur et se rapport compatibles.

Calculer la dimension de l'hélice, l'arbre d'hélice et le rapport de transmission.

B. Répartition des poids:

Examiner la répartition des poids dans le bateau afin que soit uniformément réparti, même avec différents niveaux de carburant et d'eau dans les réservoirs. Placer les unités lourdes pour que le bateau soit équilibré autour se centre de gravité selon les recommandations du concepteur.

Les batteries doivent être placées dans un lieu séparé et bien ventilé. C'est un avantage d'installer les réservoirs de carburant hors de la chambre chaud du moteur.

Il faut prêter une attention particulière pour obtenir le meilleur centre de gravité possible.

4. Choix du moteur:

Pour choisir la puissance qui convient le mieux à notre bateau, nous devons tenir compte du poids et des dimensions du bateau, sans oublier d'inclure le poids des passagers, du carburant et du matériel de bord.

Une bonne façon de procéder consiste à se rapprocher de la puissance maximale pour laquelle le bateau a été homologué.

Le poids du bateau et sa puissance influent sur les performances que nous obtiendrons. Si le bateau manque de puissance, le moteur devra travailler plus fort

que prévu, ce qui peut entraîner des frais d'entretien plus élevés. Aussi, le bateau risque de ne pas répondre à nos attentes et pourrait aussi souffrir d'une consommation excessive.

Par contre, si le bateau est trop puissant, nous risquons de dépasser la vitesse maximale sécuritaire pour laquelle il a été conçu. Vous trouverez chez le détaillant et chez le constructeur la puissance recommandée pour chacun des modèles qu'ils proposent.

D'après le code australien de calcul (Australien Standards Calculation AS1799) ; la puissance désirée pour un bateau peut être donnée par la formule suivante:

$$P = \left((LOA \times B \times 16) - 67\right)$$

Où P est la puissance en Kw ; LOA est la longueur du bateau en m et B est sa largeur en m.

De même, lors du choix du moteur, on peut utiliser le logiciel MACPII (Marine Application Computer Program) qui est disponible sur le site officiel du VOLVO PENTA.

Pour obtenir la meilleure performance possible pour le bateau, il est important que les points suivants soient considérés lors du choix du moteur:

- Type du bateau, vitesse et la mode d'utilisation.
- Choix de la puissance de sortie.
- Rapport de réduction.
- Vitesse du moteur.
- Taille d'hélice.

5. Système de transmission ; arbre et hélice:

Le système de transmission sur un bateau sert à transmettre la puissance du moteur à l'hélice. Il est composé d'arbre, roulements et l'hélice lui-même. La poussée de l'hélice est transférée à bord du bateau à travers ce système de transmission.

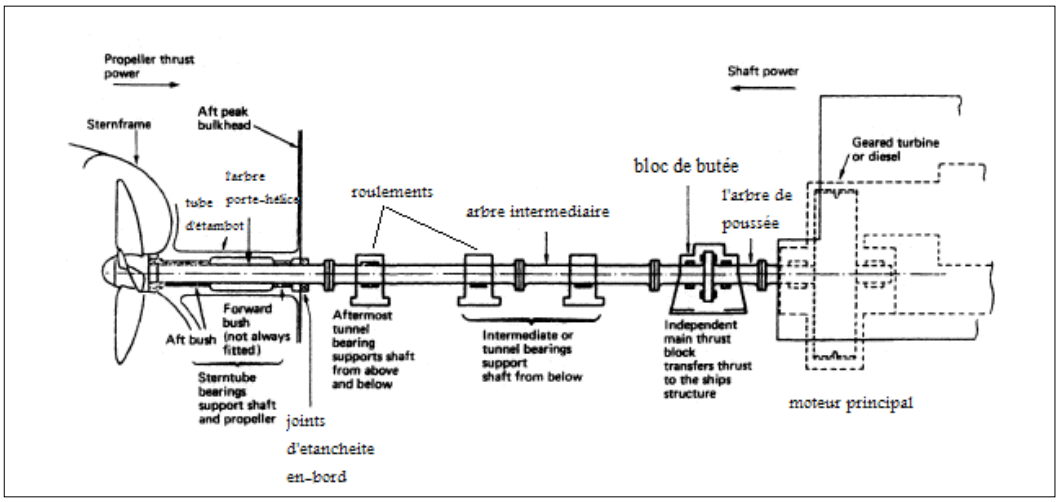


Figure 3. 3 -Système de transmission.

Les différents éléments du système sont l'arbre de poussée, un ou plusieurs arbres intermédiaires et l'arbre porte-hélice. Ces arbres sont supportés par le bloc de butée, paliers intermédiaires et le palier du tube d'étambot. Un dispositif d'étanchéité est prévu à chaque extrémité de l'arbre porte-hélice. Ces pièces et leur emplacement sont indiqués sur la Figure 3.3.

5.1.Sélection du diamètre de l'arbre et l'espacement des roulements:

L'arbre de l'hélice doit être correctement dimensionné et soutenu, c'est le conducteur qui pousse le bateau. Pour cette raison les arbres devraient être conçus pour résister contre les forces de poussée et le couple appliqué et puisque l'arbre est plus soumis aux dommages causés par le contact de l'hélice avec les objets submergés, il devrait être renforcé dans ce but. Un diamètre trop petit fera un fouet d'arbre, vibration et, éventuellement de cisaillement, tandis si le diamètre est excessif c'est un gaspillage d'argent et de poids. La règle la plus simple est que l'arbre doit être d'au moins 1/14 du diamètre de l'hélice. Et pour prévenir les dommages prématurés des roulements de l'arbre de transmission, ces roulements doivent être assez proches pour éviter la flexion de l'arbre, mais suffisamment écartés pour permettre à l'arbre de se conformer lors de la flexion de la coque. Les monogrammes suivants serviront à guider pour choisir le diamètre d'arbre et les espacements des roulements pour les matériaux couramment utilisés compatibles avec la bonne pratique maritime (voir Figure 3.4 et 3.5).

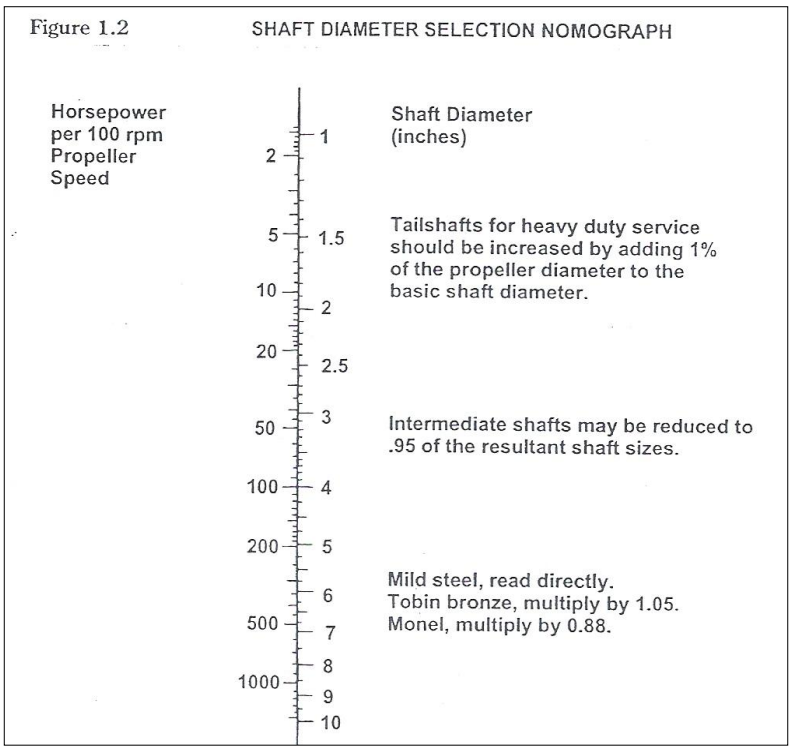


Figure 3. 4 – Diamètre de l'arbre (en pouce) par rapport à la puissance du moteur (en HP/100 RPM).

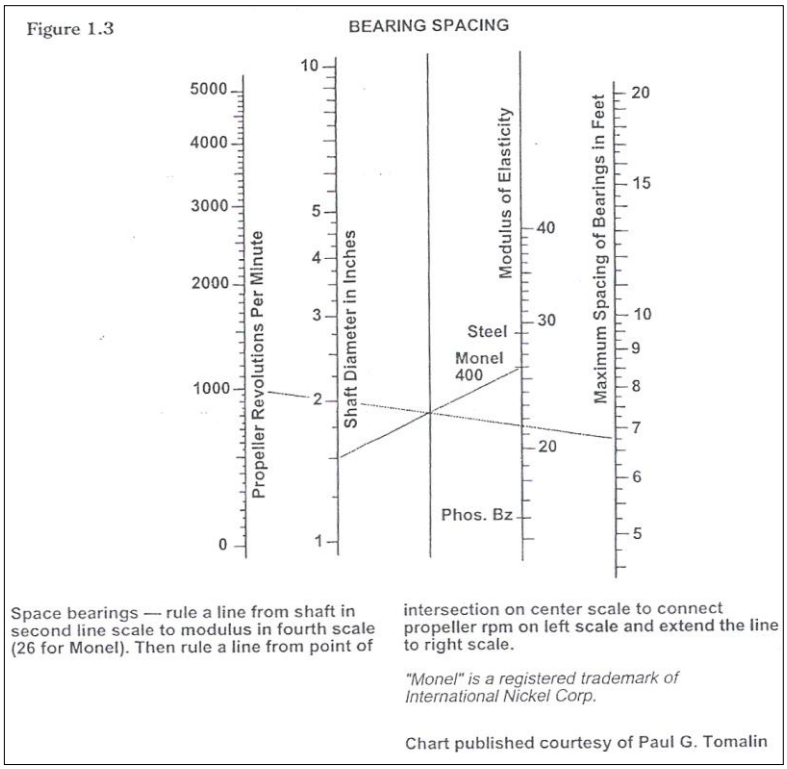


Figure 3. 5 – Espacements des roulements.

5.2.Choix de l'hélice:

Dans la détermination de la performance d'un bateau, les hélices sont importantes pour transformer la puissance disponible du moteur. Sans la poussée de l'hélice, rien ne se passe. L'hélice du bateau influe sur toutes les phases du traitement de la performance, le confort de conduite, la vitesse, l'accélération, la vie du moteur, l'économie de consommation du carburant, et de la sécurité.

Comme les pneus sur une voiture, l'hélice conduit la puissance du moteur à la "route". L'hélice est le lien principal entre le moteur et l'eau.

C'est autour de l'hélice que l'eau se trouve propulsée du bord d'attaque vers le bord de fuite, créant ainsi un effet de vis sans fin. Les molécules d'eau comprimées alors sur elles mêmes retranscrivent cette force par l'avancement du bateau.

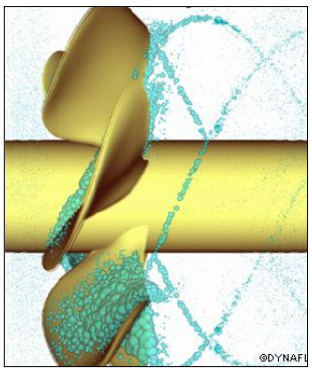


Figure 3. 6 - hélice.

Inox, Cupro-maganèse, Cupro-alu ou tout simplement alu, le choix du matériau est aussi important que la forme des pales en fonction de nos paramètres. Il est donc primordial que le calcul de l'hélice soit établi d'après la forme de la coque, le déplacement du bateau et nos conditions d'utilisations...

Une hélice est généralement définie des différents facteurs:

- Le diamètre est exprimé en pouce ou en mm; il est mesuré entre les deux pointes des lames de l'hélice. Diamètre, pas, puissance, RPM, surface de la lame, vitesse de l'arbre et la vitesse du bateau sont tous liés.les limitations de diamètre proviennent de l'espace limité entre l'hélice et la coque et l'hélice et le gouvernail de direction. Ces formules nous donneront un diamètre proposé pour l'hélice qui devrait empêcher la cavitation. Généralement, le diamètre de l'hélice réelle sera moins que le nombre obtenu.

Planing Hull Formula For Blade Diameter

$$\text{Blade Diameter} = \sqrt{\frac{125 \times hp}{EAR \times kts \times \sqrt{kts}}}$$

Displacement Hull Formula For Blade Diameter

$$\text{Blade Diameter} = \sqrt{\frac{160 \times hp}{EAR \times kts \times \sqrt{kts}}}$$

Example for a 46' Planing Hull with 4 blade ulta skewed Propellers

$$\sqrt{\frac{160 \times 435}{.75 \times 25 \times 5}} = \sqrt{\frac{69600}{93.75}} = \sqrt{742.4} = 27.25$$

EAR = Expanded Area Ratio

3 Blade Standard	.51
3 Blade Wide	.56
4 Blade Ultra Skewed	.75
4 Blade Standard	.69
4 Blade Wide	.81

kts = knots
hp = propeller horsepower

mph X .86897 = kts
kts X 1.1508 = mph

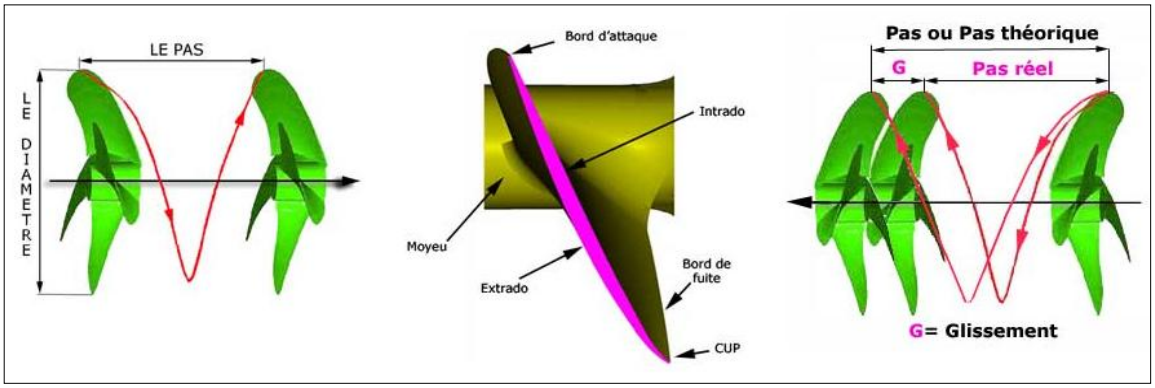
Ever wonder what Diameter Propeller You should be running?

Try these formulas!

Figure 3. 7 – formules de calcul le diamètre d'hélice.

- Le pas en pouce ou en mm. La règle de base pour la détermination de pas est que pour chaque pouce qu'on réduis le diamètre, le pas doit être augmentée de 2", et vice versa. Par conséquent, si on réduis le diamètre de 2", puis la règle de base serait imposer un 4" augmentation en pas.
  Un principe de base pour la plupart des applications en-bord est de 200 tr / min par pouce de pas. C'est-à-dire, Si nous échappons à partir d'un helice 24x24 à un 24x23 nous devrions gagner 200 tr / min. Une meilleure règle est:

$$\text{New Pitch} = \frac{\text{Current RPM}}{\text{Desired RPM}} \times \text{Existing Pitch}$$



Fiigure 3. 9- Caractéristiques d'une hélice.

On propose une autre méthode testée sur des bateaux de pêche rapides et qui donne des résultats cohérents.
Pour faire les calculs nous devront connaître:
La vitesse maximale (V) du bateau en nœuds; on utilise 90% de V.
La puissance (P) sur l'arbre d'hélice en chevaux; Pour la connaître on utilise la puissance théorique du moteur de laquelle ont déduit les pertes de rendement; Il est admis qu'un réducteur absorbe 10% de la puissance; Un Z-drive fait perdre environ 15% de la puissance.
Le nombre de tours par minutes de l'hélice (Nt) que l'on calcule en fonction du taux de réduction et du régime maximum du moteur.

Calcul du diamètre de l'hélice; Cette formule donne un diamètre en millimètre: (Réf.13)

$$D = 12500\sqrt[4]{\frac{P}{V \cdot Nt^2}}$$

Calcul du rendement: (Réf. 13)
Ce calcul fait appel aux logarithmes décimaux $Y = 1.33 \cdot \log(Pas/D) + 0.71$
Cette équation va permettre de calculer

$$Rdmt = 0.35 + 0.561 \cdot Y + 0.018 \cdot Y^2 - 0.191 \cdot Y^3 - 0.013 \cdot Y^4$$

Un rendement acceptable se situe entre 0,60 et 0,70 mais certaines hélices ont un rendement supérieur à 70%. En règle générale plus une hélice tourne vite moins son rendement est bon. La conséquence sera une augmentation de la consommation de carburant.

- Le nombre de pales, allant de 2 à 7 dans 98% des cas.
- La matière, Cupro-Manganèse, Cupro-Aluminium, NiBrAL ou Inox.
- La caractérisation de son moyeu.
- la Surface de pales, exprimée en %, surtout pour les hélices de transmission par ligne d'arbre.
- L'avance : c'est la distance parcourue réellement ou "Pas réel".
- La force transmise : c'est la résultante vectorielle du couple et de la poussée, moins les pertes de friction, de rotation, d'axe.... Elle est égale à la pression qui s'exerce sur la pale.
- **Le glissement** : c'est la différence de distance axiale parcourue entre le Pas ou Pas théorique et le Pas réel lors d'une révolution complète de l'hélice. Cette différence est dûe au temps qu'il faut aux molécules d'eau pour "s'accrocher" à la pale, ce phénomène diminue avec la vitesse du bateau (voir Figure 3.8).
  La relation de l'angle d'attaque et de glissement est présentée dans le compte de vitesse de rotation et vitesse de l'avancement. L'étude se fait sur 7/10 du rayon de l'hélice, généralement c'est la section de la pale d'hélice qui est la

même de toutes les lames (voir Figure 3.8). La vitesse de rotation sur 7/10 du rayon peut être calculée par l'équation suivante: (Réf. 10)

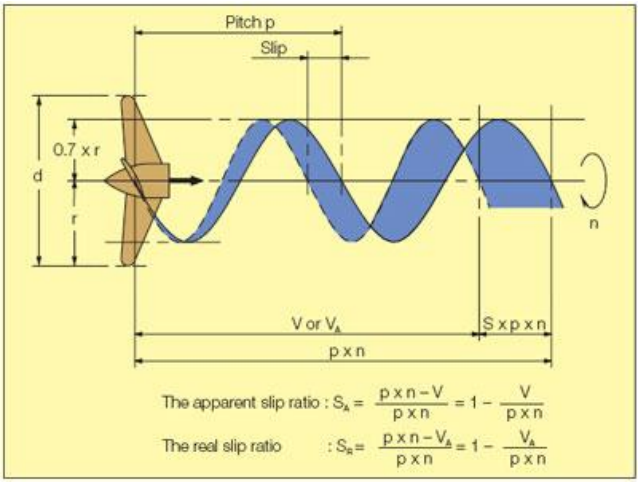


Figure 3. 8 - Calcul du glissement.

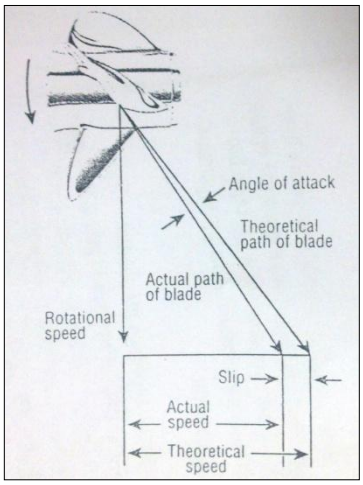


Figure 3. 9 - Calcul du glissement.

$$Vitesse\ de\ rotation\ du\ \frac{7}{10}\ rayon\ (MPH) = \frac{Rotation\ de\ l'helice\ (RPM) \times 0.7\ rayon\ (pouce)}{168}$$

On peut calculer aussi la vitesse théorique du bateau par l'équation suivante:

$$Vitesse\ theorique\ du\ bateau\ (MPH) = \frac{pas\ d'helice\ (pouce) \times Rotation\ de\ l'helice\ (RPM)}{1056}$$

À l'aide de la trigonométrie fondamentale, l'angle et la vitesse de la lame sont indiqués dans la Figure 3.10 et le glissement est calculé comme suit :

$$Glissement\ (\%) = 1 - \frac{Vitesse\ actuel\ du\ bateau\ (MPH) \times 1056}{Rotation\ de\ l'helice\ (RPM) \times pas\ d'helice\ (pouce)} \times 100$$

- Le Rake: c'est l'angle d'inclinaison de la pale à sa génératrice (centre de la pale) par rapport à une droite perpendiculaire au moyeu de l'hélice (voir Figure 3.10). Ratissage d'une d'hélice peut nous donner un surface plus dans la lame pour un diamètre donné, réduire les vibrations, et diriger la poussée plus à l'arrière. Ratissage se fait généralement dans la direction positive.

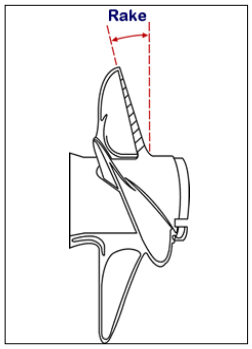


Figure 3. 10 - Angle de ratissage; Rake angle

- Le rendement de l'hélice: (Réf. 10)
  Il convient d'expliquer que le rendement d'hélice ne sera pas confondu avec un glissement, une erreur courante. En termes simples, le rendement de l'hélice est la puissance sortante d'une hélice divisée par la puissance entrée :

$$Rendement\ d'helice\ (\%) = \frac{puissance\ sortie}{puissance\ entree} \times 100$$

Nous allons utiliser le horsepower (HP) pour nos unités. D'abord, pour calculer la puissance sortie, la vitesse du bateau doit être mesurée, deuxièmement, la poussée de l'hélice doit être mesurée :

$$puissance\ sortie\ (HP) = \frac{Vitesse\ du\ bateau\ (MPH) \times\ poussée\ de\ l'hélice\ (lbf.)}{375}$$

Pour calculer la puissance entrée, la vitesse de l'arbre d'hélice doit être calculée

$$vitesse\ de\ l'arbre(RPM) = \frac{Vitesse\ du\ moteur(RPM)}{reduction\ de\ vitesse}$$

Puis le couple de l'arbre d'hélice doit être mesuré:

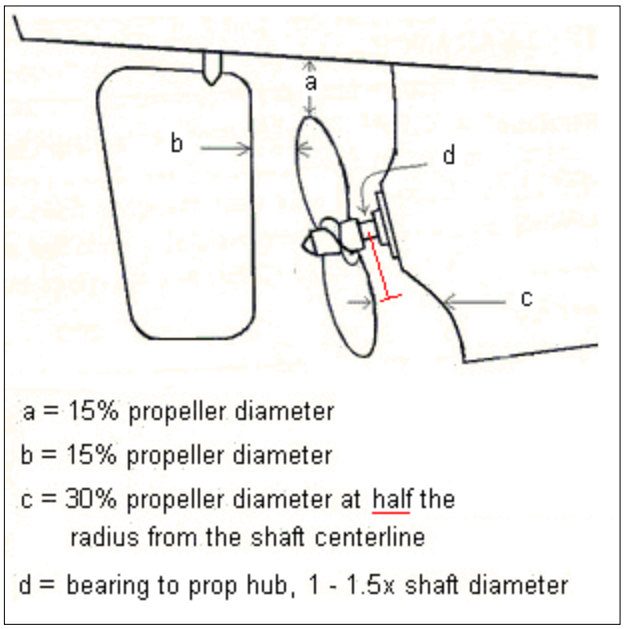
$$puissance\ entrée\ (HP) = \frac{Vitesse\ de\ l'arbre\ \ (RPM) \times\ couple\ de\ l'arbre\ (ft.lbs.)}{5250}$$

Notant que toutes les caractéristiques d'une hélice, diamètre, pas, nombre de pales, Rake et glissement, peuvent affecter l'efficacité indirectement, aucune ne s'apparait dans le calcul de l'efficacité.

5.3. Espace autour l'hélice: (Réf. 2)

Pour assurer le rendement le plus possible de l'hélice est pour éviter la cavitation sur les aubes, il faut attention sur l'espaces entre cet hélice, la coque et le gouvernail. Dans la figure 3.13 les différents espaces sont présentés avec la marge de chacun d'eux:

- Le jeu entre la pointe de l'hélice et la coque est "a". on peut aller jusqu'à 10% si on est coincé.
- La distance entre le gouvernail et le point le plus proche de l'hélice est "b".
- L'espace libre entre la carène et le bord d'attaque de l'hélice, mesurée à mi-chemin le long de la lame, à partir centre de l'arbre, est "c".
- Le jeu entre le roulement et le moyeu de l'hélice est "d".



Fiigure 3. 13 – Espaces autour de l'helice.

Conclusion:

Comme nous avons défini dans le chapitre 1 les caractéristiques principales de la coque et la méthode de conception d'un bateau; dans le chapitre 2 nous avons présenté les systèmes propulsifs utilisés dans les bateaux et ses différents parties, de plus nous avons expliqués des méthodes et bases servent à choisir les éléments principales de ce système comme l'hélice, l'arbre de transmission et le moteur.

En se basant sur les deux chapitres 2 et 3, nous pouvons commencer dans le chapitre suivant par la création de notre conception puis nous allons choisir les éléments mécaniques et ses accessoires et faire les études et vérifications nécessaire pour chaque partie.