Email : samir.belhenniche@univ-usto.dz

Définition :

En géométrie l'hélice est issue du mot grec hélix signifiant « *spirale* ». L'hélice est souvent décrite comme un objet qui visse son chemin dans le fluide constitué d'une fraction de surface hélicoïdale. Pour la mécanique l'hélice est utilisée pour faire déplacer un corps dans un fluide car elle transforme la puissance fournie par le moteur en une poussée propulsant cet obstacle dans l'eau.

Caractéristiques géométriques :

Les lignes de référence d'une hélice marine :

La pale d'hélice est définie autour d'une ligne perpendiculaire à l'axe de l'arbre appelée *la ligne de référence* de l'hélice ou *la directrice* et parfois appelée *génératrice*. La ligne de référence de la pale c'est la ligne qui passe par le centre des sections comme montre la figure (01).

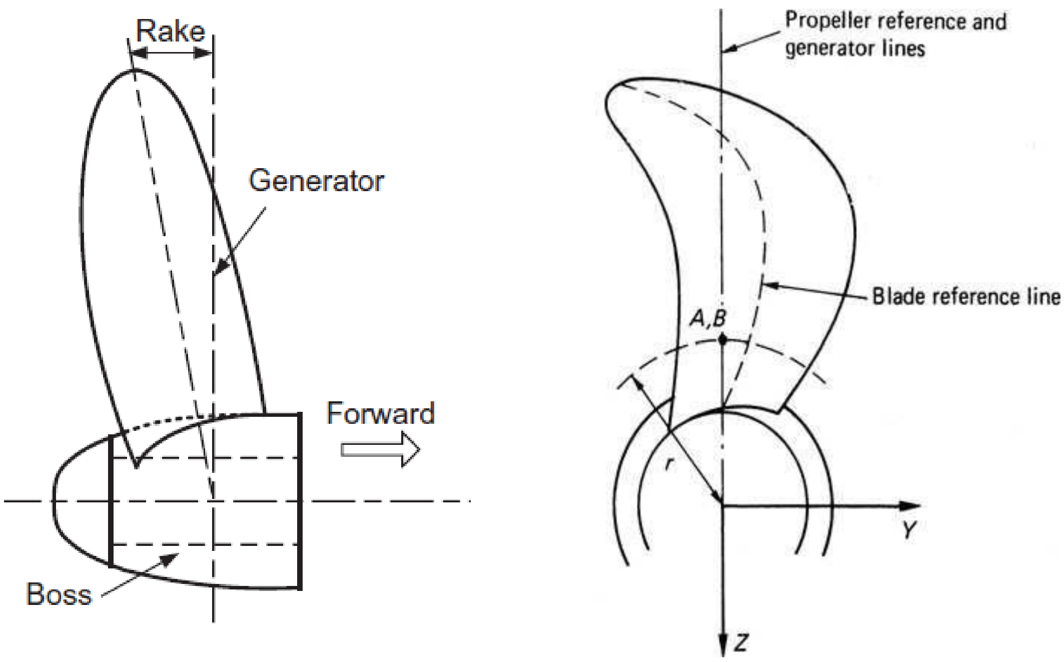

Fig. 01 : Ligne de référence.

La géométrie d'une pale d'hélice est définie par le positionnement de plusieurs sections dans l'espace. La forme et la disposition des sections sont définies par des lois géométriques appliquées à une section de base référencée dans des tableaux standardisés. La forme géométrique d'une pale n'est pas symétrique par rapport à un rayon vue de l'arrière, elle présente un devers plus au moins prononcé et elle est inclinée vers l'arrière et parfois vers l'avant (voir figure (2)). Une hélice est caractérisée par :

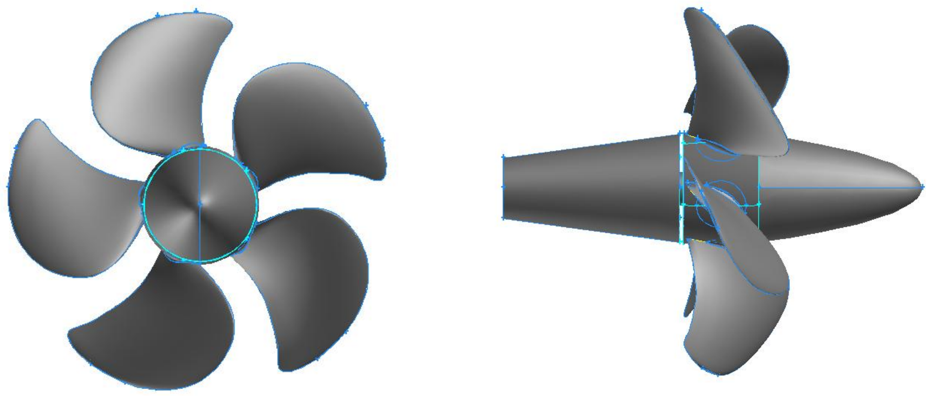

Fig.02 : Vue d'ensemble d'une hélice.

Le profil :

Le profil d'une hélice est le contour de la coupe transversale avec une section constante ou variable d'un bout à l'autre de l'élément. Il est constitué généralement d'un bord d'attaque (*L.E*) arrondi, une épaisseur maximale placée à *1/3* en avant et un bord de fuite (*T.E*) fin sur l'arrière. La ligne droite qui relie le bord d'attaque au bord de fuite s'appelle la corde C. La face de surpression est appelée l'intrados et la face en dépression est définie par l'extrados. La ligne moyenne du profil (Courbe passante à mi épaisseur) est généralement courbée ou *cambrée*, elle définie la ligne de la cambrure. La distance entre la corde et le sommet de la ligne moyenne s'appelle la flèche f (*Camber*). La cambrure d'une section est la distance maximale entre la ligne de la cambrure et la corde. L'épaisseur du profil est la distance entre la surface supérieure (*Extrados*) y_{upp} et la surface inférieure (*Intrados*) y_{low}.

La loi d'épaisseur $e(x)$ définit l'épaisseur en fonction de l'abscisse x de la corde. Le rapport de l'épaisseur maximale du profil à sa longueur s'appelle l'épaisseur relative.

Email : samir.belhenniche@univ-usto.dz

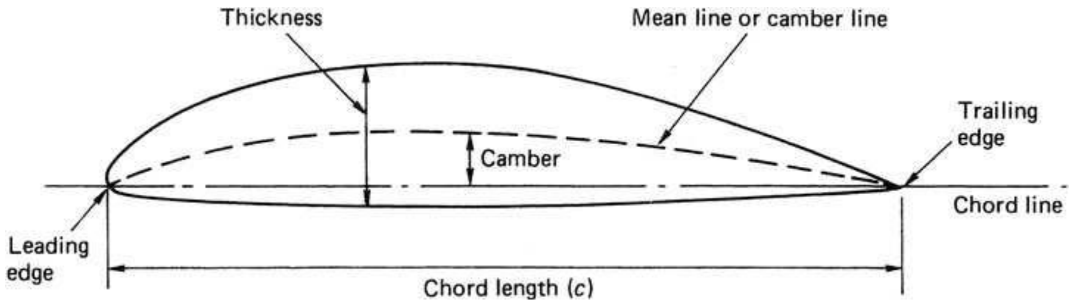

Fig. 03 : Profil de base d'une hélice.

En définitive, la forme géométrique d'une pale d'hélice est donc définie à chaque rayon r:

Par la génératrice fixant les angles de devers θ_s et d'inclinaison i_R;

Par la longueur de corde $C(r)$;

Par le profil de la section définie par la loi d'épaisseur $e(x)$ et la loi de cambrure $f(x)$.

Enfin, les caractéristiques générales de l'hélice sont définies par :

— Le nombre de pales Z;

— Le diamètre $D(Rayon\ R)$;

— Le diamètre du moyeu $d_h(Rayon\ r_h)$;

— Le pas géométrique moyen ;

— Le pas géométrique réduit ;

— La fraction surfacique.

Les formes des pales d'hélices peuvent être très variées comme le montre la figure (04). Le diamètre D d'une hélice peut varier dans de grandes proportions de D = 0,20 à 0,40 m pour les bateaux de plaisance et de D = 10 à 11 m (poids 65 t) pour les pétroliers géants. Le pas réduit P/D varie de 0,6 à 1,4 et la fraction de surface est en moyenne de 0,6 à 0,8. Quant au nombre de pales, il est le plus souvent égal à 4 ou 5, mais peut atteindre 7 lorsque des problèmes de vibrations excitées par l'hélice sont à craindre car avec moins de pales, chaque pale subit une plus forte charge (En particulier avec une hélice à deux pales) ce qui contribue aussi à la cavitation. Enfin, la vitesse de rotation des hélices (Nombre de tours) varie comme l'inverse du diamètre.

Email : samir.belhenniche@univ-usto.dz

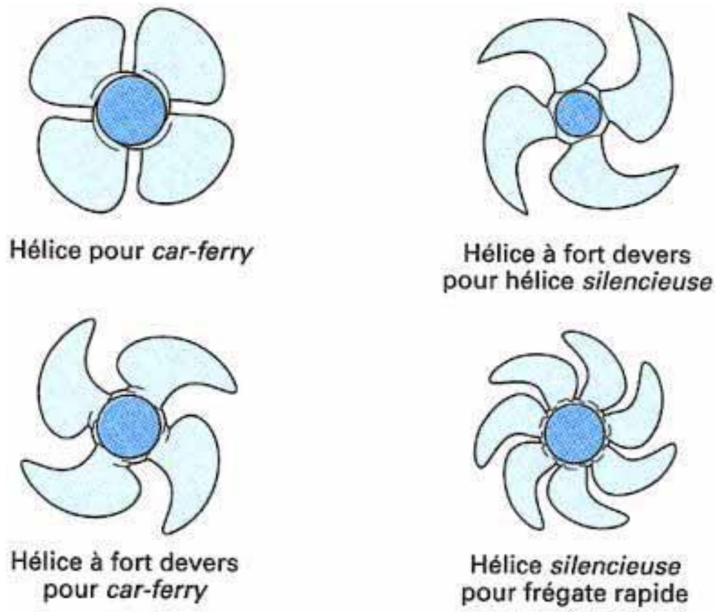

Fig. 04 Forme e des hélices.

Le Pas :

Le pas c'est la distance que fait l'hélice pour un tour comparé au pas d'une vis à métaux. Le pas est exprimé en pouces ou en mètres, et l'angle du pas géométrique est calculé comme suit :

$$\varphi = tan^{-1}\left(\frac{P}{2\pi R}\right) \qquad (1)$$

P : Le pas géométrique.

R : Le rayon de l'hélice.

φ: Angle du pas géométrique.

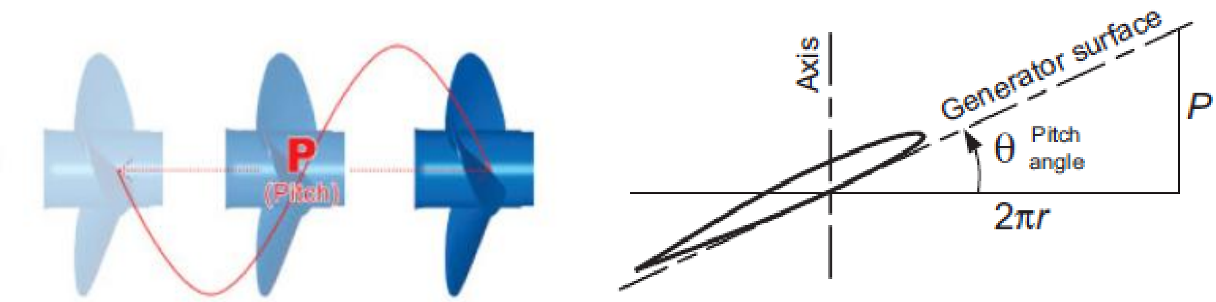

Fig. 05 : Pas de l'hélice.

Email : samir.belhenniche@univ-usto.dz

Le Rake :

C'est l'angle d'inclinaison de la pale entre la directrice et la ligne de référence de la pale. Un rake important permet de retarder la cavitation. Les hélices sont inclinées vers l'arrière, et parfois inclinées vers l'avant pour des embarcations à grande vitesse.

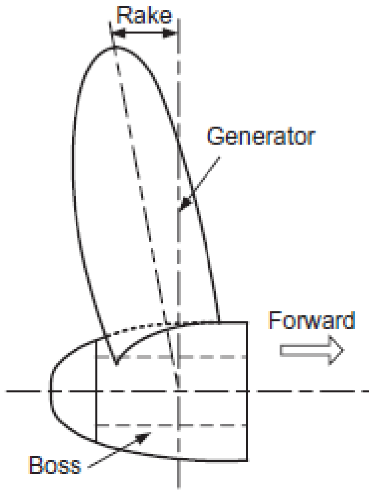

Fig. 06 : Le Rake

Le devers (*Skew*) :

Le Skew est définie par l'angle entre la ligne directrice et le centre de la corde pour chaque section adimensionnelle. Le skew total de l'hélice est définie par la somme du Skew maximum négatif et positif comme le montre la figure (I.8). Les angles dans la direction de rotation sont considérés négatifs. Le skew d'une hélice est classifié en deux catégories : une conception balancée et non balancée. On dit une hélice a un skew d'une conception balancée lorsque la ligne de référence de la pale est intersectée avec la directrice au moins en deux fois. Cependant une hélice avec un skew non balancé s'avère quand la ligne de référence est intersectée pas plus d'une seule fois.

Email : samir.belhenniche@univ-usto.dz

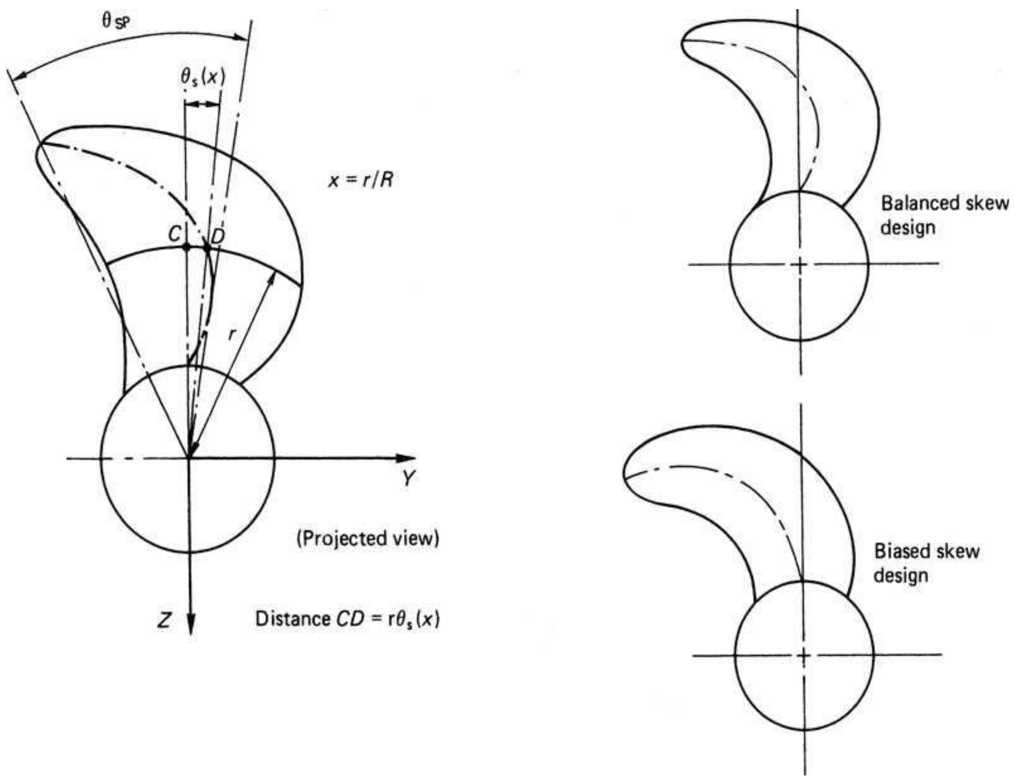

Fig. 07 : Le devers

— **Largeur de la pale** (*Blade width distribution*) **:**

Le calcul de la largeur de la pale se fait en se basant sur le critère de cavitation. Il existe trois types de surface :

— **La surface étendue** (*Expanded area*) :

C'est la surface la plus facile à calculer, par la méthode de Simpson par exemple. La surface étendue est calculée comme suit :

$$A_E = Z \int_{rh}^{R} C \, dr \quad (2)$$

— **La surface projetée** (*Projected area*) :

La surface projetée est celle de l'hélice vue le long de la ligne d'arbre. Dans cette vue, les sections des pales sont vrillées (Définies par un angle du pas de chaque section) et circulaires et elle est définie mathématiquement par la relation suivante :

$$A_P = Z \int_{rh}^{R} (\theta_{sTE} - \theta_{sLE}) \, dr \quad (3)$$

θ_s : Angle de devers (Skew).

— **La surface développée** (*Developed area*) :

Elle correspond à la surface projetée avec des sections circulaires sauf que ces dernières sont positionnées à un angle de pas géométrique égale à zéro. La surface développée est exprimée comme suit :

$$A_D \approx A_E \tag{4}$$

Burrill a développé une formule empirique pour les hélices conventionnelles afin d'estimer la surface développée avec :

$$A_D = \frac{A_P}{(1.067 - 0.229P/D)} \tag{5}$$

$$\frac{A_P}{A_0} = \frac{4A_P}{\pi D^2} \tag{6}$$

$$\frac{A_D}{A_0} = \frac{4A_D}{\pi D^2} \tag{7}$$

$$\frac{A_D}{A_0} = \frac{4A_D}{\pi D^2} \tag{8}$$

$$\frac{A_E}{A_0} = \frac{4A_D}{\pi D^2} \tag{9}$$

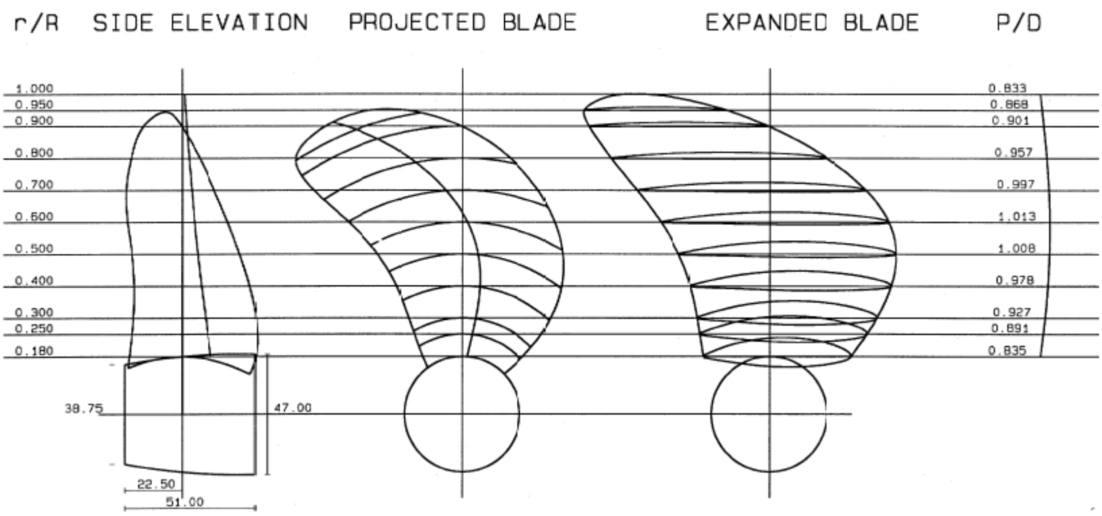

Fig.08 : Définition des surfaces

Email : samir.belhenniche@univ-usto.dz

Distribution d'épaisseur de la pale :

La distribution des épaisseurs maximales de la pale est très importante dans l'analyse des contraintes. La fraction d'épaisseur est calculée comme suit :

$$t_F = \left(\frac{t_0}{D}\right) \tag{10}$$

Avec :

t_0 : Epaisseur définit au niveau de la ligne d'arbre.

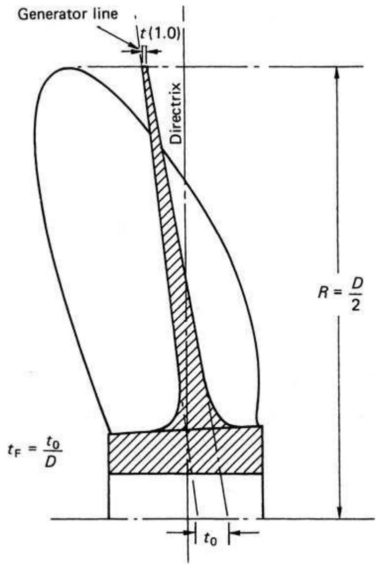

Fig. 09 : Représentation de la distribution d'épaisseur.

Dans le cas d'une distribution d'épaisseur linéaire la valeur de t_0 est facilement calculable par la formule suivante :

$$t_0 = t(tip) - \frac{t(tip) - t(r)}{(1.0 - r)} \tag{11}$$

Avec :

$t(tip)$ **:** Epaisseur maximale au sommet de la pale.

$t(r)$: Epaisseur maximale à une section adimensionnelle.

Email : *samir.belhenniche@univ-usto.dz*

Application 01 :

Une hélice d'un diamètre $D = 4\ m$ et un pas constant égal à $3\ m$. La distance du point du sommet de la pale par rapport à un plan perpendiculaire à la directrice (axe normal) est de $263{,}3\ mm$. Le milieu de la racine (profil en jonction avec le moyeu) est de $69{,}5\ mm$ vers le bord d'attaque par rapport à la génératrice, tandis que le point du sommet de la pale est de $1285{,}8\ mm$ par rapport au bord de fuite. Sachant que le rayon du moyeu est $r = 400\ mm$.

Calculer :

1. L'angle du pas géométrique φ à 0.7R?
2. L'angle du rake ε ?
3. L'angle du skew total θ_s ?

Solution :

1. **Calcul de l'angle du pas géométrique φ à 0.7R :**

$$tan\ \varphi = \frac{P}{2\pi r} \Rightarrow\ \varphi = tan^{-1}\frac{P}{2\pi r}$$

$$\varphi = tan^{-1}\left(\frac{3}{2\pi 0{,}7R}\right) = tan^{-1}\left(\frac{3}{2{,}8\pi}\right) = 18{,}83°$$

$$\varphi = 18{,}83°$$

2. **Calcul de l'angle du rake ε**

$$tan\ \varepsilon = \frac{différence\ du\ rake\ entre\ les\ deux\ séctions}{différence\ entre\ les\ deux\ rayons} = \frac{263{,}3 - 52{,}7}{2000 - 400} = 0{,}131625$$

$$\varepsilon = tan^{-1}(0{,}131625) = 7{,}5°$$

$$\varepsilon = 7{,}5°$$

3. **Calcul du skew total θ_s:**

$$sin\ \theta_0 = \frac{69{,}5}{400} = 0{,}17357$$

$$\theta_0 = sin^{-1}(0{,}17357) = 10°$$

$$\theta_0 = 10°$$

$$sin\ \theta_1 = \frac{-1285{,}6}{2000} = -0{,}6428$$

$$\theta_1 = sin^{-1}(-0{,}6428) = -40°$$

$$\theta_1 = -40°$$